



БИБЛИОТЕКА
КОНСТРУКТОРА

И·Я·АЛЬШИЦ
Б·Н·БЛАГОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ДЕТАЛЕЙ
ИЗ ПЛАСТМАСС



БИБЛИОТЕКА КОНСТРУКТОРА

И·Я·АЛЬШИЦ

Б·Н·БЛАГОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ДЕТАЛЕЙ
ИЗ ПЛАСТМАСС

СПРАВОЧНИК

Издание второе, переработанное и дополненное



МОСКВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ» 1977

Альшиц И. Я., Благов Б. Н.

А59 Проектирование деталей из пластмасс. Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Машиностроение», 1977.

215 с. с ил.

В справочнике приведены сведения о механических, электрических и технологических свойствах пластмасс, допусках, посадках, расчете и конструировании пластмассовых деталей — подшипников, направляющих разъемных и неразъемных соединений, уплотнений, труб, арматуры, химической аппаратуры и др.

Справочник предназначен для инженеров, конструкторов машиностроительных заводов, проектно-конструкторских организаций.

А $\frac{31302-027}{038(01)-77}$ 27-77

6П5.3

© Издательство «Машиностроение», 1977 г.

Глава 1. Классификация пластмасс, свойства, применение (Б. Н. Благов)	5
Классификация	5
Физико-механические и электротехнические свойства пластмасс	5
Рекомендуемое применение пластмасс	33
Глава 2. Допуски и посадки (Б. Н. Благов)	37
Допуски и посадки на гладкие цилиндрические соединения . . .	37
Допуски на резьбы	42
Допуски и посадки на зубчатые и червячные зацепления	43
Глава 3. Конструирование деталей из пластмасс (Б. Н. Благов)	45
Общие требования к конструкции детали	45
Форма детали	48
Технологические уклоны	50
Стенки	53
Оформление торцов деталей	61
Ребра жесткости	61
Радиусы закруглений	66
Отверстия	69
Углубления, пазы, приливы и выступы	80
Опорные поверхности	83
Накатка и рифление	84
Резьбы	84
Армирование	92
Надписи на деталях	102
Глава 4. Особенности расчета пластмассовых деталей (И. Я. Альшиц)	104
Расчет на прочность изотропных пластмасс	107
Расчет на прочность анизотропных пластмасс	108
Расчет на прочность армированных деталей	109
Допускаемые напряжения, запасы прочности и долговечность	110
Глава 5. Конструирование и расчет подшипников и направляющих (И. Я. Альшиц)	116
Подшипники скольжения	116
Конструирование подшипников из реактопластов	116
Тонкослойные и облицованные подшипники	122
Конструирование подшипников из термопластов	123
Подшипники, работающие при недостаточной смазке или без смазки	125
Композиционные самосмазывающиеся материалы на основе полимеров	131

Самосмазывающиеся стеклснаполненные термопласты	132
Расчет подшипников скольжения, работающих при несовершенной смазке	134
Подшипники качения	135
Направляющие из пластмасс	139
Глава 6. Расчет и конструирование элементов передач движения (И. Я. Альшиц)	144
Ременные передачи	144
Клиноременные передачи со шкивами из пластмасс	149
Муфты, тормоза, фрикционные передачи	153
Зубчатые передачи	158
Глава 7. Разъемные и неразъемные соединения пластмасс (И. Я. Альшиц)	166
Резьбовые соединения	166
Болтовые и заклепочные соединения	170
Сварные соединения	173
Клеевые соединения	177
Глава 8. Уплотнения (И. Я. Альшиц)	186
Уплотнения неподвижных соединений	186
Уплотнения для вращающихся деталей	186
Торцовые уплотнения	194
Специальные уплотнения из фторопласта и других полимеров	196
Уплотнения арматуры с шаровым затвором	197
Глава 9. Расчет деталей химической арматуры и труб (И. Я. Альшиц)	200
Детали химической аппаратуры	200
Разъемные соединения труб	202
Список литературы	207
Предметный указатель	210

КЛАССИФИКАЦИЯ ПЛАСТМАСС, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ

КЛАССИФИКАЦИЯ

В зависимости от основного назначения пластмассы разделяют на следующие группы.

1. Конструкционные, применяемые для силовых и несиловых конструкций:
 - а) высокопрочные, $\sigma_B \geq 20$ кгс/мм²;
 - б) средней прочности, $\sigma_B = 8 \div 20$ кгс/мм²;
 - в) низкой прочности, $\sigma_B \leq 8$ кгс/мм²;
 - г) теплостойкие, разделенные на три группы: стойкие при температурах 120—150° С, 150—200° С и свыше 200° С;
 - д) декоративно-отделочные и облицовочные.
2. Электро- и радиотехнические:
 - а) электроизоляционные; б) электропроводные; в) радиопрозрачные.
3. Звуко- и теплоизоляционные, обладающие звукоизолирующими свойствами и малой теплопроводностью.
4. Фрикционные и антифрикционные:
 - а) фрикционные, обладающие при сухом трении высокими фрикционными свойствами и малым износом;
 - б) антифрикционные, имеющие низкий коэффициент трения и весьма малый износ.
5. Антикоррозионные и стойкие к агрессивным средам:
 - а) антикоррозионные, обладающие повышенной стойкостью при действии корродирующих агентов (атмосферных осадков, кислот и щелочей);
 - б) химически стойкие, обладающие стойкостью к действию слабых или крепких кислот и щелочей, ароматических углеводородов, бензина, спиртов и других растворителей;
 - в) прокладочные и уплотнительные, обладающие стойкостью против действия воды, жидкого топлива, минеральных масел, кислот и щелочей;
 - г) тропикоустойчивые, хорошо сопротивляющиеся действию теплого и влажного воздуха, ультрафиолетового облучения, стойкие к грибковой плесени или содержащие в своем составе фунгисиды.

Большинство пластмасс обладает комплексом свойств, позволяющих применять их не в одной, а в нескольких областях, в различных сочетаниях, поэтому приведенная классификация является условной.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАСТМАСС

Пластические массы обладают многими преимуществами по сравнению с металлами, деревом, бумагой и другими природными и искусственными материалами. Наиболее важными преимуществами полимерных материалов являются небольшая плотность, эластичность, упругость, большая прочность, высокая коррозионная стойкость в различных средах, легкость обработки.

1. Физико-механические свойства пластмасс, применяемых в машиностроении и

Наименование	Марка	ГОСТ, ТУ, ВТУ	Ударная вязкость, кгс·см/см ² , не менее	Разрушающее напряжение, кгс/см ² , не менее			Модуль упругости при растяжении E·10 ⁸ , кгс/см ²
				при растяжении	при сжатии	при изгибе	

Пластические массы на основе полимеров,
Полиэтилен и пласт

Полиэтилен низкой плотности (высокого давления)	10003-002 10103-002 10203-003 10303-003	ГОСТ 16337-70*	—	150	—	75 *	1,5—2,5 * (при изгибе)		
	10403-003 15303-003 15602-008 17802-015			140—120 *					
	17602-006 17902-020 15802-020 18102-035			16 *				140 130 110 100	125
Полиэтилен высокой плотности (низкого давления)	20106-001 20206-002 20606-012	ГОСТ 16338-70*	Не ломается	210—220	—	200	5,5 (при изгибе)		
	20706-016 20806-024 20306-005			220				250	220
	20406-007 20906-040 21006-075			230				600	880
Полиэтилен среднего давления	—	—	—	270—330	—	250—400	8—10,5 (при изгибе)		
Полипропилен	01П10/002 02П10/003 03П10/005 04П10/010 05П10/020	МРТУ 6-05-1105-67	80—85	250—400 *	600 *	800 *	6,7—11,9 (при изгибе)		
	—			—				—	
	—			—				—	
	—			—				—	
	—			—				—	
Полипропилен стеклонаполненный	—	—	27,2—32,7	560 *	490 *	700 *	—		

Поливинилхлорид и пласт

Поливинилхлорид М (массовый)	ПВХ-М70 ПВХ-М67 ПВХ-М64 ПВХ-М59 ПВХ-М56	ТУ 6-05-678-72	100—150	300—500	525—600	1000—1100	—
	Поливинилхлорид эмульсионный	ГОСТ 5829-71	2—10	400—600	780—1000	800—1200	30—40

приборостроении

Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость при заданной нагрузке, кгс/мм ²	Теплостойкость по Мартенсу, °С	Морозостойкость, °С	Коэффициент линейного расширения α·10 ⁵ , 1/°С	Текущая по Рашигу, мм	Возможные способы переработки	Давление прессования, кгс/см ²	Давление пресс-литья, кгс/см ²
--	--	--------------------------------	---------------------	---	-----------------------	-------------------------------	---	---

получаемых по реакциям цепной полимеризации
массы на его основе

600	1,4—2,5	108—110 (по НИИПП)	—60	22—55	5 мг/с	Литье под давлением, компрессионное и литьевое прессование, пламенное напыление, экструзия, выдувание, штамповка или гибка, сварка горячим воздухом	—	700—1200 *	
	550	13 (по Роквеллу)					103—115 (по НИИПП)	85 ± 15 *	—
800—500 700—400 700—300	4,5—5,9	120—128 (по НИИПП)	10	—	—	Литье под давлением	—	900—1400 *	
700—300 600—250 700—400							Экструзия, компрессионное и литьевое прессование	70	—
700—300 450—200 220—200							Литье под давлением, экструзия, компрессионное и литьевое прессование	70—100 *	800—1200 *
400—900	5,6—6,5	128—133 (по НИИПП)	—	22—55	—	—	70—100 *	800—1200 *	
600 500 400 300 300	6,0—6,5	160 (по НИИПП)	—5	11 *	—	Экструзия, литье под давлением, компрессионное прессование, сварка	—	700—2000	
2 *	—	—	—	—	—	—	—	—	

массы на его основе

25—400	—	170—190 *	—(15—40) *	—	—	Экструзия, компрессионное и литьевое прессование, литье под давлением, формование, выдувание	500—1200 *	300—1500 *
5—100	13—16	—	—	—	—		—	—

Наименование	Марка	ГОСТ, ТУ, ВТУ	Ударная вязкость, кгс·см/см ² , не менее	Разрушающее напряжение, кгс/см ² , не менее			Модуль упругости при растяжении E · 10 ³ , кгс/см ²	Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость при заданной нагрузке, кгс/мм ²	Теплостойкость по Мартенсу, °С	Морозостойкость, °С	Кoeffициент линейного расширения α · 10 ⁵ , 1/°С	Текущая по Рашигу, мм	Возможные способы переработки	Давление прессования, кгс/см ²	Давление пресс-литья, кгс/см ²
				при растяжении	при сжатии	при изгибе										
Винипласт листовой	ВН	ГОСТ 9639-71	Не разрушается	550		1000		15	15	85 (по Вика)	-(65-76)	6-7		Экструзия, формование и штамповка, механическая обработка, склеивание, сварка		
	ВНЭ		Не определяется	500	800 *	900		10	70 (по Вика)							
	ВД			550						15						
<i>Поро- и пенопласты</i>																
Пенопласт плиточный	ПВ-1	МРТУ 6-05-1158-68	0,6-0,7 *	—	2-4 *	—								Склеивание, механическая обработка, формование при нагреве		
	ПС-1	МРТУ 6-05-1178-69	1,0-1,1	—	2,5-3,0	15-28										
	ПХВ-1	МРТУ 6-05-1179-69	0,70-1,30	38,8	6,0		0,80-0,85									
	ПХВ-2		1,9-2,0	45-46	15		1,6-2 *									
Пенопласт	ФК20	МРТУ 6-05-1302-70	1,0	17,5 *	10									Склеивание, механическая обработка, формование при нагреве		
	ФФ		0,2		40											
	ФС-7-2	МРТУ 6-05-958-65			6-12 *10											
	ПХВ-Э	МРТУ 6-05-1269-69		2-6 *				80-105 *								
Фторопласт-4	Сорт 1	ГОСТ 10007-72	100 *	240	120 *	140 *	4,7-8,5 * модуль упругости при температуре -60°	350	3-4	250 *	-269	8-21 при температуре от -60 до 280 °С		Прессование на холоде с последующим спеканием. Сварка, механическая обработка, штамповка	300 (таблетирование)	
	» 2			210												
	» 3			250 (закален)				300 (закален)		100-110 * (по Вика)						
Фторопласт-4Д	Сорт 1	ГОСТ 14906-69*	100	200	200 *	111 *	4,5-8,5 (при +20°С) 14-28 (при -60°С) при изгибе	330	3-4					Приготовление пасты с последующим таблетированием и спеканием. Литье под давлением, экструзия	20-30 (таблетирование)	
	» 2			160				250								
	» 3			100				100								
Фторопласт-3	Сорт 1	ГОСТ 13744-68	20-100	300	500-600	600-800 *	11,6-14,5 (при 20°С) 20 (при -60°С)	50	10-13	70 130 * (по Вика)	-195 *	6 *		Горячее прессование, пресс-литье под давлением, экструзия	300-500	1500-3000 *
	» 2			350				70								
	» 3			375												
Фторопласт графито-наполненный	ФКН-7			116 *	561 *	Не разрушается 289 *	38,6 *									
	ФКН-14			49 *	325 *		21,1 *									

Наименование	Марка	ГОСТ, ТУ, ВТУ	Ударная вязкость, кгс·см/см ² , не менее	Разрушающее напряжение, кгс/см ² , не менее			Модуль упругости при растяжении E · 10 ³ , кгс/см ²	Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость при заданной нагрузке, кгс/мм ²	Теплостойкость по Мартенсу, °С	Морозостойкость, °С	Коэффициент линейного расширения α · 10 ⁵ , 1/°С	Текущая вязкость по Рашигу, мм	Возможные способы переработки	Давление прессования, кгс/см ²	Давление пресс-литья, кгс/см ²				
				при растяжении	при сжатии	при изгибе														
<i>Пластмассы на основе поликрилатов и полиметакрилатов</i>																				
Полиметил-акрилатный порошок	Л-1	ТУ 6-05-1344-71	15	420 *	840 *	910 *	21	1-15 *	13	50-74 *	-40 *	8-12 *	—	Компрессионное и литьевое прессование, экструзия	150 *	750-1000 *				
	Л-2		—	420-700	770-950	910-1100	21-35	5-15	12				2,5 мг/с							
Сополимер	МСН-1	ГОСТ 12271-66	16-22	—	—	1100-1200	—	—	16-18 *	72-75	-40 *	—	50	Литье под давлением, компрессионное прессование, экструзия	250 ± 50	1200-1400				
	МСН-2		15						73	-60 *										
	МСН-3								72											
<i>Полистирол и пластмассы на его основе</i>																				
Полистирол эмульсионный	ПСЭ-2	ГОСТ 20282-74	22			850				100-110 (по Вика)		9-10	5 мг/с	Литье под давлением, экструзия, выдувание, прессование	200 *	500-2000 *				
Полистирол блочный	ПСМД ПСМ	ГОСТ 20282-74	16 20	350-400 *		950 800-900	27 (при изгибе)	1,5-3,0	14-15	78 100-105 (по Вика)	-40		30							
Полистирол суспензионный и его сополимеры	ПС С (обыкновенный)	ГОСТ 20282-74	1,2	400	1000 *	750-900	31	1,5-3,0	14-15	105-108 (по Вика)	-40	8		Компрессионное прессование, литье под давлением		200-2000 *				
	ПС СП (пластифицированный)		1,3			650-750		1,5-3,0												
	ПС-СУ ₂ (ударопрочный)	МРТУ 6-05-928-64	6,0			250		20												
	ПС-СУ ₃ (ударопрочный)		3,0			300		10												
Полистирол ударопрочный	УПМ	ТУ 6-05-1604-72	5-8	220-230	—	500-600	10	25-40	10,5	85-100	—	—	—	Литье под давлением. Экструзия		200-2000 *				
	УПС		6,5-13			230-300		700-800									500-700	25-45	10-12	85-100
	УПК		3-5			200-300		—									500-600	15-25 (при изгибе)	10-12 (по Роквеллу)	92-98 (по Вика)
Полистирол стеклонаполненный	—	—	10,3-24,5 (-40 °С) *	740-1050 *	980-1190 *	1050-1330 *		0,75-1,3 *		73-76 *										
Пластик	СНП-2	ГОСТ 13077-67*	50	400		850 *	21-27* (при изгибе)	18	12 *	100	-30 *	8,6-9,0 *		Компрессионное прессование, литье под давлением						
Сополимер стирола с α-метилстиролом	САМ	МРТУ 6-05-828-68	16			1000	31 *							Литье под давлением, экструзия, компрессионное прессование	250	1200				
	САМП		18							95-100										

Наименование	Марка	ГОСТ, ТУ, ВТУ	Ударная вязкость, кгс·см/см ² , не менее	Разрушающее напряжение, кгс/см ² , не менее			Модуль упругости при растяжении E · 10 ³ , кгс/см ²	Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость при заданной нагрузке, кгс/мм ²	Теплостойкость по Мартенсу, °С	Морозостойкость, °С	Коэффициент линейного расширения α · 10 ⁵ , 1/°С	Текущая по Рашигу, мм	Возможные способы переработки	Давление прессования, кгс/см ²	Давление пресс-литья, кгс/см ²
				при растяжении	при сжатии	при изгибе										
Пластмассы на основе полимеров, получаемых Прессовочные массы на основе феноло-																
поликонденсацией и ступенчатой полимеризацией, альдегидных смол (фенопласты)																
Прессовочные порошки общего назначения типа О, группы: О1	О1-040-02 О1-030-02	ГОСТ 5689-73	5	300-450	1600	600	70-90	0,3-0,69	30-40	125	-	-	120-190	Компрессионное литье и литьевое прессование	-	-
О2	О2-040-02 О2-030-02 О2-010-02		5	350	1600	600	70-80	0,6-0,8	25-30	125	-60	4,5-5,3	120-190		-	-
О3	О3-010-02	ГОСТ 5689-73	6	375	1600	700	75-80	0,6-0,8	25-30	125	-60 *	4,6-5,3	110-190			
-	Монолиты 1, 2, 3, 5	МРТУ 6-05-992-65	6	350-450 *	1600 *	700	70-90	0,30-0,60 *	-	110	-50 *	4,3-5,3	90-130			
Прессовочные порошки специального назначения типа Сп группы: Сп1 Сп2 Сп3	Сп1-342-02 Сп2-342-02 Сп3-342-02		4,5	280	1400	600	-	-	20	130			100-190	Компрессионное и литьевое прессование	300 ± 50	500-1000 *
			5,0	-	1600								90-190			
			4,5	280	1500	600	63-88	0,6-0,7 *	20	125	4,3-5,3 *	90-180				
530-300	1500	650		83-88	30-35	120	100-180									
3,5	-	1100	500			-	150		90-180							
	238	1150														
5,5	550	1800 * 2900	950			55-60 *	250	5-7 *	130-200							
4,5	200-300 *	1100 *	550		0,6 *	20 *	135	2,5 *	90-180							
	260-340 *					40-43 *				90-180						
									90-180							
Электронизоляционные типа Э группы: Э1 Э2 Э3 Э6 Э7 Э8 Э9	Э1-340-02 Э2-330-02 Э3-340-61 Э3-340-65 Э6-014-30 Э7-361-73 Э8-361-63 Э9-342-73	ГОСТ 5689-73														
			4,5	300	1500	550	30		34-41 *	135		90-180				
Э10 Э11	Э10-342-63 Э11-342-63		5,0	300						140						

Наименование	Марка	ГОСТ, ТУ, ВТУ	Ударная вязкость, кгс·см/см ² , не менее	Разрушающее напряжение, кгс/см ² , не менее			Модуль упругости при растяжении E·10 ³ , кгс/см ²					
				при растяжении	при сжатии	при изгибе						
Прессовочные порошки влагонестойкие типа Вх группы:	Вх1	ГОСТ 5689-73	4,5	280 *	1500	550	70-90					
	Вх2			280	1500-1600		70-175					
	Вх3			—	1500-1650 *	—						
	Вх4			6,0	210	1100-1700	600	56-184				
	Вх5			8,0	200-250 *	1200-1500 *	350	—				
	Вх6			4,5	—	1500 *	550					
				5,0	505 *	1600 *	550					
Пресс-материалы ударопрочные типа У группы:	У1	ГОСТ 5689-73	9,0	300	1000	800	60					
	У2											
	У3											
	У4							9	240	1600	400	60-84
	У5							20	250	800	850	70
	У6							22				
	Прессовочные порошки жаростойкие типа Ж группы:							Ж1	ГОСТ 5689-73	3,0	230-300 *	1500-2000
Ж2		3,5	—	—	500	70-90						
Ж3		—	280	1050	550	—						
Ж4		—	250-350 *	1000-1100 *	550	—						
		—	—	—	—	—						
Пресс-материалы тормозные	КФ-3П	ТУ 6-05-1625-73	21	—	700	900	—					
	КФ-3М							700	600			
	КФ-3Г							700	—			
	КФ-3							21	700	800		
	К-236-58							12	850	700		

Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость при заданной нагрузке, кгс/мм ²	Теплостойкость по Мартенсу, °С	Морозостойкость, °С	Коэффициент линейного расширения α·10 ⁵ , 1/°С	Текущая прочность по Рашигу, мм	Возможные способы переработки	Давление прессования, кгс/см ²	Давление пресс-литья, кгс/см ²
—	30-40	—	-50	0,8-2,5	90-190	Компрессионное и литьевое прессование	300 ± 50	500-1000
0,13-0,15 *	30-38	125		1,9-2,6	90-180			—
—	27,0-31,0	125		—	90-180			500-1000 *
—	—	115			—			—
—	35-40 *	140	90-190		Прямое и горячее прессование	—	—	
0,38 *	25	140	—	3-3,5 *	40-140	Компрессионное и литьевое прессование	450 ± 50	750-1200
—	—	125		80-190	750-1000			
0,1-0,13	30	200		110 (не менее)	110-200			—
—	30-50	145	-50 *	50-70 *	90-190	Компрессионное и литьевое прессование	300 ± 50	500-1000 *
0,18-0,50 *	—	140	-50 *	1,5-4 *	120-200			
—	30-40	200	—	—	160-200			
—	30-50							
—	30	200	—	—	≥ 120	450 ± 5	750-1000 *	
—	—	—	—	—	≥ 150			
—	—	—	—	0,94-2,5	≥ 120			
—	—	—	—	—	60-180	—	—	—

Наименование	Марка	ГОСТ, ТУ, ВТУ	Ударная вязкость, кгс·см/см ² , не менее	Разрушающее напряжение, кгс/см ² , не менее			Модуль упругости при растяжении E · 10 ³ , кгс/см ²
				при растяжении	при сжатии	при изгибе	
Прессовочные порошки антикоррозионные теплопроводные (антегмиты)	АТМ-1	—	1,20—3,0 *	700 *	1000 — 1200*	250—500 *	—
	АТМ-К		0,9 *	300 *	—	≥ 100 *	
	АТМ-1Т		1,0 *	650*	—	≥ 250 *	

Поделочные слоистые пластики на основе

Текстолит, асботекстолит

Текстолит конструкционный	ПТК, 1-й сорт	ГОСТ 5—72	35	1000	1500	1600	40—65
				2500 *1			
	ПТК, 2-й сорт				1300 *1	1500	
	ПТ, 1-й сорт			850	1300	1450	40—65
	ПТ, 2-й сорт		25	680	1200	1200	
	ПТМ-1		30		1200 *1	1300	
	ПТМ-2				2000 *1	—	
					2000	—	
					1200 *1	—	
					0	—	
Текстолит	ПТК-С	ТУ 6-05-031-506—74	35	1000	1500 *1	1500	
					2500	—	
Текстолит графитированный	—	ТУ 6-05-031-486—72	25	1000	1500 *1	1500	
					2500	—	
Асботекстолит	А	ТУ 6-05-898—71	35	650—1190 *	1260—3150 *	1100—900	200—140 *
	Б		27	—	—	—	—
	В Г		25 25	—	—	800 850	—
Гетинакс электротехнический листовой	V—I, V—II	ГОСТ 2718—74	12 *6	900 *7	—	1250 *8	120—210 *
			8	700	—	1050	
	I		12 *6	1000	—	1250	
			8	800 *7	—	1050 *8	
	III		—	900	—	1200 *8	
			—	700 *7	—	1000	
II	12 *6	1000	—	1250			
	8	800 *7	—	1050 *8			
V	12 *6	900 *7	—	—			
	8	700	—	—			

Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость при заданной нагрузке, кгс/мм ²	Теплостойкость по Мартенсу, °С	Морозостойкость, °С	Коэффициент линейного расширения α · 10 ⁵ , 1/°С	Текущая вязкость по Рашигу, мм	Возможные способы переработки	Давление прессования, кгс/см ²	Давление пресс-литья, кгс/см ²
—	—	170 *	—50 *	—0,85 *	—	Компрессионное прессование и экструзия	200 *	—

Фенолоформальдегидных смол и декоративный пластик

~ 1	25—35 *	140	2—4,1	Механическая обработка, штамповка и склеивание
		130		
		140		
		130		
		140		
		130		
		130		
	28—32 *	—		
		—		
		140		
		—		
	30—45 *	150—250 *	1,7—2,5 *	
	28—45 *	—		
		—		
1	25	150	2—3,5 *	Механическая обработка, штамповка при нагревании и склеивание

Наименование	Марка	ГОСТ, ТУ, ВТУ	Ударная вязкость, кгс·см/см ² , не менее	Разрушающее напряжение, кгс/см ² , не менее			Модуль упругости при растяжении E · 10 ³ , кгс/см ²	
				при растяжении	при сжатии	при изгибе		
Древесно-слоистые пластики (ДСП)	ДСП-А	ГОСТ 13913-68	80	2600 **	1800	2800 **	—	
	ДСП-Б				1600 **			
	ДСП-Б-а			2200	1550	2600		
	ДСП-Б-э			3000 **	1850 **	—		
				2500	1650	—		
	ДСП-Б-М **			2600 **	1600 **	2800 **		
				2200	1550	2600		
	ДСП-Б-Т			60	2000	1300		2200
	ДСП-В			70	—	—		—
				30	1400 **	1250 **		1800 **
ДСП-В-э		1100	1200	1500	—			
	25	1300	1000	1400	—			
ДСП-В-М **	30	—	1250	1500	180 *			
ДСП-Г-М	17	—	1000	840	—			
Древесный коротковолокнистый волокнит (ДКВ)	А-ФВ25	—	7	280	1380	660—680	—	
	АТ-ФВ25		—	290	1330	600—660		
	К-ФВ25		8	300	1300	500—700		
	КО-ФВ30		7	280	1350	550—660		
	КО-ФВ35		6	270	1300	550—600		

Полиамиды	Марка	ТУ, ГОСТ	Ударная вязкость	Разрушающее напряжение			Модуль упругости
				при растяжении	при сжатии	при изгибе	
Полиамиды	П-54, С, Н	ТУ 6-05-1032-73	—	450—500	—	280—300	5,6
	П-12/Л, А, Б	ТУ 6-05-1309-72	80—90	400—450	600—630	350	12—18
	П-12Б	ТУ 6-05-081-145-72	50—60	450	—	—	8
	П-610 (П-68)	ГОСТ 10589-73*	100	500—580	700—900	800—900	10—12
	П-АК-93/7	ГОСТ 19459-74	100—130	600—700	1000 *—1200	1000—1200	15—16
	П-АК-80/20		100—130	550—600	700—900	850—900	—
	П-АК-85/15		100—120 *	660—700	—	—	
	П-66 (анид)	МРТУ 6-06-369-74	90—100	800	—	1000—1200	—

Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость при заданной нагрузке, кгс/мм ²	Теплостойкость по Мартенсу, °С	Морозостойкость, °С	Кэф-фициент линейного расширения α · 10 ⁵ , 1/°С	Теку-честь по Раши-гу, мм	Возможные способы переработки	Давле-ние прессова-ния, кгс/см ²	Давление пресс-литья, кгс/см ²
—	—	—	—	—	—	Механическая обработка и склеивание	—	—
—	25	—	—	0,3—0,4 *	—	Компрессионное и литьевое прессование	400—600 *	—
—	—	—	—	—				
—	25	—	—	—				
—	—	—	—	—				
—	25	—	—	—				

амиды		Твердость	Теплостойкость	Морозостойкость	Кэф-фициент линейного расширения	Теку-честь	Возможные способы переработки	Давле-ние прессова-ния	Давление пресс-литья
300—350	—								
70—200	—	45	—40	12,5	—				
250—300	—	85—87 (по Вика)	—45	13—13,5	—				
100—150	10—15	55—60	—60 *	11—12	—				
80—100	—	55—60	—	10—12	—				
200—300	—	50—60	—	9—12	—				
20—40	—	75—76	—	1—9,8	—				
—	—	—	—	—	—				

Наименование	Марка	ГОСТ, ТУ, ВТУ	Ударная вязкость, кгс-см/см ² , не менее	Разрушающее напряжение, кгс/см ² , не менее			Модуль упругости при растяжении E · 10 ³ , кгс/см ²
				при растяжении	при сжатии	при изгибе	
Стеклонаполненные полиамиды	П-610-BC	ТУ П-510-68	25	500	—	900 *	—
	П-610-BCA		20			850 *	
	П-610-BCM						
Полиамид П-6 стеклонаполненный	П-6BC	ТУ 6-05-24-953-74	30	1200	—	1500	—
	П-6BCY		35	1000			
Полиамиды наполненные синтезированные ПНС	610-T10	ТУ 6-05-1034-74	60-80	500-600	800-1000 *	600-700	32
	610-T20		25-40	500-600	800-1000	600-800	35-40
	610-T40		15-20	650-630	—	600-800	—
	ПНС-610-Г10	ТУ 6-05-1034-74	50-80	500-600	800-900	500-700	30
	ПНС-610-ДМ 1,5		50-80	500-600	800-1000	500-700	—
Капрон (смола капроновая литьевая)		ТУ 6-06-309-70	100-120	650	850-1000	900-1000	15
Капролон		МРТУ 6-05-988-66	150-160 *	700-900	1000-1100	800-1000	20-30
Полиамиды гранулированные наполненные и окрашенные	П-610	ТУ 60-67	100	700-800	900-1000	1000	10-12,5
	П-АК-80/20						
Капрон наполненный графитом	КГ-10	ТУ П-455-65	18	1500-1800 *	1200 *	2100-2500 *	75-85 *

Фаолитовые

Фаолит (отвержденный)	A	МРТУ 6-05-1169-69	—	—	—	260-600	—	
	B					120-385		580-900
	T							

Амино

Прессовочные

Аминопласты (массы мочевиноформальдегидные)	A1	ГОСТ 9359-73	6,5	370 *	1000	600	75-100 *
	A2		7,0			750	
	A3		6,0			700	

Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость при заданной нагрузке, кгс/мм ²	Теплостойкость по Мартенсу, °C	Морозостойкость, °C	Кэффициент линейного расширения α · 10 ⁵ , 1/°C	Текучесть по Рашигу, мм	Возможные способы переработки	Давление прессования, кгс/см ²	Давление пресс-литья, кгс/см ²
—	—	140-190	—	1,7-3,0	—	Литье под давлением	—	—
—	—	150-190	—	1,5-3,0	—			
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	60-80	—	4-6	—			
—	—	—	—	3,3-4,8	—			
150-80	10	55-60	—	8-10	—	Прессование, литье под давлением, формование	—	—
10-30	—	74-75	—	6,6-9,8	—	Прессование, литье под давлением	—	200-800 *
—	—	—	—	—	—	—	—	—
2-6 *	20-22 *	195-205 *	—	—	—	Литье под давлением	—	1400 * (не менее)

материалы

—	20	100	—	2-3	—	Формование, прессование, механическая обработка	—	—
---	----	-----	---	-----	---	---	---	---

пласты

материалы

0,2-0,5	35-55	100	—	2,5-5,3 *	70-160	Компрессионное и литьевое прессование	300 ± 50	500-1000 *
		100			70-160			
		120			80-180			

Наименование	Марка	ГОСТ, ТУ, ВТУ	Ударная вязкость, кгс·см/см ² , не менее	Разрушающее напряжение, кгс/см ² , не менее			Модуль упругости при растяжении E·10 ³ , кгс/см ²
				при растяжении	при сжатии	при изгибе	
Пресс-материал	АГ-4В	—	30	800	1300	1200	350 **
	АГ-4С	ГОСТ 5.2218—74	150	5500	2500 * 800	4500	

Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость при заданной нагрузке, кгс/мм ²	Теплостойкость по Мартенсу, °С	Морозостойкость, °С	Коэффициент линейного расширения α·10 ⁵ , 1/°С	Текучесть по Рашигу, мм	Возможные способы переработки	Давление прессования, кгс/см ²	Давление пресс-литья, кгс/см ²
—	26—30	280	—	100—150	—	Компрессионное и литьевое прессование	350 ± 50 *	700—1100 * без предварительного подогрева; 300—800 * с предварительным подогревом
—	—	280	—196	1—1,5 *	—			

Конструкционные и по

Стеклотекстолит конструкционный	КАСТ толщиной, мм: 0,5	ГОСТ 10292—74	Не определяется	3000 *2	1650	3000 *2	1700	3100 *2	1650	Не определяется	Не определяется	160—200 *			
Стеклотекстолит конструкционный	0,8	ГОСТ 10292—74	Не определяется	3000 *2	1650	3000 *2	1700	3100 *2	1650	Не определяется	Не определяется	210 *2 170			
	1,2			2900 *2	1600	2900 *2	1550	2800 *2	1600						
	КАСТ-В толщиной, мм: 0,5			60 *2	2700 *2	50	1550	70 *2	3000 *2				50	1550	
	0,8			Не определяется	3000 *2	—	—	—	—				—	—	
	1,0			90 *2	4000 *2	Не определяется	Не определяется	210 *2	170				65	1600	
	1,2			90 *2	3200	—	1950	—	—				—	—	
	1,5			25 *	800	—	1200	—	—				—	—	
	КАСТ-Р толщиной 1,5 мм			250	4500	3000	5000	280	—				—	—	
	ВФТ-С толщиной 0,8; 1,0; 1,2 мм			ТУ 6-05-1334—70	90 *2	4000 *2	Не определяется	Не определяется	210 *2				170	65	1600
	СК-9Ф			ТУ 6-05-031—452—71	90 *2	3200	—	1950	—				—	60	—
ПСК	ТУ 6-05-1365—70	25 *	800	—	1200	—	—	—	—						
СТЭР—1	МРТУ 5-977-12042—70	250	4500	3000	5000	280	—	—	—						

делочные материалы

Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость при заданной нагрузке, кгс/мм ²	Теплостойкость по Мартенсу, °С	Морозостойкость, °С	Коэффициент линейного расширения α·10 ⁵ , 1/°С	Текучесть по Рашигу, мм	Возможные способы переработки	Давление прессования, кгс/см ²	Давление пресс-литья, кгс/см ²
0,5—1,0	24—35 *	170—185 *	—	1,6 *	—	Механическая обработка, штамповка при нагревании и склеивание	—	—
—	—	250 *	—	—	—			
—	24—35	—	—	—	—	Механическая обработка, штамповка при нагревании и склеивание	—	—
—	32 *	200—248 *	—	0,625	—			
—	—	—	—	—	—	Механическая обработка, штамповка при нагревании и склеивание	25—100 *	—
—	30 *	—	—	—	—			
1—5	—	250	—60	0,6—0,7	—	Компрессионное прессование	30—200 *	—

Наименование	Марка	ГОСТ, ТУ, ВТУ	Ударная вязкость, кгс·см/см ² , не менее	Разрушающее напряжение, кгс/см ² , не менее			Модуль упругости при растяжении E·10 ⁸ , кгс/см ²	
				при растяжении	при сжатии	при изгибе		
<i>Полиформальдегид</i>								
Сополимеры формальдегида СФД	А	ТУ 6-05-1543-72	—	—	—	—	25	
	Б						22	
	В						25	
	Г							
<i>Поликар</i>								
Поликарбонат (дифлон)	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	ТУ 6-05-1668-74	120-140	600-700	800-900	900-1000	22-24	
Поликарбонат стеклонаполненный	СТН	—	35-45	900-1100	1200-1400	1500-2000	60-70	
<i>Пластмассы на основе</i>								
Этрол ацетилцеллюлозный	АЦЭ-55А	ТУ 6-05-1528-72	30	200-500	500-600	500	10-20 (при изгибе)	
	АЦЭ-43А						35	500
	АЦЭ-55АМ						60	300
Этрол ацетилцеллюлозный	АБЦЭ-12	ТУ 6-05-1418-71	40-100	200-400	525-1500	350	450	
	АБЦЭ-15						450	
	АБЦЭ-20						5-12 (при изгибе)	
Целлюлоид белый технический	—	ОСТ 10182-39	—	350	—	500	11,5	

* По литературным источникам.
 *1 Числитель — параллельно, знаменатель — перпендикулярно слоям.
 *2 Числитель — по основе, знаменатель — по утку.
 *3 Числитель — для коротких листов, знаменатель — для длинных.
 *4 Только короткие листы.
 *5 Для многогранного профиля.
 *6 Для гетинакса толщиной 1,2-9,5 мм.

Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость при заданной нагрузке, кгс/мм ²	Теплостойкость по Мартенсу, °С	Морозостойкость, °С	Коэффициент линейного расширения α·10 ⁵ , 1/°С	Текущность по Рашигу, мм	Возможные способы переработки	Давление прессования, кгс/см ²	Давление пресс-литья, кгс/см ²
15	11	—	—	—	—	Литье под давлением, экструзия, прессование	200-250	100-208 *
20								
<i>бонаты</i>								
50-100	10-11	135-140 * 164-166 * (по Вика)	<-100	6-7	—	Литье под давлением, экструзия	—	1500-1700 *
5	15-16	160 (по Вика)	<-100	2,5	—	—	—	—
<i>эфиров целлюлозы</i>								
10-30	5,0	40	—	10-12	10-15 мг/с	Литье под давлением, компрессионное и литьевое прессование с охлаждением формы	300 ± 50	800-2000 *
	5,5							
	5,0							
15-60	5,0	40	-50 *	11-16 *	—	—	275 ± 25	—
	5,0	36						
	4,0	—						
—	6	40	—	10	—	—	—	—

** Для листов толщиной 1 мм и более.
 ** Для листов толщиной 10 мм и более.
 *9 В числителе — в направлении ориентации стеклонитей, в знаменателе — в направлении, перпендикулярном ориентации стеклонитей.
 *10 Временное сопротивление статическому изгибу, в кгс/см².
 *11 Стрела прогиба, мм.

2. Электротехнические свойства

Наименование	Марка	Удельное электрическое сопротивление (не менее)		Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте (не более)		Диэлектрическая проницаемость при частоте		Электрическая прочность, кВ/мм, не менее	Пробивное напряжение, кВ/мм	Дугостойкость, с	Диэлектрическая постоянная при 50 Гц
		объемное, Ом·см	поверхностное, Ом	50 Гц	1 · 10 ⁶ Гц	50 Гц	1 · 10 ⁶ Гц				
Полиэтилен низкой плотности (высокого давления)	15303-003 15602-008 17802-015	1 · 10 ¹⁷	—	—	0,0003	—	2,3	40	—	—	—
	17602-006 15902-020	1 · 10 ¹⁷ *	2 · 10 ¹⁴ *	3 · 10 ⁻⁴ *	0,0006	2,3*	2,5	45—60*	24—40*	—	—
	15802-020 18102-035	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Полиэтилен высокой плотности (низкого давления)	20106-001 20206-002 20606-012 20706-016 20806-024 20306-005 20406-007 20906-040 21006-075	1 · 10 ¹⁷	1 · 10 ¹⁴ *	—	0,0005	—	2,4	40	30*	—	—
Полиэтилен среднего давления	—	1 · 10 ¹⁷ *	1 · 10 ¹⁴	—	(2—4) 10 ⁻⁴ *	—	2,3*	46—60* ¹	—	—	—
Полипропилен	01П10/002, 04П10/010 02П10/003, 05П10/020, 03П10/005	1 · 10 ¹⁶ —1 · 10 ¹⁷	1 · 10 ¹⁶	—	0,0002— 0,0005	—	2,2	28—40	—	—	—

Поливинилхлорид М (массовый)	ПВХ-М70, ПВХ-М56, ПВХ-М67, ПВХ-М64, ПВХ-М59	1 · 10 ¹⁴ —1 · 10 ¹⁶	1 · 10 ¹³ —1 · 10 ¹⁴	0,02	(1,5—1,8) × × 10 ⁻³	4	3,1—3,4	26—60	—	—	—
Пластикат электронизоляционный	ПВХ	1 · 10 ¹⁰ —1 · 10 ¹⁴	1 · 10 ¹⁰ *	0,1	—	4,2—4,5	—	26—28	—	—	—
Фторопласт-4	Сорт 1, 2	1 · 10 ¹⁷	10 ¹⁵	0,0002	0,00025	2,0—2,1	2,1	60	25—27*	250	—
	3	—	—	—	—	—	—	Не определяется			
Фторопласт-4Д	Сорт 1 » 2	1 · 10 ¹⁶	≥ 10 ¹⁷	0,0002— 0,00025	0,0003	1,9—2,2	2,2	25—27	25—27*	250	—
	» 3	Не определяется	—	—	Не определяется	—	—	Не определяется			
Фторопласт-3	Сорт 1, 2, 3	1,0 · 10 ¹⁸	1 · 10 ¹⁷	0,015	0,01	3,0*	2,3—2,6	13—15	—	—	≥ 360
Полиметилкрилатный порошок	Л-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Л-2	1 · 10 ¹³ *	1 · 10 ¹² *	(5 ÷ 6) 10 ⁻²	0,06*	3,0—3,7	3,3*	12*			
Полистирол эмульсионный	ПСЭ-2	—	—	4 · 10 ⁻⁴ *	—	4—6	—	20—22	20*	—	—
Полистирол блочный	ПСМД, ПСМ	1 · 10 ¹⁷	1 · 10 ¹⁶	(1—6) 10 ⁻⁴ *	0,0008	2,5—2,6*	2,6	20—23	25—40*	—	2,5—3,0

Наименование	Марка	Удельное электрическое сопротивление (не менее)		Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте (не более)		Диэлектрическая проницаемость при частоте		Электрическая прочность, кВ/мм, не менее	Пробивное напряжение, кВ/мм	Дугостойкость, с	Диэлектрическая постоянная при 50 Гц		
		объемное, Ом·см	поверхностное, Ом	50 Гц	1 · 10 ⁶ Гц	50 Гц	1 · 10 ⁶ Гц						
Полистирол ударопрочный	УПМ	1 · 10 ¹⁵ —1 · 10 ¹⁶	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	УПС	1 · 10 ¹⁵ —1 · 10 ¹⁶										5 · 10 ⁻⁴ — 7 · 10 ⁻⁴	2,7
	УПК	—										—	
Пластик	СНП-2	1 · 10 ¹⁵	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
Сополимер стирола с α-метилстиролом	САМ	1 · 10 ¹⁶	1 · 10 ¹⁶ *	—	—	—	—	—	—	—	—		
	САМП	1 · 10 ¹⁷										3 · 10 ⁻⁴ — 5 · 10 ⁻⁴	20—24
Сополимер	МСН	4 · 10 ¹⁶	1 · 10 ¹⁵	—	—	—	—	—	—	—	—		
Прессовочные порошки специального назначения типа Сп	Сп1-342-02 Сп2-342-02 Сп3-342-02	5 · 10 ¹²	1 · 10 ¹³	0,028— 0,016*	0,04—0,06	10,2—10,8*	5—6*	13,5	—	—	—		
Прессовочные порошки электроизоляционные типа Э	Э1-340-02	5 · 10 ¹²	5 · 10 ¹³	0,08	—	—	—	—	—	—	—		
	Э2-330-02											0,01*	13
	Э3-340-61	1 · 10 ¹⁴	1 · 10 ¹⁴	—	—	—	—	—	—	—	—		
	Э3-340-65											0,042*	7,5—9,6
	Э6-014-30	1 · 10 ¹³	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	Э7-361-73	5 · 10 ¹²	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	Э8-361-63											0,01	7*
Э9-342-73	5 · 10 ¹²	1 · 10 ¹³	0,08	—	—	—	—	—	—	—			
Э10-342-63	5 · 10 ¹²	—	0,09	—	—	—	—	—	—	—			
Э11-342-63	5 · 10 ¹²	—	0,08	—	—	—	—	—	—	—			
Гетинакс электро-технический листовой	I	1 · 10 ¹⁰	1 · 10 ⁸	—	—	—	—	—	—	—	—		
	II											0,08*	8*
	III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	У-1, У-2											13* ⁴	
	V											25* ⁴	
	VI	1 · 10 ¹⁰	1 · 10 ¹⁰	0,045	0,06	—	—	—	—	—	—	—	
	VII	1 · 10 ¹¹	1 · 10 ¹¹	0,045	—	—	—	—	—	—	—		
Древесно-слоистые пластики (ДСП)	ДСП-А	0,7 · 10 ¹² *	5,1 · 10 ¹¹ *	0,075	—	—	5,5*	7,3—7,7*	2,2—3,1*	—	—		
	ДСП-Б ДСП-Б-а ДСП-Б-э ДСП-Б-т											32,4*	
	ДСП-В ДСП-В-3 ДСП-В-М											12,5	
	ДСП-Г ДСП-Г-М											2,8	
ДСП-Г ДСП-Г-М	7,3 · 10 ⁸	—	—	—	—	—	7,9*	—	—	—			

Наименование	Марка	Удельное электрическое сопротивление (не менее)		Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте (не более)		Диэлектрическая проницаемость при частоте		Электрическая прочность, кВ/мм, не менее	Пробивное напряжение, кВ/мм	Дугостойкость, с	Диэлектрическая постоянная при 50 Гц
		объемное, Ом·см	поверхностное, Ом	50 Гц	1·10 ⁶ Гц	50 Гц	1·10 ⁶ Гц				
Аминопласты (массы пресовочные мочевиноформальдегидные)	В1	1·10 ¹¹	1·10 ¹²	0,5	0,02*	5-9*	7,9*	12	10-16*	10	—
	В2	1·10 ¹²	1·10 ¹³	0,3				13			
	В3		1·10 ¹³					14			
	В4	—	1·10 ¹²	0,5				12			
	В5		—	0,3				12			
	Г1	1·10 ¹²	2·10 ¹⁴	0,2				18			
	Г2		1·10 ¹³	0,2				14			
	Д1		1·10 ¹²	0,6				5,0			
Е1	1·10 ¹²		—	7,0							
Пресовочный материал	АГ-4В	1·10 ¹²	1·10 ¹³	0,363	0,05	10-21*	8,0	13	13*	5	—
	АГ-4С			0,108*							
Стекло-текстолит конструкционный	КАСТ	1·10 ¹³ *	1·10 ¹⁰ *	(2-3) 10 ⁻² *	0,016*	4,5-5,5*	5,7*	0,6	11-26*	2-4*	—
	КАСТ-В	3·10 ¹² *	2·10 ¹² *	—	0,018	—	5,3	23	11-24*		

Стекло-текстолит	ВФТ-С	(1-10) 10 ¹²	10 ¹³	—	0,01	—	5,7-6,15	20	—	—	—
	СТЭ-Р-1	1,7·10 ¹⁴ *	—	—	0,18	—	—	5,4*	—	—	—
Полиамиды	П-610 (П-68)	1·10 ¹⁴	1·10 ¹⁵ -2·10 ¹⁵	—	(1,7-3)×10 ⁻²	—	3,4-4,0	20	—	—	—
	П-12-П А, Б	6·10 ¹⁴ -5·10 ¹⁵	(2 ÷ 7)·10 ¹⁵	—	2·10 ⁻² -2,5·10 ⁻²	—	3-3,5	22-25	—	—	—
	П-АК-93/7	2·10 ¹⁴	1,0·10 ¹⁴ -1·10 ¹⁵	—	3,3·10 ⁻²	—	4,6	22	—	—	—
	П-АК-80/20	1,5·10 ¹⁴	1,0·10 ¹³ -1·10 ¹⁴	—	6,5·10 ⁻²	—	3,6	20-21	—	—	—
	П-АК-85/15	1·10 ¹³	1,0·10 ¹⁴ -1·10 ¹⁵	—	3·10 ⁻²	—	3,5-4,0	20-22	—	—	—
Стекло-наполненные полиамиды	П-610-ВС П-610-ВСА П-610-ВСМ	1·10 ¹⁴	1·10 ¹⁵ -1,5·10 ¹⁵	—	2·10 ⁻² -3,5·10 ⁻²	—	3,5	25-30	—	—	—
Полиамид П-6 стекло-наполненный	П-6ВС	1·10 ¹³ *-1·10 ¹⁴	1·10 ¹⁴ -1·10 ¹⁵	—	3·10 ⁻² -4,1·10 ⁻²	—	3,5-4,2	—	20-22	—	—
	П-6ВСУ	—	—	—	—	—	—	—	25-30	—	—
Полиамиды наполненные синтезированные ПНС	ПНС-610-Т10 ПНС-610-Т20 ПНС-610-Т40	1·10 ¹⁴ -1·10 ¹⁵	1·10 ¹⁵ -1·10 ¹⁶	—	(1,5-2,5)×10 ⁻²	—	3,5	—	25-30	—	—

Наименование	Марка	Удельное электрическое сопротивление (не менее)		Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте (не более)		Диэлектрическая проницаемость при частоте		Электрическая прочность, кВ/мм, не менее	Пробивное напряжение, кВ/мм	Дугостойкость, с	Диэлектрическая постоянная при 50 Гц
		объемное, Ом·см	поверхностное, Ом	50 Гц	1 · 10 ⁶ Гц	50 Гц	1 · 10 ⁶ Гц				
Полиамиды гранулированные наполненные и окрашенные	П-610	4 · 10 ¹⁴	1 · 10 ¹⁵ —2 · 10 ¹⁵	—	(1,7—3,0) × 10 ⁻²	—	3,4—4,0	—	22	—	—
	П-АК-80/20	1,5 · 10 ¹⁴	1 · 10 ¹⁵ —1 · 10 ¹⁶	—	6,5 · 10 ⁻²	—	3,6	—	20—21	—	—
Поликарбонат (дифлон)	1-9	5 · 10 ¹⁶	1 · 10 ¹⁵ *	5 · 10 ⁻⁴	0,01	2,6—3,0	20—25	100	20	—	7
Этрол ацетиленцеллюлозный	АЦЭ-55А АЦЭ-43А АЦЭ-55АМ	1 · 10 ¹⁰ *— 1 · 10 ¹³	—	0,9 · 10 ⁻² — 7,2 · 10 ⁻²	5 · 10 ⁻² — 7 · 10 ⁻²	5,0—7,0	4,0—5,0	—	24—32	—	—
	АБЦЭ-12 АБЦЭ-15 АБЦЭ-20 АБЦЭ-10 АБЦЭ-15-5	1 · 10 ¹² —1 · 10 ¹⁶	—	0,5 · 10 ⁻² — 7 · 10 ⁻²	0,021—0,031	—	—	—	31—36	—	—

* По литературным источникам.

*1 Параллельно осям.

*2 Перпендикулярно слоям, толщина образца до 1 мм.

*3 Перпендикулярно слоям, толщина образца св. 1 до 2 мм.

*4 Перпендикулярно слоям, толщина образца св. 2 до 3 мм.

При выборе марки пластмассы следует исходить из назначения детали и условий, в которых она будет эксплуатироваться. Успешное решение задачи по конструированию детали возможно лишь при учете характерных для пластмасс различных свойств в зависимости от условий эксплуатации и методов переработки.

При выборе пластмасс необходимо стремиться к наиболее полному использованию их возможностей, к тому, чтобы готовая деталь не только удовлетворяла своему назначению, но и имела минимальную стоимость.

При конструировании детали необходимо знать, какие нагрузки будет воспринимать деталь, в каких условиях она будет работать. Высокая рабочая температура снижает прочностные показатели материала. Некоторые пластмассы в процессе работы способны поглощать определенное количество атмосферной воды, что изменяет механические свойства и размеры детали. Наряду с пластмассами неблагоприятно действуют различные масла, кислоты и другие вещества. Выбор пластмассы определяется в значительной степени характером нагрузки. При динамических нагрузках важное значение имеют зависимость прочности материала от скорости нагружения, чувствительность к надрезу, чувствительность к удару. В некоторых случаях выбор пластмассы и конструкции детали возможен лишь после необходимых испытаний материала в разнообразных условиях. Выбор материала должен быть очень конкретным, так как даже в пределах химически однородной группы диапазон свойств может быть очень широк.

Сведения по физико-механическим, технологическим и электротехническим свойствам пластмасс, а также по их выбору приведены в табл. 1—2.

Механические характеристики пластмасс (табл. 1) в зависимости от состава композиций (типа и количества исходных полупродуктов, отвердителей, пластификаторов, наполнителей и др.) и особенностей технологического процесса изготовления изделий колеблются в довольно широких пределах.

РЕКОМЕНДУЕМОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТМАСС

Полиэтилен низкой плотности (высокого давления) — изготавливают детали высокочастотных устройств и изоляцию высокочастотных и ультравысокочастотных кабелей и проводов, трубы напорные; емкости и контейнеры для хранения агрессивных жидкостей; зубчатые колеса, работающие с малой нагрузкой в интервале температур от -60 до +80° С, а также в условиях тропического климата; капельницы к ил-люминаторам, антикоррозионные покрытия металлических деталей.

Полиэтилен высокой плотности (низкого давления) — трубы, шланги, пленки, детали высокочастотных установок и радиоаппаратуры, вентили, краны, золотники, бесшумные зубчатые колеса, работающие с малой нагрузкой. Изделия, которые соприкасаются с пищевыми продуктами, изготавливать запрещается.

Полиэтилен среднего давления — трубы, шланги, пленки, арматуру, устойчивую к коррозии; емкости для транспортировки и хранения агрессивных жидкостей, антикоррозионные покрытия металлических изделий, детали высокочастотных установок и радиоаппаратуры, изделия медицинского назначения, подвергающиеся стерилизации, бытовые изделия с повышенной теплостойкостью.

Полипропилен — трубы, зубчатые колеса, химическую аппаратуру, вентили, арматуру, изоляцию проводов.

Полипропилен стеклонеполненный — детали высокочастотной изоляции.

Поливинилхлорид М массовый — прокладочный и герметизирующий, химически стойкий материал для работы при температуре от -15 до +40° С. Изготавливают пленки, шланги, изоляцию.

Винипласт листовой — детали, работающие в агрессивных средах при температуре от 0 до 40° С (детали кислотных и щелочных насосов, различную химическую аппаратуру), прутки сварочные для винипласта по ВТУ ГХП 90—48, трубы, стержни и профильные изделия по ТУ 4251—54, тройники, крестовины, баки для формирования аккумуляторных пластин, прямоугольные и вертикальные сосуды.

Пенопласт плиточный — применяют в качестве заполнителя в армированных конструкциях клеевых соединений с металлами, слоистыми пластмассами и деревом при температуре ±60° С, а также в качестве тепло- и звукоизоляционного материала, используемого при температуре ±60° С, особенно в сырых помещениях.

Пенопласт — теплоизоляционный наполнитель внутренних полостей различных слоистых конструкций силового, тепло-, звуко- и электроизоляционного назначения при любой относительной влажности. Применяют также для изготовления фасонных деталей, амортизаторов, упругих, мягких и звукоизолирующих прокладок, спасательных средств и спортивного инвентаря.

Фторопласт-4 — применяют как уплотнительный материал в аппаратуре, работающей с фтором (прокладки, сальниковые набивки, манжеты). Изготавливают электро- и радиотехнические изделия: пластины, кольца, диски, цилиндры, а также подшипники.

Фторопласт-4Д — тонкостенные трубы, изоляцию проводов, стержней и других профильных изделий. Водную суспензию фторопласта-4Д применяют для получения антикоррозионных покрытий металлов (кроме меди и ее сплавов).

Фторопласт графитонаполненный — подшипники скольжения, уплотнения и другие детали узлов трения, работающих без смазки или в агрессивных средах.

Фторопласт-3 — уплотнительные детали, работающие при высоких давлениях; прокладки, работающие в агрессивной среде при давлении 32 кгс/см² и рабочей температуре от -70 до +50° С; детали для клапанов кислородных приборов, работающих при давлении 150—200 кгс/см², мембраны; в качестве диэлектрика для особо ответственных деталей, как антикоррозионный материал в виде покрытий. Из фторопласта-3, наполненного фарфоровой или кварцевой мукой, изготавливают сложные детали.

Полиметилкрилатный порошок — детали, не несущие нагрузок и не подвергающиеся нагреву: колпачки, индексы, шкалы и др. Порошок Л-2 применяют для деталей с повышенной стойкостью к маслу, воде, бензину, щелочи.

Сополимер — мебельную фурнитуру: масленки, корпуса приборов, ручки; остекление приборов, изготовление линз, шкал, панелей.

Полистирол эмульсионный — аккумуляторные баки, детали холодильников, каркасы катушек, детали конденсаторов, панели и изоляторы. Полистирол эмульсионный применяют преимущественно для деталей высокочастотной техники, работающей в интервале температур от -60 до +80° С.

Полистирол блочный — для электроизоляционных деталей рекомендуется марка ПСМД; для деталей холодильников, конденсаторов — марка ПСМ.

Полистирол суспензионный и его сополимеры — детали технического назначения и предметы широкого потребления, ПС-СУ₂ — для внутренней облицовки домашних холодильников и емкостей для хранения пищевых продуктов в холодильниках.

Полистирол ударопрочный — рассеиватели, крупногабаритные детали технического назначения, предметы широкого потребления.

Полистирол стеклонаполненный — детали, обладающие повышенной теплостойкостью, жесткостью, размерной стойкостью, панели для приборов легковых автомобилей, корпуса топливных насосов, кожухи двигателей грузовых автомобилей, крышки карбюраторов, фильтры масляных насосов.

Гранулированный сополимер — емкости под агрессивные среды, угольники, коробки.

Сополимер стирола с α-метилстиролом — детали высокочастотной изоляции: каркасы, ламповые панели, колодки.

Прессовочные порошки общего назначения типа О (группы О1, О2, О3) — приборы зажигания автомобильной промышленности, ручки управления, кнопки, маховички, корпуса приборов, диски установочные, штепсельные розетки, зажимные винты к светильникам, стойки настольных ламп.

Прессовочные порошки специального назначения типа Сп (группы Сп1, Сп2 и Сп3) — детали, работающие в контакте с металлами специального назначения: плиты, колодки потенциометров, втулки, ручки.

Прессовочные порошки электроизоляционные: типа Э: группы Э1 и Э2 — колодки потенциометров, реостатов, кабельные коробки, ламповые панели; патроны для ламп типа СМ-37, для ножевых разъемов и колодок, клеммные платы; группы Э3 — технические изделия с высокими электроизоляционными показателями и повышенной водостойкостью, изготавливаемые методом горячего прессования;

типа Э, группы Э6, Э7, Э8 — детали высокочастотных устройств, работающих при частоте тока 10⁶ Гц, повышенной теплостойкости: платы печатных схем, ламповые панели, штепсельные разъемы, цоколи радиоламп, контурные и высокочастотные катушки, конденсаторы;

типа Э, группы Э9 — детали радиотехнического назначения: платы печатных схем, ламповые панели, штепсельные разъемы;

типа Э, групп Э10, Э11 — детали со стабильными диэлектрическими характеристиками, эксплуатируемые в условиях повышенной влажности и температуры; армированные детали, коллекторы к электродвигателям, изоляционные втулки.

Прессовочные порошки влагохимстойкие типа Вх, групп Вх1, Вх2, Вх3 — детали повышенной кислото- и водостойкости, пригодные для работы в тропических условиях. Аккумуляторные баки, крышки и пробки аккумуляторных баков, кислото- и водостойкие платы для футеровки аппаратуры, покрытия полов и облицовки стен.

Фенолит (группа Вх6) — детали, работающие в атмосфере высокой влажности, в воде и растворах кислот.

Пресс-материалы ударопрочные: типа У, групп У1, У2, — детали повышенной прочности на удар, изгиб и кручение и невысоких диэлектрических свойств даже при низких частотах: переключатели, фланцы, зубчатые колеса, кулачки, рукоятки штурвалов, маховичков;

типа У, группы У3 — высоковольтные коллекторы моторов, электроизоляционные детали, несущие повышенные механические и тепловые нагрузки, клеммные колодки, электрические панели.

Прессовочные порошки жаростойкие типа Ж: группы Ж1 — детали, работающие в условиях повышенной влажности и тропического климата, группы Ж2, Ж3 — изделия технического и бытового назначения, группы Ж4 — для опресковки радиоконденсаторов.

Пресс-материалы тормозные — тормозные диски эскалаторов, подъемных кранов, тормозные колодки для экскаваторов, диски сцепления мотоциклов, изделия, к которым предъявляются повышенные требования в отношении механической прочности, теплостойкости и фрикционных свойств, например тормозные колодки вагонов метро.

Прессовочные порошки антикоррозионные теплопроводные (антегмиты) — аппараты и трубопроводы, работающие под небольшим давлением; теплообменная аппаратура, стойкая к агрессивным средам; втулки и вкладыши подшипников, работающие в паре с чугунной осью; кристаллизаторы.

Текстолит конструкционный — зубчатые колеса, направляющие ролики, червячные колеса; из ПТК изготавливают кольца и колодки втулок для винтов самолетов, амортизационные прокладки для подмоторных рам, электроизоляционные детали при частоте тока до 50 Гц; из ПТ 1-го сорта — ручки, клеммы, выравнивающие и амортизационные прокладки, силовые бобышки; из ПТ 2-го сорта — детали, работающие при низких нагрузках. Из ПТМ-1 и ПТМ-2 изготавливают вкладыши подшипников прокатных станков и другие изделия механического назначения.

Текстолит — вкладыши подшипников прокатных станков.

Текстолит графитированный — детали, работающие на трение.

Асботекстолит — детали механизмов сцепления, прокладки, работающие при повышенной температуре; тормозные устройства, клинья и распорки в роторах турбогенераторов.

Гетинакс электротехнический листовой — детали электромашин, телефонную аппаратуру, радиотехнические изделия; панели распределительных устройств, изоляторы проводов, детали крепления токоведущих частей, щиты коммутаторов.

Древеснослоистые пластики (ДСП) — ДСП-Б применяют для вкладышей подшипников, втулок, матриц для вытяжки и штамповки металла, для деталей, испытывающих повышенные нагрузки в одном направлении; ДСП-В используют для подшипников, втулок и электроизоляционных деталей; ДСП-Г — для крупных деталей с равномерной структурой материала, а также для зубчатых колес, деталей аппаратуры высокого напряжения, электрических машин, трансформаторов, деталей мебели; может служить заменителем цветных металлов и бакаута.

Древесный коротковолокнистый волокнит (ДКВ) — антифрикционные детали, работающие при скорости скольжения до 2 м/с, корпусные детали типа крышек, изделия народного потребления (под пищевые продукты); заменитель бронзы, чугуна и других антифрикционных материалов при изготовлении деталей узлов трения.

Фаолит — кислотостойкое оборудование: трубы, арматуру, распределительные щитки (вместо мраморных досок), центробежные насосы.

ДОПУСКИ И ПОСАДКИ

Аминопласты (массы прессовочные мочевиноформальдегидные) — детали различного назначения, несложной конфигурации, преимущественно тонкостенные и неармированные, с удовлетворительной механической прочностью и пониженными диэлектрическими свойствами даже при низких частотах: шкалы, колпачки, воздухо-распределители; марка А1 — для просвечивающих изделий; А2 — для непрозрачных изделий.

Пресс-материал — детали высокого класса точности, любой конфигурации, различных габаритов, с арматурой и резьбой, работающие в интервале температур от -60° до $+200^{\circ}$ С, а также в тропических условиях; детали, выдерживающие большие инерционные перегрузки; детали судовой вентиляции, судовых дверей: задрайки, ручки задраек; детали трубопроводной арматуры; верхняки шахтной крепи, рейки для монтажа магнитных станций управления.

Стеклотекстолит конструкционный — применяют в самолето-, машино- и судостроении, в электро- и радиотехнике: электрораспределительные устройства, щиты, панели.

Стеклотекстолиты — радио- и электротехнические изделия; пазовую изоляцию электромашин, панелей; детали, изготавливаемые способом намотки: втулки, каркасы; легкие судовые переборки, детали оборудования и судовой мебели; детали с повышенной теплостойкостью и механической прочностью, гребные винты и отдельные лопасти винтов, крылатки водяных насосов, корпуса и арматура электроизоляционного назначения.

Полиамиды — прокладки для машин, покрытия для защиты тары от грибков; пленки, клеи. Из П-610 изготавливают детали судовой арматуры, скобяные изделия, фурнитуру; втулки, вкладыши подшипников, зубчатые колеса, винты и другие детали, работающие в интервале температур от -60 до $+100^{\circ}$ С. Зубчатые колеса из полиамида хорошо поглощают ударные нагрузки, долговечны, бесшумны и работают в условиях недостаточной смазки. Подшипники тонкостенные могут работать при удельном давлении 50 кгс/см^2 со скоростью $0,5 \text{ м/с}$, при 300 кгс/см^2 со скоростью $0,1 \text{ м/с}$.

Полиамид стеклонаполненный — используется как и полиамиды П-610, предназначен также для изготовления деталей в электро- и радиотехнической промышленности и в машиностроении.

Полиамид П-6, армированный стеклотканью, — детали, работающие в узлах трения с затрудненной смазкой или без смазки при температурах от -60 до $+100^{\circ}$ С (зубчатые колеса, вкладыши, лопасти, винты).

Полиамиды наполненные синтезированные — точные корпусные детали пневмоэлементов, вкладыши подшипников, зубчатые колеса.

Литьевой материал — электроизоляционные покрытия проводов, технические детали, работающие в условиях повышенной температуры (до 200° С) и повышенной влажности: корпуса и детали приборов, электроаппаратуру, дугогасящие камеры для контакторов, панели печатных схем, изоляционные шайбы, каркасы, клеммные колодки, радиотехнические детали, работающие при повышенных температурах, а также радиотехнические детали, работающие в поле высокой частоты при температуре 250° С.

Сополимеры формальдегида СФД — зубчатые колеса, кулачковые механизмы, вкладыши подшипников скольжения, арматуру для водопроводов, детали автомобилей, бытовых холодильников, электротехнические детали, игрушки.

Поликарбонат (дифлон) — конструкционный материал для деталей приборостроения и радиотехники.

Поликарбонат стеклонаполненный — детали с арматурой и без арматуры для приборостроения и машиностроения, крепежные изделия (гвозди, болты, заклепки, винты), изделия бытового назначения.

Этрол ацетилцеллюлозный, этрол ацетобутиратцеллюлозный — детали технического назначения, штурвалы, кнопки, рукоятки, рычаги переключения, для облицовки радиоприемников. Марку Д-30 применяют также для изготовления прозрачных изделий.

Целлулоид белый технический — прозрачные детали к приборам, планшеты, чертежные инструменты, для остекления измерительных приборов.

ДОПУСКИ И ПОСАДКИ НА ГЛАДКИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Допуски и посадки для деталей из пластмасс размерами от 1 до 500 мм, сопрягаемых с металлическими или пластмассовыми деталями, регламентированы ГОСТ 11710—71.

Поля допусков и посадки следует применять, как указано в приложении к ГОСТ 7713—62*, а дополнительные — в ГОСТ 11710—71.

Поля допусков для металлических деталей, соединяемых с деталями из пластмасс, принимают по табл. 1, для деталей из пластмасс в соединениях с металлическими или пластмассовыми деталями, а также для ответственных несопрягаемых деталей из пластмасс — по табл. 2.

1. Поля допусков для металлических деталей, соединяемых с деталями из пластмасс

Поверхности (система)	Поля допусков	ОСТ	Поверхности (система)	Поля допусков	ОСТ
Охватывающие (отверстия)	A_{2a}	ОСТ НКМ 1016*	Охватываемые (валы)	B_{2a}	ОСТ НКМ 1026*
	A_3	ОСТ 1013*		B_3	ОСТ 1023*
	A_{3a}	ОСТ НКМ 1017*		B_{3a}	ОСТ НКМ 1027*
	A_4	ОСТ 1014*		B_4	ОСТ 1024*

Схемы расположения полей допусков в посадках по системе отверстия и в посадках по системе вала даны в ГОСТ 11709—71*.

Допуски на неотчетливые размеры деталей из пластмасс назначают по 7, 8, 9 и 10-му классам точности ОСТ 1010.

Допуски относительно номинального размера располагают: в «плюс» — для охватывающих размеров ($A_7; A_8; A_9; A_{10}$); в «минус» — для охватываемых размеров ($B_7; B_8; B_9; B_{10}$) и симметрично — для остальных размеров ($См_7; См_8; См_9; См_{10}$).

Предельные отклонения и допуски, установленные ГОСТ 11710—71, а также рекомендации по выбору посадок с натягом и переходных относятся к деталям из пластмасс, размеры которых определены при нормальной температуре 20° С и относительной влажности воздуха 65%.

Усадка деталей из пластмасс продолжается в течение длительного времени после охлаждения до 20° С, но носит затухающий характер. Поэтому размеры деталей, изготовленных прессованием и литьем под давлением, контролируют после выдержки [10].

Класс точности	3—3а	4—6	7—10
Выдержка, ч, не менее	12	6	3

В приложении к ГОСТ 11710—71 приведены рекомендации по выбору посадок с натягом и переходных в зависимости от марки пластмассы и вида соединения, работающего при нормальной температуре и влажности воздуха.

2. Поля допусков для деталей из пластмасс в соединениях с металлическими или пластмассовыми деталями и для ответственных несопрягаемых деталей из пластмасс

Поверхности (система)	Поля допусков	ОСТ или ГОСТ	Поверхности (система)	Поля допусков	ОСТ или ГОСТ
	Pr^{2}_{2a} X_{2a}	ОСТ НКМ 1016*		$A_{2a} = C_{2a}$ Pr^{2}_{2a}	ОСТ НКМ 1026*
	$B_3 = C_3$ X_3 $Ш_3$	ОСТ 1013*		$A_3 = C_3$ X_3 $Ш_3$ $A_{3a} = C_{3a}$	ОСТ 1023* ОСТ НКМ 1027*
	$B_{3a} = C_{3a}$	ОСТ НКМ 1017*		$A_4 = C_4$ X_4	ОСТ 1024*
	$B_4 = C_4$ X_4	ОСТ 1014*			
Охватываемые (валы)	H_3 Pr^{2}_{3a} Pr^{1}_{3a} H_{3a} Pr^{2}_{4} Pr^{1}_{4} $Ш1_4$ $Ш2_4$ $Ш_{п4}$ C_{4a} X_{4a} C_6	ГОСТ 11710—71	Охватываемые (отверстия)	H_3 Pr^{2}_{3a} Pr^{1}_{3a} H_{3a} Pr^{2}_{4} Pr^{1}_{4} $Ш1_4$ $Ш2_4$ $Ш_{п4}$ C_{4a} X_{4a} C_6	ГОСТ 11710—71

Точность изготовления деталей. Точность размеров деталей из пластмасс, изготовляемых литьем под давлением и прессованием, зависит от колебания расчетной усадки материала, конфигурации и габаритных размеров детали, способа подготовки сырья, точности и конструкции пресс-форм, величины технологических уклонов и технологических режимов.

Достижимые классы точности для элементов деталей простой геометрической формы, имеющих свободную усадку, а также расположенных в одной части пресс-формы, и для деталей, обрабатываемых резанием, приведены в приложении к ГОСТ 11710—71.

В соединениях с натягом механическая обработка сопрягаемых поверхностей деталей из пластмасс не оказывает существенного влияния на несущую способность соединения, а для деталей из пластмасс некоторых марок, например 03—010—02, в соединениях их с металлическими деталями даже несколько ее увеличивает [49].

Исследования подвижных пластмассовых соединений показали следующее: снятие поверхностного слоя несколько усиливает интенсивность поглощения влаги пластмассовой деталью;

износ поверхности пластмассовой детали после обработки резанием не увеличивается;

пластмассовые детали, обработанные резанием, лучше прирабатываются в процессе эксплуатации.

При назначении допусков на пластмассовые детали следует также учитывать эксплуатационные требования к ним и экономическую целесообразность ужесточения допусков.

В большинстве случаев детали из пластмасс изготавливают в пределах 5—7-го классов точности. Ужесточение допусков на изготовление оформляющих частей пресс-формы и выбор прессовочных материалов, обладающих малой усадкой, позволяют получить некоторые элементы по 4-му и даже 3-му классу точности.

При изготовлении деталей, оформляемых в одной части пресс-формы, можно получать размеры с более жесткими допусками (4—5-го классов точности). Размеры, зависящие от подвижных частей пресс-формы, в том числе межосевые и расположенные в двух частях формы перпендикулярно направлению ее замыкания, можно получать с менее жесткими допусками (5—7-го классов точности). Размеры, оформляемые в двух и более частях формы вдоль направления замыкания формы, можно назначать с еще более расширенными допусками (7—9-го классов точности).

При назначении классов точности для несопрягаемых ответственных деталей, получаемых прессованием и литьем под давлением, можно руководствоваться следующими данными.

Величина колебания расчетной усадки при формообразовании, %	До 0,1	Св. 0,1 до 0,16	Св. 0,16 до 0,25	Св. 0,25 до 0,4	Св. 0,4 до 0,6	Св. 0,6 до 1,0
Класс точности по ОСТ	7	7	8	9	10	10*

* Класс достижим при повышенной точности изготовления.

Как показали исследования [10, 37], основным фактором, определяющим суммарную погрешность изготовления деталей прессованием или литьем, является колебание усадки детали.

В табл. 3 приведены величины колебаний значений расчетной усадки при формообразовании пластмассовых деталей и группы точности.

3. Группы точности деталей в зависимости от колебаний расчетной усадки

Группы точности для степени изготовления		Приблизительное соответствие классам точности по ОСТ 1010	Колебание расчетной усадки, %	Термопласты	Реактопласты
повышенной	нормальной				
ГП-III	ГП-IV	3—3а	До 0,1	Сополимеры полистирола МС-2, МС-3, МСН	—
ГП-IV	ГП-V	3а—4	Св. 0,1 до 0,16	Композиция АГ-4	Фенопласты порошкообразные К-6, К-6Б, КФ-3, КФ-3Н
ГП-V	ГП-VI	4—5	Св. 0,16 до 0,25	Полиуретан АУ-1, полиамиды	Фенопласты порошкообразные ОФП-6, фаолит. Фенопласты волокнистые ТВФЭ-2, АГ-4, текстолитовая крошка
ГП-VI	ГП-VII	5—7	Св. 0,25 до 0,40	Полистирол блочный	Фенопласты порошкообразные 03-010-02, Э8-361-63, монолиты, аминопласты марок А и В, фенопласт волокнистый «волокнит»
ГП-VII	ГП-VIII	5—7	Св. 0,40 до 0,60	Полистирол эмульсионный, капрон	Фенопласты порошкообразные, волокнистые, пресс-массы КМК-9
ГП-VIII	По согласованию с заказчиком	7—8	Св. 0,60 до 1,00	Этролы	—
По согласованию с заказчиком	—	—	Св. 1,00	Полиэтилен	—

При конструировании детали всегда должно соблюдаться неравенство

$$\delta \geq \Delta_{\text{полн}} = \delta_T + \Delta_{\text{укл}},$$

где δ — конструкторский допуск; δ_T — технологический допуск; $\Delta_{\text{укл}}$ — погрешность за счет технологического уклона.

Если это неравенство не обеспечивается методами прессования или литья, то необходимую точность следует получать механической обработкой. Технологический допуск на неточности изготовления деталей учитывает усадочные деформации деталей, является величиной, ограничивающей погрешности изготовления детали и характеризующей экономически достижимую точность изготовления.

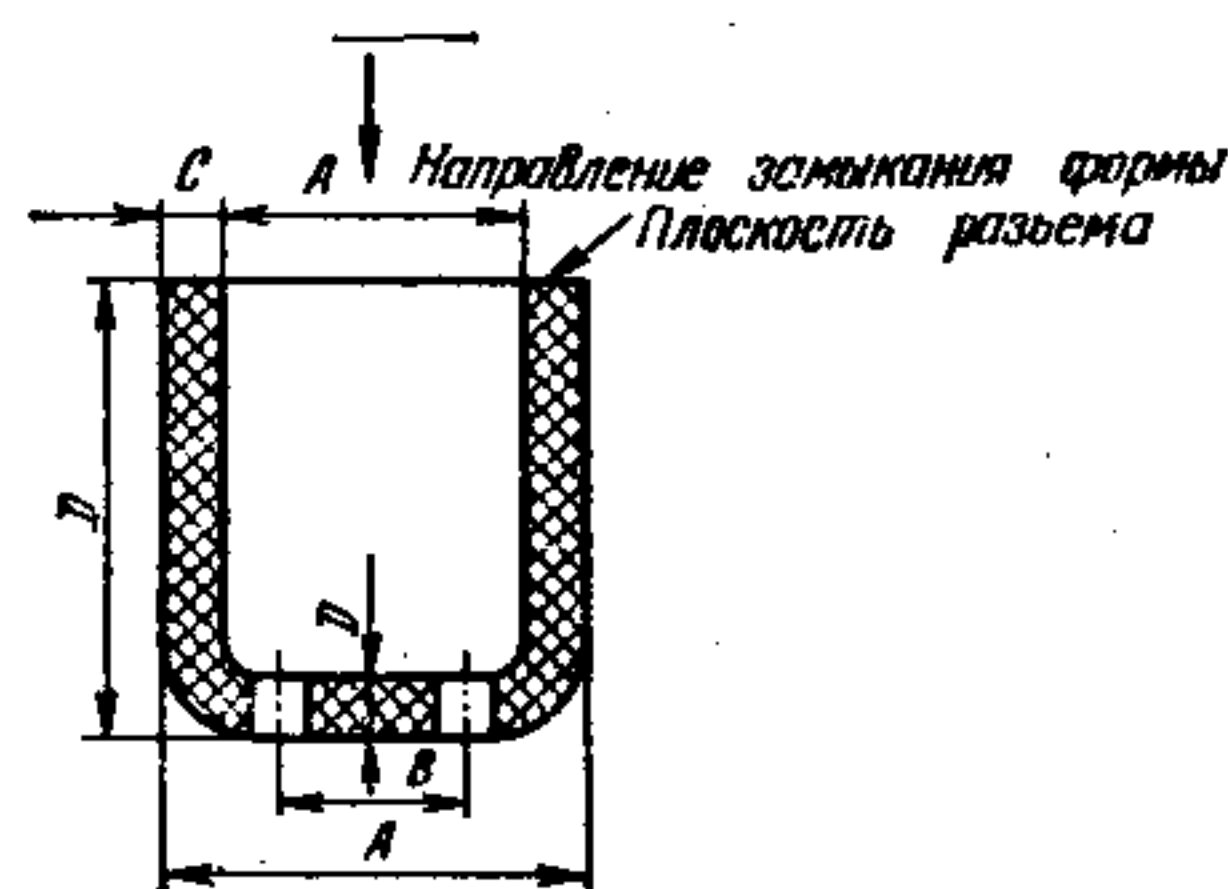
Величина технологического допуска σ_T (в мкм) может быть определена следующим образом:

$$\sigma_T = a i_T \geq \Delta_{\text{сум}}; i_T = 0,025L + 0,6,$$

где a — число единиц допуска, принимающее значения 25, 40, 64, 100, 160, 250, 400, 640 соответственно в группах точности ГП-I — ГП-VIII; i_T — единица технологического допуска; L — номинальный размер детали.

В табл. 4 приведена классификация размеров деталей в зависимости от расположения их в форме.

4. Классификация размеров деталей из пластмасс



Тип размеров	Характерные примеры размеров	Причины, влияющие на точность изготовления
Размеры A элементов деталей, оформляемые в одной части формы	Наружные и внутренние	Колебание величины усадки при формообразовании
Размеры B элементов деталей, оформляемые в одной части формы, но зависящие от подвижных частей формы, в том числе межосевые размеры между отверстиями и арматурой	Межосевые	Колебание величины усадки и точность положения отдельных подвижных частей формы
Размеры C элементов деталей, оформляемые в двух и более частях формы и связанные с подвижными частями формы (поперек оси приложения усилия замыкания формы)	Толщина стенок	Колебание величины усадки и зазоров в подвижных частях формы
Размеры D элементов деталей, оформляемые в двух и более частях формы вдоль оси приложения усилия замыкания формы	Наружные и внутренние размеры, зависящие от толщины облоя	Колебание величины усадки и зазоров в подвижных частях формы, тип наполнителя данной марки пластмассы и величина площади проекции детали на плоскость разреза формы

В табл. 5 приведены величины технологических допусков групп ГП-VI—ГП-VII, которые практически полностью охватывают всю номенклатуру пластмассовых деталей. Величины технологических допусков других групп не приводятся, так как при необходимости они легко могут быть подсчитаны по формуле.

5. Технологические допуски деталей из пластмасс (для групп точности ГП-VI и ГП-VII)

Номинальные размеры, мм	Технологические допуски σ_T (в мм) на размеры элементов пластмассовых деталей										
	оформляемых в одной части формы		оформляемых в одной части формы, но зависящих от подвижных ее частей		оформляемых в двух и более частях формы вдоль оси приложения усилия замыкания формы						
	ГП-VI	ГП-VII	ГП-VI	ГП-VII	А		Б		В		
Св.	1 до 3	3 > 10	10 > 18	18 > 30	30 > 50	50 > 80	80 > 120	120 > 180	180 > 260	260 > 360	360 > 500
	0,12	0,19	0,20	0,32	0,20	0,32	0,32	0,50	0,45	0,70	
	0,16	0,25	0,25	0,40	0,25	0,40	0,36	0,55	0,50	0,80	
	0,25	0,40	0,32	0,50	0,32	0,50	0,45	0,70	0,55	0,90	
	0,32	0,50	0,40	0,60	0,40	0,60	0,52	0,85	0,60	1,00	
	0,40	0,60	0,50	0,80	0,50	0,80	0,58	0,95	0,70	1,10	
	0,55	0,90	0,60	1,00	0,60	1,00	0,75	1,15	0,90	1,40	
	0,80	1,20	0,90	1,40	0,90	1,40	1,00	1,60	1,10	1,80	
	1,10	1,80	1,10	1,80	1,10	1,80	1,10	1,80	1,20	2,00	
	1,60	2,50	1,60	2,50	1,60	2,50	1,60	2,50	1,60	2,50	
	2,00	3,20	2,00	3,20	2,00	3,20	2,00	3,20	2,00	3,20	
	2,80	4,50	2,80	4,50	2,80	4,50	2,80	4,50	2,80	4,50	

Примечания:

1. Допуски из графы А применяют для соответствующих размеров деталей из термопластов при литье под давлением и деталей из порошкообразных реактопластов при пресс-литье.

2. Допуск из графы Б — при прямом прессовании порошкообразных реактопластов и пресс-литье волокнистых реактопластов.

3. Допуск из графы В — при прямом прессовании волокнистых реактопластов.

4. Допуски для размеров деталей, оформляемых в двух частях формы поперек оси приложения усилия замыкания формы (толщины стенок), назначают из графы А.

5. Указанные в таблице группы характеризуют экономически достижимые точности изготовления пластмассовых деталей сложной формы или деталей, оформляемых в многогнездных формах. Для деталей простой формы или деталей, оформляемых в одногнездных формах, экономически достижимые точности выше на одну группу. К деталям простой формы относят плоскостные монолитные детали с габаритными размерами до 80 мм, отношением длины к высоте не более 1 : 10 и разностенностью не более 2 : 1 при прессовании и 2,5 : 1 при литье. К простым деталям относят также тела вращения с отношением диаметра к высоте не более 1 : 2, габаритными размерами до 50 мм, детали типа втулок с теми же габаритными размерами и отношением диаметра к высоте и толщиной стенки 3—5 мм.

Полная погрешность размеров, на которые оказывает влияние технологический уклон, определяется суммированием погрешностей:

$$\Delta_{\text{полн}} = \sigma_T + \Delta_{\text{укл}}; \Delta_{\text{укл}} = 2H \operatorname{tg} \alpha,$$

где H — высота детали; α — угол уклона.

Влияние погрешностей за счет технологического уклона следует учитывать лишь при высоте деталей более 10—15 мм.

Шероховатость поверхности деталей при качественном прессовочном материале и правильном режиме прессования определяется состоянием оформляющих поверхностей пресс-формы. Обычно допускаемая шероховатость поверхности формующих элементов пресс-формы лежит в пределах 9—10-го классов ($Ra = 0,080 \div 0,32$ мкм) по ГОСТ 2789—73.

При механической обработке класс шероховатости поверхности определяется чертежом и обычно не выше параметра шероховатости $Rz = 20 \div 40$ мкм. При нарушении режима прессования на поверхности изделия появляются дефекты (вздутия, матовость и др.), увеличивающие шероховатость поверхности.

Существенное влияние на класс шероховатости поверхности оказывает структура наполнителя прессовочного материала (метрический номер стекловолокна, степень помола порошкообразных наполнителей).

ДОПУСКИ НА РЕЗЬБЫ

Профиль, основные размеры и допуски метрических резьб для диаметров от 1 до 180 мм на деталях из пластмасс, соединяемых с металлическими и пластмассовыми деталями, установлены ГОСТ 11709—71*.

Соединения типа металл — пластмасса будут иметь большую прочность, чем соединения типа пластмасса — пластмасса.

Допускается изготовление наружной резьбы в резьбовых кольцах с номинальным шагом, при этом длина свинчивания должна быть минимальной.

Достижимую точность резьбы при литье и прессовании из материалов с различной усадкой определяют по ГОСТ 11709—71*.

Точность резьбы пластмассовой детали в значительной степени зависит от точности изготовления резьбы формы.

Пресс-форма может быть изготовлена как с увеличением размеров на величину средней усадки, т. е. с скорректированным шагом, так и с номинальным шагом (особенно резьбовых колец) [10, 37].

Если пресс-форма для изготовления резьбы имеет шаг, увеличенный на среднюю расчетную усадку, то погрешности изготовления болта и гайки определяют по формуле

$$\delta d_{cp} = \delta_1 + \delta_{\Delta g},$$

6. Значения суммарной погрешности δ_1 изготовления резьбы деталей из пластмасс

Размеры в мм

Номинальный диаметр резьбы d	Колебания усадки Δg , %				
	До 0,1	Св. 0,1 до 0,16	Св. 0,16 до 0,25	Св. 0,25 до 0,50	Св. 0,50 до 1,0
	Значения δ_1				
До 3	0,03	0,05	0,08	0,12	0,20
Св. 3 до 6	0,04	0,06	0,10	0,16	0,25
» 6 » 10	0,05	0,08	0,12	0,20	0,32
» 10 » 18	0,06	0,10	0,16	0,25	0,40
» 18 » 30	0,08	0,12	0,20	0,32	0,50
» 30 » 50	0,10	0,16	0,24	0,40	0,60
» 50 » 80	0,14	0,22	0,36	0,55	0,90
» 80 » 120	0,20	0,32	0,50	0,80	1,20
» 120 » 180	0,28	0,45	0,70	1,10	1,80

7. Значения погрешностей шага резьбы деталей из пластмасс в зависимости от колебания усадки

Длина свинчивания резьбы l , мм	Колебания усадки Δg , %					
	До 0,1	Св. 0,1 до 0,16	Св. 0,16 до 0,25	Св. 0,25 до 0,40	Св. 0,40 до 0,60	Св. 0,60 до 1,00
	Значения δ_1					
До 3	0,020	0,021	0,024	0,028	0,032	0,042
Св. 3 до 5	0,021	0,024	0,028	0,034	0,042	0,060
» 5 » 8	0,024	0,028	0,034	0,042	0,060	0,086
» 8 » 12	0,028	0,034	0,043	0,060	0,086	0,120
» 12 » 16	0,031	0,039	0,052	0,072	0,100	0,156
» 16 » 20	0,034	0,045	0,060	0,086	0,120	0,190
» 20 » 25	0,039	0,052	0,072	0,100	0,150	0,235
» 25 » 30	0,043	0,058	0,082	0,120	0,175	0,280
» 30 » 40	0,052	0,072	0,105	0,155	0,225	0,365
» 40 » 50	0,060	0,086	0,125	0,190	0,280	0,450

где δd_{cp} — допуск на средний диаметр резьбы, мм; δ_1 — суммарная погрешность изготовления резьбы, мм; $\delta_{\Delta g}$ — погрешность среднего диаметра резьбы вследствие колебания усадки шага резьбы на длине свинчивания, мм.

Значения величин δ_1 и $\delta_{\Delta g}$ приведены соответственно в табл. 6 и 7.

ДОПУСКИ И ПОСАДКИ НА ЗУБЧАТЫЕ И ЧЕРВЯЧНЫЕ ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Степени точности изготовления зубчатых и червячных передач назначают в зависимости от режима работы с учетом технологических возможностей их изготовления. Величины бокового зазора между неработающими профилями зубьев характеризуют вид сопряжений зубьев передачи, их назначают независимо от степени точности ее изготовления с целью обеспечения нормальных условий сборки и работы передачи. Рекомендации по назначению степеней точности изготовления зубчатых передач в зависимости от области применения приведены в табл. 8, а червячных передач — в табл. 9.

8. Рекомендуемые степени точности изготовления пластмассовых зубчатых передач

Степень точности	Область применения
7—8	Зубчатые колеса, работающие при умеренных нагрузках и повышенных окружных скоростях — 15 м/с для прямозубых и до 20 м/с для косозубых передач Зубчатые колеса общего машиностроения, не требующие особой точности: зубчатые колеса станков, не входящие в делительные цепи, зубчатые колеса грузоподъемных механизмов малой мощности, зубчатые колеса машин с окружной скоростью до 5 м/с для прямозубых и 10 м/с для косозубых передач Зубчатые колеса неответственных передач и авто- и тракторостроения; ненагруженные передачи с окружными скоростями до 2—3 м/с (прямозубые) и до 3—5 м/с (косозубые)
8—9	
9—10	

9. Рекомендуемые степени точности изготовления пластмассовых червячных передач

Степень точности	Область применения
7—8	Силовые передачи подъемных и поворотных механизмов с окружными скоростями до 4 м/с Неответственные передачи с окружными скоростями до 2 м/с с кратковременной периодической работой Неответственные передачи с окружными скоростями до 1,5 м/с или передачи ручных приводов, не требующих постоянства передаточного отношения
8—9	
9—10	

Примечание. 8-я степень точности изготовления примерно соответствует точности изготовления детали по 3-му, 9-я — по 4-му, 10-я — по 5-му классу точности системы ОСТа.

При выборе величины бокового зазора следует учитывать, что пластмассы по сравнению с металлами имеют малую жесткость и высокие коэффициенты линейного расширения. Вследствие малой жесткости прогибы пластмассовых зубьев могут быть значительными и их следует учитывать при выборе величины бокового зазора.

Поэтому в пластмассовых передачах при прочих равных условиях величины боковых зазоров следует назначать большими, чем в металлических передачах.

Значения гарантированных боковых зазоров в цилиндрических зубчатых передачах приведены в табл. 10, а в червячных передачах — в табл. 11 [10, 37].

10. Значения гарантированных боковых зазоров (в мкм) в цилиндрических зубчатых передачах

Вид сопряжений	Межцентровое расстояние, мм							
	До 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 200	Св. 200 до 320	Св. 320 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250
X	85	105	130	170	210	260	340	420
Ш	110	210	260	340	420	530	670	850
Ш1	210	260	325	425	525	660	840	1060
Ш2	260	325	405	530	660	825	1050	1330

Примечания:

1. Необходимо предусмотреть такие виды сопряжений, у которых величина бокового зазора больше, чем по сопряжению Ш.
2. Специальные виды сопряжений Ш1 и Ш2 рекомендуется применять лишь при изготовлении передач по степеням точности, начиная с 7-й и грубее.
3. Большие величины боковых зазоров следует по возможности обеспечивать за счет регулировки расстояний между осями рабочих валов, а не за счет уменьшения толщины зуба, приводящего к снижению его прочности.

11. Значения гарантированных боковых зазоров (в мкм) в червячных передачах

Вид сопряжений	Межосевое расстояние, мм						
	До 40	Св. 40 до 80	Св. 80 до 160	Св. 160 до 320	Св. 320 до 630	Св. 630 до 1250	Св. 1250
X	55	95	130	190	260	380	530
Ш	110	190	260	380	530	750	—
Ш1	140	240	325	475	660	940	—
Ш2	175	300	405	595	825	1180	—

КОНСТРУИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПЛАСТМАСС

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ

Конструкция пластмассовой детали должна отвечать требованиям, определяемым свойствами применяемого материала, особенностями процесса изготовления, условиями сборки и эксплуатации. Поэтому конструирование детали осуществляют одновременно с анализом ее технологичности, который выполняют совместно конструктор и технолог.

При конструировании деталей необходимо учитывать также производственные возможности предприятия, так как конструкция может быть вполне технологичной, но по ряду причин (большие габариты и масса, сложная конфигурация, требующая применения механизированных пресс-форм и др.) на данном предприятии не может быть изготовлена.

Следует всегда стремиться к упрощению конструкции детали как по технологическим, эксплуатационным, так и экономическим соображениям. Чем проще деталь, тем дешевле оснастка, выше производительность труда, лучше качество и ниже ее стоимость.

Детали простой конфигурации изготавливают с более высокой точностью, чем сложные.

К простым (рис. 1 и 2) относят монолитные детали типа плит простой геометрической формы, габаритными размерами до 80 мм с отношением высоты к длине не более 1 : 10 и разностенностью не более 2 : 1 при прессовании и 2,5 : 1 — при литьевом прессовании и литье под давлением, а также детали, имеющие форму тела вращения, монолитные, с отношением диаметра к высоте не более 1 : 2 и с габаритными размерами до 50 мм.

Детали, конфигурация которых не отвечает приведенной характеристике, относят к категории сложных (рис. 3 и 4).

При литьевом прессовании деталей из термореактивных пластмасс, когда используют съемные пресс-формы, основным критерием в определении их габаритов (а следовательно, и габаритов детали) является масса, которая не должна превышать 20 кг.

При прямом прессовании, когда в большинстве случаев используют стационарные пресс-формы, одним из факторов, ограничивающих длину детали, является длина пресс-формы, предназначенной для определенного пресса. Другим фактором, ограничивающим габаритные размеры детали, является зависимость между номинальным усилием пресса и площадью изделия.

Для определения наибольшей допускаемой площади детали можно пользоваться формулой

$$F = \frac{P}{g},$$

где F — площадь прессования, см²; P — усилие прессования, кгс; g — давление прессования, кгс/см².

Площадь прессования называют площадью горизонтальной проекции детали в плоскости прессования в том положении, в котором она должна прессоваться. Усилие прессования P определяется номинальным усилием выбранного пресса.

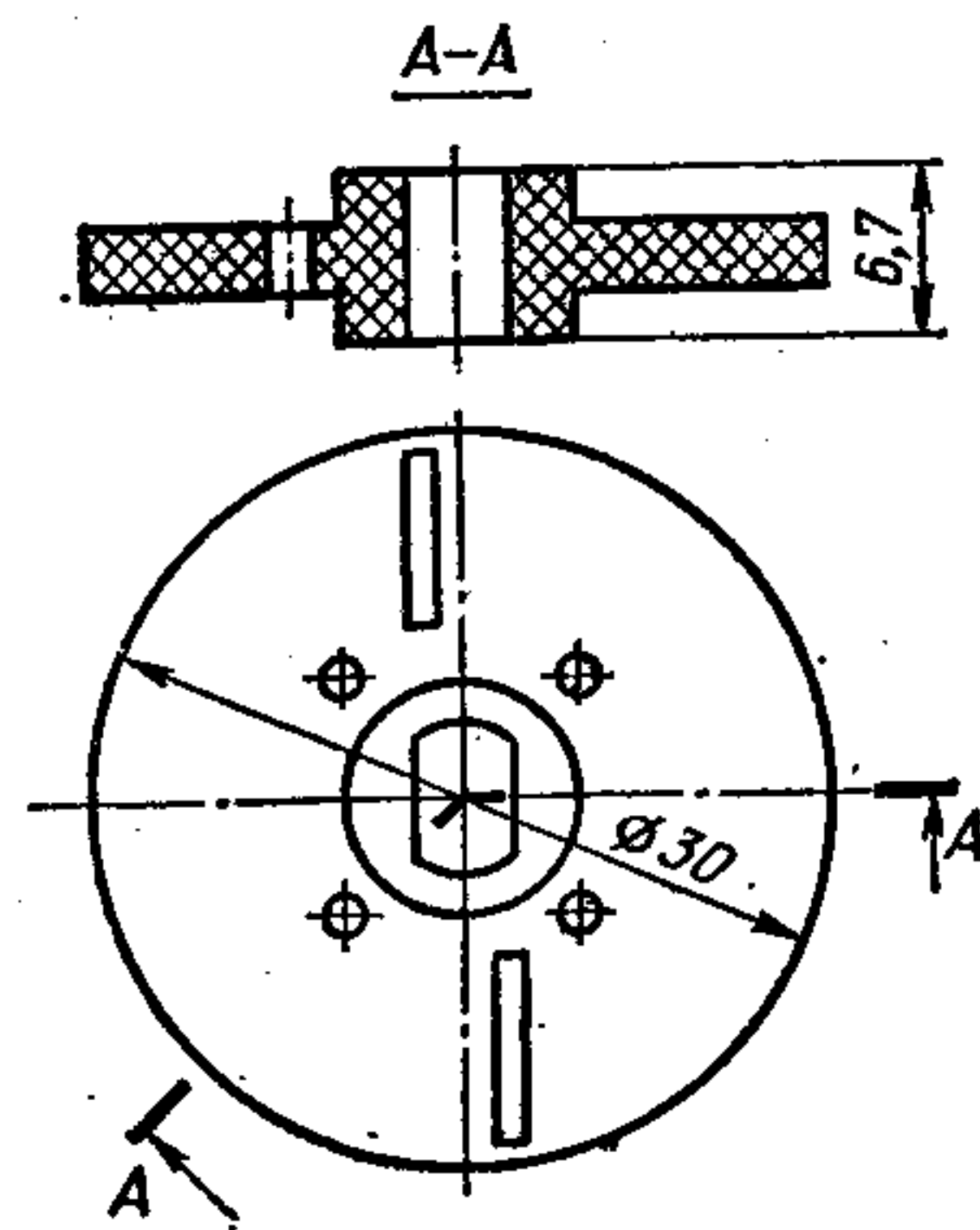


Рис. 1. Плата электроизоляционная из пресс-материала АГ-4В

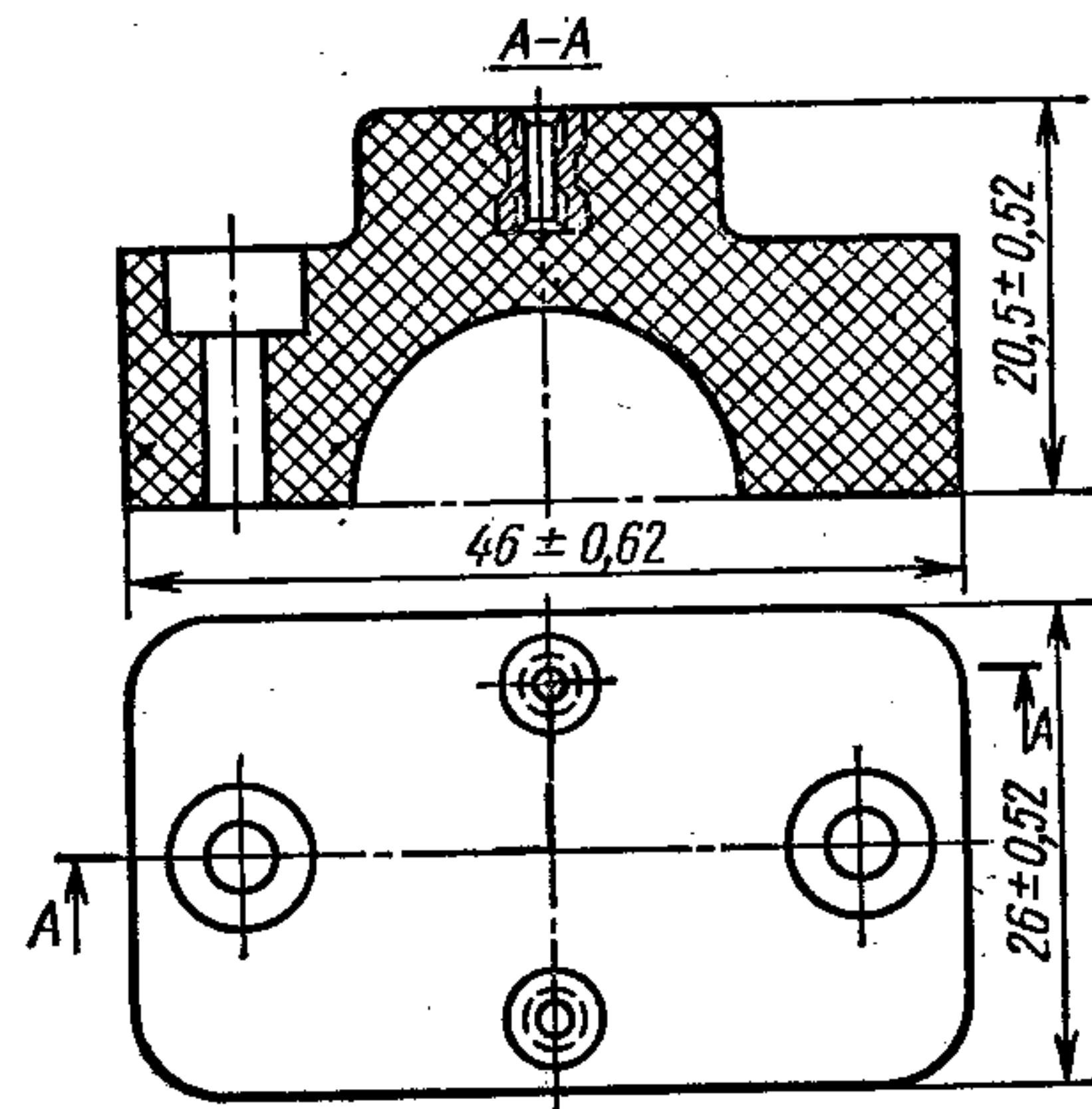


Рис. 2. Крышка из пресс-материала СП1-342-02

Давление прессования принимают по табл. 1 в зависимости от сложности детали: чем сложнее ее конфигурация, тем больше должна быть величина g .

Наибольшие допускаемые площади детали для различных значений удельных давлений и наибольшие размеры деталей, получаемых на гидравлических прессах, приведены в табл. 1.

В основном максимальная высота детали зависит от величины наибольшего расстояния между столом пресса и его подвижной траверсой. Высота изделия, как правило, не должна превышать $1/7$ наибольшего раствора пресса.

Габариты деталей из термопластичных пластмасс зависят в основном от мощности применяемого оборудования. Эти детали изготовляют преимущественно литьем под давлением на термопластавтоматах, производительность и мощность которых характеризуется величиной суммарной массы получаемой отливки.

Рис. 3. Корпус из пресс-материала АГ-4В

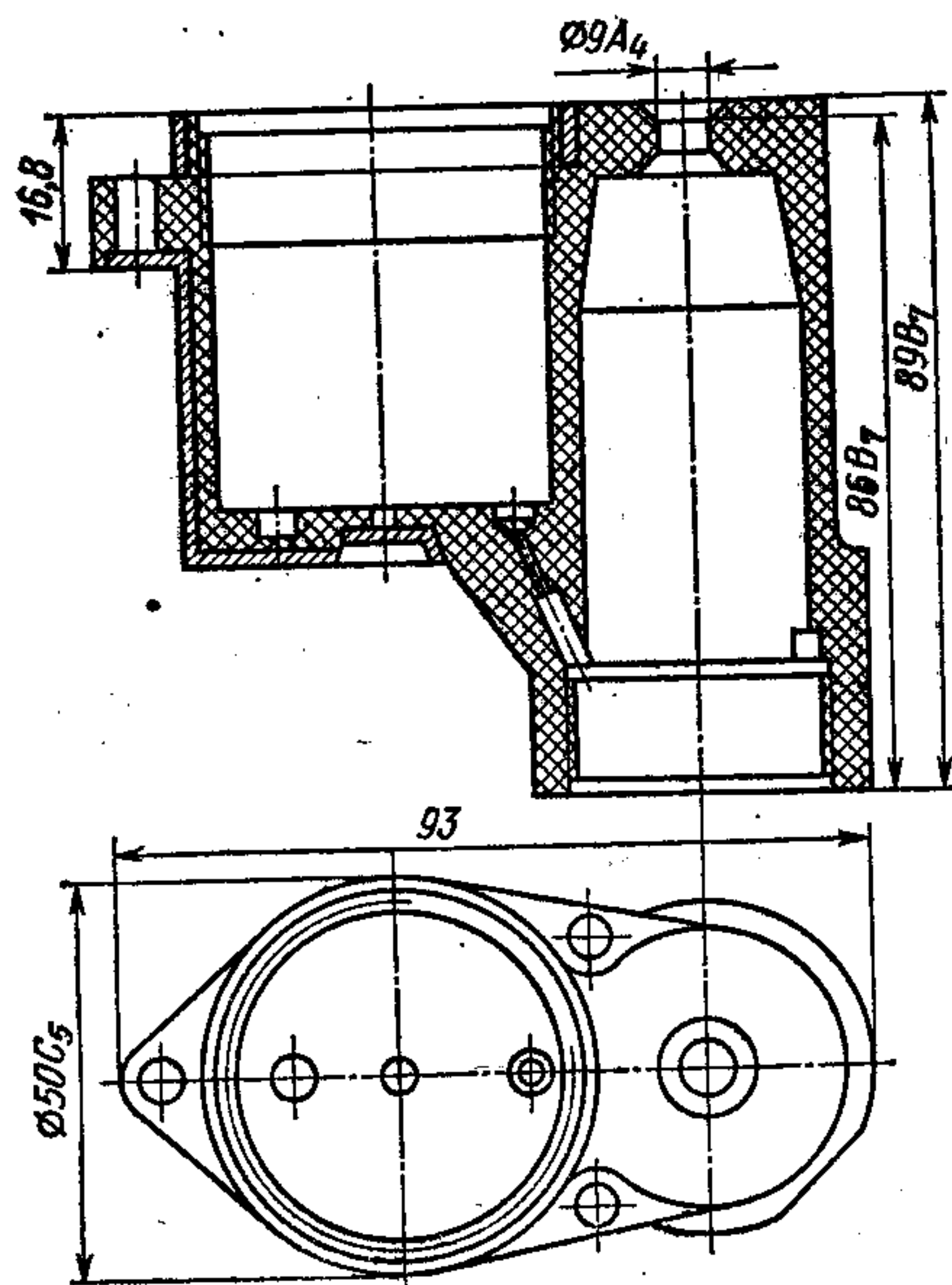
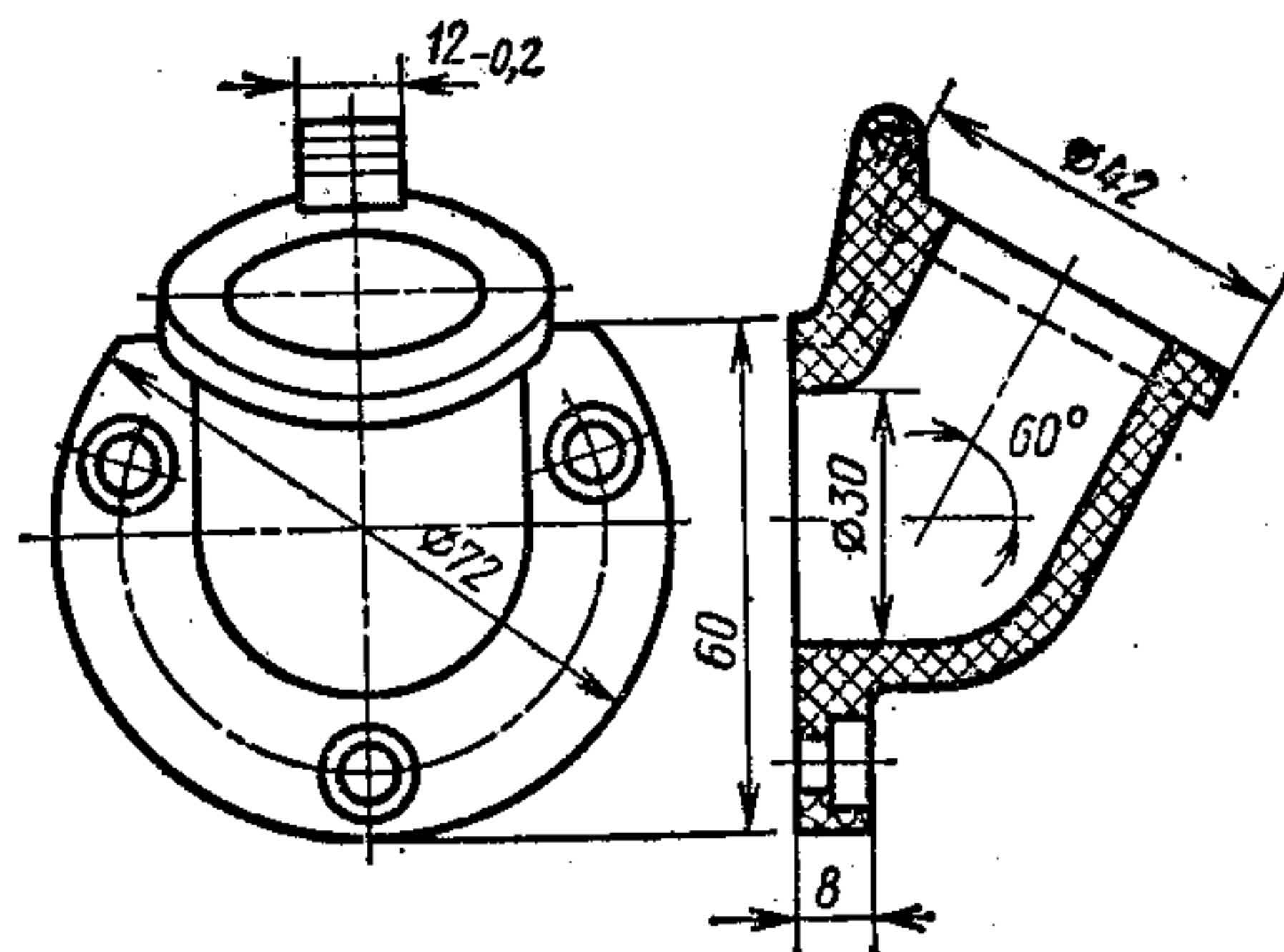


Рис. 4. Угольник из капрона для заливки масла



1. Наибольшие габаритные размеры деталей, получаемых на гидравлических прессах

Модель пресса	Тип пресса	Усилие пресса, тс	Наибольшая допускаемая площадь детали, см ² , при удельном давлении прессования, кгс/см ²					Наибольшие допускаемые размеры, см	
			300	400	500	600	700	Длина	Высота
П480	Двухстоечный	25	83	62	50	41	35	16	—
П481		40	133	100	80	66	57	20	5—6
П472А		63	210	157	126	105	90	23	8—9
П472Б		63	210	157	126	105	90	29	6—7
П474		100	333	250	200	166	142	45	8—9
П8474		100	333	250	200	166	142	34	11—12
ПБ476, П2432		160	533	400	320	266	228	57	9—10
П476, ПА476, П486		160	533	400	320	266	228	39	12—13
ПД476		160	533	400	320	266	228	54	9—10
Д2434А		250	833	625	500	416	357	66	12—13
ПБ478		250	833	625	500	416	357	63	12—13
ПБ479		400	1333	1000	800	666	570	80	18—19
ПБ452		Четырехколонный	63	210	157	126	105	90	25
ПА54	100		333	250	200	166	142	34	12—13
ПА454	100		333	250	200	166	142	29	12—13
ПА57	200		666	500	400	333	285	47	16—17
ПА57г	200		666	500	400	333	285	50	9—10
ПА58	315		1050	785	630	525	450	49	15—16
ПА59	630		2100	1570	1260	1050	900	62	20—22

Примечание. Все значения наибольших габаритов действительны лишь для деталей, не имеющих каких-либо поднутреней или отверстий, находящихся в горизонтальной плоскости. В противном случае (вследствие применения в пресс-форме специальных формирующих вставок или механизмов) допустимая длина детали должна быть сокращена.

При литье под давлением величина площади прессования и масса детали регламентируются паспортными данными машины. Массы отливок и величины наибольших площадей деталей для основных моделей отечественных литьевых машин приведены в табл. 2. Для большинства термопластавтоматов площадь прессования (площадь проекции детали в плоскости прессования) будет не горизонтальной, а вертикальной.

2. Наибольшие массы и площади проекций изделий, получаемых на отечественных машинах для литья под давлением

Машина	Наибольшая масса отливки, г	Наибольшая площадь проекции отливки, см ²	Машина	Наибольшая масса отливки, г	Наибольшая площадь проекции отливки, см ²
ЛМ-50	50	160	ТП-125	125	350
ЛМ-125	125	250	ТП-250	250	600
ЛМ-250	250	500	ТП-500А	500	800
ЛМ-500	500	800	ИЛ-63	63/120*	210
ЛМ-1000В	1000	890	ИЛ-125	125/200*	350
ЛМ-1000ГМ	1000	890	ИЛ-250	250/400*	600
ТП-8	8	35	ИЛ-1000	1000	1800
ТП-16А	16	50	ИЛ-2000	2000	1800
ТП-32	32	120	ИЛ-3150	3150/6300*	3500
ТП-63	63	200	ИЛ-6300	6300	5200

* В числителе — наибольшая масса отливки при одинарном ходе поршня, в знаменателе — при двойном ходе.

Правила конструирования пластмассовых деталей, базирующиеся на накопленном опыте, направлены на обеспечение рациональных условий течения материала в форме, повышение точности изготовления, уменьшение величины внутренних напряжений и коробления.

Требования к конструкции пластмассовой детали следующие:

деталь должна иметь технологические (съемные) уклоны; допуски должны быть технически обоснованными; при назначении их следует руководствоваться особенностями эксплуатации детали, величинами колебаний усадки пресс-материала, а также высотой детали, от которой зависит величина уклона;

в деталях недопустимы поднутрения; деталь должна иметь закругления, необходимые для увеличения механической прочности, облегчения процесса формообразования и улучшения внешнего вида; стенки детали должны быть равной толщины; прессованные детали, по возможности, не должны иметь консольных участков, т. е. выступов или приливов значительной длины; при выборе материала детали следует учитывать среду, которая будет воздействовать на нее в процессе эксплуатации.

Наиболее часто встречающимися видами брака являются коробление и трещины, которые могут появиться значительно позднее, уже в процессе эксплуатации детали. Резкое коробление обычно проявляется на больших плоских, не усиленных ребрами поверхностях, на разнотолщинных деталях или на деталях с односторонней арматурой.

Трещины обычно возникают от неправильного сочетания пластмассы с металлической арматурой; вследствие усадочных напряжений, особенно при наличии значительной разницы в толщинах стенок детали; при отсутствии или неправильном назначении радиусов закруглений; при неправильном назначении уклона.

Помимо причин конструктивного характера, коробление и трещины часто появляются вследствие несоответствия свойств выбранной пластмассы тем эксплуатационным условиям, в которых деталь используют.

ФОРМА ДЕТАЛИ

Внешняя форма детали должна обеспечивать возможность применения неразъемных матриц и пуансонов. Изготовление деталей в пресс-формах с разъемными элементами резко повышает стоимость последних и увеличивает трудоемкость процесса изготовления.

Конфигурация детали не должна препятствовать свободному течению массы при заполнении пресс-формы. Поэтому при разработке конструкции детали следует всегда стремиться к максимальному упрощению ее формы, но без ущерба для эксплуатационных свойств (рис. 5). В случаях, когда форму детали нельзя упростить, ее необходимо расчленить на более простые, сопрягающиеся между собой элементы.

Внешний вид и точность готового изделия в значительной степени определяются точностью изготовления и согласованностью размеров сопрягаемых деталей. При строгом соблюдении геометрии сопрягаемых деталей отпадает необходимость в отделочных работах, связанных с их подгонкой.

Сопрягаемые элементы детали ограничивают жесткими допусками. Конструктор указывает сопрягаемые контуры деталей на рабочих чертежах отдельной надписью «Сопрягается с деталью».

Величину и направление уклонов необходимо увязывать между собой (рис. 6).

Для обеспечения подгонки одной сопрягаемой детали к другой используют различные конструктивные решения. Например, на рис. 7, а контуры сопрягаемых деталей выполнены под углом; на рис. 7, б сопряжение выполнено в виде отбортовки; на рис. 7, в — в виде прилитых поясков. Для более тщательного сопряжения эти контуры зачищают абразивами или подвергают механической обработке.

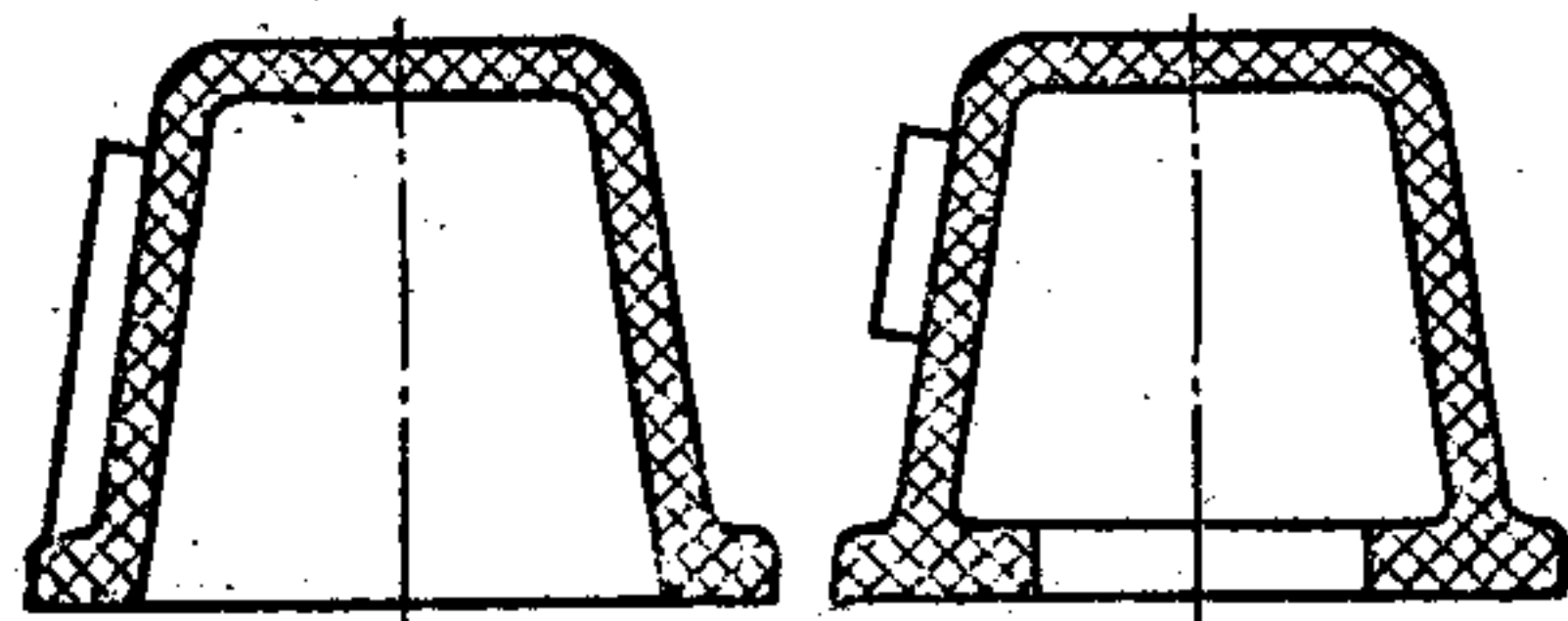


Рис. 5. Внешняя форма детали

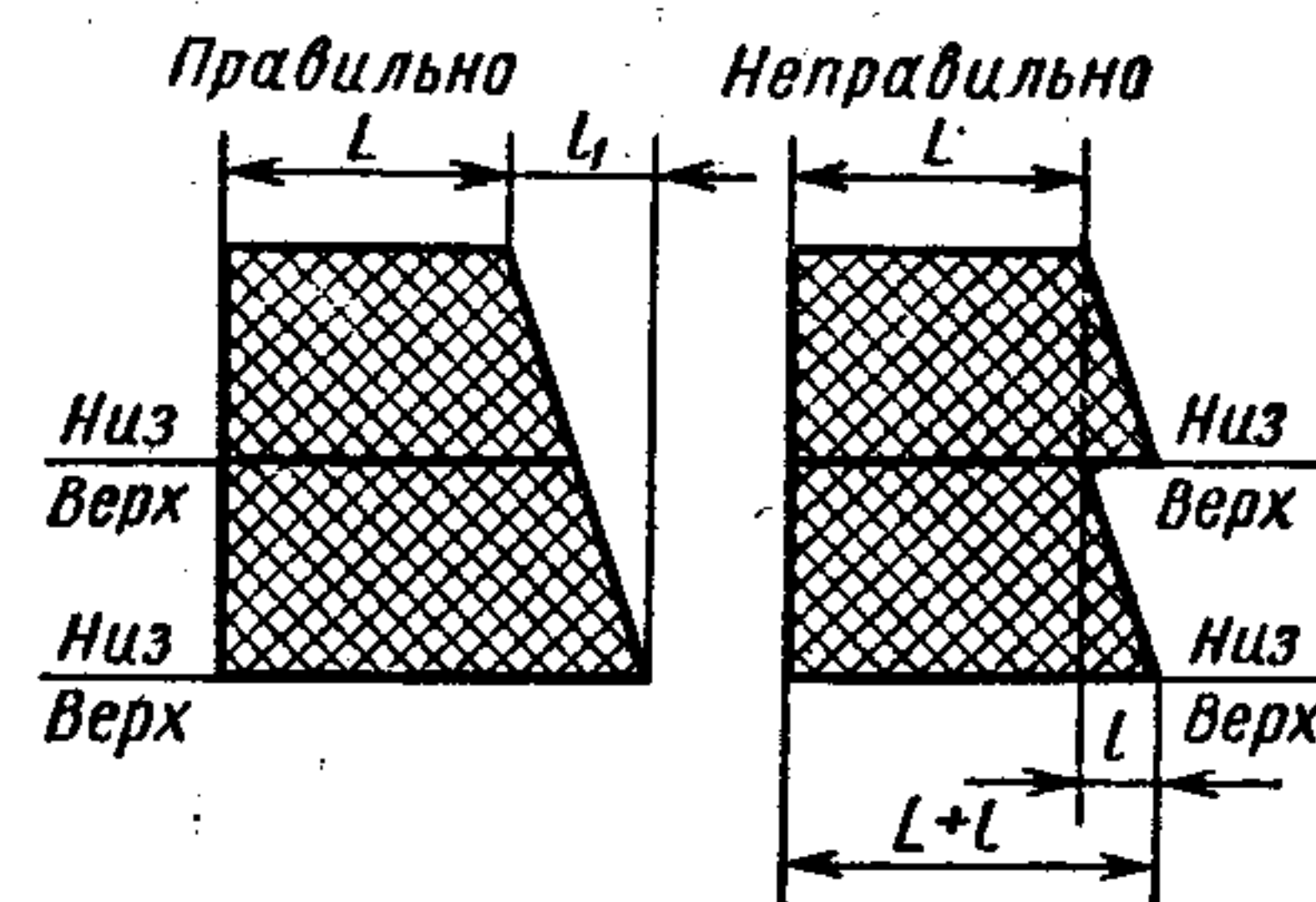


Рис. 6. Оформление уклонов сопрягаемых элементов деталей

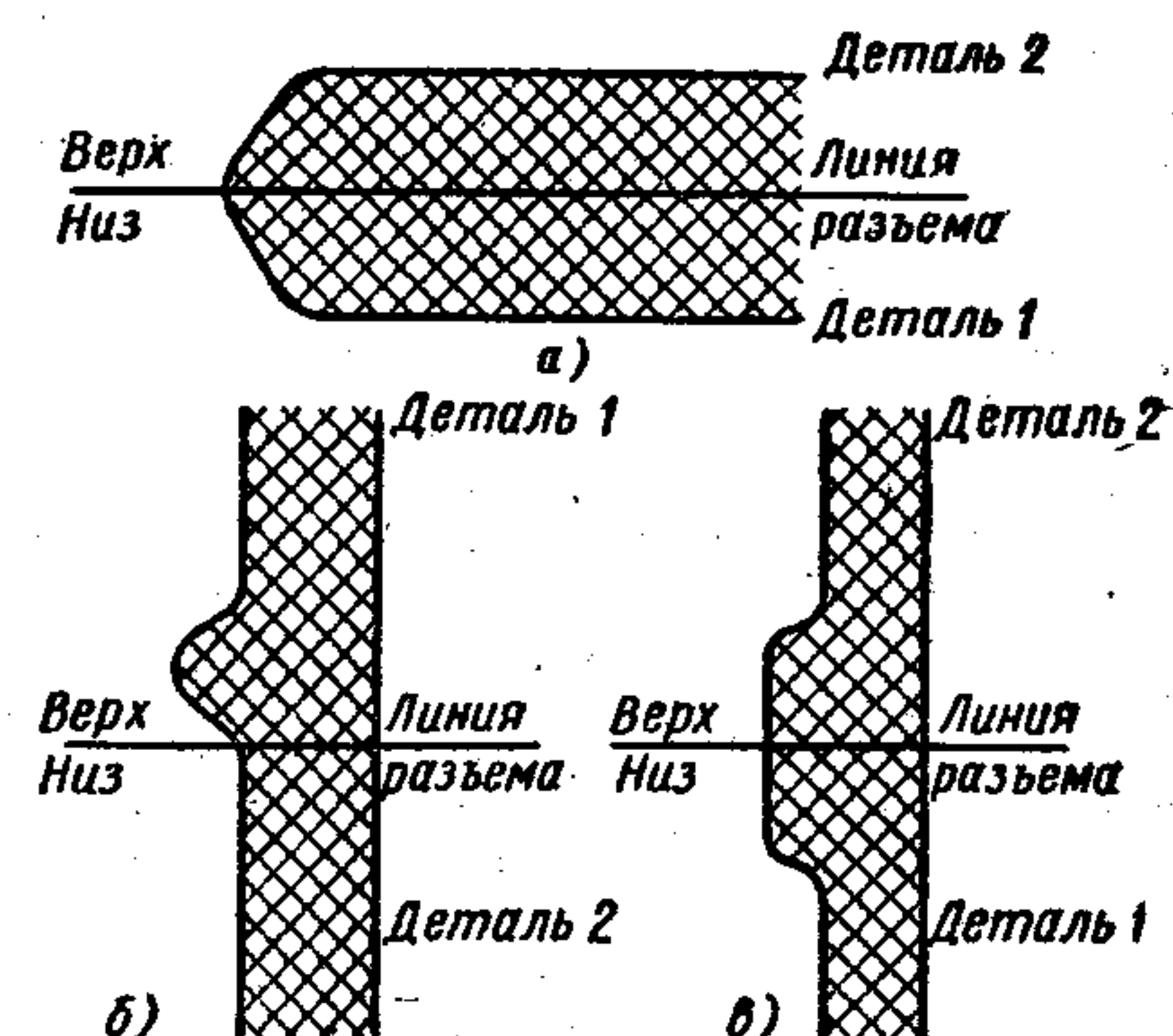


Рис. 7. Примеры конструктивного оформления сопряжений деталей

Конструкция детали в значительной степени зависит от физико-химических свойств пресс-материала, из которого она изготовлена. На форму детали прежде всего влияет величина текучести пресс-материала. Особенно резко это влияние проявляется у терморезистивных пресс-материалов (например, волокнита и др.). Детали из пластмасс с пониженной текучестью должны быть невысокие, без тонких стенок, ребер и сквозной арматуры.

При конструировании деталей, изготавливаемых штамповкой, следует стремиться к созданию таких геометрических форм, при которых возможности образования трещин, ореолов и расслоений были бы минимальными.

Наиболее технологичными формами плоских деталей из пластмасс являются круглая, овальная или любая другая, но с плавными очертаниями. Для этого острые прямые и тупые углы на наружном контуре, а также в отверстиях следует выполнять скругленными. Это особенно важно для изделий из гетинакса, слюды и органического стекла.

Выбор плоскости разъема предопределяет точность размеров различных элементов пластмассовой детали.

Следует стремиться к тому, чтобы наиболее ответственные или сопрягаемые впоследствии элементы детали не попадали в плоскость разъема формы, так как на точность размеров детали сильно влияет погрешность, зависящая от величины облоя.

В пресс-формах прямого прессования вследствие отжима пресс-массы по кромке пуансона облой располагается по всему контуру изделия. В пресс-формах литьевого прессования облой находится в местах перехода впускного литника в тело изделия. Удаление облоя с отпрессованных деталей требует применения дополнительных механических операций, приводит к ухудшению внешнего вида, а часто и к порче детали. Поэтому на пластмассовых деталях необходимо допускать минимальный слой облоя толщиной не более 0,3 мм, расположенный так, чтобы его удобно было удалять. Для этого следует стремиться к наименьшему количеству линий разъема пресс-формы.

При конструировании следует предусматривать, чтобы линия образования облоя попадала на участки простой конфигурации.

Во многих случаях можно избежать образования облоя благодаря применению метода безоблойного прессования. Сущность метода заключается в том, что облой отделяется в процессе прессования или при разъеме пресс-формы. Способ прямого безоблойного прессования применяют для изделий, имеющих в сечении простую фигуру (окружность, овал, прямоугольник).

Прямое безоблойное прессование не применяют для деталей с толщиной стенок менее 2 мм и армированных, за исключением изделий с вертикальной штифтовой или втулочной арматурой.

Методом безоблойного прессования можно получать многие изделия из реактопластов различных марок. Исключение составляют изделия из пресс-масс с асболокнистым и хлопчатобумажными наполнителями.

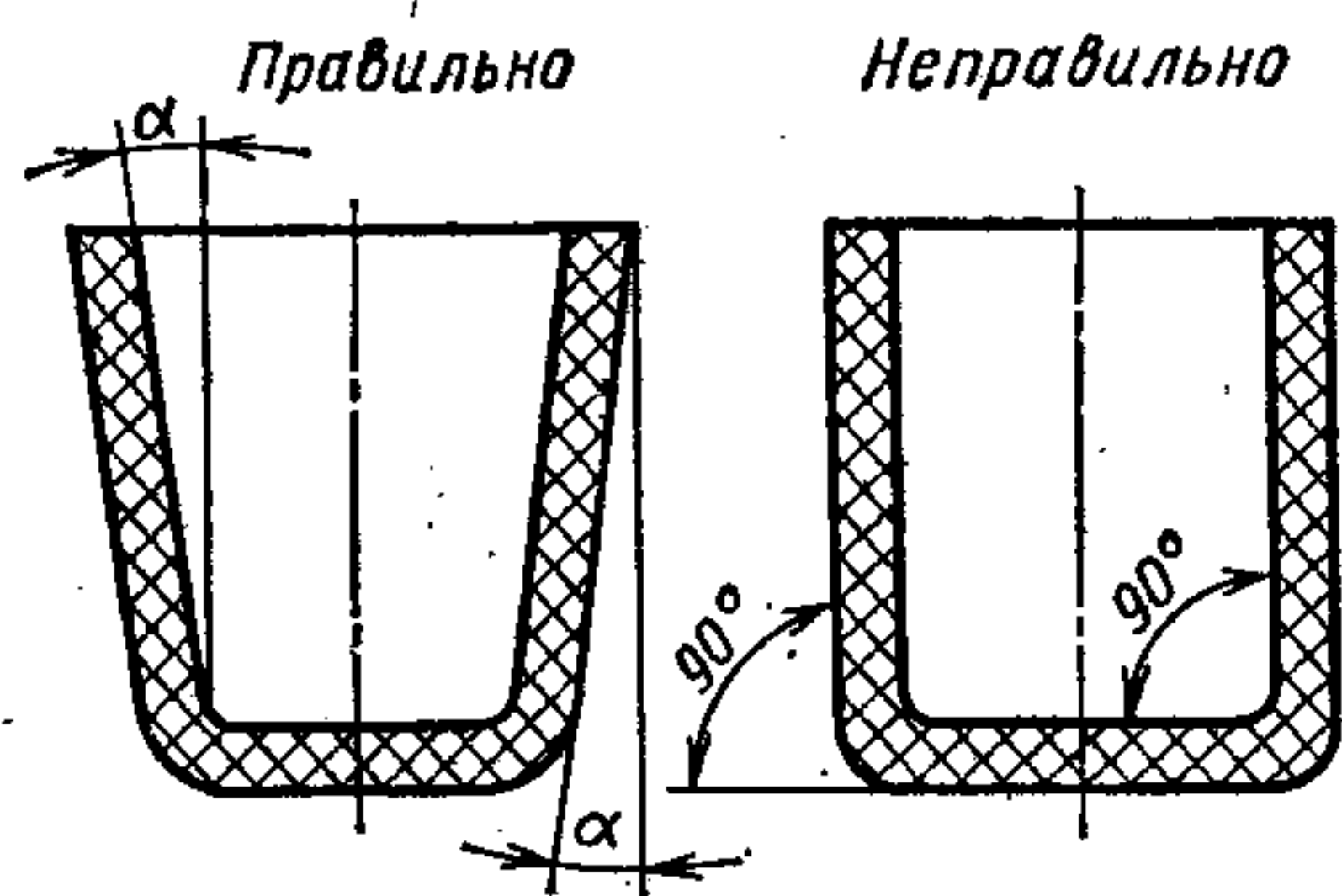


Рис. 8. Примеры правильного (с технологическими уклонами) и неправильного (без технологических уклонов) оформления деталей

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УКЛОНЫ

Технологические уклоны назначают при получении деталей из пластмасс методом прессования или литьем под давлением. Они необходимы для обеспечения беспрепятственного удаления изделий из пресс-формы и облегчения скольжения расплавленного материала в процессе ее заполнения или прессования (рис. 8).

Технологические уклоны конкретизируют большей частью при построении формы. Конструктору на чертеже следует не задавать технологические уклоны в абсолютных величинах, а лишь допускать их.

Технологические уклоны назначают на вертикальных внешних и внутренних поверхностях, параллельных усилию замыкания пресс-формы или совпадающих с направлением извлечения из детали подвижных формующих элементов сложных пресс-форм (рис. 9).

Отказ от технологических уклонов нежелателен, так как отсутствие последних приводит к увеличению брака, снижению качества деталей, требует дополнительного усилия при извлечении детали из пресс-формы.

Технологические уклоны в некоторых случаях могут иметь и конструктивное значение.

Технологические уклоны не назначают на элементах деталей, которые могут быть выполнены без уклонов. Например, уклоны не назначают на плоских монолитных деталях толщиной 5—6 мм и менее (рис. 10, а), на тонкостенных деталях высотой 10—15 мм (рис. 10, б), на наружных поверхностях полых деталей высотой до 30 мм (рис. 10, в), на конусных деталях (рис. 10, г) и деталях, имеющих сферическую форму (рис. 10, д).

Технологические уклоны можно также не назначать на элементах деталей, сопрягающихся с другими по стандартным посадкам. В этом случае на чертежах оформляющих элементов пресс-формы следует указывать, что поднутрения в направлении съема деталей из пресс-формы не допускаются.

Технологический уклон внутренних поверхностей и отверстий деталей должен быть больше уклона наружных поверхностей; этим учитывают различный характер усадки поверхностей.

Величина уклона оказывает существенное влияние на размерную точность элементов детали, лежащих в плоскостях, перпендикулярных направлению усилия замыкания пресс-форм или направлению перемещения составных частей сложных пресс-форм. Поэтому полная погрешность таких размеров и величина полного допуска должны включать, кроме значения S_T , еще и значение $\Delta_{ук}$ (рис. 11). Под S_T (технологический допуск) понимают величину, ограничивающую все погрешности, возникающие при изготовлении детали и ее охлаждении до нормальной температуры, а $\Delta_{ук}$ — погрешность на технологические уклоны.

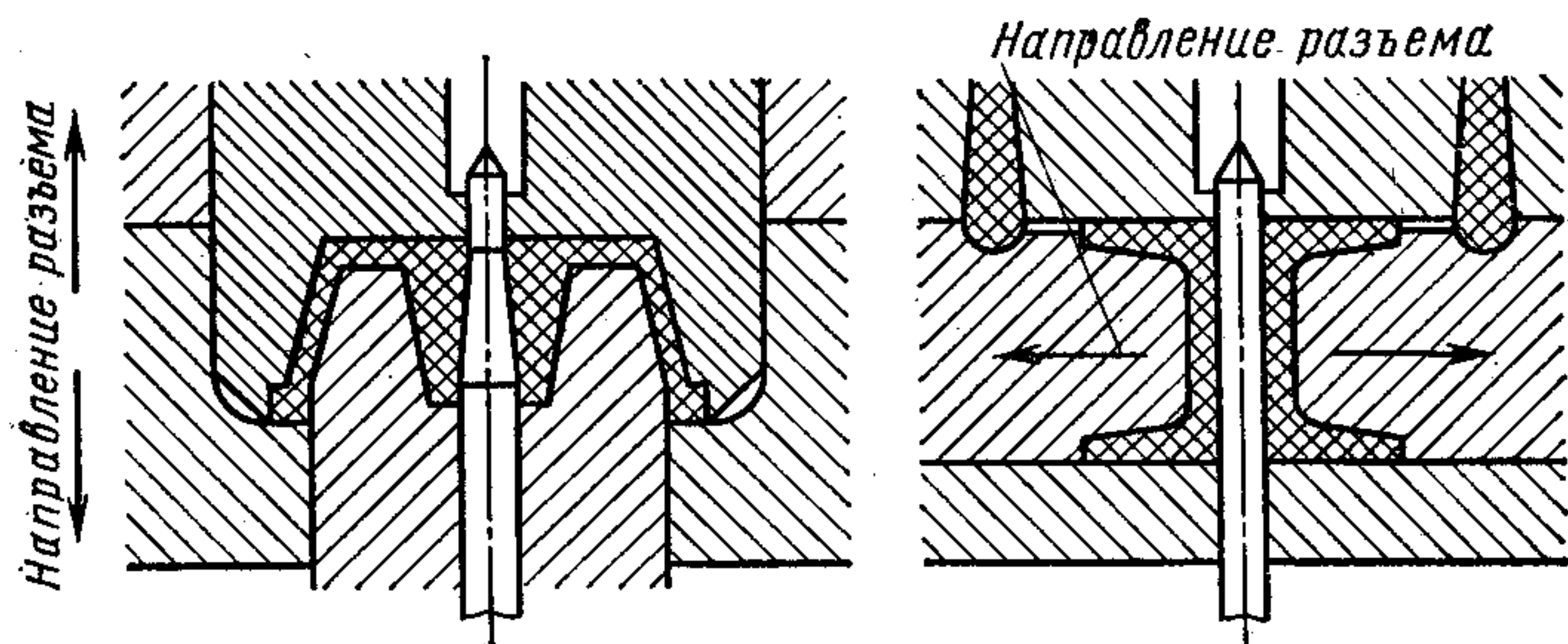


Рис. 9. Технологические уклоны на различных поверхностях

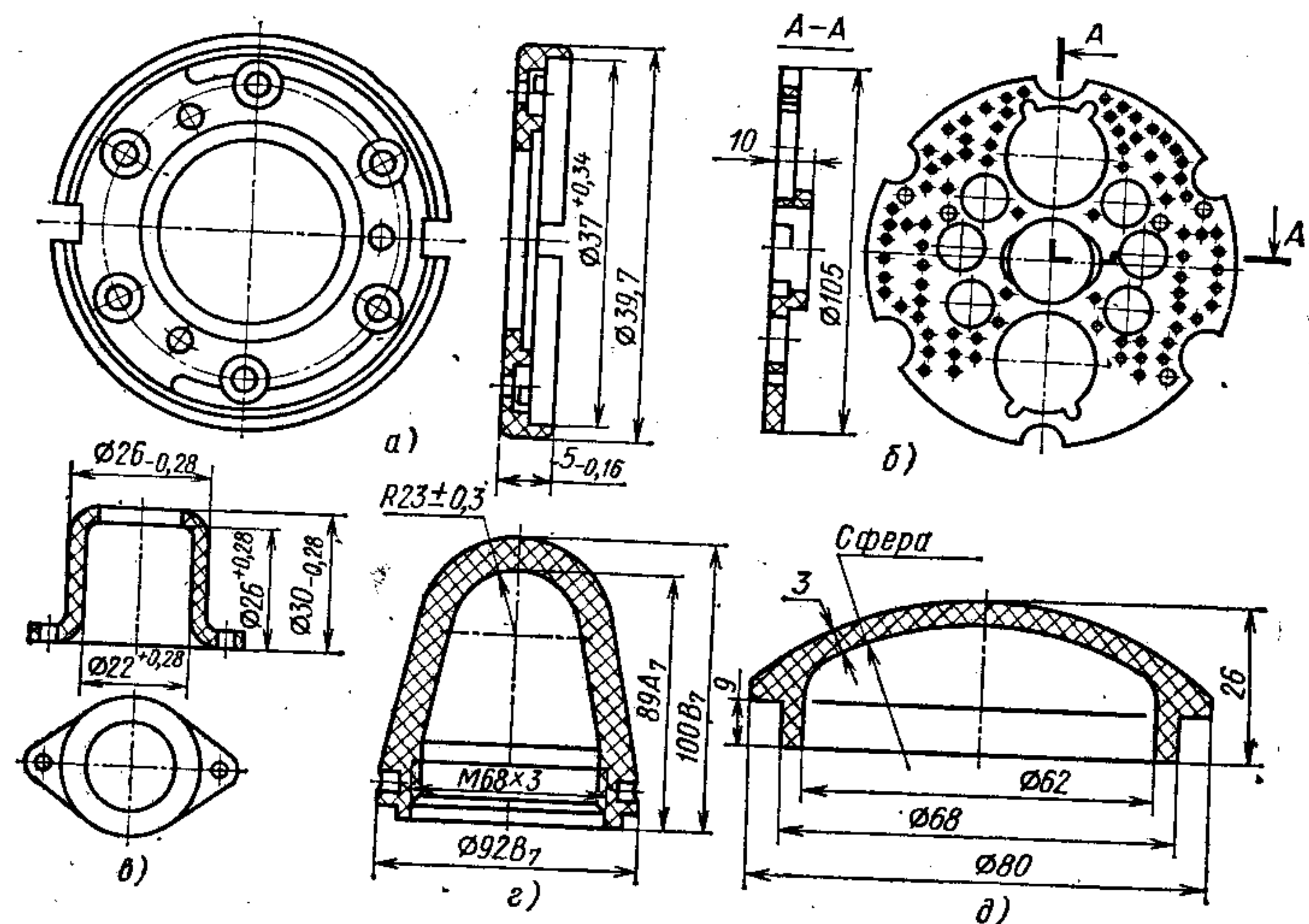


Рис. 10. Детали без технологических уклонов: а — колodka из пресс-материала АГ-4; б — плата электроизоляционная из пресс-материала АГ-4В; в — стакан из пресс-материала АГ-4В; г — колпачок из пресс-материала СП1-342-02; д — заглушка из пресс-материала 03-010-02

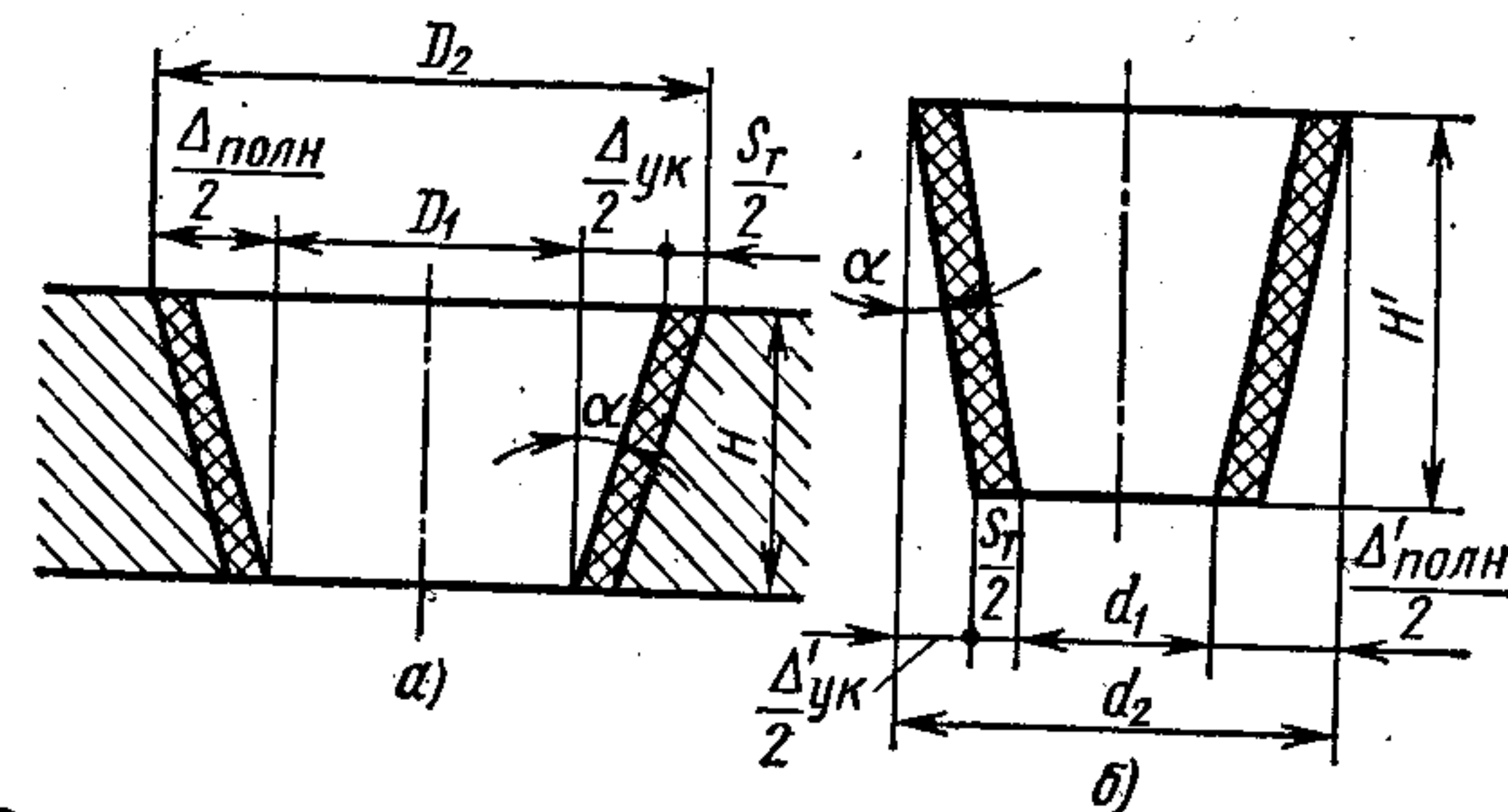


Рис. 11. Схемы технологического уклона: а — для внутреннего размера D_1 ; б — для наружного размера d_1 (D_1 и d_1 — номинальные размеры)

Значения $\Delta_{ук}$ зависят от высоты H детали и угла уклона α (рис. 11). Полную погрешность размеров $\Delta_{полн}$, на которую влияет технологический уклон, определяют по формуле

$$\Delta_{полн} = D_2 - D_1 = S_T + \Delta_{ук};$$

$$\Delta_{ук} = 2H \operatorname{tg} \alpha,$$

или

$$\Delta_{ук} = Hk,$$

где k — уклон в виде отношения.

Значения погрешностей за счет одностороннего уклона для рекомендуемых углов наклона α приведены в табл. 3 [37].

Для значений H , не приведенных в табл. 3, величину $\Delta_{ук}$ вычисляют по приведенным формулам.

3. Величины $\frac{\Delta_{\text{дук}}}{2}$, мм, в зависимости от высоты детали и угла наклона α

Высота детали H, мм	Угол наклона α						Высота детали H, мм	Угол наклона α					
	45'	30'	45'	1°	1°30'	2°		15'	30'	45'	1°	1°30'	2°
1	0,004	0,008	0,013	0,017	0,025	0,035	30	0,120	0,250	0,400	0,500	0,800	1,000
2	0,008	0,016	0,025	0,035	0,050	0,079	35	0,150	0,300	0,450	0,600	0,900	1,200
3	0,012	0,025	0,040	0,050	0,080	0,100	40	0,160	0,320	0,520	0,700	1,000	1,400
4	0,017	0,034	0,050	0,060	0,100	0,140	50	0,200	0,400	0,650	0,850	1,250	1,750
5	0,020	0,040	0,060	0,080	0,120	0,160	60	0,250	0,500	0,800	1,000	1,500	2,100
6	0,025	0,050	0,080	0,100	0,160	0,200	70	0,280	0,560	0,900	1,200	1,750	2,150
8	0,035	0,070	0,100	0,140	0,200	0,280	80	0,340	0,700	1,000	1,400	2,000	2,800
10	0,040	0,080	0,125	0,170	0,250	0,350	90	0,400	0,800	1,200	1,600	2,400	3,150
12	0,050	0,100	0,150	0,200	0,300	0,400	100	0,420	0,840	1,300	1,750	2,600	3,500
15	0,060	0,120	0,180	0,250	0,360	0,500	110	0,460	0,900	1,400	2,000	2,800	—
18	0,075	0,150	0,230	0,300	0,450	0,600	130	0,540	1,100	1,700	2,300	—	—
20	0,080	0,160	0,260	0,350	0,520	0,700	150	0,600	1,250	2,000	—	—	—
25	0,100	0,200	0,300	0,400	0,650	0,900							

Наиболее рационально обозначать уклоны величинами отношений. Углы уклонов и значения их тангенса применительно к ряду нормальных отношений [35] следующие:

Отношение	1 : 50	1 : 100	1 : 200	1 : 300	1 : 400	1 : 500	1 : 600
Угол уклона α	1° 8' 45"	34' 23"	17' 11"	11' 25"	8' 36"	6' 55"	5' 45"
tg α	0,02	0,01	0,005	0,003333	0,0025	0,002	0,001666

При выборе оптимального угла технологического уклона следует учитывать характер поверхности детали; степень механической прочности элемента или детали в целом; механическую прочность применяемой пластмассы; способ выталкивания детали; степень чистоты формирующих поверхностей.

Элементам деталей, имеющим лишь конструктивное значение (ребра жесткости, перемычки, выступы, углубления), можно давать сколь угодно большие уклоны, величина которых определяется обычно внешним видом детали.

Рекомендуются следующие углы уклона:

Наружные поверхности	15'; 30'; 1°
Внутренние поверхности	30'; 1°; 2°
Отверстия глубиной до 1,5 d	15'; 30'; 45'
Ребра жесткости, выступы	2°; 3°; 5°; 10°; 15°

Минимально допустимые значения технологических уклонов для деталей из полистирола, этролов, аминопластов составляют 15' и 30', а для деталей из полиэтилена 30' и 1° соответственно на внутренних и наружных поверхностях.

Минимальные значения технологических уклонов в зависимости от высоты различных участков детали приведены в табл. 4, а минимально допустимые значения односторонних технологических уклонов элементов деталей из различных пластмасс высотой (длиной) не более 100—120 мм — в табл. 5.

4. Величина технологического уклона на сторону

Высота детали, мм	Наружные поверхности	Внутренние поверхности	Высота детали, мм	Наружные поверхности	Внутренние поверхности
До 10	1,0 : 100	1,5 : 100	Св. 100 до 200 » 200	0,5 : 100 0,3 : 100	0,8 : 100 0,6 : 100
Св. 10 до 50	0,8 : 100	1,2 : 100			
» 50 » 100	0,6 : 100	1,0 : 100			

5. Минимально допустимые значения односторонних технологических уклонов элементов деталей высотой (длиной) не более 100—120 мм

Пресс-материал	Толстостенное изделие		Тонкостенное изделие	
	для внутренней поверхности	для наружной поверхности	для внутренней поверхности	для наружной поверхности
Фенопласты АГ-4, КМК-9, К-77-51, К-78-51 . . .	1 : 500	1 : 600	1 : 300	1 : 400
Аминопласты	1 : 400	1 : 500	1 : 200	1 : 300
КФ-3, КФ-3М; сополимеры СН, СНП, МСН	1 : 300	1 : 400	1 : 100	1 : 200
КМС-9	1 : 200	1 : 300	—	—
Полистирол, полиамиды, этрол АЦЭ-35А, АЦЭ-43, АЦЭ-55ДМ	1 : 100	1 : 300	1 : 100	1 : 200
Полиэтилен низкой плотности (высокого давления)	—	—	1 : 50	1 : 100

СТЕНКИ

Наиболее часто встречающиеся типовые сопряжения стенок деталей показаны на рис. 12.

Толщина стенок оказывает влияние на возникновение внутренних напряжений, являющихся причиной образования вздутий, трещин, коробления во время выдержки детали в матрице или пресс-форме.

Толщина стенки детали зависит от длины (высоты) стенки, текучести пластмассы, механической прочности материала, конфигурации элемента детали.

Соотношение между толщиной стенки и длиной детали должно иметь строго определенное значение, но устанавливают его окончательно с учетом других факторов. Влияние текучести материала особенно резко проявляется при использовании

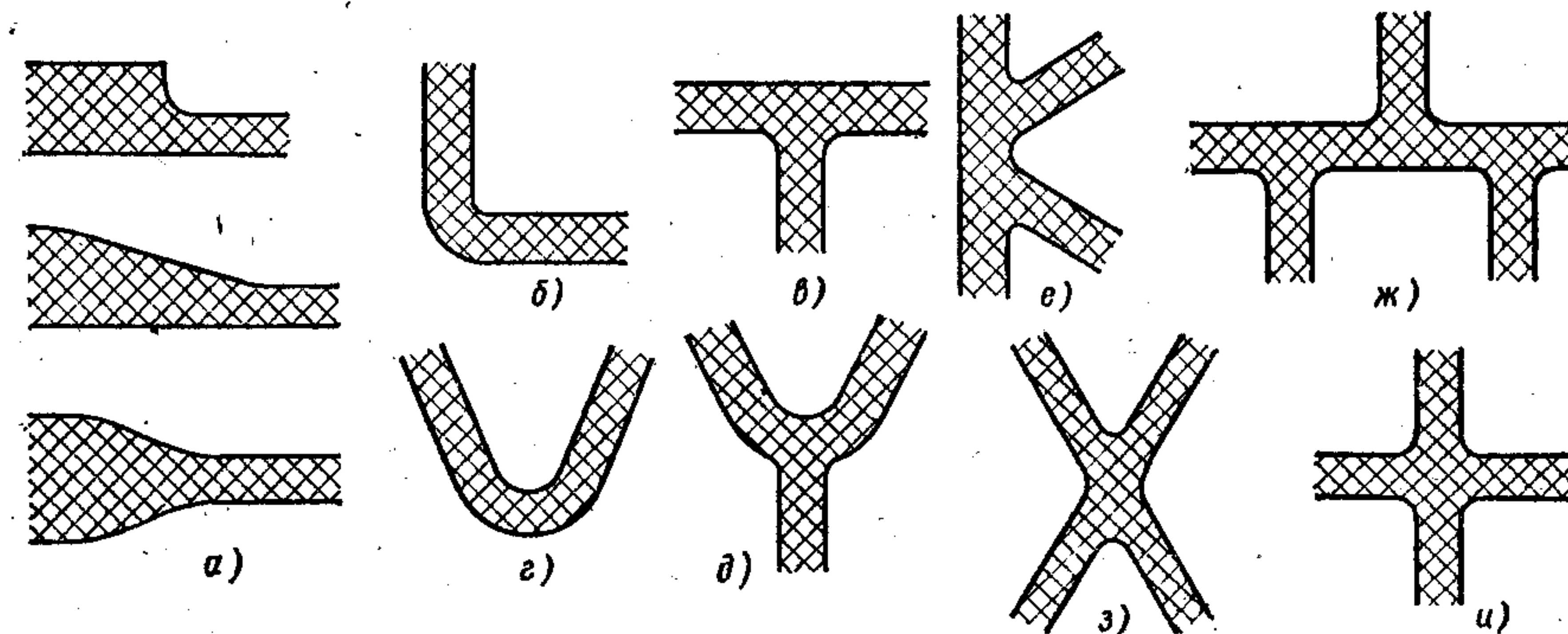


Рис. 12. Типовые сопряжения стенок: а — лобовое; б — L-образное (угловое); в — Т-образное (тавровое); г — V-образное; д — вилкообразное; е — К-образное; ж — К-образное шахматное; з — Х-образное; и — крестообразное

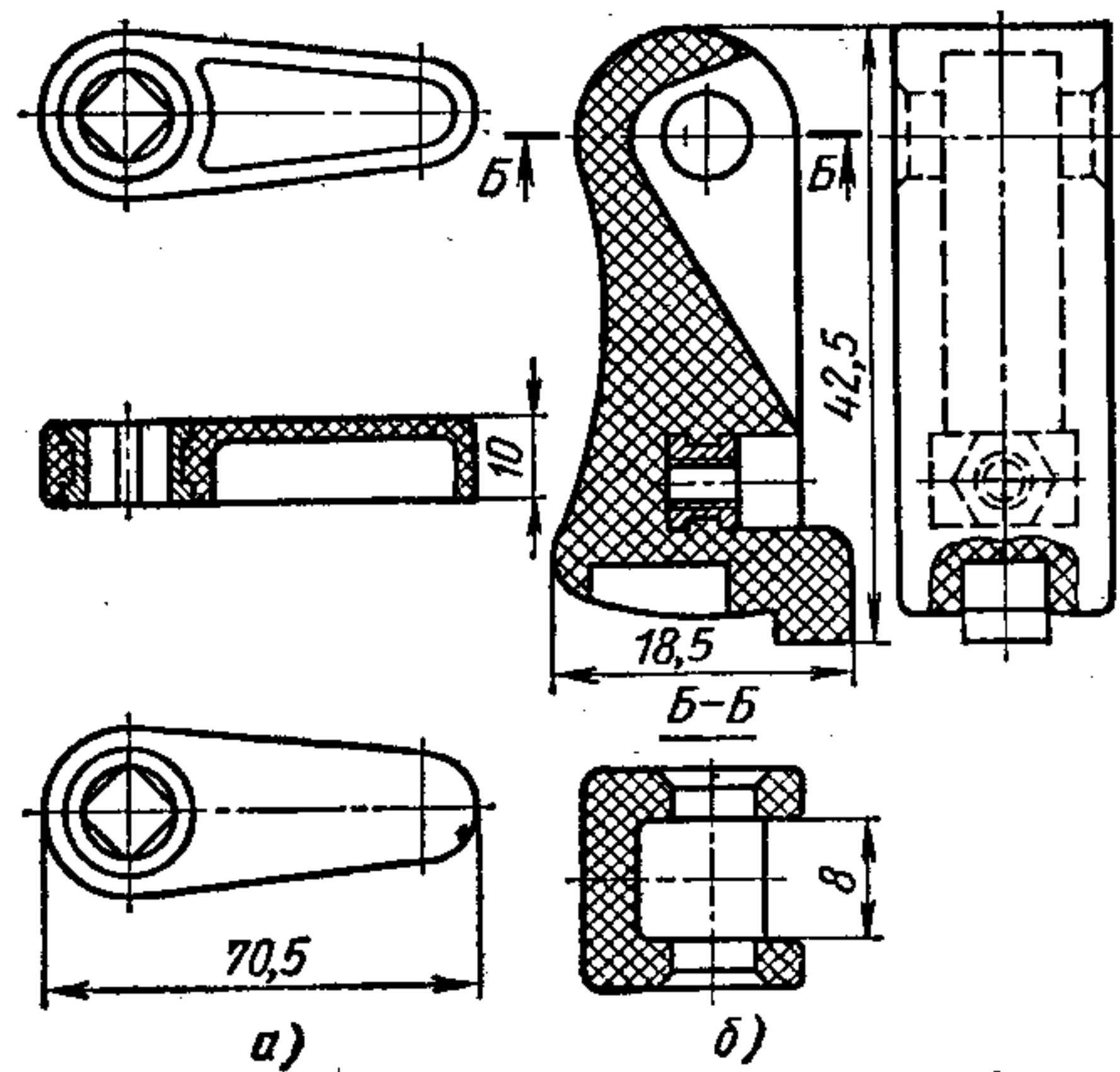


Рис. 13. Примеры уменьшения толщины стенок:
а — ручка (поликапролактан); б — гашетка (пресс-материал АГ-4)

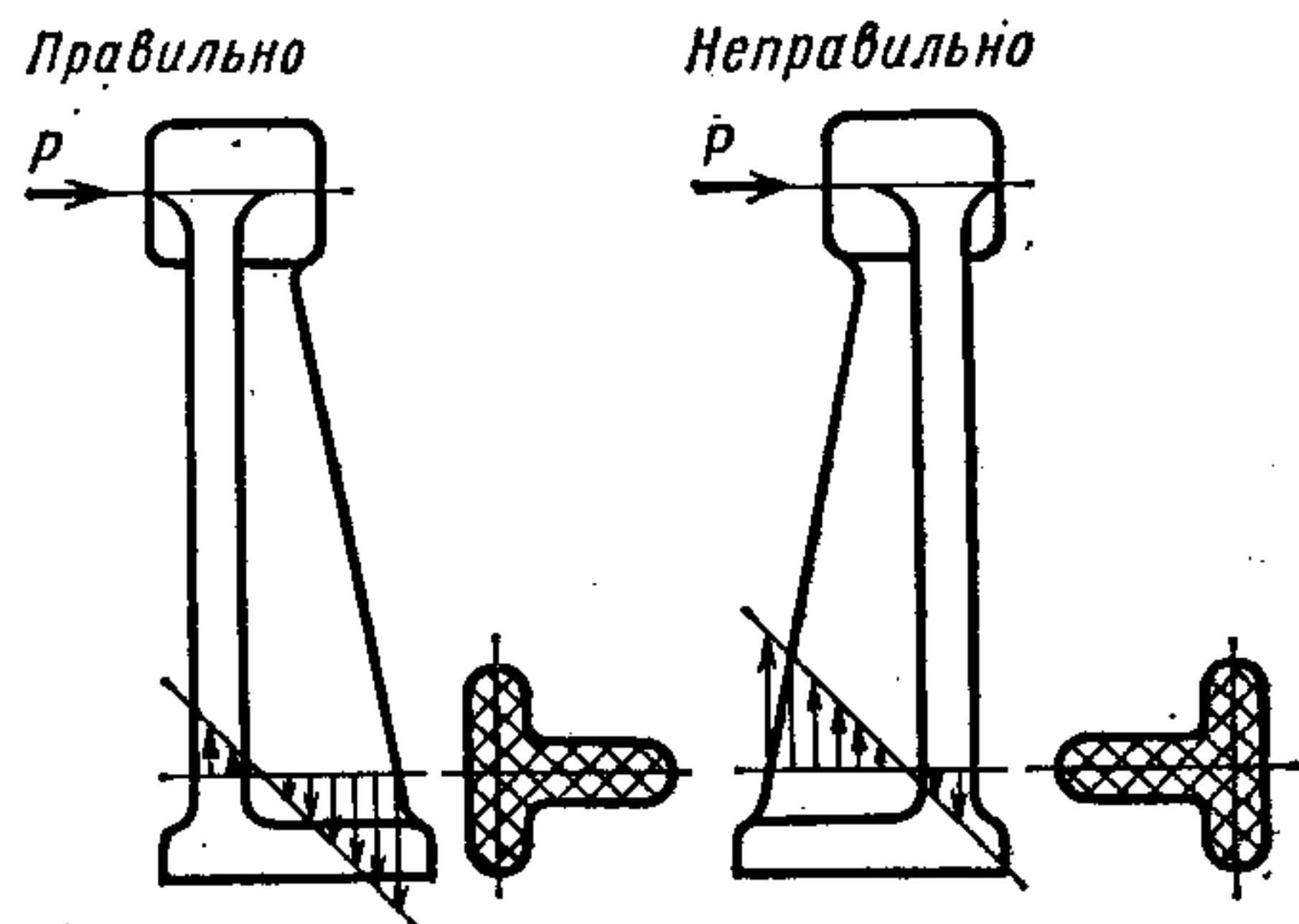


Рис. 14. Пример конструктивного оформления балки из пресс-материала с учетом условий ее работы

термореактивных пластмасс, текучесть которых значительно ниже текучести термопластов. Из пластмасс, обладающих низкой текучестью, можно получать изделия небольшой высоты с толстыми стенками, а из пластмасс, имеющих большую текучесть, высокие тонкостенные конструкции.

При большей механической прочности пластмасс возможно получение более высоких тонкостенных деталей; при низкой прочности подобные изделия получать недопустимо, хотя технологически это возможно.

Толщину сплошных сечений, за исключением отдельных случаев, не рекомендуется назначать свыше 10—12 мм. Толщину стенок можно уменьшить применением ребер жесткости или приданием стенкам рациональных профилей (рис. 13).

При конструировании деталей необходимо учитывать, что прочность пресс-материалов при сжатии значительно превосходит прочность их при растяжении.

Балку из пресс-материала (рис. 14), имеющую сечение с различными значениями коэффициентов запаса прочности в области растяжения и сжатия, с учетом ее изгиба следует конструировать так, чтобы слои, работающие на растяжение, имели больший коэффициент запаса прочности. При конструировании деталей из слоистых пресс-материалов следует учитывать, а также указывать на чертеже ориентировочное расположение их армирующего наполнителя (табл. 6).

Толщину стенок назначают в зависимости от габаритных размеров детали или из условий получения заданной механической прочности, а также с учетом текучести пластмассы.

Для определения наименьшей допускаемой толщины стенки (S , мм) изделия из термореактивных пластмасс можно использовать эмпирическую формулу [35]

$$S = \frac{2h}{L-20} + \frac{1}{\lg a},$$

где h — предполагаемая высота, мм; L — величина текучести по Рашигу, мм; a — удельная ударная вязкость пластмассы, кгс·см/см².

Эта формула дает удовлетворительные результаты при высоте стенки до 200 мм, величине текучести по Рашигу 50—200 мм, удельной ударной вязкости пресс-материала 2,5—100 кгс·см/см².

На основе приведенной формулы составлена табл. 7 [35]. В ней даны расчетные значения толщины стенки; для практического использования эти величины можно округлять до кратных 0,5 или 1. Значения текучести по Рашигу берут из табл. 1 (см. гл. 1).

6. Расположение слоев армирующего наполнителя в деталях из текстолита и гетинакса

Наименование детали	Эскиз детали	Правильное расположение слоев армирующего наполнителя
Стержень, работающий на растяжение		Параллельно направлению силы
Шайба, подкладка, работающие на сжатие		Перпендикулярно направлению силы
Балка, дисковая пружина, работающие на изгиб		Перпендикулярно направлению силы
Шпилька, работающая на срез		Перпендикулярно направлению силы
Шпindelь вентиля, работающий на продольный изгиб		Вдоль оси
Подшипник скольжения		Вокруг оси
Направляющая, работающая на трение скольжения		Параллельно направлению движения
Катящийся валик, работающий на трение качения		Вокруг оси
Шкив клиноременный вращающийся		Перпендикулярно оси

7. Номинально допустимые значения толщины

Ударная вязкость материала, кгс·см/см ²	Текущность пресс-материала.												
	50						100						
	Толщина стенки при												
	10	16	25	40	60	100	160	10	16	25	40	60	100
2,5	3,4	3,8	4,4	5,4	6,8	9,4	13,5	3,0	3,2	3,4	3,8	4,3	5,3
4	2,3	2,7	3,3	4,3	5,7	8,3	12,4	1,9	2,1	2,3	2,7	3,2	4,2
6	1,9	2,3	2,9	3,9	5,3	7,9	12,0	1,5	1,7	1,9	2,8	2,8	3,8
10	1,6	2,1	2,6	3,7	5,0	7,7	11,7	1,2	1,4	1,6	2,0	2,5	3,5
16	1,5	1,9	2,5	3,5	4,8	7,5	11,5	1,1	1,2	1,4	1,8	2,3	3,3
25	1,4	1,8	2,4	3,4	4,7	7,4	11,4	1,0	1,1	1,3	1,7	2,2	3,2
40	1,3	1,7	2,3	3,3	4,6	7,3	11,3	0,9	1,0	1,2	1,6	2,1	3,1
60	1,2	1,6	2,2	3,2	4,5	7,2	11,2	0,8	1,0	1,2	1,6	2,1	3,1
100	1,1	1,5	2,1	3,1	4,5	7,2	11,2	0,7	0,9	1,1	1,5	2,0	3,0

Для определения наименьших значений толщины стенки деталей из термопластических пластмасс рекомендуется формула

$$S = 0,8(\sqrt[3]{h} - 2,1),$$

где h — предполагаемая высота стенки, мм.

Наименьшие толщины стенок деталей, полученные по этой формуле, следующие (размеры, мм):

h	20	25	32	40	50	60	80	100	120	160	200	250	320	400
S	0,5	0,7	0,8	1,0	1,3	1,4	1,8	2,0	2,3	2,7	3,0	3,3	3,8	4,2

Для фенопластов горячего прессования не рекомендуется применять стенки толщиной менее 1,5 мм, а для пластмасс холодного прессования — менее 4 мм. Толщина сплошных сечений дна и местных утолщений не должна превышать 10—12 мм.

В связи с тем, что не всякая пластмасса хорошо формируется при изготовлении толстостенных деталей, для них пригодны полимеры, характеризующиеся следующими качествами: малым временем заполнения пресс-формы, охлаждения (затвердевания); малой степенью ориентации. Наиболее полно этим требованиям удовлетворяет полипропилен.

При конструировании пластмассовых полых литейных моделей толщину стенок можно определить по графику (рис. 15). Пластмассовые модели можно армировать металлической сеткой или мягкой проволокой, которые закладывают в пластмассу

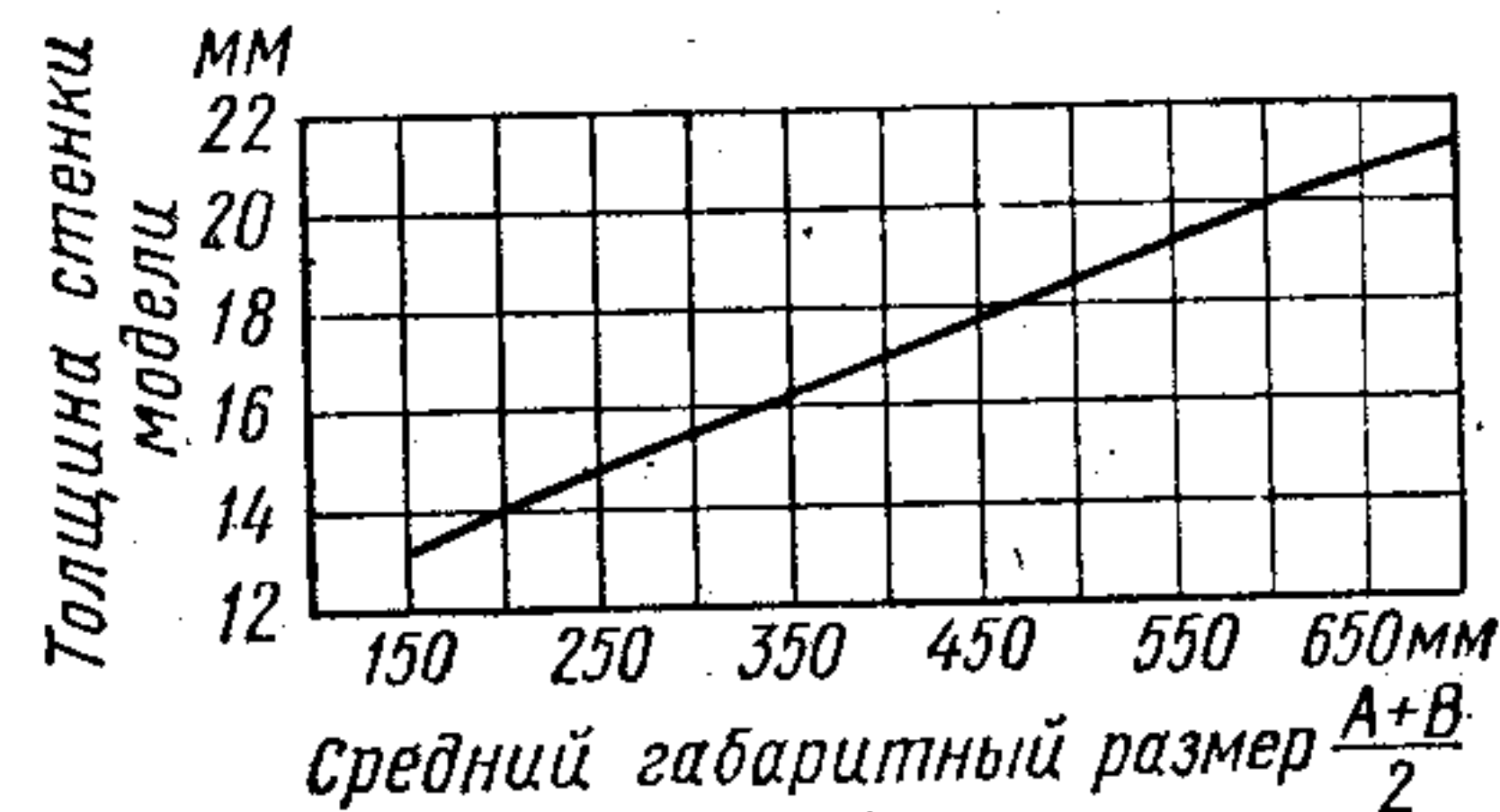


Рис. 15. Толщина стенок полых моделей из пластифицированных композиций

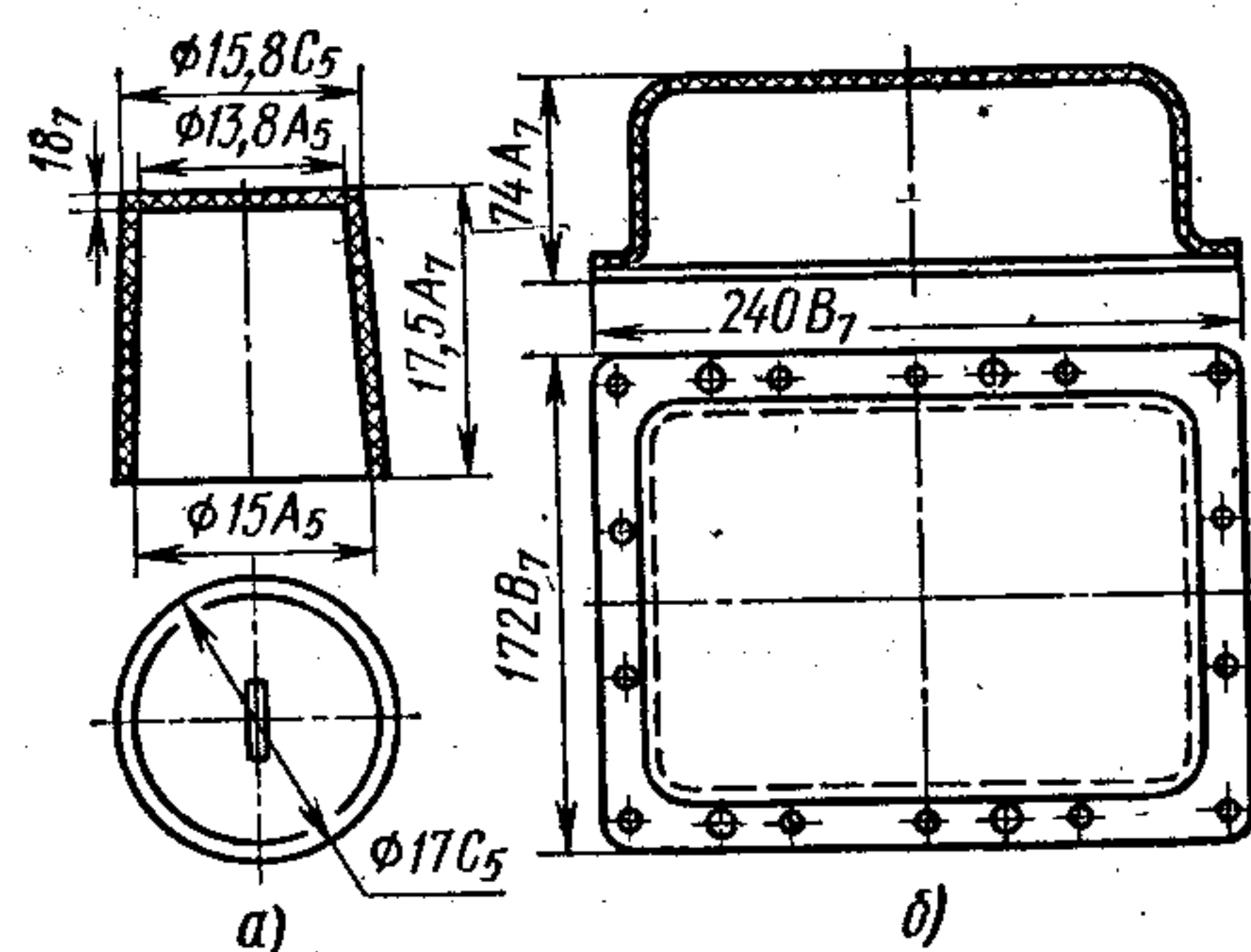


Рис. 16. Примеры равностенных конструкций: а — стакан (пресс-материал СП1-342-02); б — корпус (пресс-материал АГ-4В)

стенки изделий из терморезистивных пластмасс

но Рашигу, мм	ее высоте, мм														
	150						200								
	160	10	16	25	40	60	160	10	16	25	40	60			
160	6,8	2,9	3,0	3,1	3,4	3,7	4,3	5,2	2,8	2,9	3,0	3,2	3,4	3,9	4,5
10	5,7	1,8	1,9	2,0	2,3	2,6	3,2	4,1	1,7	1,8	1,9	2,1	2,3	2,8	3,4
16	5,3	1,4	1,5	1,7	1,9	2,2	2,8	3,7	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,4	3,0
25	5,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,9	2,5	3,4	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	2,1	2,8
40	4,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	2,3	3,2	0,9	1,1	1,1	1,3	1,5	1,9	2,6
60	4,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,6	2,2	3,1	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5
100	4,6	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	2,1	3,0	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,7	2,4
160	4,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,5	2,1	3,0	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,6	2,3
200	4,5	0,6	0,7	0,9	1,1	1,4	2,0	2,9	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,6	2,3

при заполнении формы на глубину 2—3 мм от поверхности. Сетку и проволоку перед закладкой отжигают и выгибают соответственно контуру формы.

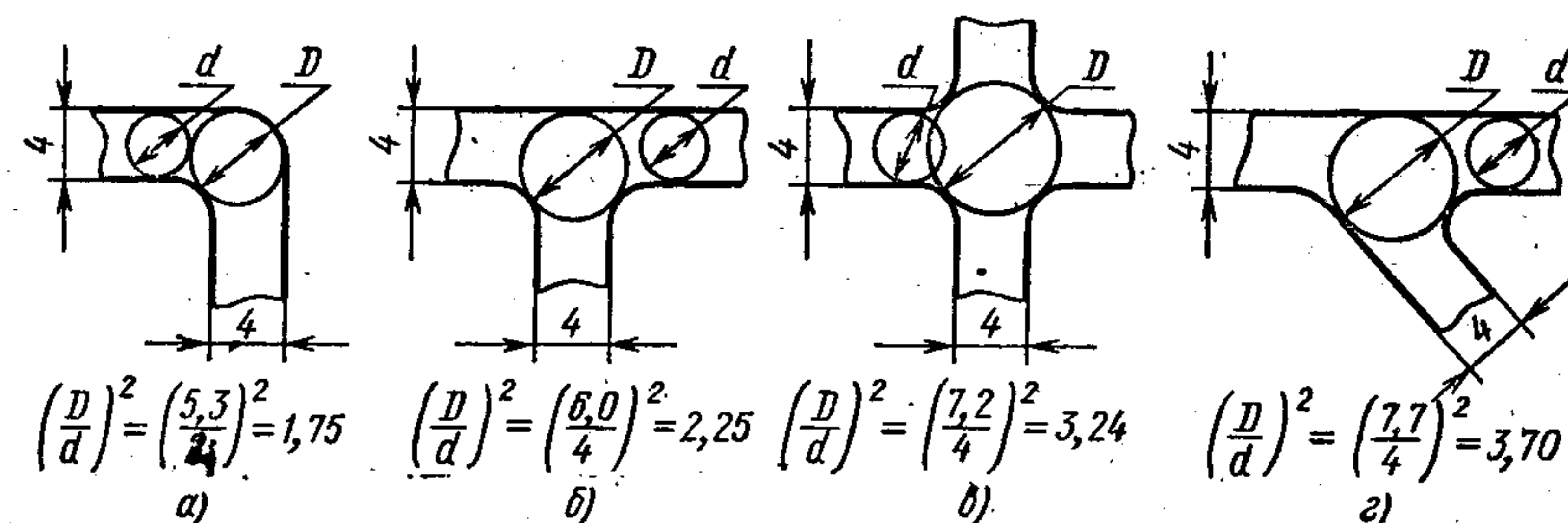


Рис. 17. Графический метод определения зон возможных усадочных раковин. Увеличение массы в узле: а — на 75%; б — на 125%; в — на 224%; г — на 270%

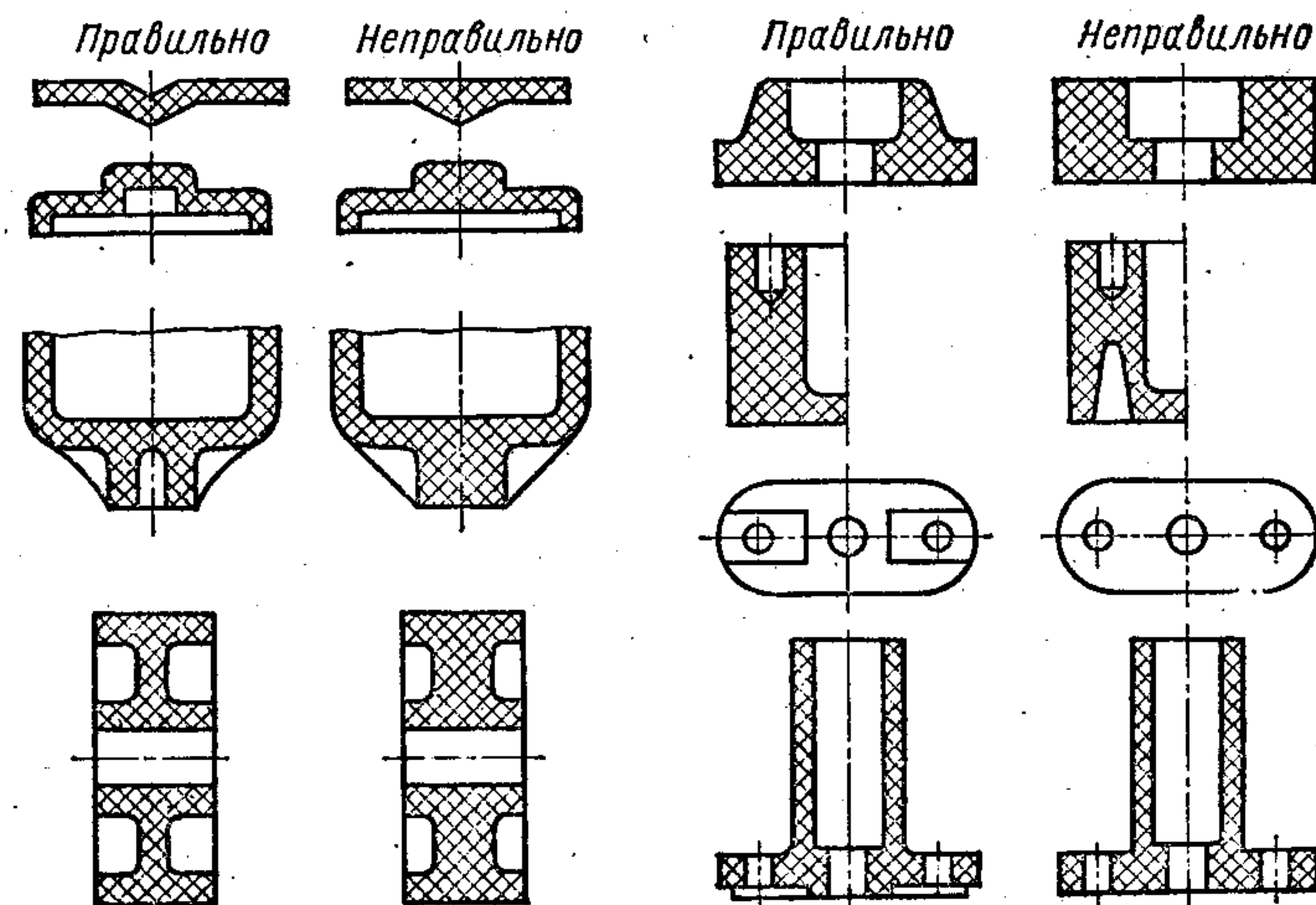


Рис. 18. Примеры оформления деталей со стенками разной толщины

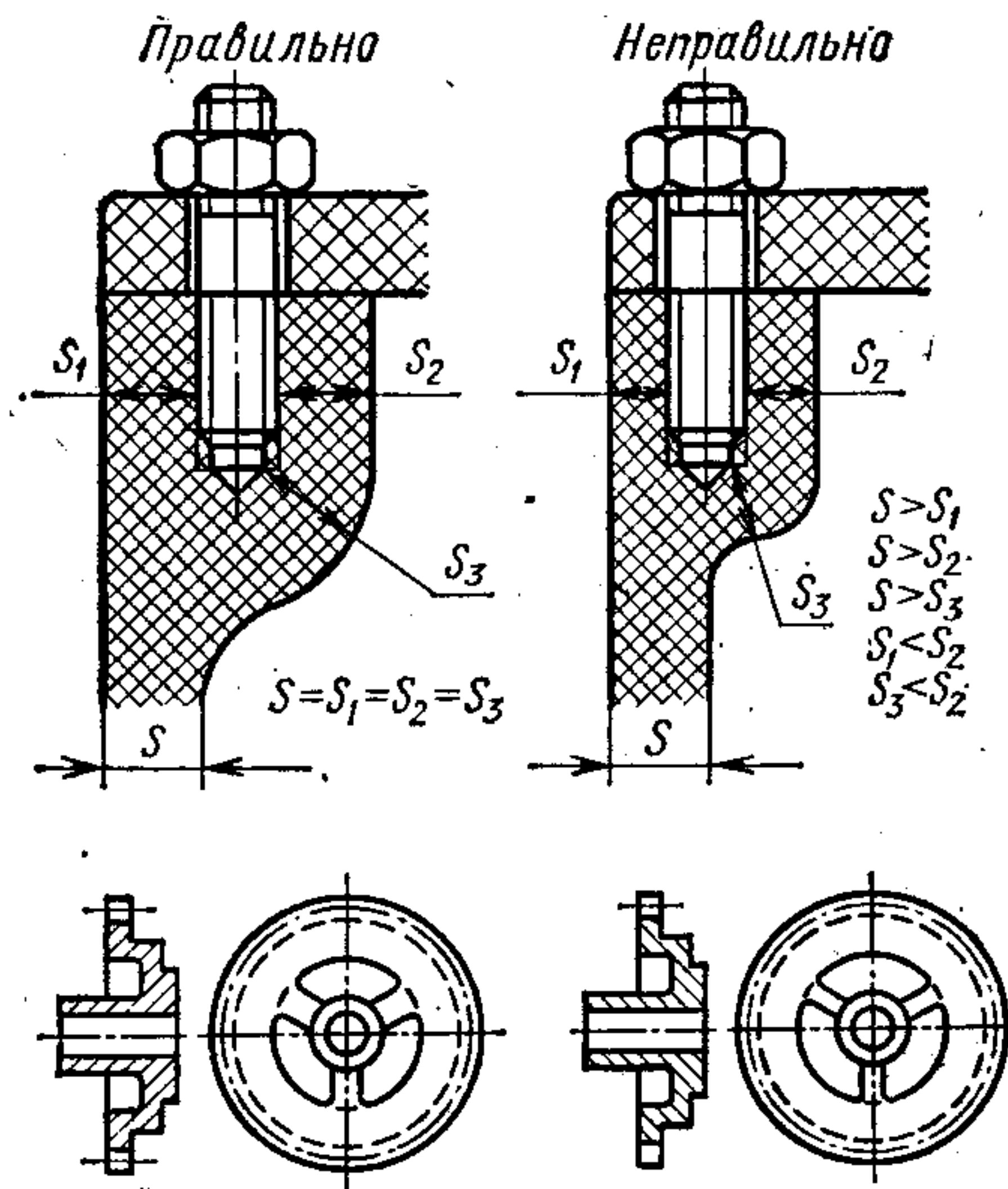


Рис. 19. Примеры конструкций приливов под шпильку и зубчатых колес

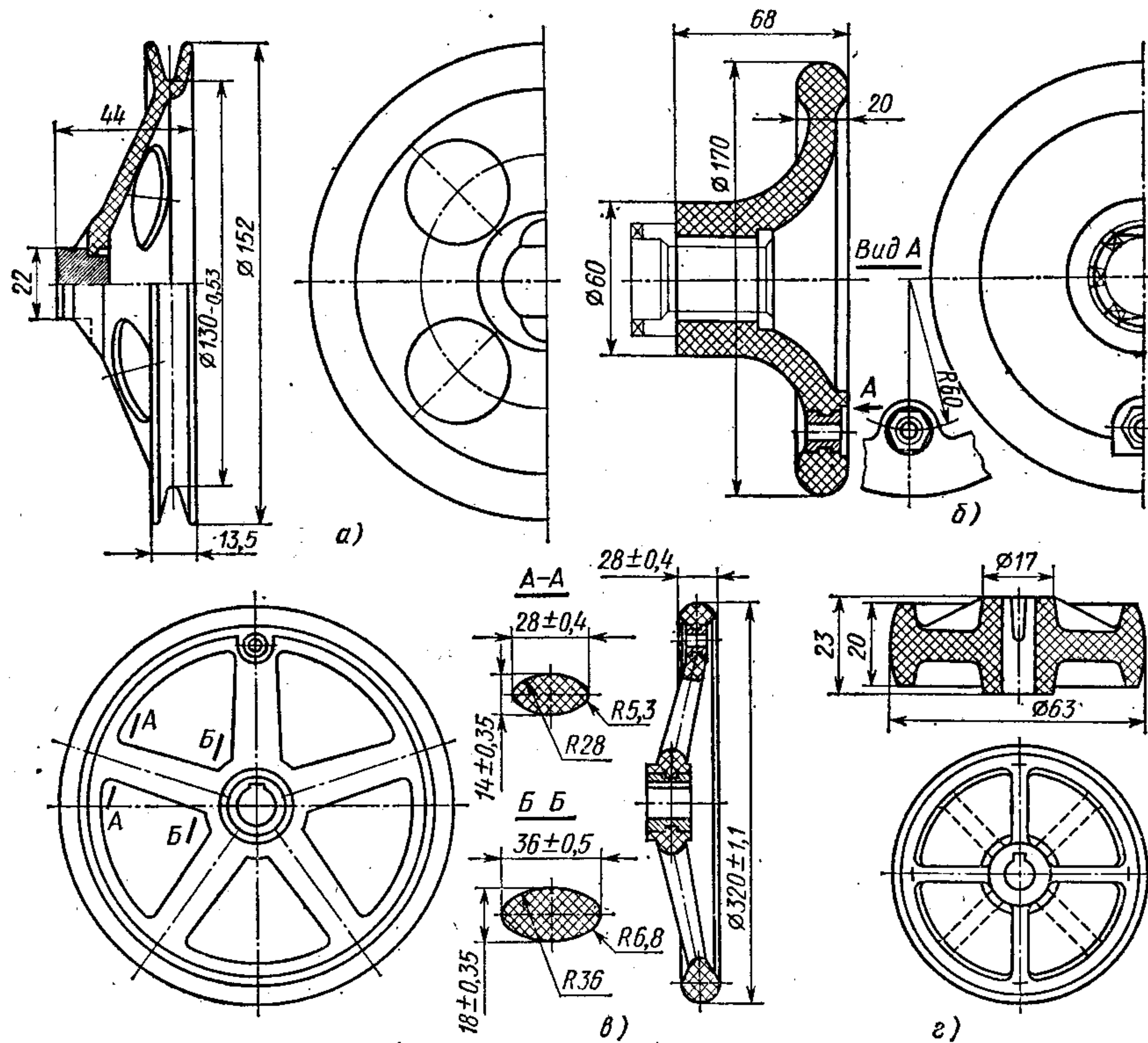


Рис. 20. Примеры правильных конструкций: а — шкив пульсатора (пресс-материал 01-040-02); б — маховик без спиц (волокнит); в — маховик со спицами (пресс-материал 03-010-02); г — ролик ходовой (пресс-материал 01-040-02)

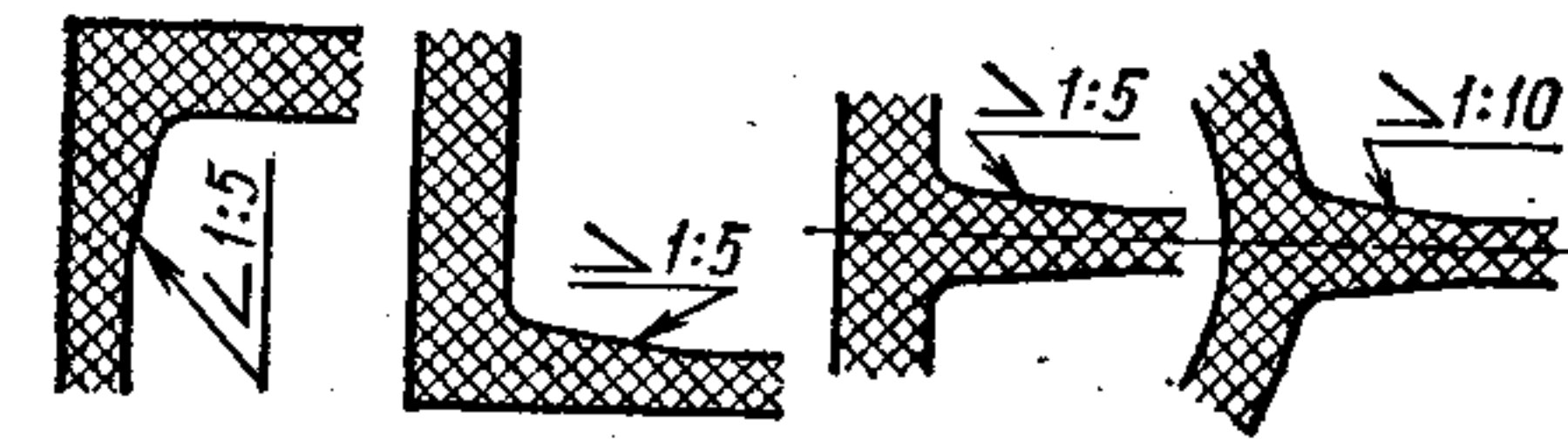


Рис. 21. Примеры оформления переходов при помощи уклонов

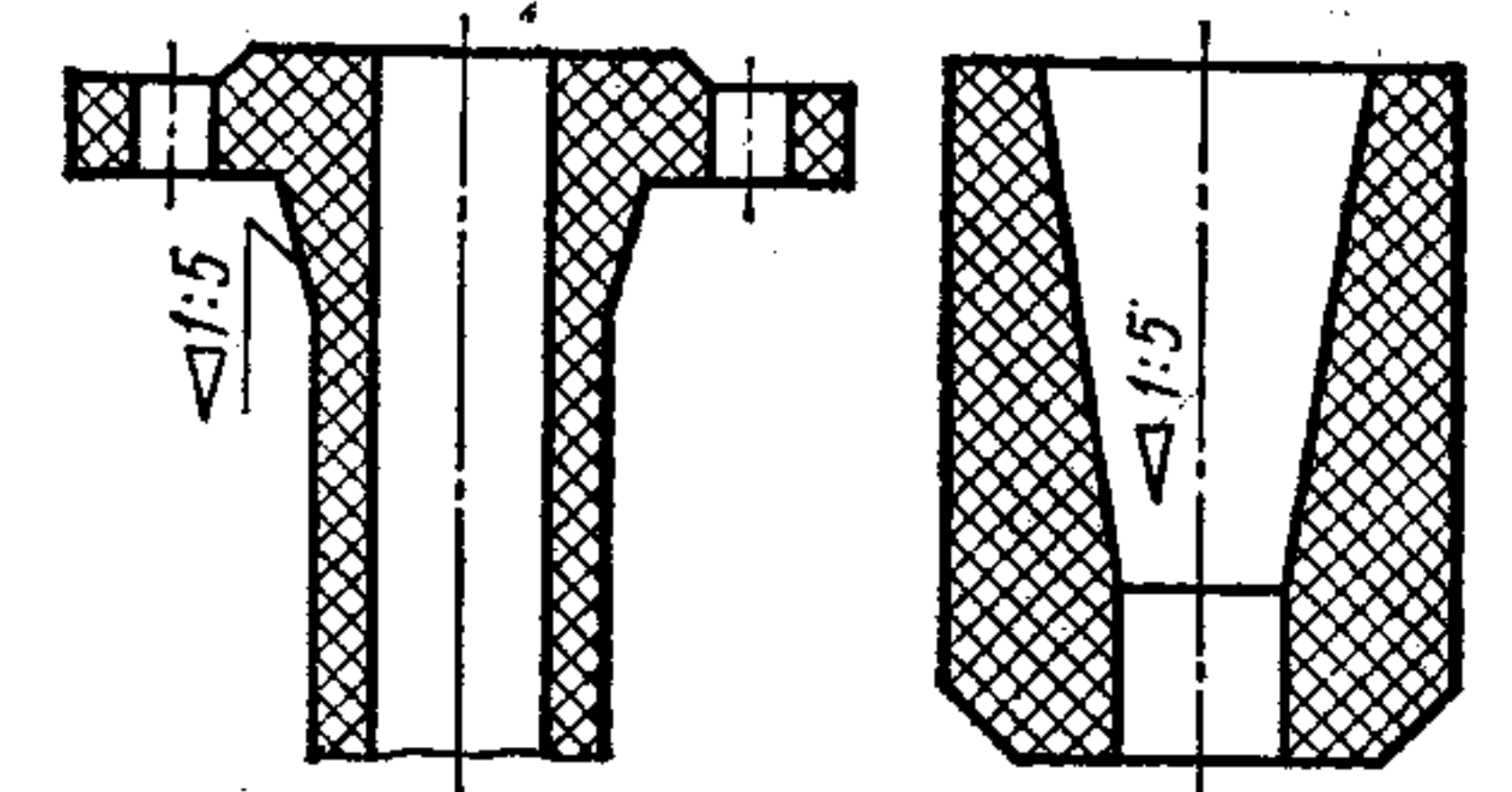


Рис. 22. Примеры оформления переходов при помощи конусности

При конструировании деталей из пластмасс необходимо соблюдать условие равенственности, т. е. во всех сечениях выдерживать одинаковую толщину (рис. 16).

При разностенности может быть нарушена норма времени выдержки при прессовании, величина которой определяется наибольшей толщиной стенки изделия. Различная скорость охлаждения отдельных элементов детали приводит к ухудшению ее свойств; при литье термопластов наличие утолщенных мест приводит к браку из-за образования в них газовых пузырей или поверхностных утяжин. Так как вероятность появления дефектов возрастает с увеличением количества пластмассы в узле, то по отношению массы в различных узлах сопрягаемых стенок можно с достаточной степенью точности получить представление о возможности их возникновения и выбрать наиболее технологичный вариант.

Четыре варианта сопряжения стенок с одинаковыми радиусами закруглений показаны на рис. 17. Вписанные окружности позволяют определить увеличение массы в сопряжениях. Как видно, наименьшая вероятность дефектов будет в конструкции на рис. 17, а, наибольшая — на рис. 17, г. Графический метод определения величины возможных усадочных дефектов можно применять при сопряжении стенок с ребрами и ребер между собой. В случае, когда по конструктивным соображениям невозможно обеспечить равенственность, допускаемая разность в толщинах стенок при прессовании должна составлять не более 2 : 1; при литье под давлением деталей простой конфигурации, плоскостных монолитных с габаритными размерами до 80 мм и отношением высоты к длине не более 1 : 5 или деталей типа втулок монолитных и сквозных с теми же габаритами разностенность должна быть не больше 2,5 : 1.

Примеры оформления деталей со стенками разной толщины показаны на рис. 18.

Условие равенственности рекомендуется соблюдать при конструировании приливов под шпильку, зубчатых колес (рис. 19), шкивов, маховиков, роликов (рис. 20) и других деталей.

Более массивные ободья зубчатых колес (по сравнению с втулкой и ребрами) охлаждаются медленнее; это будет вызывать деформирование венца на участках между ребрами.

В ряде случаев утолщения необходимы, поэтому правильно сконструированной деталью можно считать такую, у которой величина разностенности не превышает 30% от наименьшей толщины стенки и отсутствуют резкие переходы.

Переходы от большего сечения стенки к меньшему рекомендуется выполнять при помощи радиусов закруглений (см. с. 66) или уклонов (рис. 21), а в цилиндрических элементах при помощи конусности (рис. 22) в соответствии с ГОСТ 8593—57.

Примеры рационального применения уклонов и конусности показаны на рис. 23; плавность переходов позволяет улучшать технологичность деталей.

По конструктивным соображениям стенки утолщают в следующих случаях: при наличии отверстий (рис. 24, а);

при конструировании деталей с резьбой (рис. 24, б);

для увеличения прочности элементов деталей, работающих в абразивной среде (рис. 24, в) (толщина стенки ковша ленточного элеватора увеличена с 5 до 10 мм);

при проектировании ступиц шкивов и зубчатых колес необходимо предусматривать прилив над местом расположения шпоночной канавки для компенсации местного ослабления детали (рис. 24, г);

для увеличения сопрягаемых поверхностей (рис. 24, д);

при конструировании деталей с рифлением (рис. 24, е);

при проектировании армированных деталей; для создания вокруг арматуры стенок соответствующей толщины (рис. 24, ж).

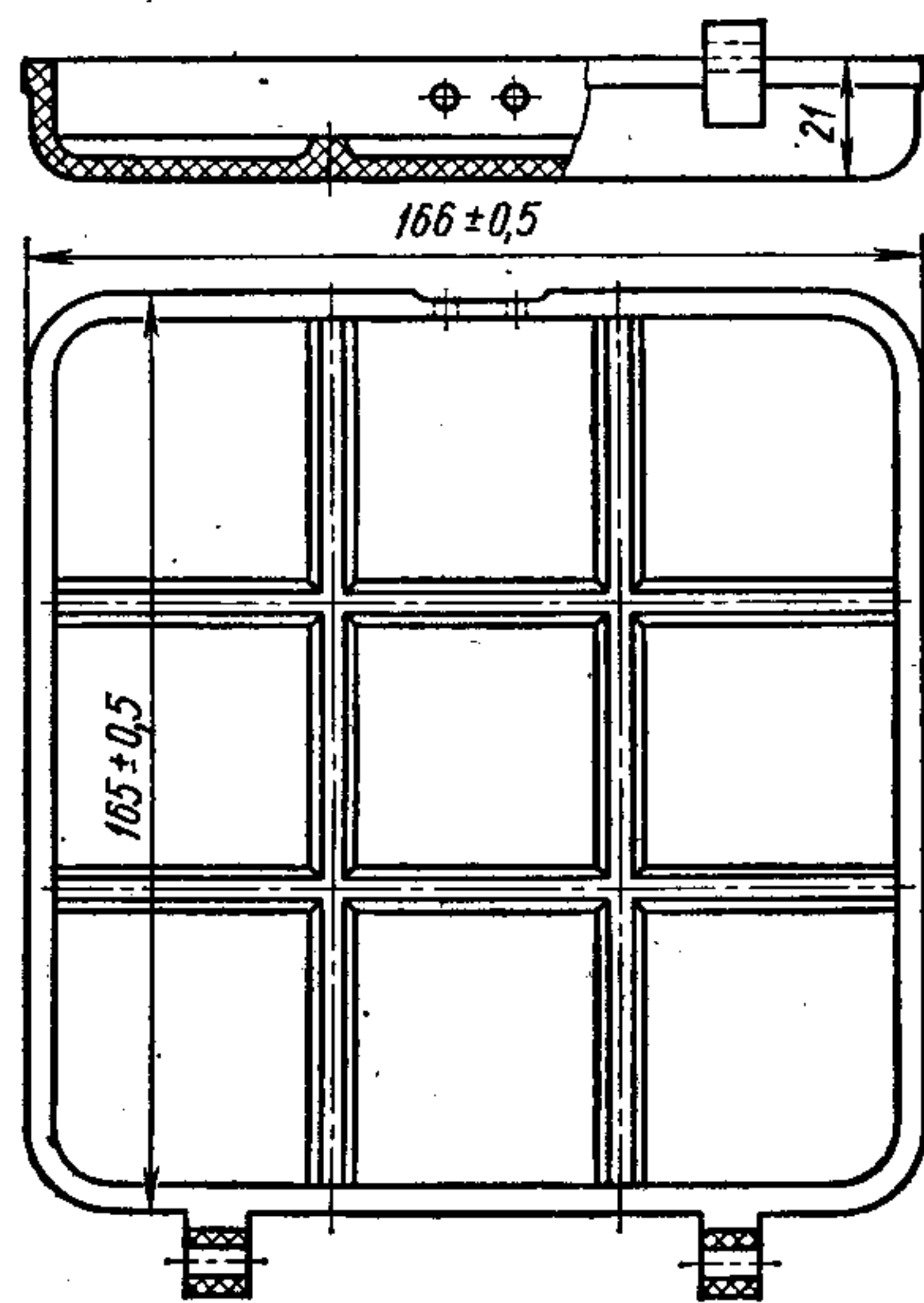
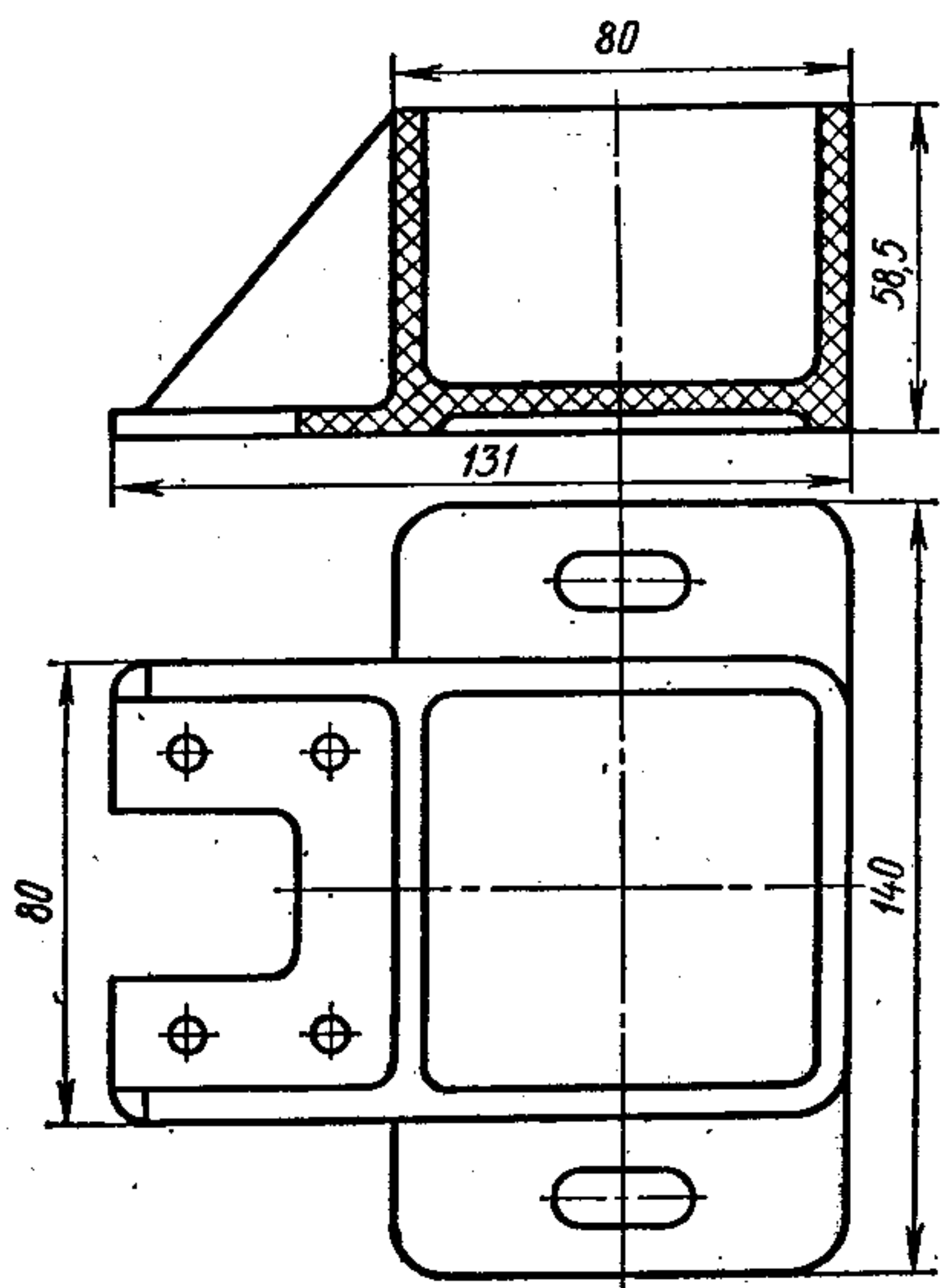


Рис. 27. Ребра жесткости на корпусе смазывающего устройства (фенопласт)

Рис. 28. Ребра жесткости на крышке (пресс-материал 03-010-02)

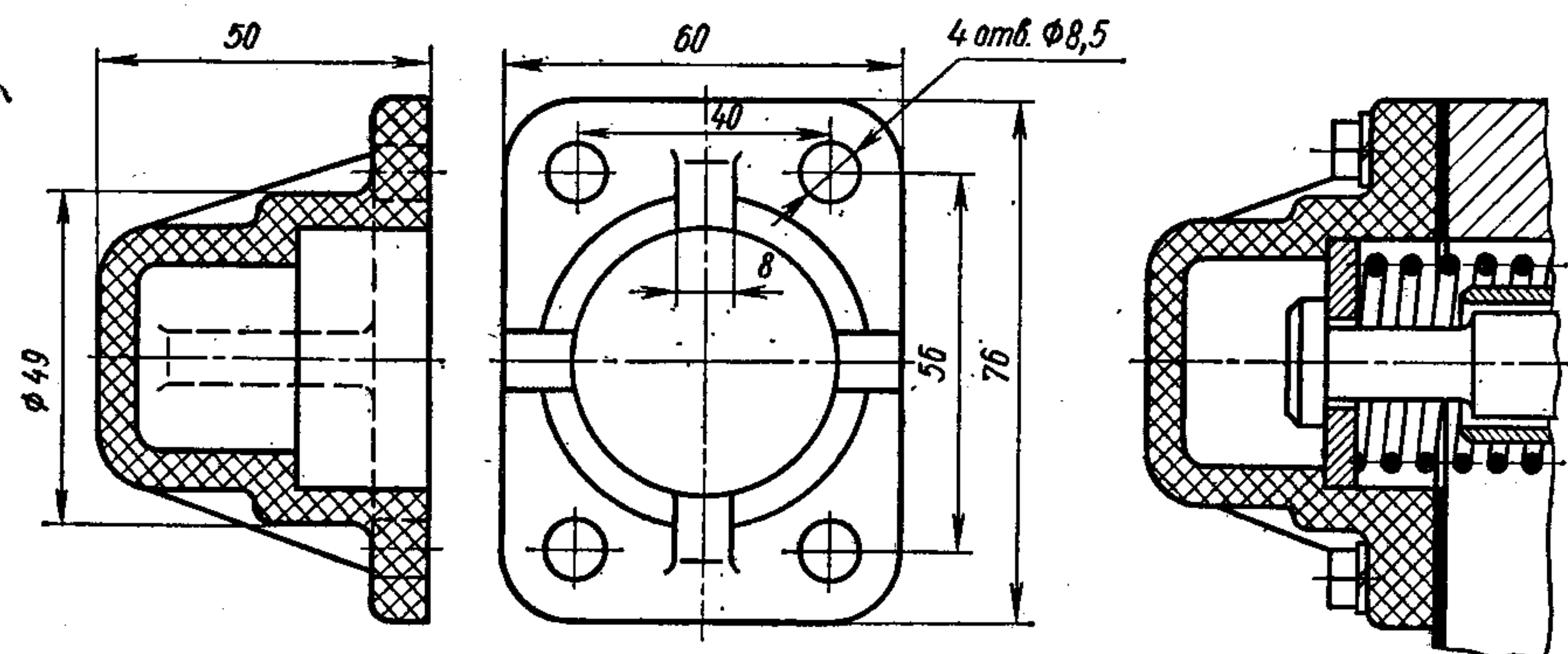


Рис. 29. Ребра жесткости на крышке золотников гидравлического распределителя автопогрузчика (волокнит)

Ребра жесткости позволяют уменьшить сечения отдельных элементов детали, снизить внутренние напряжения в местах сопряжения стенок различного сечения, а также способствуют предотвращению коробления или брака по трещинам. В зависимости от назначения ребра жесткости подразделяют на следующие виды:

— усиливающие; они служат для увеличения прочности детали в определенных сечениях (рис. 27), уменьшения напряжений, особенно в тонкостенных деталях (рис. 28);

— разводящие; эти ребра воспринимают сосредоточенные нагрузки и переносят их рассредоточенно на большую площадь стенки детали; например, такую роль выполняют ребра крышки золотника (рис. 29), находящегося в масляной среде и подвергающегося динамической нагрузке;

— обеспечивающие равенство детали (рис. 30);

— конструктивные, имеющие целевое назначение; на рис. 31 показана крыльчатка насоса, лопасти которой служат основными эксплуатационными элементами;

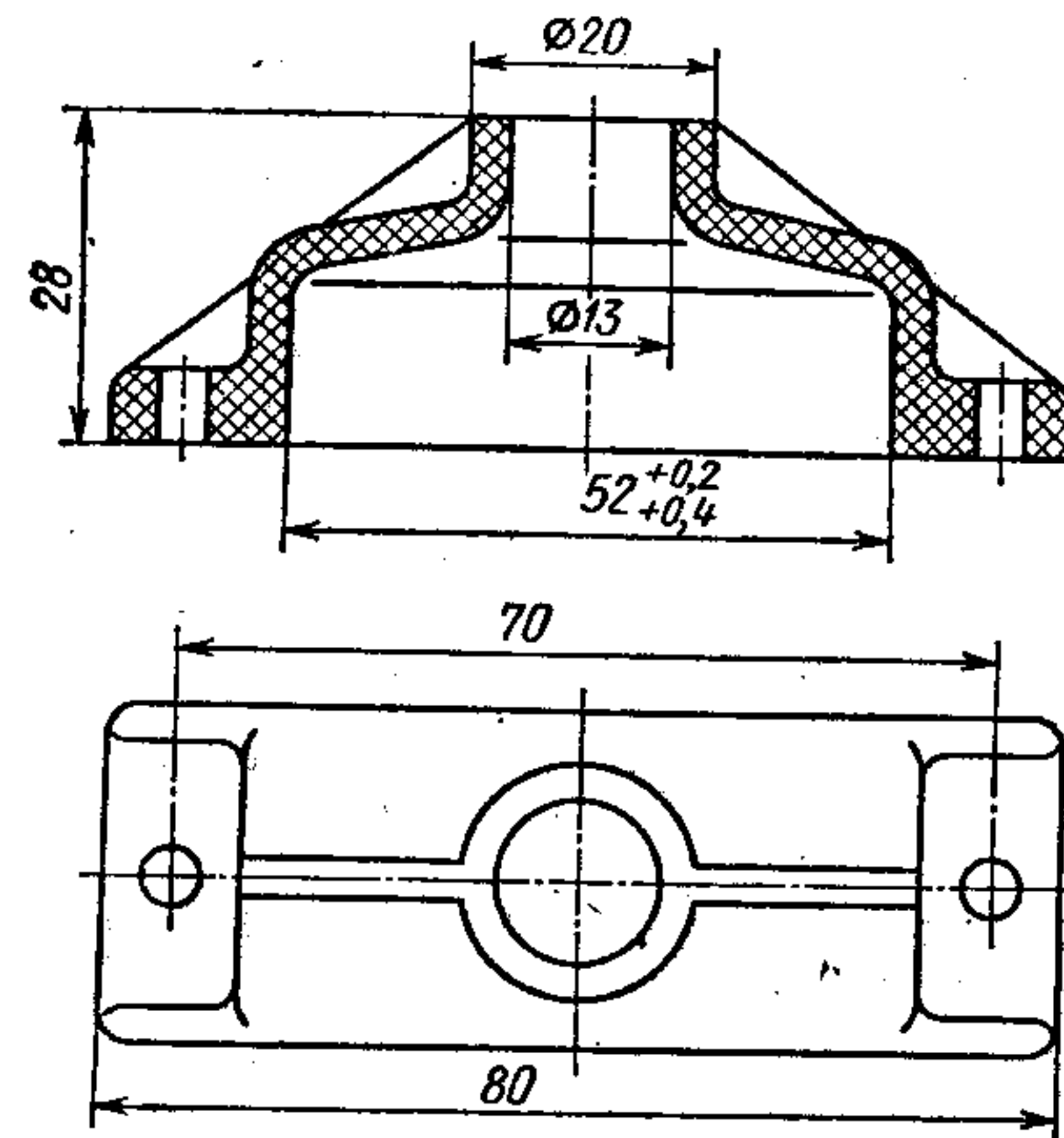


Рис. 30. Ребра, способствующие осуществлению равенства детали

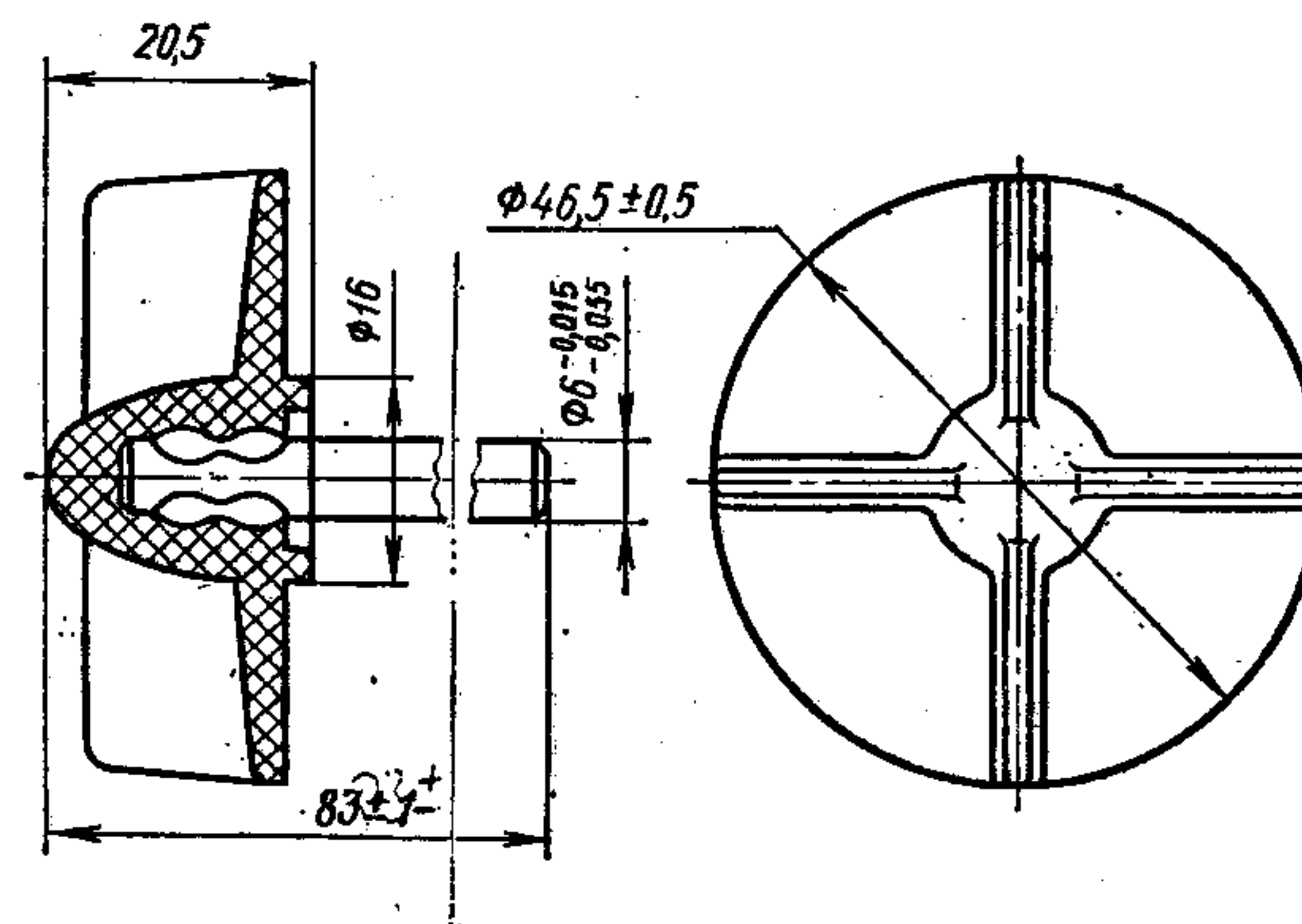


Рис. 31. Конструктивные ребра на крыльчатке насоса (пресс-материал 03-010-02)

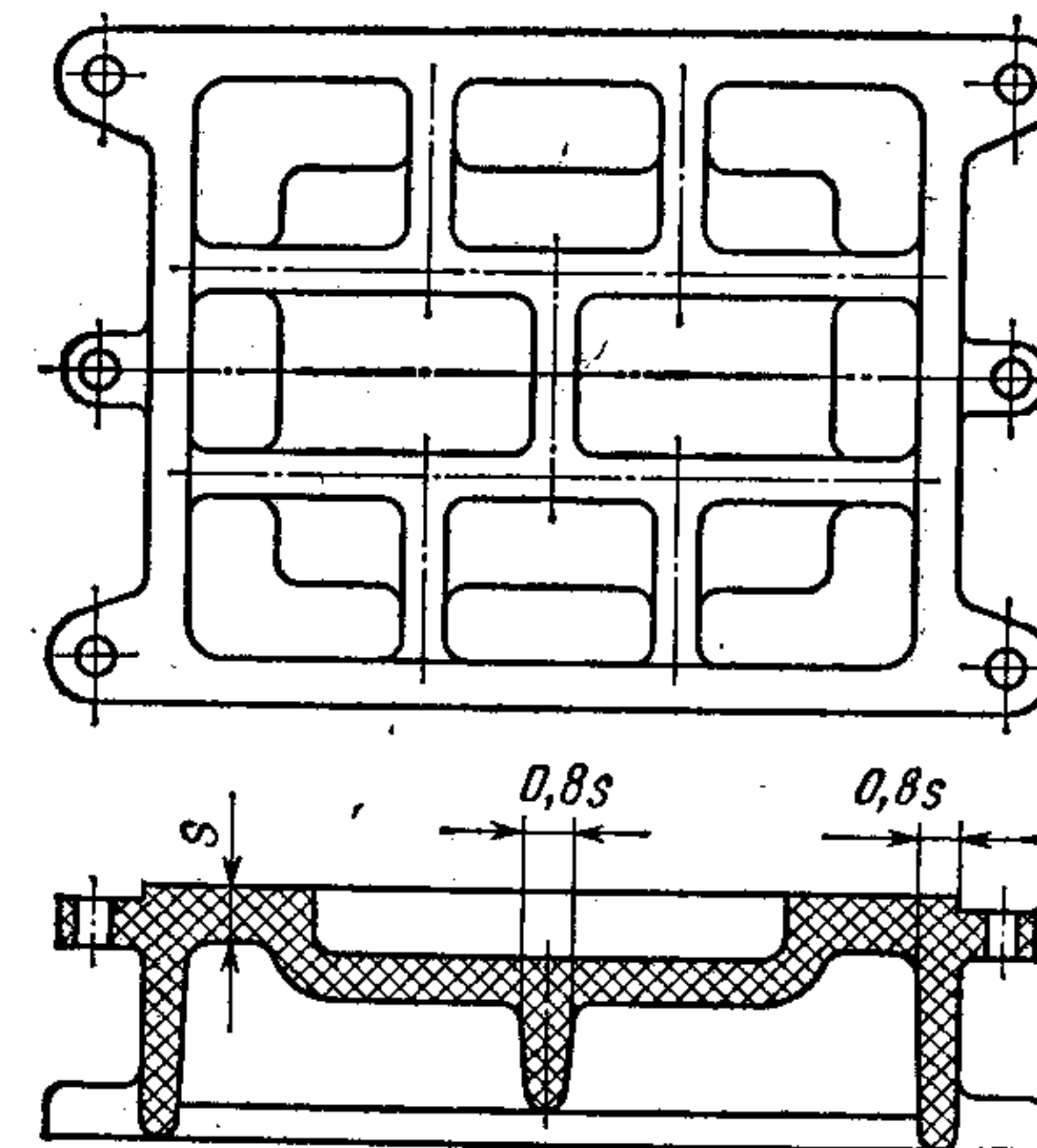


Рис. 32. Пример оформления ребер жесткости на детали

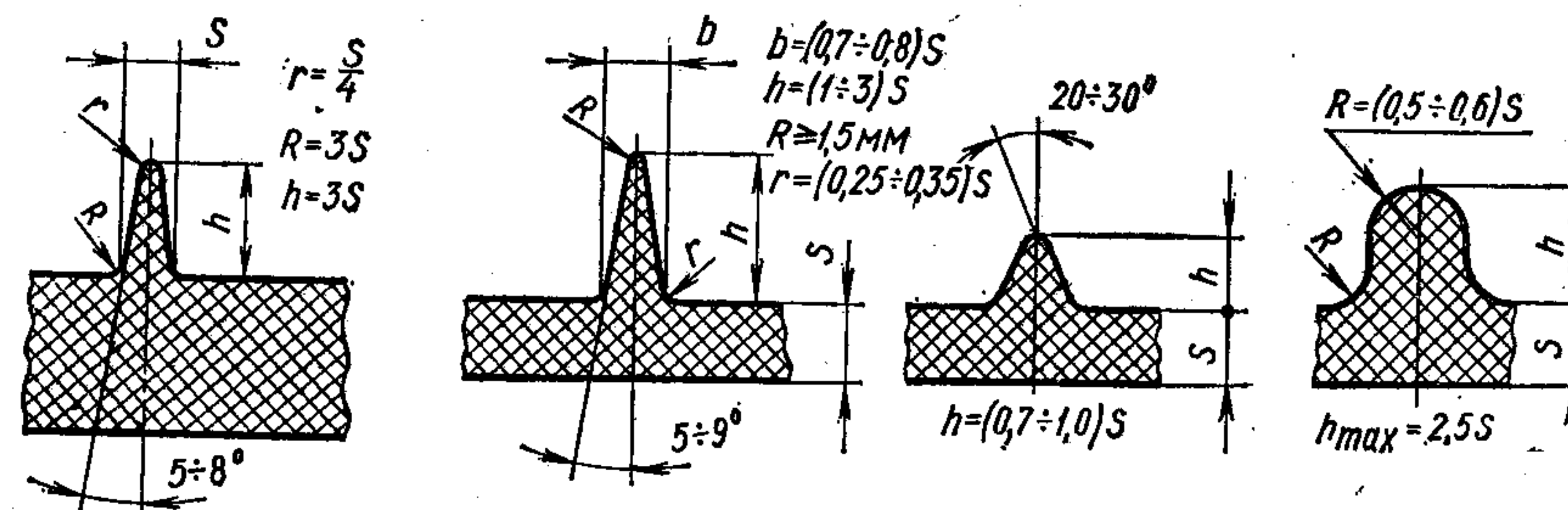


Рис. 33. Рекомендуемые соотношения элементов ребер жесткости

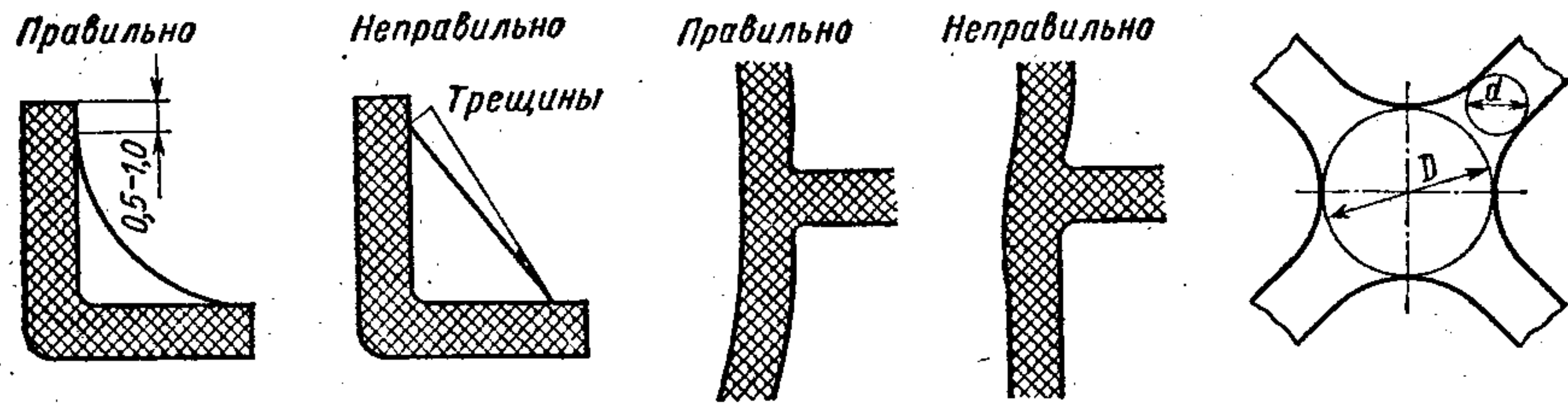


Рис. 34. Пример оформления ребер жесткости

Рис. 35. Пример оформления ребер жесткости

Рис. 36. Узел сопряжения ребер жесткости

технологические, применяемые в зависимости от технологического процесса изготовления пластмассовой детали; к ним относят ребра, применяемые для устранения коробления детали, облегчения извлечения детали из формы, уменьшения времени выдержки детали в форме.

При конструировании пластмассовых деталей с ребрами жесткости необходимо принимать во внимание следующие рекомендации.

Ребра жесткости не должны быть толще стенки детали или ее элемента, к которому примыкают. Оптимальная толщина ребер жесткости не должна превышать 0,6—0,8 толщины сопрягаемой стенки (рис. 32). При большей толщине ребер возможно появление трещин в местах скопления массы на стыке ребра жесткости со стенкой.

При конструировании литейных моделей из пластмасс толщину ребер жесткости принимают 0,8—1,0 от толщины стенок; рекомендуемые расстояния между ребрами (размеры, мм) [11]:

Длина модели	До 600	Св. 600 до 1200	Св. 1200 до 1800	Св. 1800
Расстояние между ребрами жесткости	150	200	250	300

Рекомендуемые соотношения элементов ребер жесткости приведены на рис. 33.

Ребра жесткости не должны доходить до опорной поверхности или до края примыкающего к нему элемента на 0,5—1,0 мм. Это гарантирует от выхода ребра за пределы опорной поверхности при формообразовании и допускает незначительные деформации поверхности детали, которая усилена этими ребрами. Кроме того, желательно, чтобы ребра жесткости примыкали к опорной поверхности плавно (рис. 34).

Ребра жесткости рекомендуется располагать на прямых участках элементов детали (рис. 35).

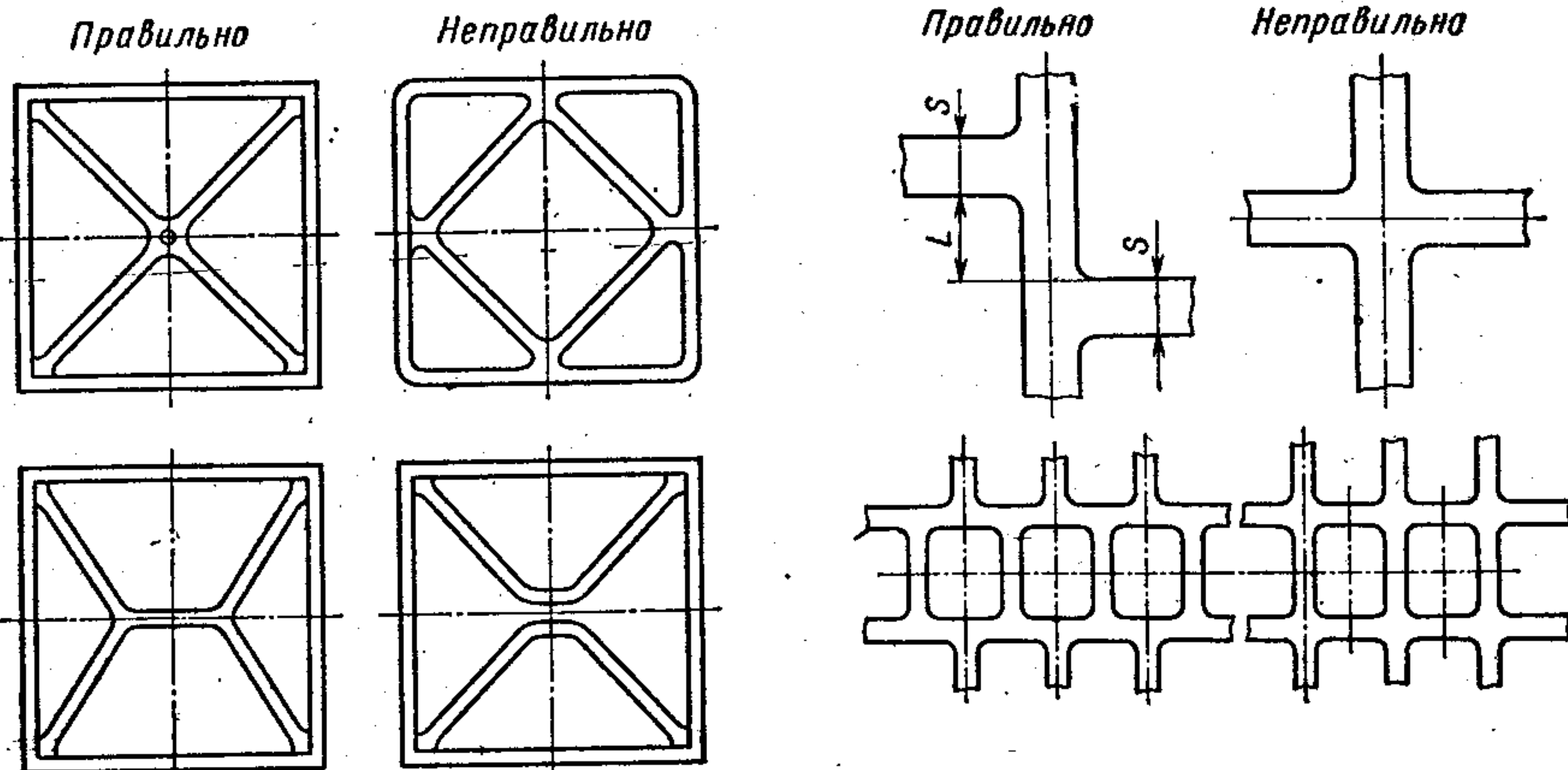
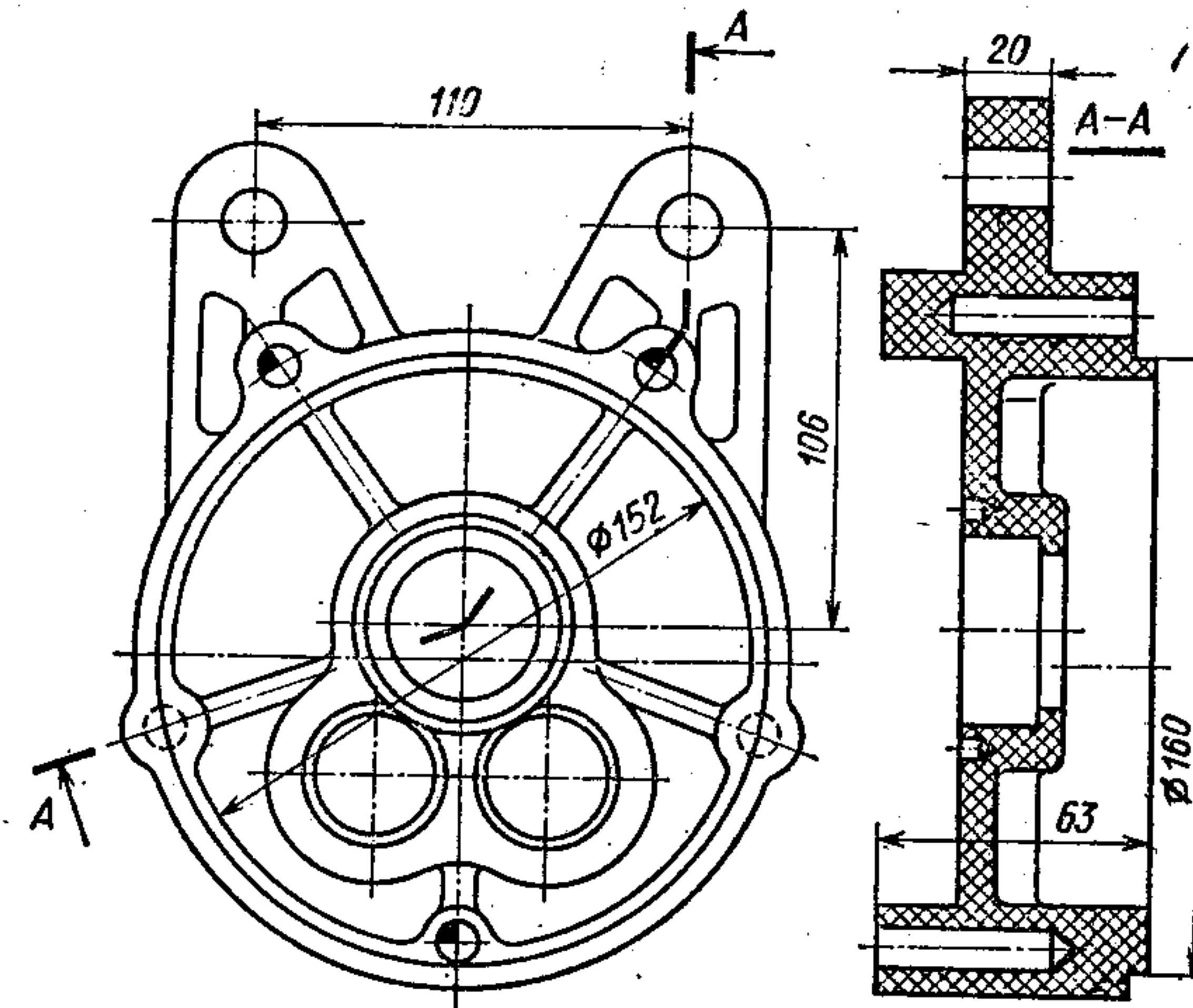


Рис. 37. Примеры расположения ребер жесткости

Рис. 38. Расположение ребер жесткости на деталях типа плит: $L \geq 1,5 S$

Рис. 39. Ребра жесткости на полукорпусе грузоподъемного механизма электрической тали (пресс-материал АГ-4В)



При конструировании ребристых плит, дниц и крышек с плоской поверхностью необходимо выбирать рациональное расположение ребер, с тем чтобы обеспечить необходимую жесткость плиты и избежать скопления массы в местах сопряжений. Увеличение массы в узле сопряжения ребер по сравнению с массой в ребре может быть значительным (рис. 36).

Необходимо стремиться к диагональному или диаметральному расположению ребер жесткости. Предпочтение таким ребрам следует отдавать и по технологическим соображениям, так как при производстве деталей значительно уменьшается коробление стенок и дниц (рис. 37).

При сопряжении ребристых деталей типа плит рекомендуется располагать ребра в шахматном порядке, избегая крестообразных сопряжений, дающих значительные местные скопления массы (рис. 38).

Ребра жесткости, которые служат для укрепления элементов деталей (муфт, втулок, фланцев), рекомендуется размещать симметрично оси детали во избежание ее коробления. Форма ребер жесткости должна обеспечивать их свободную деформацию при усадке пластмассы во время затвердевания.

В ребристых деталях следует избегать замкнутых контуров или стремиться к уменьшению периметра таких контуров. В противном случае масса, находящаяся внутри контура, лишена возможности свободной усадки, что обычно приводит к трещинам особенно при малой толщине стенок. В качестве примера на рис. 39 показана рациональная конструкция с ребрами жесткости, обеспечивающая получение детали без деформации.

Для уменьшения опасности возникновения напряжений в самом ребре жесткости форму его сечения сохраняют постоянной на всей длине.

Ребра жесткости придают наибольший допустимый технологический уклон и располагают их в плоскости разъема пресс-формы или перпендикулярно к ней (рис. 40).

Исходя из конструктивных свойств пластмасс, ребра жесткости, если позволяет их конструкция, желательно располагать так, чтобы они работали на сжатие, а не на растяжение (рис. 41).



Рис. 40. Расположение ребер жесткости с учетом плоскости разъема пресс-формы

Рис. 41. Расположение ребер жесткости с учетом приложения нагрузки

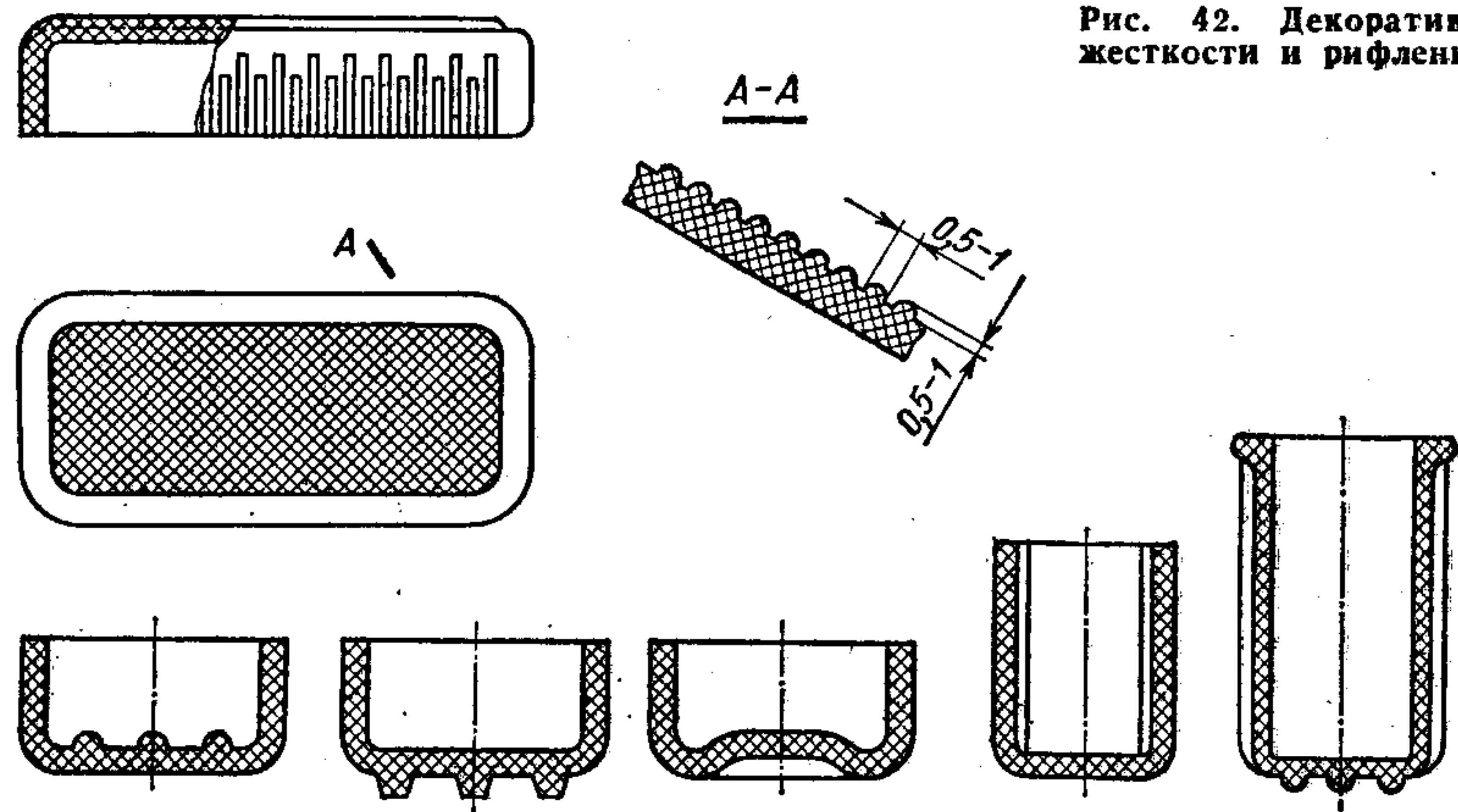


Рис. 42. Декоративные ребра жесткости и рифления

Рис. 43. Применение мелких ребер жесткости — нервюры

Если деталь из формы выталкивают по ребру жесткости (обычно используют ребра внутренней поверхности), то на ребрах предусматривают небольшие местные утолщения с плоской вершиной в точках выталкивания.

В связи с тем, что у крупногабаритных деталей ребра жесткости не всегда могут полностью предотвратить местные прогибы на поверхности деталей, для устранения прогиба на наружной поверхности рекомендуется наносить мелкие декоративные ребра, параллельные направлению извлечения детали из пресс-формы, а на дне детали — рифления (рис. 42). Для увеличения жесткости крышек, днищ крупногабаритных деталей и боковых стенок можно применять мелкие ребра — нервюры (рис. 43), если это допустимо по конструктивным соображениям. Нервюры имеют небольшую высоту (0,5—1,0 их ширины).

РАДИУСЫ ЗАКРУГЛЕНИЙ

На изделиях из пластмасс с наружной и с внутренней стороны предусматривают закругления (рис. 44).

Наличие закруглений способствует:

увеличению механической прочности детали в целом или отдельных ее элементов; устранению или уменьшению внутренних напряжений, следствием которых являются коробление и другие виды отклонений от правильной геометрической формы;

уменьшению величины и колебаний усадки детали, следовательно, повышению точности. Кроме того, благодаря закруглениям, облегчается течение массы в пресс-форме во время процесса формообразования; упрощается изготовление пресс-формы и уменьшается ее износ; упрощается процесс извлечения детали из пресс-формы; улучшается внешний вид изделия.

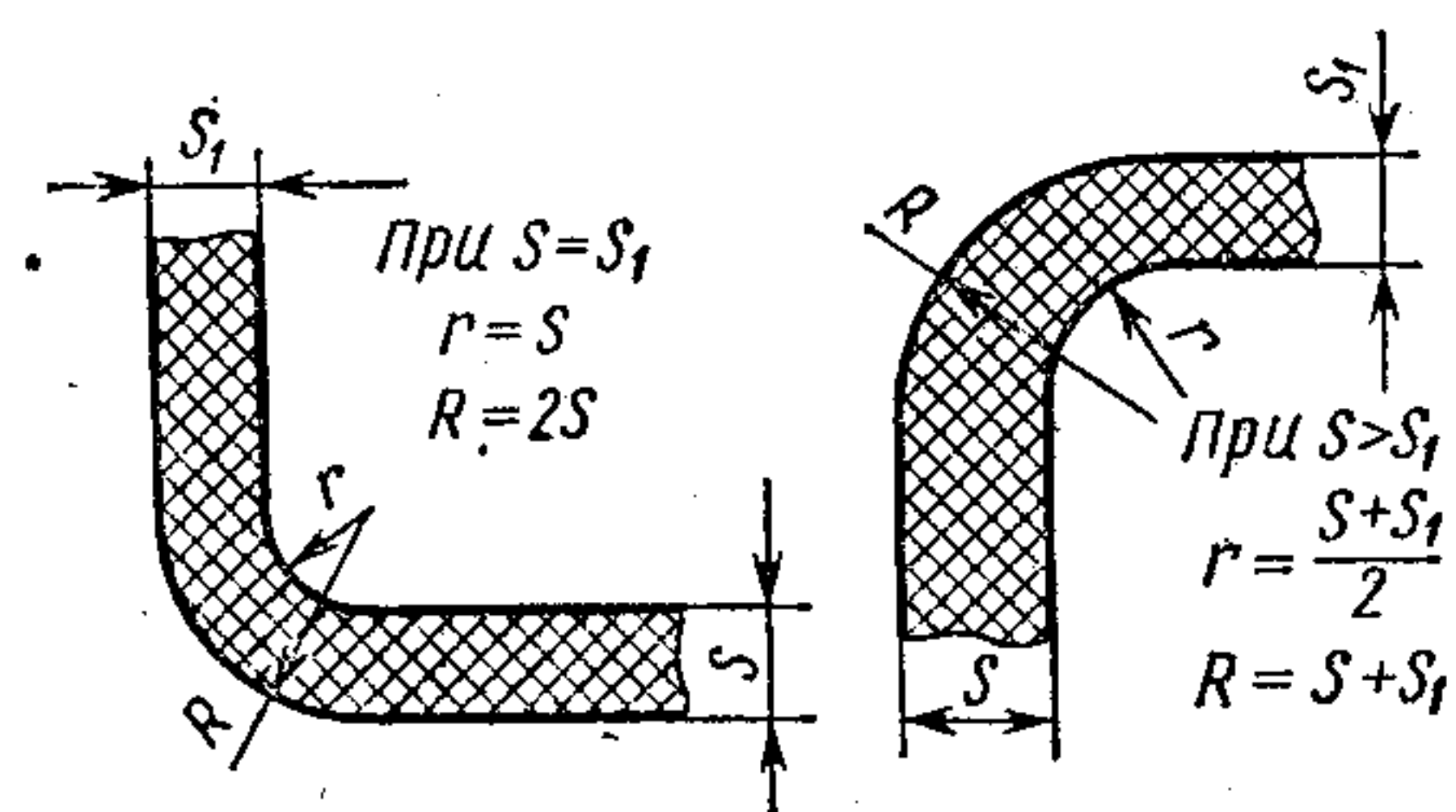


Рис. 44. Радиусы закруглений

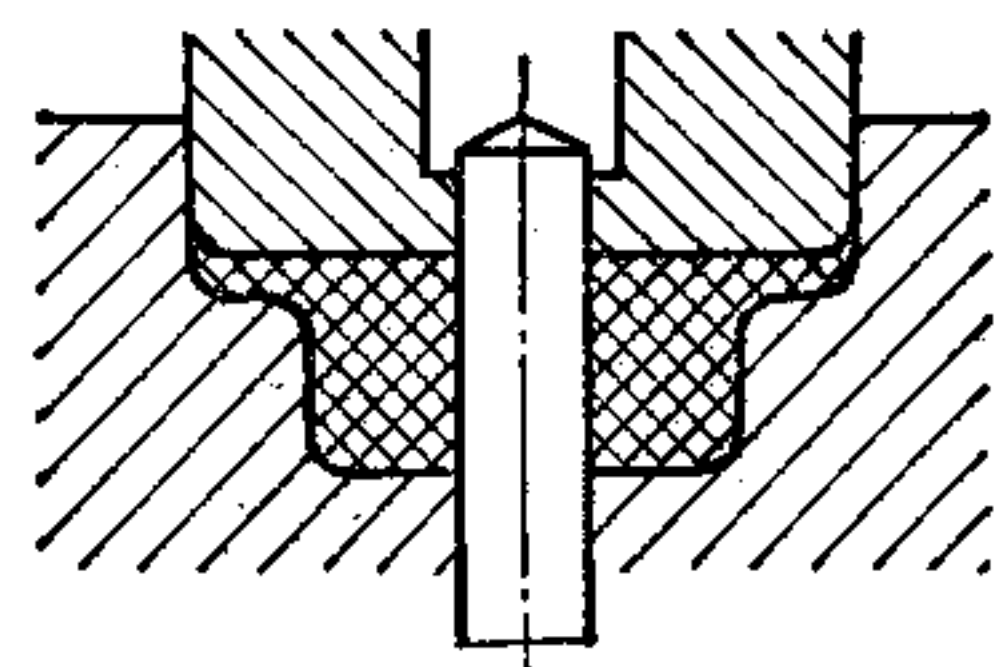


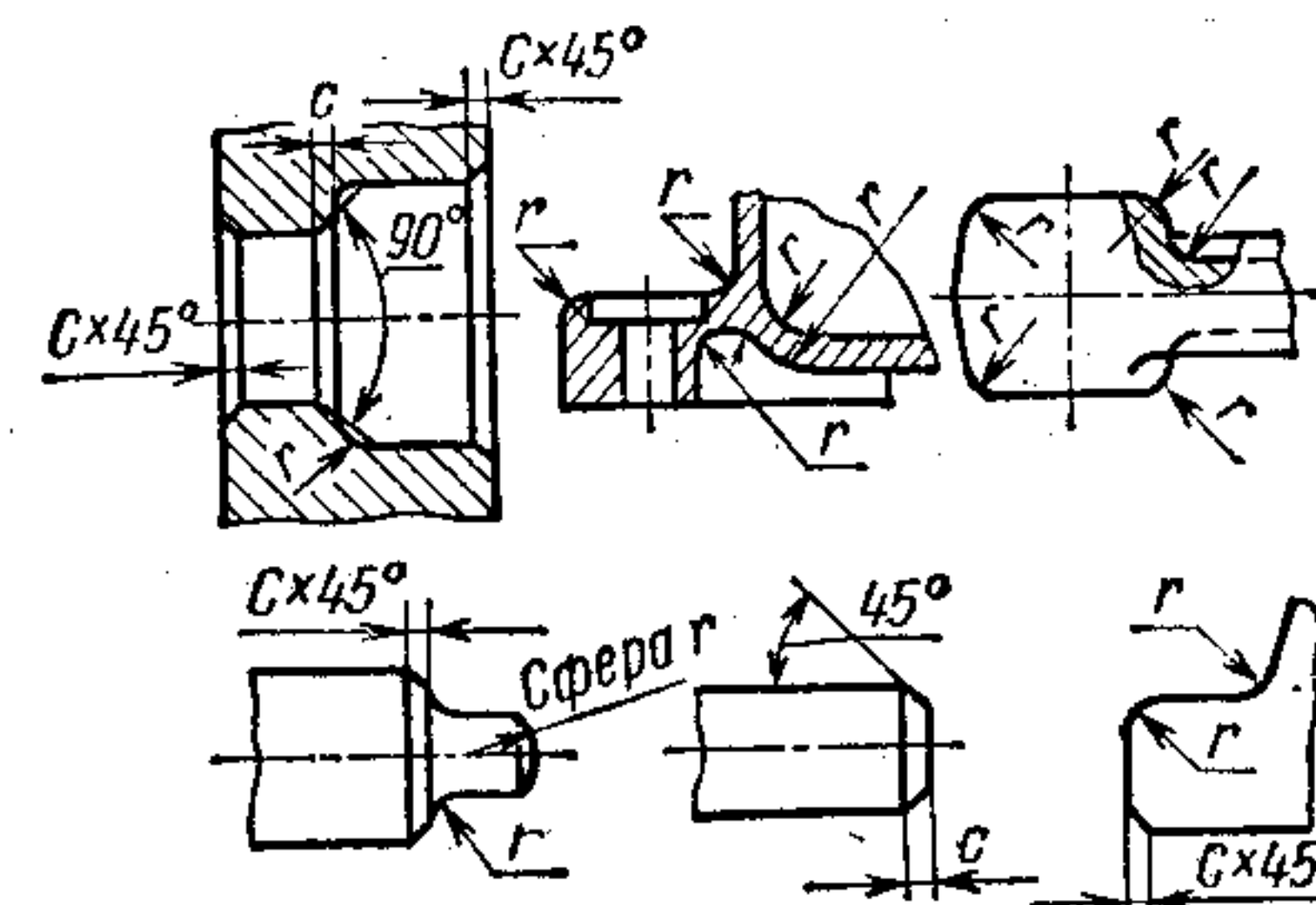
Рис. 45. Пример оформления поверхности детали без закруглений

Без закруглений можно выполнять поверхности, находящиеся в плоскости разреза форм (при прессовании), так как на них закругления (фаски) величиной 0,2—0,3 мм образуются после снятия облоя механической обработкой, и наружные кромки деталей или кромки отверстий, образующиеся в местах соединения оформляющих элементов пресс-формы (рис. 45). Острые кромки на детали, необходимые по чисто конструктивным соображениям, также должны быть закруглены; радиус закругления (технологический) в этом случае берут минимальным (0,5 мм).

Радиусы закруглений зависят от материала детали, толщины стенки, типоразмера инструмента, применяемого при обработке пластмассовой детали.

Радиусы закруглений и фаски для деталей из пластмасс и металла регламентированы ГОСТ 10948—64 (табл. 8).

8. Радиусы закруглений и фаски, мм



1-й ряд	2-й ряд	1-й ряд	2-й ряд	1-й ряд	2-й ряд	Примечания:
0,10	0,10	2,5	2,5	—	32	
—	0,20	—	3,0	40	40	
—	0,30	4,0	4,0	—	50	
0,40	0,40	—	5,0	60	60	
—	0,50	6,0	6,0	—	80	
0,60	0,60	—	8,0	100	100	
—	0,80	10	10	—	125	
1,0	1,0	—	12	160	160	
—	1,2	16	16	—	200	
1,6	1,6	—	20	250	250	
—	2,0	25	25	—	—	

Минимальный радиус наружного закругления для деталей из термореактивных пластмасс должен составлять 0,8 мм, а для термопластов типа полистирола и полиметилметакрилата 1—1,5 мм, для реактопластов 0,8 мм.

Рекомендуемые наименьшие допускаемые радиусы (мм) закруглений для внутренних углов деталей следующие:

Порошок полиметилметакрилатный, полистирол	1,0—1,6
Полиамидные смолы, поликапролактан	0,5—1,0
Фенопласты, аминопласты	0,5—1,6

При назначении минимальных радиусов закруглений для деталей из слоистых пластмасс (текстолита, гетинакса и т. п.) можно руководствоваться табл. 9 [48].

Номинальные размеры радиусов внутренних закруглений (в зависимости от толщины стенки) изделий из наиболее распространенных пресс-порошков приведены в табл. 10.

Радиусы закруглений коробкообразных деталей назначают с учетом возможности применения при изготовлении пресс-форм стандартных фрез. Для повышения жесткости конструкции таких деталей увеличивают толщину стенки на закруглениях и углах.

Применяемые радиусы закруглений коробкообразных деталей приведены в табл. 11 [37].

9. Минимальные радиусы закруглений деталей из слоистых пластмасс

Поверхности	α°	Минимальный радиус закругления
Наружные	≥ 90 ≤ 90	$\geq 0,25S$ $\geq 0,50S$
Внутренние	≥ 90 ≤ 90	$\geq 0,35S$ $\geq 0,60S$

Примечание. Радиусы менее 0,5 мм не применяют.

10. Номинальные радиусы закруглений внутренних углов

Материалы	Толщина стенки, мм	Радиус закругления, мм
Терморезистивные фенолформальдегидные пресс-порошки типа ОЗ-010-02 и ЭЗ-330-02	1,0	0,5
	2,5	1,0
	3,0—4,0	1,6—3,0
Пресс-порошки типа ЭВ-361-63	1,6	0,8
	2,5	1,6—2,0

11. Радиусы закруглений коробкообразных деталей из пластмасс в зависимости от размеров фрез, применяемых при изготовлении форм

Размеры, мм

Диаметр фрезы	R_1	R_2
3—6	0,3; 0,5; 0,8	1,6—3,0
8—12	0,8; 1,0; 1,6	4,0—6,0
16	1,6; 2,0; 2,5; 3,0	8,0
25	2,0; 2,5; 3,0; 5,0	12,0
50	3,0; 5,0; 8,0; 10,0; 12,0	25,0

Радиусы закруглений у оснований бобышек, платиков и различных выступов должны соответствовать рис. 46.

При выполнении радиусов закруглений на деталях рекомендуется: величину их по всей длине закругления сохранять одинаковой; на одном из изделий принимать наименьшее количество значений радиусов закруглений; не принимать максимальных значений.

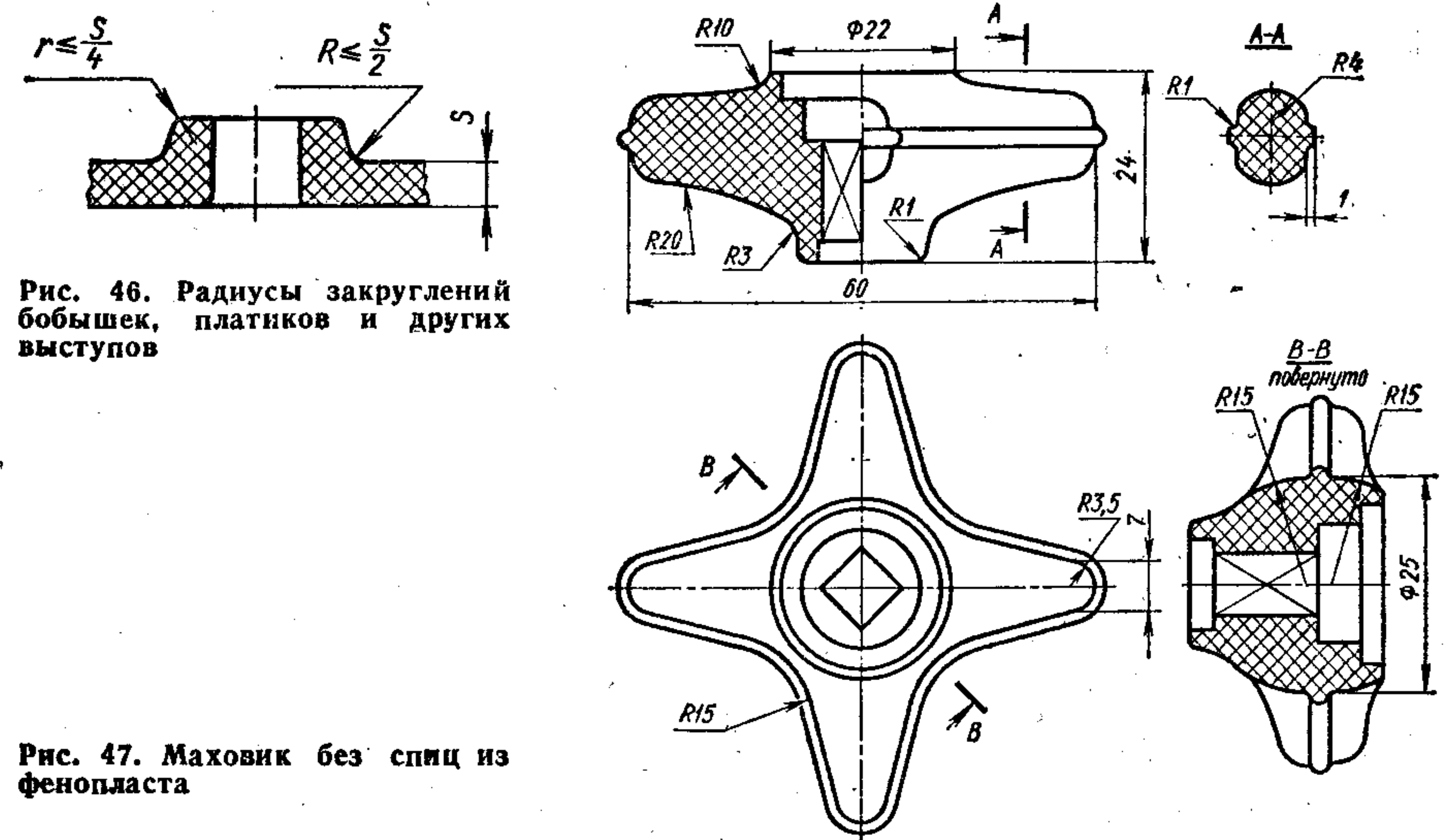


Рис. 46. Радиусы закруглений бобышек, платиков и других выступов

Рис. 47. Маховик без спиц из фенопласта

Нарушение этих требований может привести к значительному усложнению процесса изготовления пресс-форм, ухудшению внешнего вида детали, нежелательному увеличению ассортимента инструмента, необходимого для изготовления пресс-форм, нежелательному утолщению мест стыка отдельных элементов детали (особенно, когда закругления внутренних и наружных контуров не согласованы между собой). В качестве примера на рис. 47 показана деталь с правильным оформлением закруглений.

ОТВЕРСТИЯ

Характер расположения и конфигурация отверстий в деталях из пластмасс очень разнообразны, что обусловлено различным их назначением (технологические, для облегчения изделия и придания равномерности, установочные базы для арматуры, для крепления и т. д.).

При конструировании пластмассовых деталей с отверстиями конфигурацию и расположение последних выбирают в соответствии с определенными правилами и нормами.

Расположение отверстий на поверхности деталей, их разновидности (сквозные, глухие, ступенчатые), конфигурация (круглые, овальные, квадратные и т. п.) в значительной степени определяют величину внутренних напряжений в материале детали, усадку и точность размеров самих отверстий и межосевых расстояний.

При определении размеров и формы отверстий следует руководствоваться также степенью механической прочности формующего элемента пресс-формы.

Оформление отверстия в деталях может быть полное (при прессовании) и частичное (с последующим досверливанием); часто отверстия сверлят в отпрессованной детали.

Прессованием можно оформлять отверстия сложной конфигурации, которые механической обработкой получить либо невозможно, либо очень трудно. Однако прессованием нельзя получать отверстия, имеющие поднутрения, препятствующие извлечению

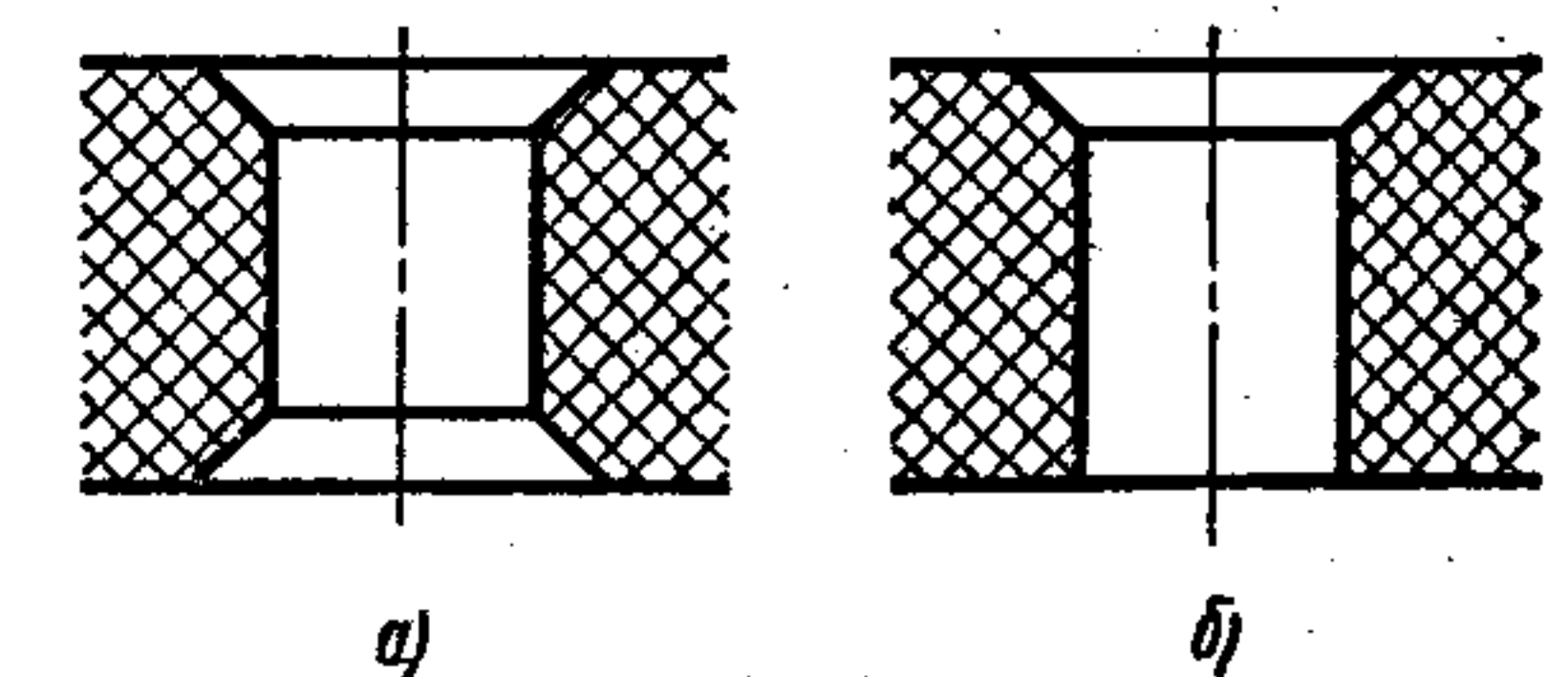


Рис. 48. Отверстия с фасками

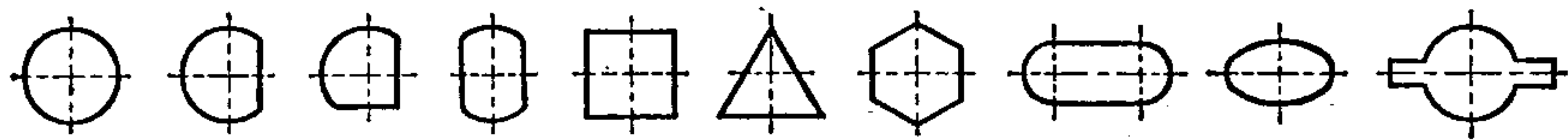


Рис. 49. Конфигурация отверстий

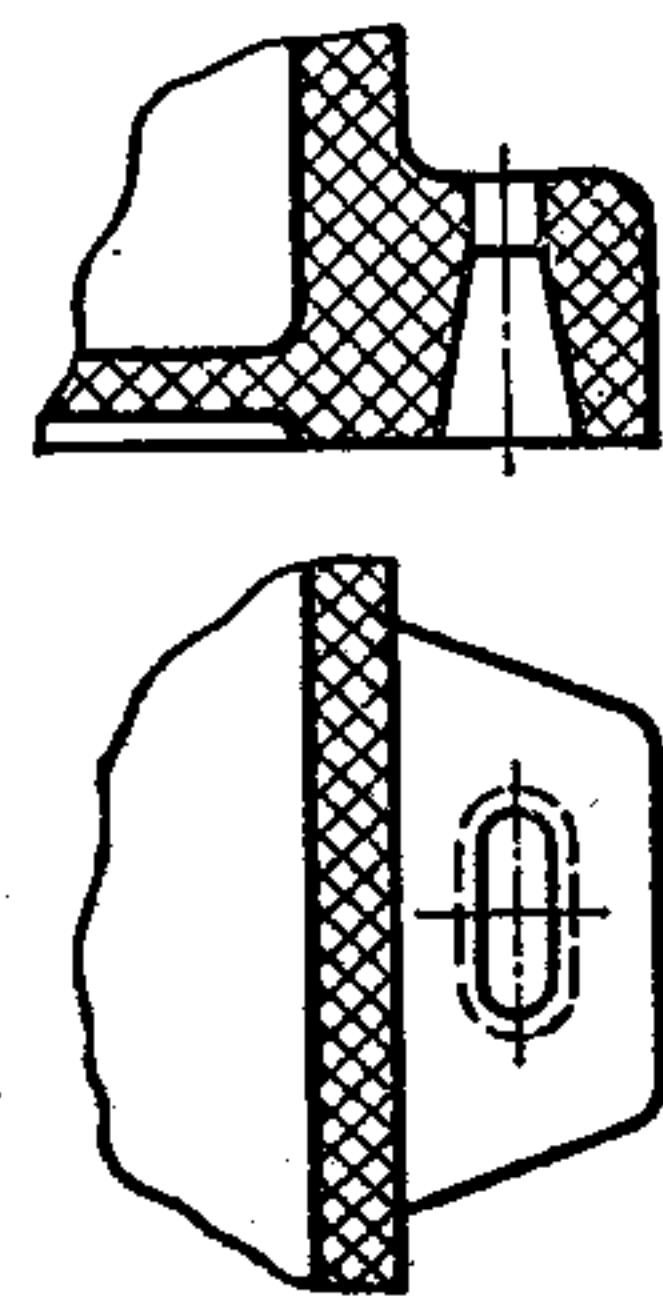


Рис. 50. Пример оформления отверстий

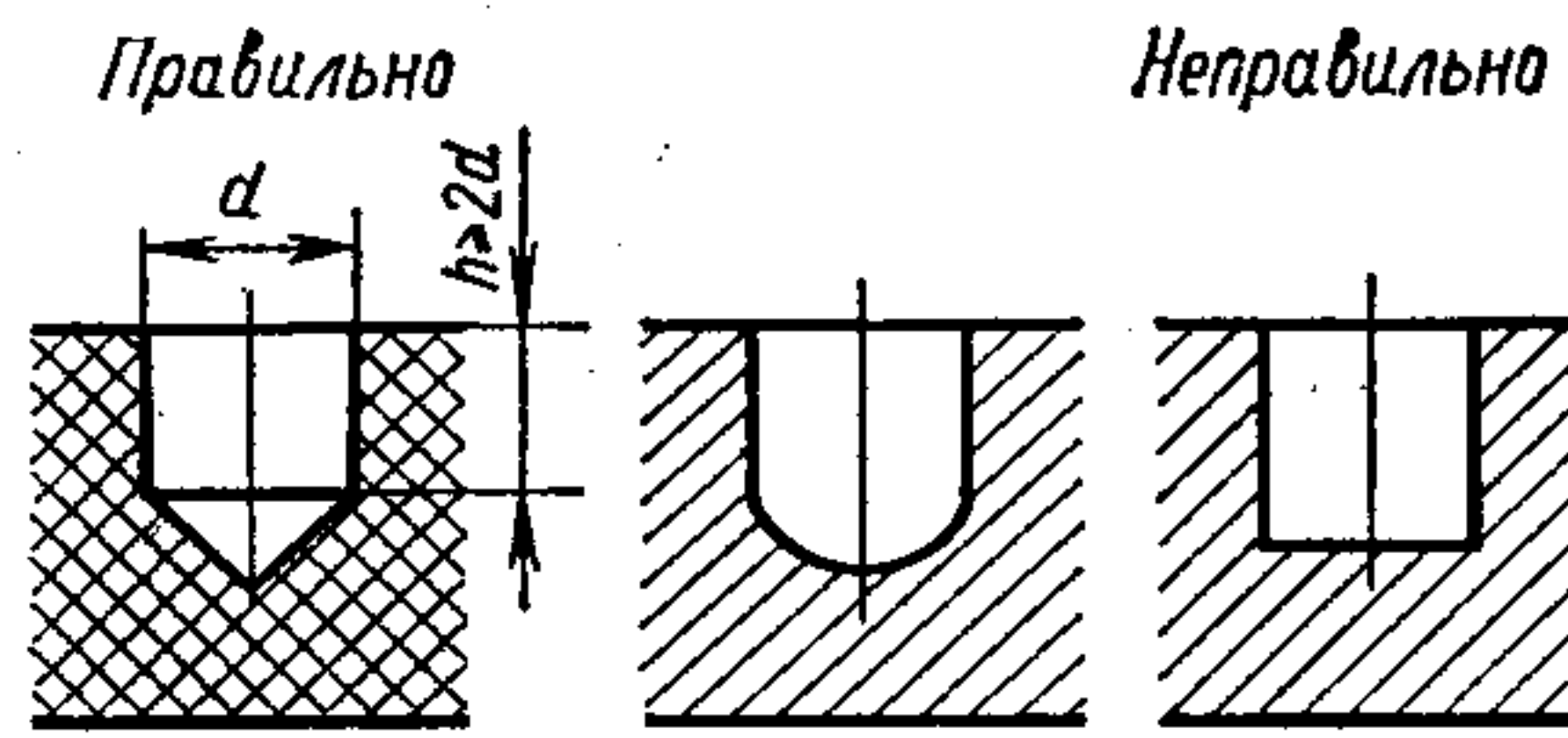


Рис. 51. Глухие отверстия

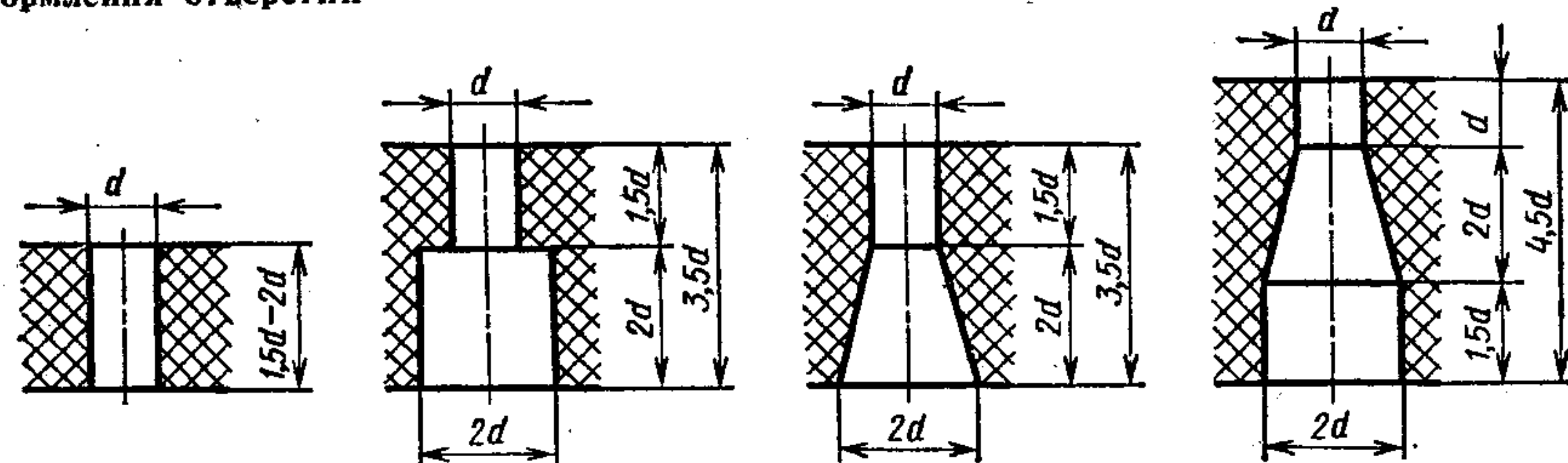


Рис. 52. Конфигурация сквозных отверстий

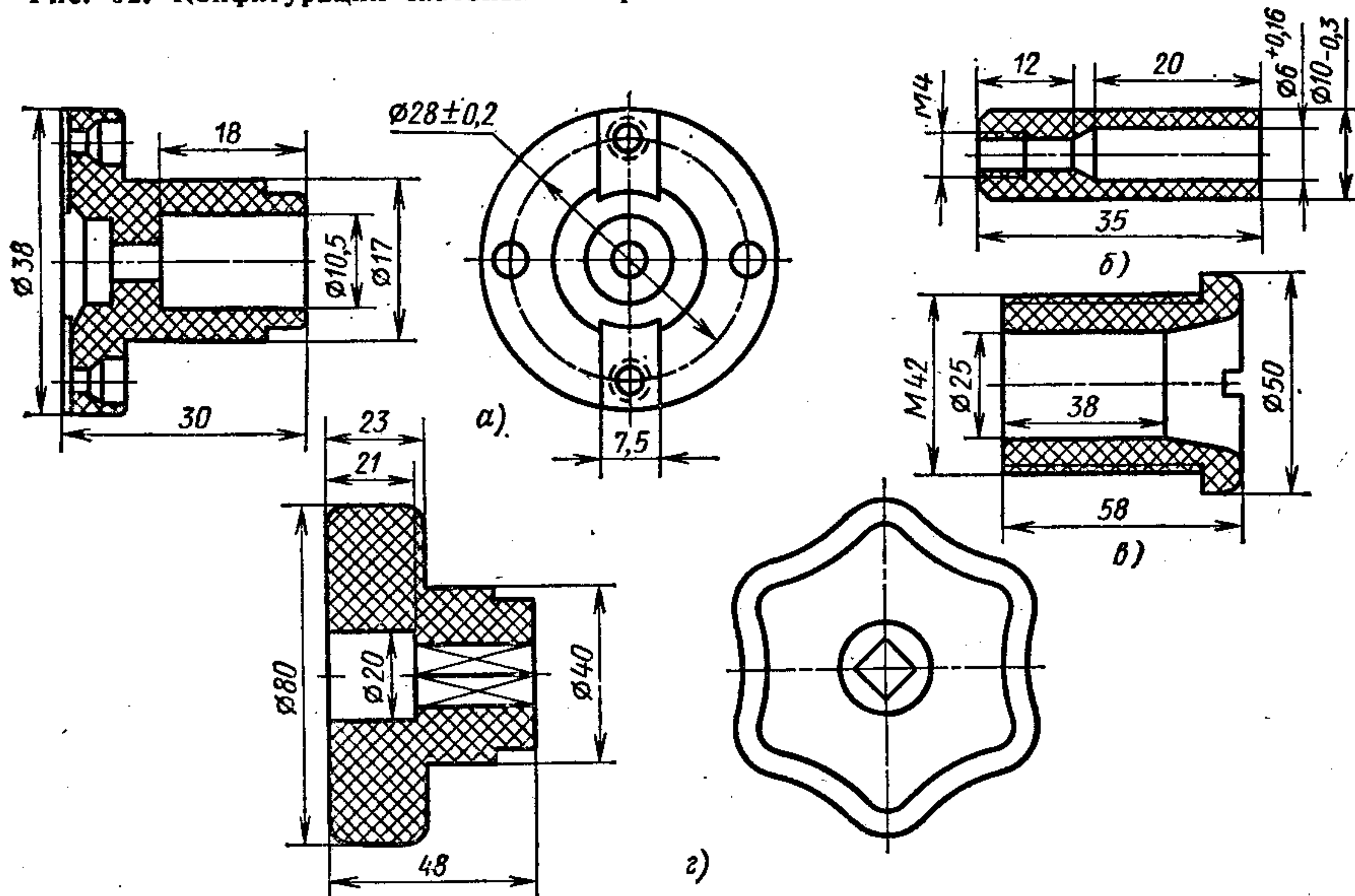


Рис. 53. Типовые детали с отверстиями: а, б — корпуса (пресс-материал Э2-330-02); в — втулка (капрон); г — рукоятка (пресс-материал Э2-330-02)

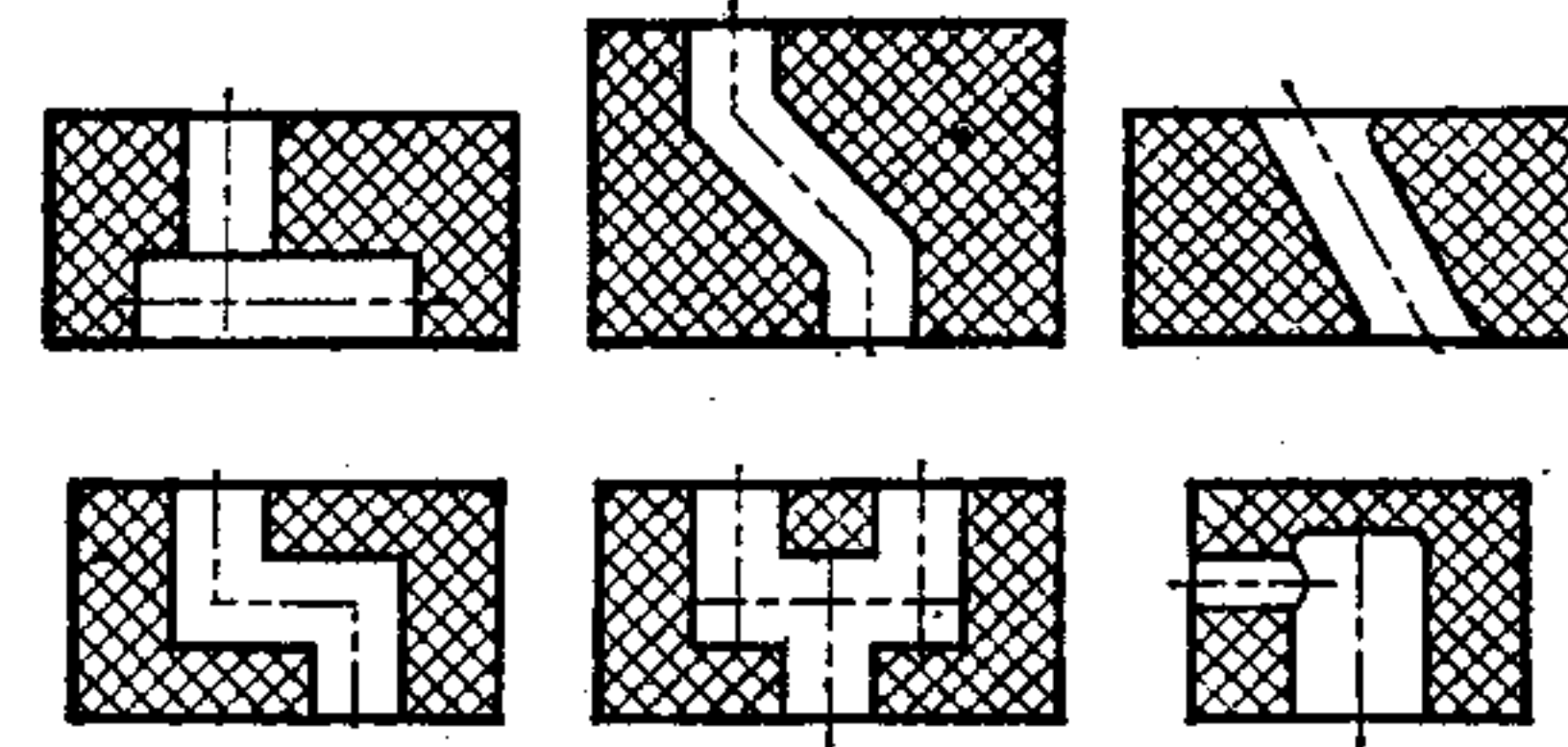


Рис. 54. Отверстия со смещенными и наклонными к вертикали осями; отверстия, пересекающиеся под углом

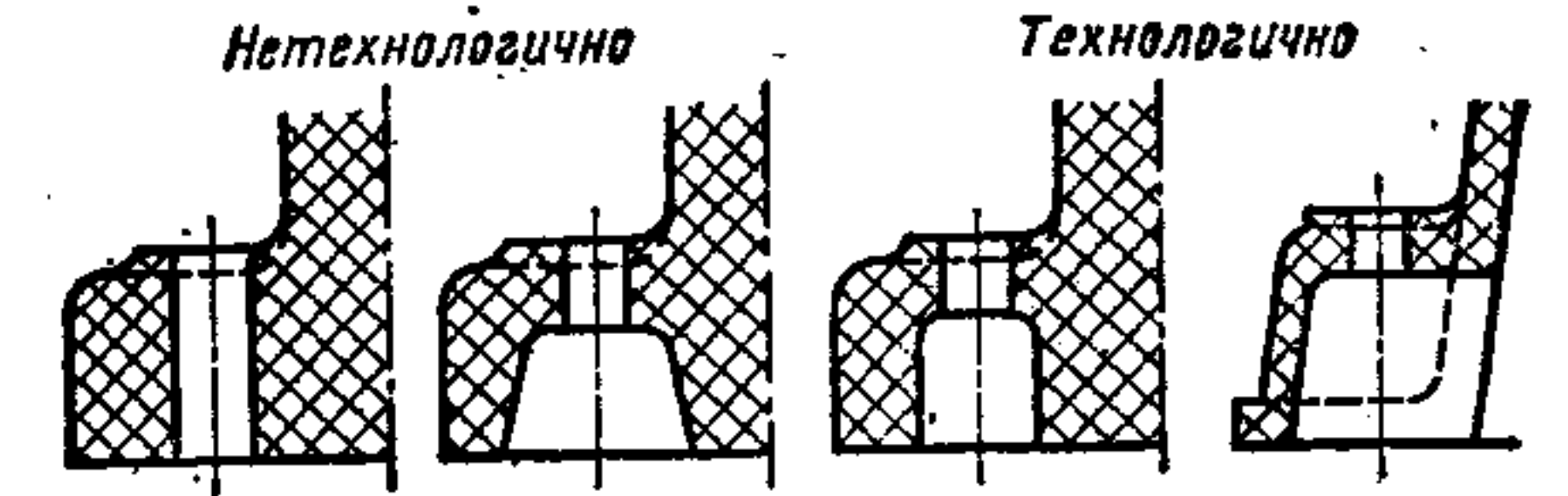


Рис. 55. Ступенчатые отверстия

формующего элемента. Поднутрение можно выполнить только механической обработкой.

Отверстия, имеющие суженные участки (перешейки), можно получать, но при этом необходимо применять сопрягающиеся формующие стержни, что значительно усложняет изготовление пресс-формы, а также затрудняет процесс ее эксплуатации. Отверстие с двумя фасками (рис. 48, а) в пресс-форме получить невозможно; одну из фасок обычно выполняют механической обработкой. Для выполнения отверстия с одной фаской (рис. 48, б) не требуется применять механическую обработку.

Конфигурация отверстий. В деталях из пластмасс следует применять отверстия наиболее простых форм (рис. 49). Цилиндрические отверстия наиболее просты в изготовлении, овальные отверстия — наиболее трудоемки. Для компенсации изменения межосевых расстояний из-за температурных и усадочных деформаций деталей (особенно больших размеров) рекомендуется применять отверстия, показанные на рис. 50.

Отверстия простых форм могут быть сквозными и глухими (рис. 51).

Сквозные отверстия получать легче, чем глухие, так как стержень, предназначенный для изготовления сквозного отверстия, может быть закреплен с двух сторон: стержни, формующие глухие отверстия, испытывают несколько большие нагрузки за счет осевых усилий.

Сквозные отверстия по характеру оформления могут быть односторонние, односторонние с протаскиванием формующей шпильки, двусторонние. Они отличаются точностью обеспечения прямолинейности оси отверстия при разной его глубине.

Наиболее распространены цилиндрические отверстия постоянного диаметра, но могут быть и ступенчатые, состоящие из двух цилиндрических отверстий разного диаметра. Цилиндрическое отверстие может переходить в коническое, а также иметь цилиндрическо-конические уступы (рис. 52).

Типовые детали с отверстиями различной формы показаны на рис. 53.

Можно также получать отверстия со смещенными и с наклонными к вертикали осями, а также отверстия, пересекающиеся под углом (рис. 54). Такие отверстия получают литьевым прессованием, если диаметр отверстия не превышает его длину.

Уменьшение длины отверстий позволяет увеличить точность их диаметральных размеров за счет уменьшения уклона и деформации формующих стержней.

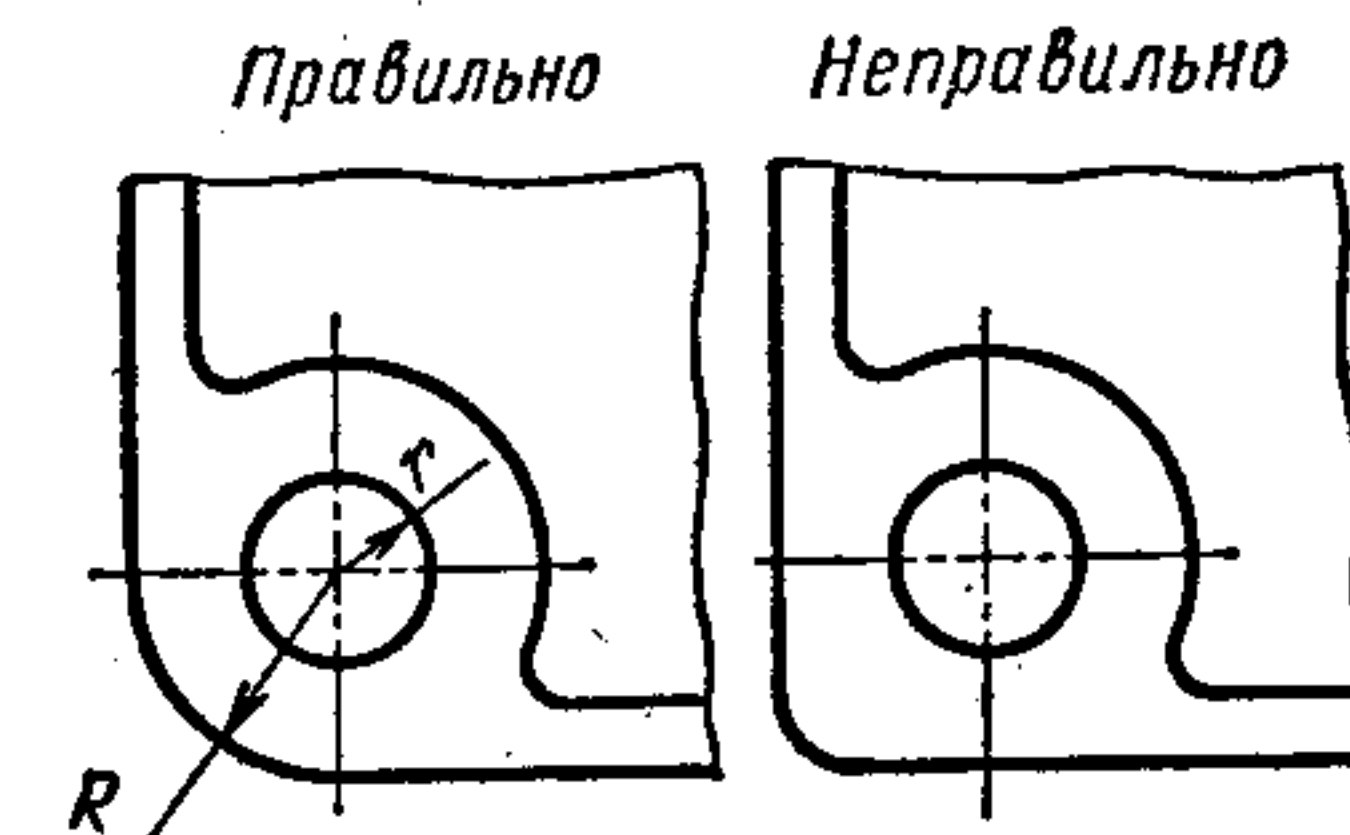


Рис. 56. Отверстия, расположенные у края изделия

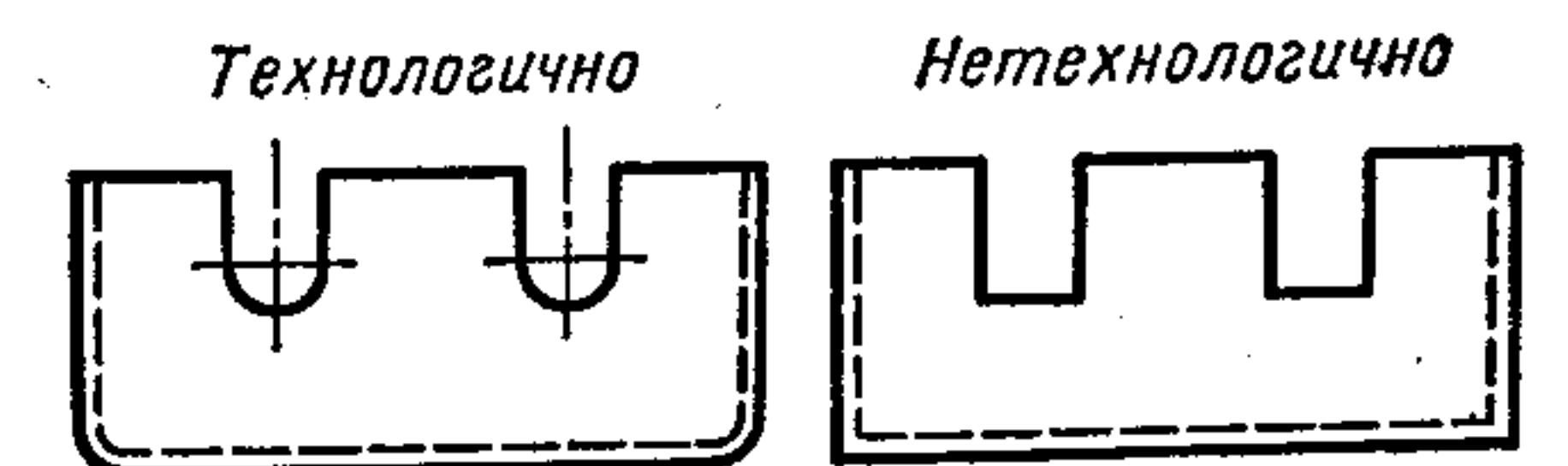


Рис. 57. Боковые отверстия в виде открытых с одного конца пазов

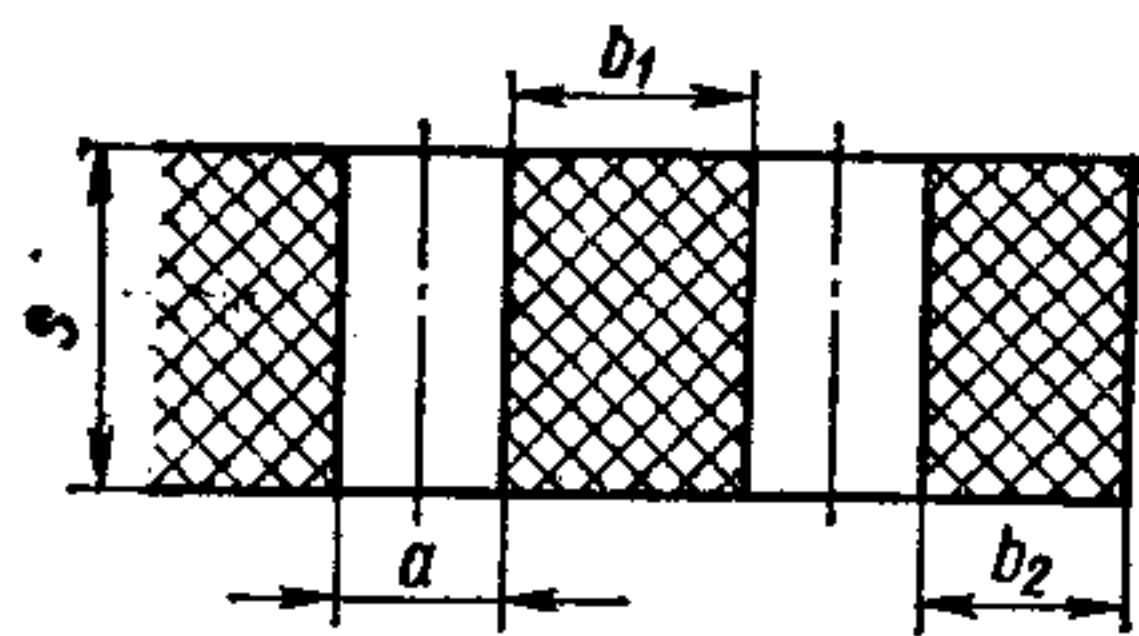


Рис. 58. Оформление смежных отверстий, получаемых прессованием

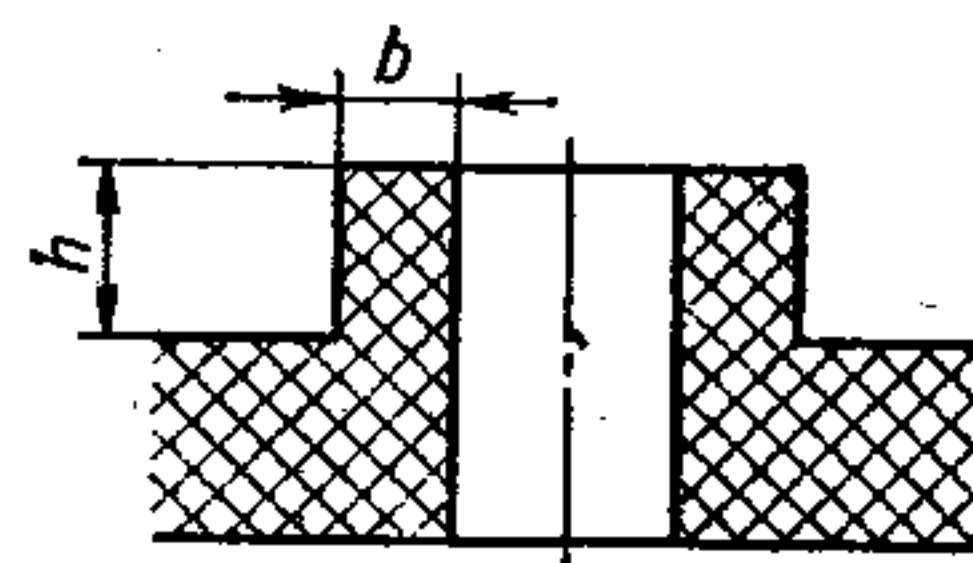


Рис. 59. Оформление кольцевой галтели

Ступенчатые отверстия можно выполнять более глубокими, чем отверстия с постоянным диаметром (рис. 55).

Расположение отверстий на поверхности деталей. Направление осей отверстий, не совпадающее с направлением прессования или съема изделия, нежелательно. Подобные отверстия в большинстве случаев можно получить, но они резко усложняют конструкцию пресс-формы и ее обслуживание.

При выборе положения отверстий в детали можно руководствоваться следующими рекомендациями.

Расстояние между соседними отверстиями или отверстием и краем изделия должно быть не менее диаметра отверстия.

При расположении отверстия близко от края изделия желательно, чтобы край изделия соответствовал форме примыкающего к нему отверстия; это способствует соблюдению равенственности, уменьшению возможной деформации отверстия в результате неравномерной усадки стенок (рис. 56).

При расположении отверстия очень близко от края изделия или от соседнего отверстия при усадке изделия возможны растрескивание перемычки или ее деформация.

Боковые отверстия, сконструированные в виде открытых с одного конца пазов, упрощают изготовление детали (рис. 57).

Если при прессовании необходимо получить два или большее число смежных отверстий, то минимальное расстояние между ними, обеспечивающее изготовление детали без образования трещин или поломок, должно равняться величине

$$b_1 = \frac{S}{a} + 1 \quad (\text{рис. 58}).$$

При конструировании кольцевых галтелей (рис. 59) рекомендуется соблюдать неравенство $h/b \leq 3$ при $b \geq 0,3$ мм.

На деталях с большим количеством мелких отверстий ($d = 1,5 \div 2,0$ мм) перемычки должны быть максимальных размеров; это гарантирует качественное изготовление детали без сколов, расслоения или растрескивания материала.

Для предотвращения коробления, повышения прочности и точности изготовления деталей из терморезистивных пластмасс размеры перемычек между отверстиями, между отверстием и краем детали, а также минимальные толщины дна глухих отверстий следует назначать в соответствии с табл. 12 [35].

Для деталей из стеклопластика величину перемычек между отверстиями или от отверстия до края изделия можно выбирать по табл. 13.

В табл. 14 приведены минимально допустимые размеры перемычки при штамповке (вырубке) деталей из различных пластмасс, гарантирующие изготовление деталей без сколов, расслоения или растрескивания материала [5].

Для условий, отличающихся от приведенных в табл. 14, величины перемычек c и расстояния между отверстиями c_1 могут быть определены по формулам

$$c = b_2 k; \quad c_1 = b_1 k,$$

где b_2 — минимально допустимые значения перемычек, приведенные в табл. 14; b_1 — минимально допустимые расстояния между отверстиями, приведенные в табл. 14; k — коэффициент, учитывающий условия штамповки; его значения приведены ниже.

Штамповка без нагрева гетинаксов и стекловолокнитов	1,3—1,4
Штамповка без нагрева текстолитов и стеклотекстолитов	1,1—1,15
Получение отверстий диаметром до 5 мм в материалах толщиной, мм:	
от 3 до 4	0,9
» 4 » 6	0,8
» 6 » 8	0,7

Получение отверстий размерами более 5 мм в материалах толщиной, мм:	
от 5 до 12	1,1
» 12 » 25	1,2—1,3
» 25 и более	1,3—1,5
Штамповка деталей сложного контура	1,1—1,3

12. Отношения диаметров отверстий к их глубине, величина перемычек и толщина дна глухих отверстий, рекомендуемые при прямом прессовании реактопластов (см. рис. 58)

Размеры в мм

Диаметр отверстия D	Отношение диаметра отверстия D к его глубине h		Величина перемычки		Минимальная толщина дна глухих отверстий
	Отверстия по краям детали	Отверстия по центру детали	между отверстиями b_1	от отверстия до края детали b_2	
До 2,5	2,0	3,0	0,5—0,7	1,00	1,0
Св. 2,5 до 3	2,3	3,5	0,8—1,0	1,25	1,0
» 3 » 4	2,5	3,8	0,8—1,0	1,50	1,2
» 4 » 5	2,8	4,2	1,0—1,2	1,75	1,5
» 5 » 6	3,0	4,8	1,0—1,2	2,00	1,5
» 6 » 8	3,4	5,0	1,2—1,5	2,25	2,0
» 8 » 10	3,8	5,5	1,2—1,8	2,75	2,5
» 10 » 12	4,2	6,0	2,0—2,2	3,25	2,5
» 12 » 14	4,6	6,5	2,2—2,5	3,75	3,0
» 14 » 18	5,0	7,0	2,5—3,0	4,00	3,0
» 18 » 30	—	—	4,0	4,00	4,0
» 30 » 50	—	—	5,0	5,00	5,0

Примечания:

1. Значения глубин отверстий, полученные из отношений диаметра к глубине, следует округлять до ближайшего числа, кратного 0 или 5 (с точностью до первого знака после запятой).

2. Если при оформлении крепежных отверстий (под проход винта) перемычки должны быть меньше указанных в таблице, то отверстия следует выполнять продолговатыми.

13. Величина перемычек

Диаметр отверстия, мм	Величина перемычек, мм		Диаметр отверстия, мм	Величина перемычек, мм	
	между отверстиями	от отверстия до края изделия		между отверстиями	от отверстия до края изделия
От 2,5 до 3,0	2,0	—	Св. 8 до 10	4,5	5,5
Св. 3 до 4	2,5	3,5	» 10 » 12	5,0	6,0
» 4 » 5	3,0	4,0	» 12 » 14	6,0	7,0
» 5 » 6	3,5	4,5	» 14 » 30	6,0—8,0	7,0—9,0
» 6 » 8	4,0	5,0	» 30 » 50	8,0—10,0	9,0—11,00

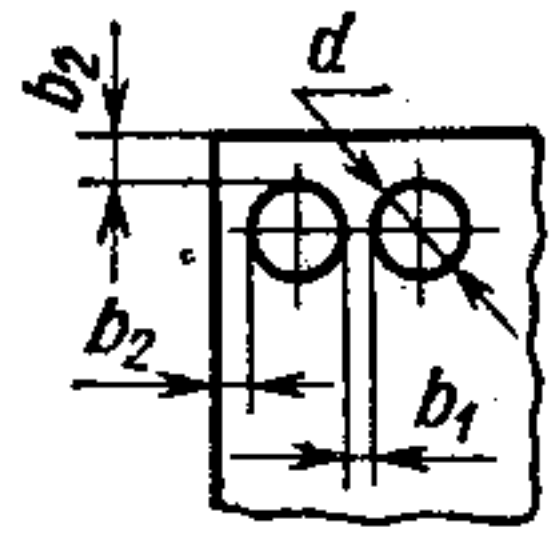
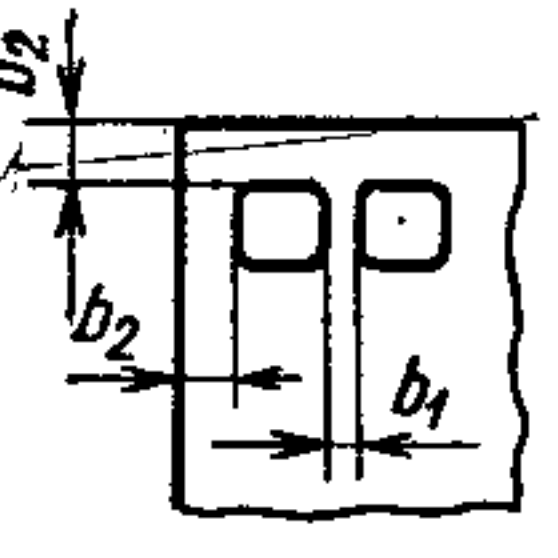
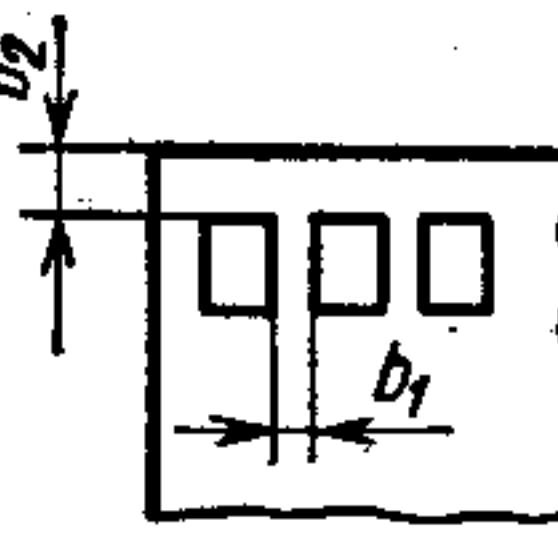
Для термопластичных материалов размеры минимально допустимых перемычек могут быть определены по табл. 15.

Размеры отверстий. Диаметры отверстий выбирают по ГОСТ 6636—69, так как ограничение применяемых линейных размеров создает предпосылки для сокращения номенклатуры изделий и их унификации.

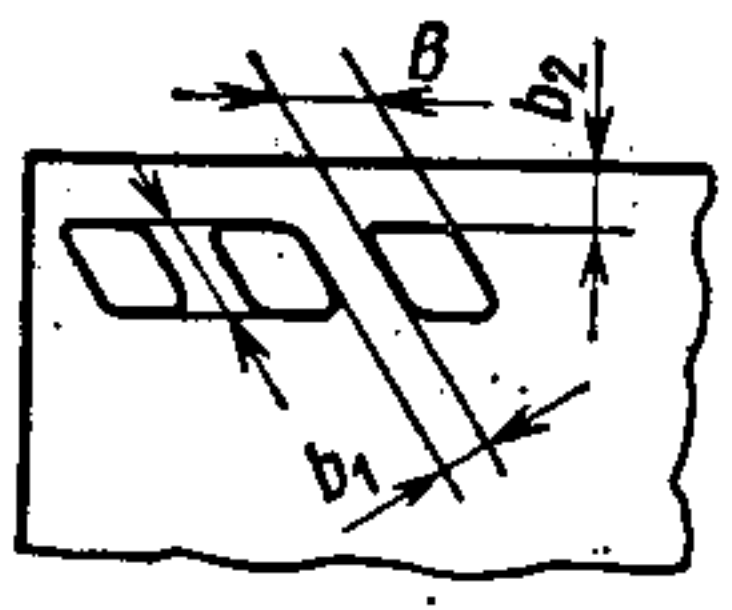
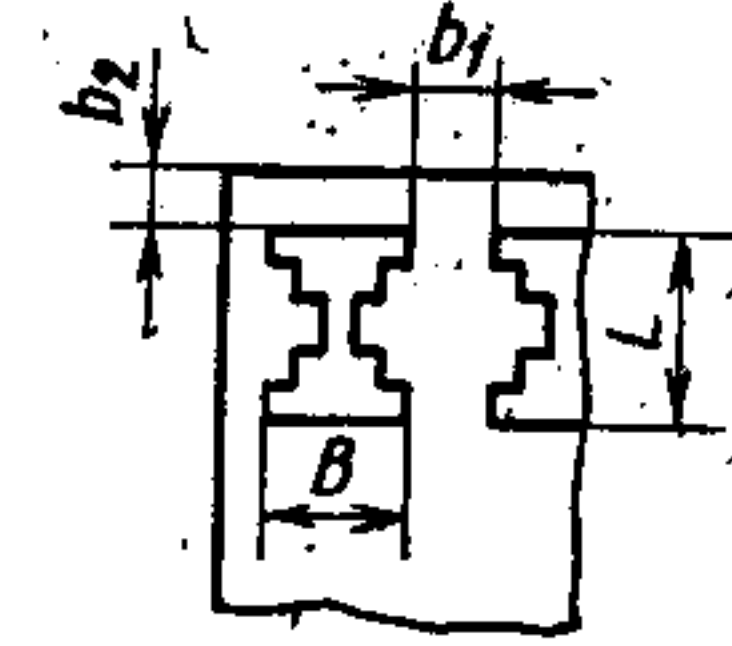
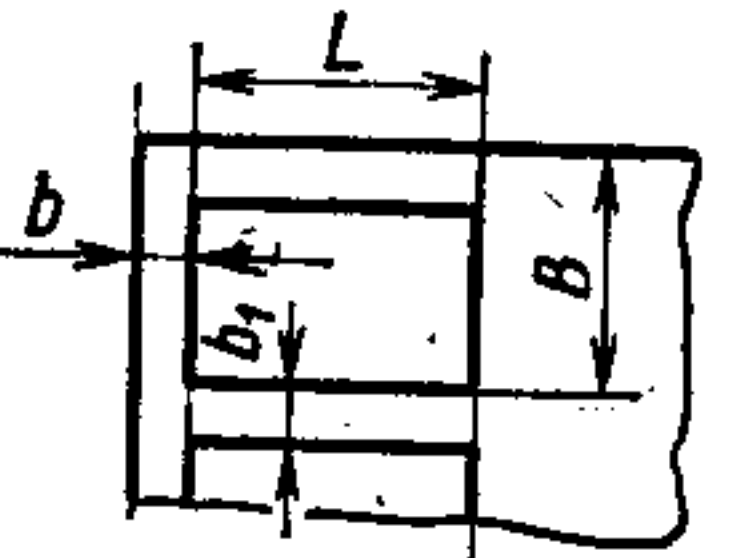
Диаметры сквозных отверстий для болтов, винтов, шпилек и заклепок, устанавливаемых с зазорами в соединяемые детали, регламентированы ГОСТ 11284—75 (табл. 16). В приложении к ГОСТ 11284—75 приведены рекомендации по выбору рядов сквозных отверстий.

Размеры отверстий под головки нормальных болтов приведены в табл. 17 [37].

14. Минимально допустимые размеры перемычек между пробиваемыми отверстиями и стенками детали

Тип отверстия	Размер	Гетинакс марок						Текстолит	Стеклотекстолит КАСТ, КАСТ-В, КАСТ-Р	Стекловолокнит			
		III, V-1, V-2			I, II, пластик ПГТ								
		Толщина, мм											
До 1	Св. 1 до 2,0	Св. 2,0 до 3,0	До 1	Св. 1 до 2,0	Св. 2,0 до 3,0	До 1,5	Св. 1,5 до 3,0	До 1,5	Св. 3,0	До 1,5	Св. 1,5 до 3,0		
Отверстия диаметром $d=0,8 \div 5$ мм 	b_2	3,2-3,0	1,8-1,5	1,4-1,3	3,0-2,8	1,6-1,4	1,2-1,1	2,4-1,8	1,2	1,3	1,2	1,8	1,5
	b_1	2,8-2,7	1,7-1,5	1,4-1,2	2,7-2,5	1,5-1,4	1,2-1,1	2,3-1,6	1,2	1,3	1,2	1,7	1,4
Отверстия с плавными очертаниями 	b_2	3,4-3,2	1,9-1,7	1,4-1,2	3,1-3,0	1,7-1,5	1,4-1,2	2,5-1,7	1,3	1,4	1,3	2,2	2,0
	b_1	3,0-2,7	1,7-1,6	1,3-1,1	2,8-2,6	1,6-1,5	1,2-1,1	2,4-1,7	1,3	1,3	1,3	2,0	1,8
Отверстия сложной формы с острыми углами 	b_2	3,5-3,6	2,0-1,8	1,5-1,3	3,2-3,0	1,8-1,6	1,7-1,5	2,5-2,0	2,5-2,0	1,4	1,3	2,2	2,0
	b_1	3,4-3,2	1,9-1,7	1,4-1,3	3,0-2,7	1,4-1,3	1,2-1,1	1,3	1,2	1,4	1,3	2,0	1,8

Продолжение табл. 14

Тип отверстия	Размер	Гетинакс марок						Текстолит	Стеклотекстолит КАСТ, КАСТ-В, КАСТ-Р	Стекловолокнит		
		III, V-1, V-2			I, II, пластик ПГТ							
		Толщина, мм										
До 1	Св. 1 до 2,0	Св. 2,0 до 3,0	До 1	Св. 1 до 2,0	Св. 2,0 до 3,0	До 1,5	Св. 1,5 до 3,0	До 1,5	Св. 3,0	До 1,5	Св. 1,5 до 3,0	
Малогабаритные детали с плавными очертаниями $B \times L \leq 100 \times 100$ мм ² 	b_2	3,0-2,8	1,8-1,6	1,4-1,3	2,8-2,7	1,7-1,4	1,2-1,1	1,8-1,6	1,1	1,2	1,1	
	b_1	2,8-2,6	1,7-1,5	1,2-1,1	2,6-2,4	1,5-1,3	1,2-1,1	1,8-1,6	1,5	1,2	1,1	
Малогабаритные детали с острыми углами $B \times L \leq 100 \times 100$ мм ² 	b_2	3,2-3,0	2,0-1,8	1,6-1,5	2,9-2,7	1,8-1,7	1,7-1,5	1,8	1,5	1,5	1,4	Не изготавливают
	b_1	2,8-2,6	1,8-1,6	1,5-1,4	2,6-2,5	1,4-1,2	1,4-1,2	1,8	1,4	1,4	1,3	
Крупногабаритные детали $B \times L > 100 \times 100$ мм ² 	b_2	3,6	2,2	2,0	3,2	2,0	1,8	1,8	1,6	1,5	1,4	
	b_1	3,4	2,0	1,9	3,0	1,8	1,6	1,7	1,6	1,5	1,4	

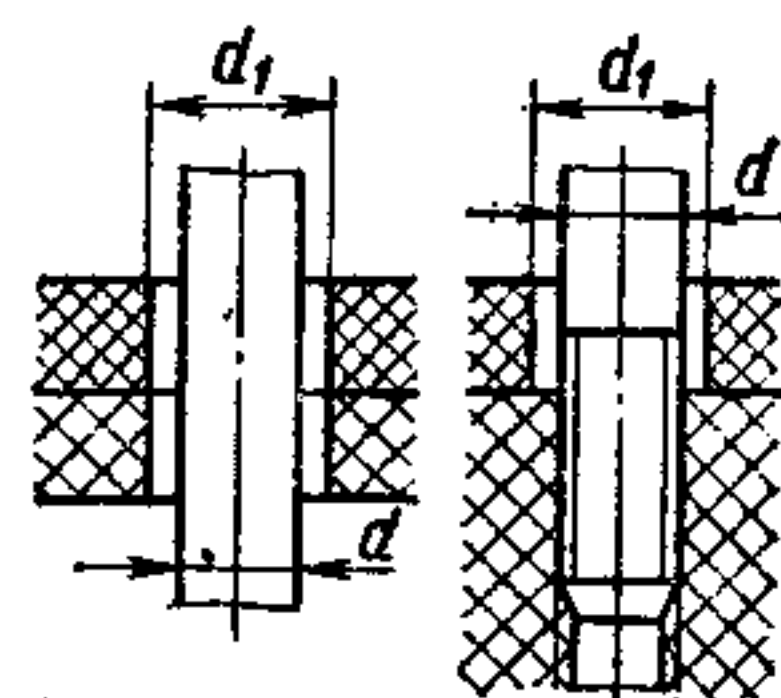
Обозначения: b_1 — расстояние между отверстиями; b_2 — расстояние от отверстия до края детали.

15. Величина перемычек (мм) при штамповке термопластичных материалов

Вид пластмасс	Толщина материала, мм				
	До 1	Св. 1,0 до 1,5	Св. 1,5 до 2	Св. 2 до 3	Св. 3 до 5
Органическое стекло (поделочное и авиационное), целлулоид	1,8—2,0	2,5	3,0	3,5—4,5	—
Винипласт, винипроз, сополимер стирола СНП	1,2	2,2	2,8	4	5—6
Полиэтилен, фторопласт-4	1,5—2,0	2,5—2,8	3,0—4,0	4,5	5,0

16. Отверстия сквозные под крепежные детали

Размеры в мм



Диаметры стержней крепежных деталей	Диаметры сквозных отверстий			Диаметры стержней крепежных деталей	Диаметры сквозных отверстий		
	1-й ряд	2-й ряд	3-й ряд		1-й ряд	2-й ряд	3-й ряд
1,0	1,2	1,3	—	39,0	40,0	42,0	45,0
1,2	1,4	1,5	—	42,0	43,0	45,0	48,0
1,4	1,6	1,7	—	45,0	46,0	48,0	52,0
1,6	1,7	1,8	2,0	48,0	50,0	52,0	56,0
2,0	2,2	2,4	2,6	52,0	54,0	56,0	62,0
2,5	2,7	2,9	3,1	56,0	58,0	62,0	66,0
3,0	3,2	3,4	3,6	60,0	62,0	66,0	70,0
4,0	4,3	4,5	4,8	64,0	66,0	70,0	74,0
5,0	5,3	5,5	5,8	68,0	70,0	74,0	78,0
6,0	6,4	6,6	7,0	72,0	74,0	78,0	82,0
7,0	7,4	7,6	8,0	76,0	78,0	82,0	86,0
8,0	8,4	9,0	10,0	80,0	82,0	86,0	91,0
10,0	10,5	11,0	12,0	85,0	87,0	91,0	96,0
12,0	13,0	14,0	15,0	90,0	93,0	96,0	101,0
14,0	15,0	16,0	17,0	95,0	98,0	101,0	107,0
16,0	17,0	18,0	19,0	100,0	104,0	107,0	112,0
18,0	19,0	20,0	21,0	105,0	109,0	112,0	117,0
20,0	21,0	22,0	24,0	110,0	114,0	117,0	122,0
22,0	23,0	24,0	26,0	115,0	119,0	122,0	127,0
24,0	25,0	26,0	28,0	120,0	124,0	127,0	132,0
27,0	28,0	30,0	32,0	125,0	129,0	132,0	137,0
30,0	31,0	33,0	35,0	130,0	134,0	137,0	144,0
33,0	34,0	36,0	38,0	140,0	144,0	147,0	155,0
36,0	37,0	39,0	42,0	150,0	155,0	158,0	165,0
				160,0	165,0	168,0	175,0

Примечания:

- 3-й ряд отверстий не допускается применять для заклепочных соединений.
- Предельные отклонения диаметров отверстий: для 1-го ряда — по Н12, для 2 и 3-го рядов — по Н14.

Максимальная высота вертикальных отверстий (d — диаметр отверстия) [37]:

	Глухие	Сквозные
Компрессионное прессование	$2,5d$	$3,75d$
Литьевое прессование	$4,0d$	$5,0d$

Максимальная длина горизонтальных отверстий должна быть не более двойного диаметра, если знак располагается консольно. Пример консольного закрепления оформляющего знака приведен на рис. 60. Отверстия диаметром менее 1,5 мм (при высоте, превышающей диаметр) рекомендуется изготавливать сверлением в отпрессованной детали.

Глубину отверстий, расположенных на боковых поверхностях деталей, принимают не более 50% глубины отверстия при одностороннем формообразовании в направлении приложения усилия замыкания формы.

При выборе отношения диаметра отверстия к глубине его формования можно рекомендовать для отверстий, расположенных примерно по центру изделия, максимальные значения этих отношений, а для отверстий, формируемых по краям изделий, минимальные значения этих отношений. Если глубина формования отверстия должна быть большей или требуется повышенная его точность, необходимо оформляющий стержень делать ступенчатым, а отверстие в дальнейшем рассверливать на станке.

Наибольшую длину глухих отверстий, расположенных в направлении, перпендикулярном направлению прессования, можно определить по формуле

$$l = d \sqrt[4]{\frac{E \pi \omega}{8g}}$$

где l — длина отверстия, см; d — диаметр отверстия, см; E — модуль упругости; в практических расчетах можно принимать $E = 2 \cdot 10^6$ кгс/см² (при стальных формирующих стержнях); ω — наибольший прогиб, см; g — давление на пресс-материал, кгс/см² (при прессовании).

17. Рекомендуемые размеры отверстий (мм) в деталях из пластмасс под головки нормальных болтов

	Резьба	D	h	Резьба	D	h
	M2	4,5	2,0	M4	7,0	3,5
M2,3	5,0	2,3	M5	8,5	4,3	
M2,6	5,5	2,5	M6	10,5	5,5	
M3	6,0	3,0	M8	13,5	16,5	
M3,5	6,5	3,1	M10	17,0	18,5	

Эта формула пригодна для определения длины только цилиндрических отверстий или отверстий, имеющих незначительную конусность, необходимую по технологическим причинам, но при условии, если величина одностороннего уклона не превышает 1 : 50. При расчете величиной наибольшего прогиба следует задаваться, руководствуясь каким-либо частным значением, лежащим в пределах упругой деформации данного вида стержня.

Для цилиндрических отверстий диаметром 4—50 мм наибольший прогиб принимают $\omega = 0,004 \div 0,006$ см.

Величины удельного давления при прессовании приведены в табл. 1 (гл. 1).

Наибольшую длину сквозных отверстий, расположенных перпендикулярно направлению прессования, можно определить по формуле

$$l = d \sqrt[4]{\frac{6E \pi \omega}{5g}}$$

где обозначения величин те же, что и в предыдущей формуле.

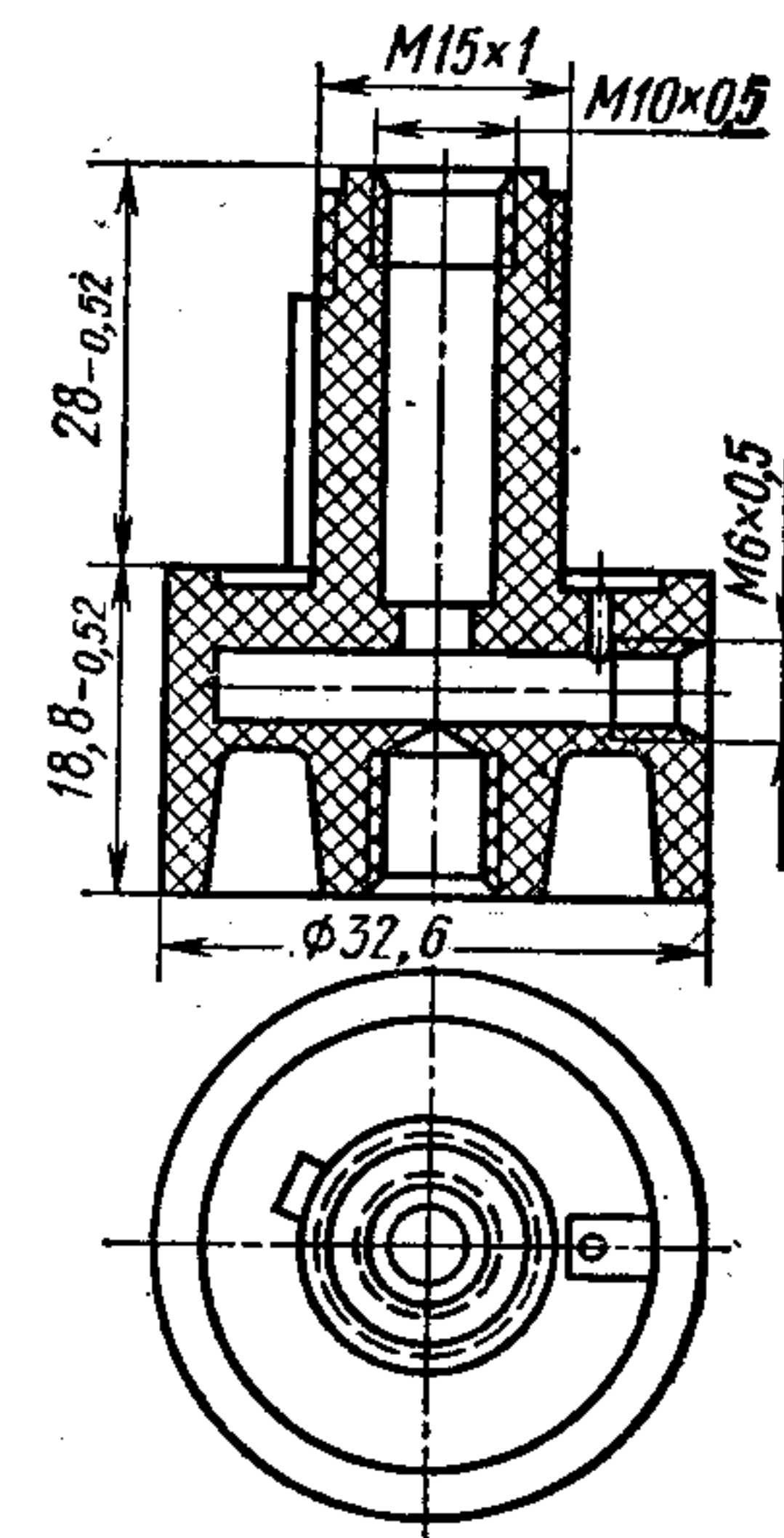


Рис. 60. Изолятор (пресс-материал АГ-4В)

На основе приведенных формул составлена табл. 18 [35]. Этими формулами с некоторой поправкой можно пользоваться и при определении наибольшей высоты цилиндрических отверстий; формулирующие элементы которых расположены параллельно направлению прессования. Поправка заключается в том, что при расчете в формулу подставляют не полную величину удельного давления, а его некоторую часть. Для определения наибольшей высоты глухих отверстий удельного давления принимают 0,5 g, для сквозных — 0,1g.

18. Наибольшие значения длины цилиндрических отверстий, расположенных перпендикулярно направлению прессования
Размеры, мм

Диаметр отверстия	Глухие отверстия							Сквозные отверстия						
	Длина отверстия при удельном давлении прессования, кгс/см ²													
	200	300	400	500	600	700	800	200	300	400	500	600	700	800
4	8,3	7,6	7,1	6,6	6,3	6,1	5,8	14,7	13,5	12,4	11,7	11,2	10,8	10,4
5	10,5	9,5	8,8	8,3	7,9	7,7	7,3	18,4	16,7	15,6	14,7	14,0	13,5	13,0
6	12,5	11,4	10,6	10,0	9,4	9,2	8,8	22,1	20,0	18,7	17,6	16,8	16,2	15,6
8	16,7	15,2	14,1	13,2	12,6	12,3	11,7	29,5	26,7	24,9	23,5	22,4	21,6	20,8
10	20,9	19,0	17,7	16,6	15,8	15,4	14,7	36,9	33,4	31,2	29,4	28,1	27,0	26,1
12	25,0	22,8	21,2	20,0	18,9	18,4	17,6	44,2	40,0	37,4	35,2	33,7	32,4	31,3
16	33,4	30,4	28,3	26,5	25,2	24,6	23,5	59,0	53,4	49,9	47,0	44,9	43,2	41,7
20	41,8	38,0	35,4	33,2	31,6	30,8	29,4	73,8	66,8	62,4	58,8	56,2	54,0	52,2
25	52,2	47,5	44,2	41,5	39,5	38,5	36,7	92,2	83,5	78,0	73,5	70,2	67,5	65,2
32	66,9	60,8	56,6	53,1	50,5	49,2	47,0	118,0	106,8	99,8	94,0	89,9	86,4	83,5
40	83,6	76,0	70,8	66,4	63,2	61,6	58,8	147,6	133,6	124,0	117,0	112,0	108,0	104,0
50	105,0	95,0	88,5	83,0	79,0	77,0	73,5	184,5	167,0	156,0	147,0	140,0	135,0	130,0

Рекомендуемые значения наибольшей высоты глухих и сквозных отверстий, расположенных параллельно направлению прессования, приведены в табл. 19. При использовании табл. 18 и 19 следует учитывать, что они составлены при величине допускаемой деформации формирующих стержней в пределах 0,004—0,005 см.

19. Наибольшие значения высоты цилиндрических отверстий, расположенных параллельно направлению прессования
Размеры, мм

Диаметр отверстия	Глухие отверстия							Сквозные отверстия						
	Длина отверстия при удельном давлении прессования, кгс/см ²													
	200	300	400	500	600	700	800	200	300	400	500	600	700	800
4	10,0	9,0	8,3	8,0	7,6	7,2	7,0	26,3	23,7	22,1	20,9	20,0	19,6	18,6
5	12,5	11,3	10,4	10,0	9,5	9,1	8,8	32,9	29,7	27,6	26,1	25,0	24,6	23,2
6	15,0	13,5	12,5	11,9	11,4	10,9	10,6	39,5	35,6	33,1	31,3	30,0	29,5	27,9
8	20,0	18,0	16,7	15,9	15,2	14,5	14,1	52,7	47,5	44,2	41,8	40,0	39,3	37,2
10	25,0	22,6	20,9	19,9	19,0	18,2	17,7	65,9	59,4	55,3	52,3	50,0	49,2	46,5
12	30,0	27,1	25,0	23,8	22,8	21,8	21,2	79,0	71,2	66,3	62,7	60,0	59,0	55,8
16	40,0	36,1	33,4	31,8	30,4	29,1	28,3	105,4	95,0	88,4	83,6	80,0	78,7	74,4
20	50,0	45,2	41,8	39,8	38,0	36,4	35,4	131,0	118,8	110,6	104,6	100,0	98,4	93,0
25	62,5	56,5	52,2	49,7	47,5	45,5	44,2	164,7	148,5	138,2	130,7	125,0	123,0	116,0
32	80,0	72,3	66,8	63,6	60,8	58,2	56,6	210,8	190,0	176,9	167,3	160,0	157,4	148,8
40	100,0	90,4	83,6	79,6	76,0	72,0	70,0	263,0	237,0	221,0	209,0	200,0	196,0	186,0
50	125,0	113,0	104,5	99,5	95,0	91,0	80,0	329,0	297,0	276,0	261,5	250,0	246,0	232,5

Значения, взятые из табл. 18 и 19, можно округлять до величин, кратных 0,5 или 1. Данные табл. 12 для реактопластов можно корректировать в зависимости от методов оформления отверстий. Для этой цели следует пользоваться рекомендациями табл. 20.

20. Рекомендуемые соотношения диаметров d и глубин h отверстий деталей из пластмасс в зависимости от метода оформления отверстий

Отверстия	Метод оформления отверстий	Предельные соотношения	Прямолинейность оси и стойкость оформляющих знаков	
				Сквозные
		Одностороннее оформление с протаскиванием формирующей шпильки	$h \leq (5 \div 8) d$	
		Двустороннее оформление	$h \leq (4 \div 6) d$	Прямолинейность оси не обеспечивается
	Пресс-литье и литье под давлением		$h \leq 10d$	Обеспечивается
	Сверление		$h \geq 2d$ при $d < 1$ мм	—
Глухие	Прямое прессование		$h \leq 2,5d$	Обеспечивается
	Пресс-литье и литье под давлением		$h \leq 4,0d$	

Максимальные значения h в зависимости от d следует выбирать для отверстий, расположенных в центральной части детали, минимальные — для отверстий, расположенных по краям детали.

Если глубина формирования отверстия должна быть большей, чем максимальная рекомендуемая, необходимо отверстие делать ступенчатым, одно- или двусторонним.

Соотношения диаметров и глубин отверстий для разных методов изготовления деталей в зависимости от различных способов закрепления знаков, оформляющих отверстие, приведены в табл. 21 [17].

Минимальные диаметры и максимальные глубины отверстий деталей из пресс-материалов приведены в табл. 22 [17], а минимальные размеры отверстий, пробиваемых в листовых пресс-материалах, — в табл. 23.

Текстолиты и другие слоистые пластмассы допускают пробивку отверстий меньших размеров, чем указано в табл. 23, так как они менее чувствительны к изменению режимов штамповки из-за более высокой прочности поверхностных слоев.

21. Соотношения диаметров и глубин отверстий, расположенных перпендикулярно направлению приложения усилия замыкания формы
(при прессовании реактопластов)

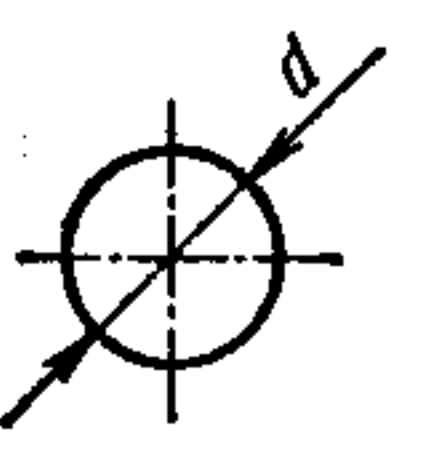
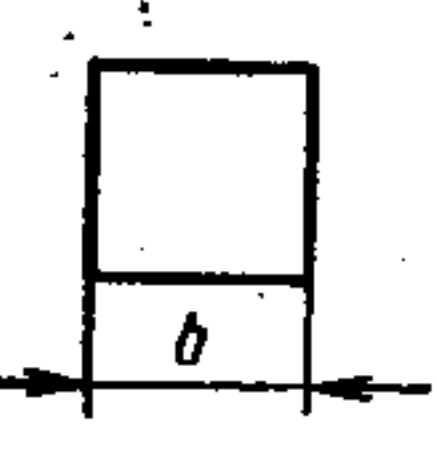
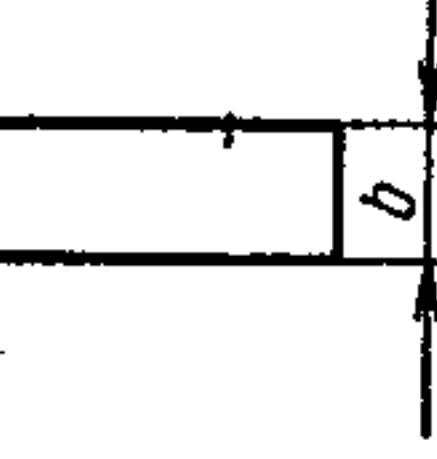
Диаметры отверстий, мм	Прямое прессование		Пресс-литье	
	Глубина отверстий, мм, при закреплении знаков			
	консольном	двустороннем	консольном	двустороннем
До 2,0	1,0—1,2	4,0	2,5	6,0
Св. 2,0 до 4,0	1,5	5,0	3,0	7,0
» 4,0 » 6,0	1,8	6,0	3,5—4,0	8,0
» 6,0 » 8,0	2,0	6,5	4,5	9,0
» 8,0 » 10,0	2,5	7,0	5,5	10,0

22. Минимальные диаметры и максимальные глубины отверстий деталей из пресс-материалов в зависимости от величины диаметра

Размеры, мм

Материал	Минимальный диаметр отверстия d	Одностороннее прессование		Одностороннее прессование с протягиванием формирующей шпильки		Двустороннее прессование	
		Максимальная глубина отверстия при номинальном диаметре					
		До 6	Св. 6	До 6	Св. 6	До 6	Св. 6
Порошкообразные фенопласты и аминопласты	1,5	2d	3d	6d	8d	4d	6d
Волокнит	2,5		2,5d	5d	6d		5d
Текстолитовая крошка	4,0	1,5d	2,0d			5d	6d

23. Минимальные размеры отверстий, пробиваемых в деталях из листовых пресс-материалов [5]

Формы отверстий	Гетинаксы	Текстолиты, стеклотекстолиты и другие слоистые пластики	Органическое стекло, целлюлоид	Винипласт — винипроз СН-прочный
	Отношение минимального размера отверстия к толщине материала			
	0,6	0,4	1,5	1,2
	0,7	0,5	0,8	1,0
	0,5	0,3	1,0	1,0

УГЛУБЛЕНИЯ, ПАЗЫ, ПРИЛИВЫ И ВЫСТУПЫ

Многие изделия из пластмасс имеют специфические конструктивные элементы (углубления, пазы, выступы, приливы) различного назначения. Такие элементы улучшают качество изделий, в некоторых случаях уменьшают массу и создают благоприятные условия для последующей обработки деталей и их сборки.

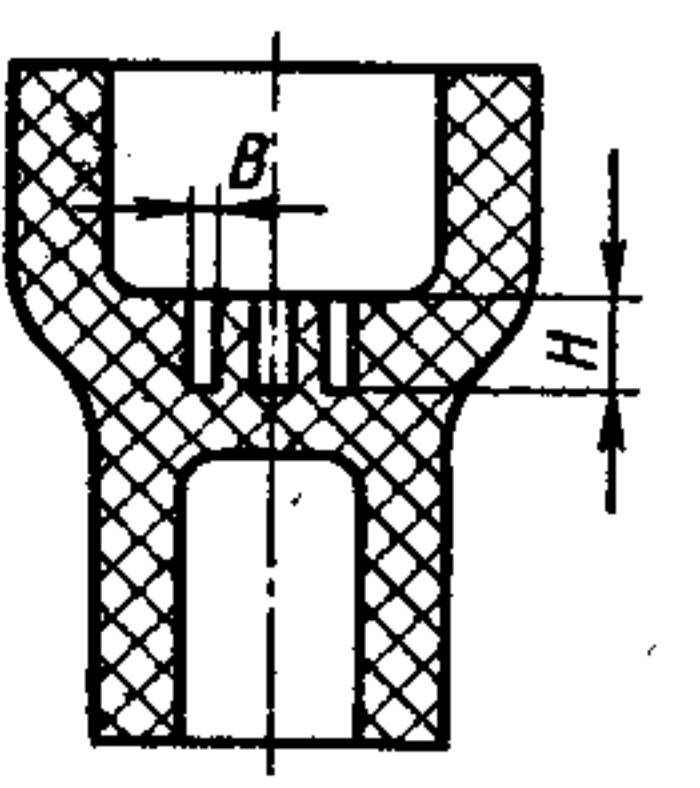
Углубления. Примеры конструктивного оформления углублений, предназначенных для выравнивания толщины стенки и уменьшения массы детали, показаны на рис. 61.

В ряде случаев механическая прочность тонкостенных частей форм и текучесть материала ограничивают размеры углублений, выемок и других подобных элементов, причем зачастую эти элементы являются сопрягаемыми с элементами других деталей. Рациональные размеры этих элементов можно выбирать по табл. 24 [37].

При конструировании пластмассовых изделий с углублениями и технологическими отверстиями необходимо стремиться к такой их конфигурации, при которой поверхность углубления (или отверстия) отстояла бы от поверхности изделия на расстояние, равное толщине изделия. Внутренние углы и кромки этих элементов обязательно должны быть закруглены. Следует избегать поднутрений в направлении, перпендикулярном к замыканию формы.

В процессе конструирования иногда возникает необходимость в создании изделий, имеющих различного рода поднутрения, оси которых расположены под некоторым углом к направлению прессования. Хотя подобные поднутрения могут быть получены в пресс-форме, их все же следует избегать, так как наличие их резко удорожает пресс-форму за счет применения специальных подвижных (чаще механизированных) формирующих элементов, назначения дополнительных плоскостей разъема форм.

24. Максимальные соотношения глубины и ширины прямоугольных углублений

Эскиз	Метод изготовления деталей	Материал	$\frac{H}{B}$, не более
	Прямое прессование	Порошкообразные пресс-материалы	2,5
		Волокнистые пресс-материалы	2,0
	Пресс-литье	—	6,0
	Литье под давлением	—	6,0

Незначительные изменения конструкции деталей (рис. 62) часто позволяют устранять поднутрения. Однако, если поднутрения необходимы в связи с требованиями сборки или эксплуатации деталей, они должны быть сохранены, но конструкция должна быть сборной, т. е. состоящей из двух частей и более.

Приливы, выступы и пазы. Конструкция пластмассового изделия по возможности не должна иметь выступов или приливов значительной длины. Если этого избежать невозможно, то для придания им необходимой прочности и жесткости следует вводить ребра жесткости или проектировать сборную конструкцию.

К технологическим выступам относят выступы, предназначенные для размещения выталкивателей. Они могут отсутствовать на изделии, обладающем достаточной прочностью, но обязательны на тонкостенных или ребристых изделиях. Технологические выступы выполняют на изделии во избежание резкого выделения следов от выталкивателей.

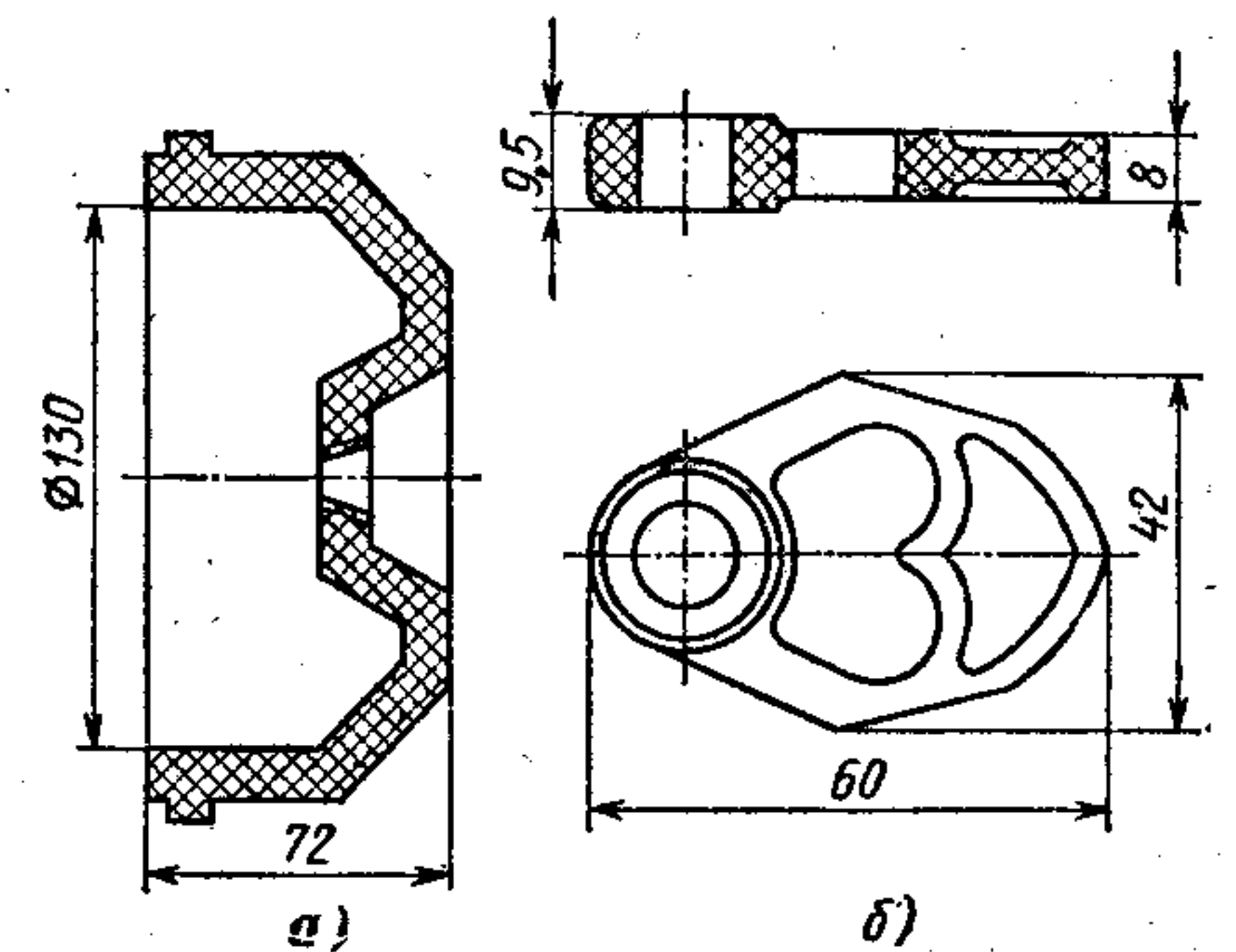


Рис. 61. Примеры выполнения углублений:

а — на крышке; б — на клавише подвешного конвейера (поликарбонат Б)

Правильно Неправильно

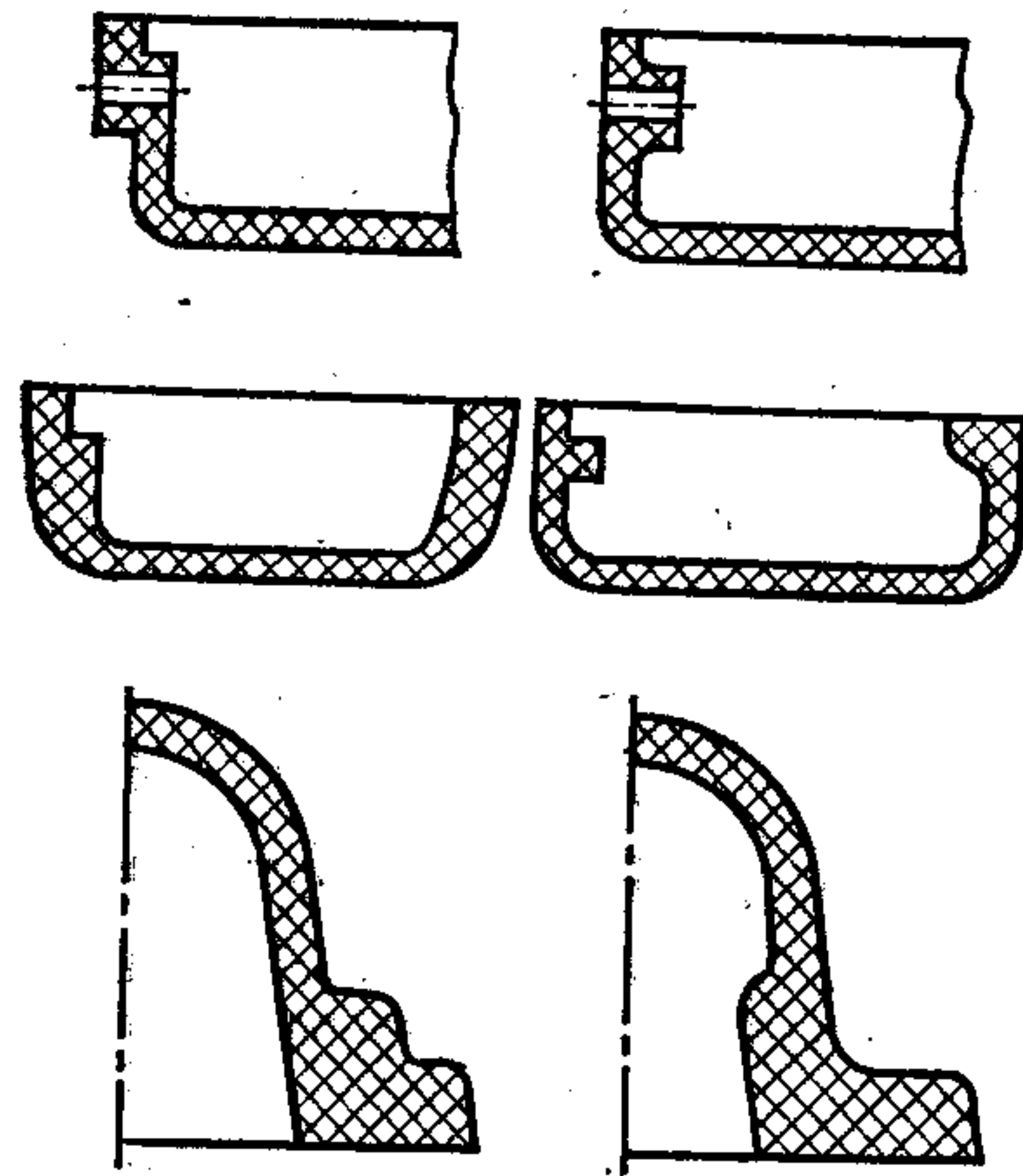
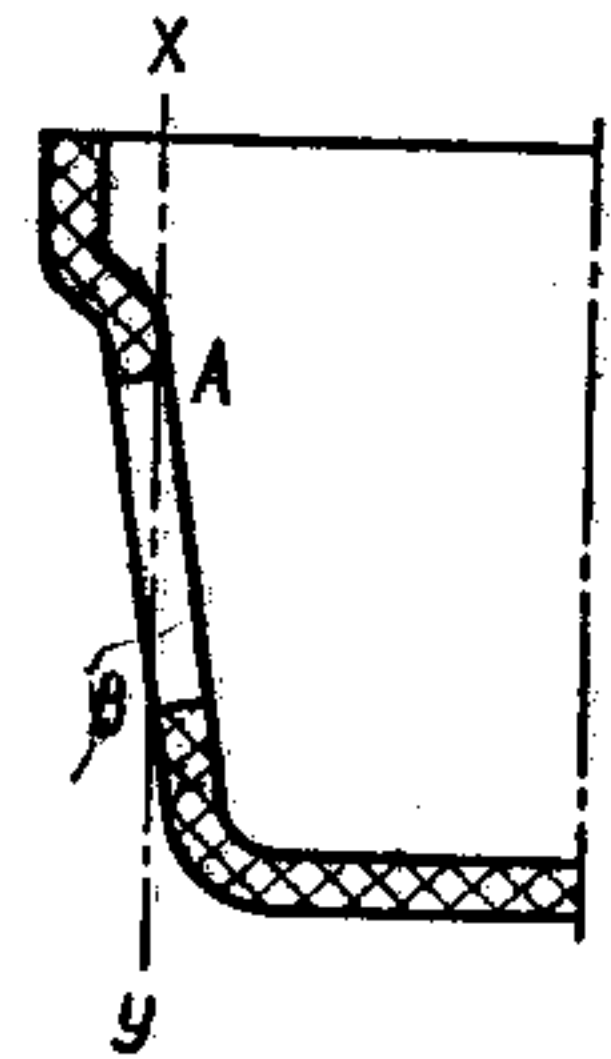


Рис. 62. Примеры оформления деталей без поднутрений

Рис. 63. Боковое сквозное отверстие в вертикальной стенке детали



При размещении выталкивателей на краю изделия борт его в этом месте несколько утолщают.

При выполнении выступов и приливов необходимо предусматривать плавное, а не резкое их утолщение, а также по возможности стремиться к тому, чтобы их высота не превышала $\frac{1}{3}$ высоты основной стенки.

Примеры конструирования пластмассовых деталей с различными углублениями, пазами, выступами показаны на рис. 63—66.

Для получения бокового сквозного отверстия в вертикальной стенке изделия (рис. 63) последнюю следует конструировать с минимальным уклоном, так, чтобы линия $x-y$, параллельная вертикальной оси, касалась бы более высокого внутреннего края A и более низкого наружного края B бокового отверстия.

Правильно Неправильно

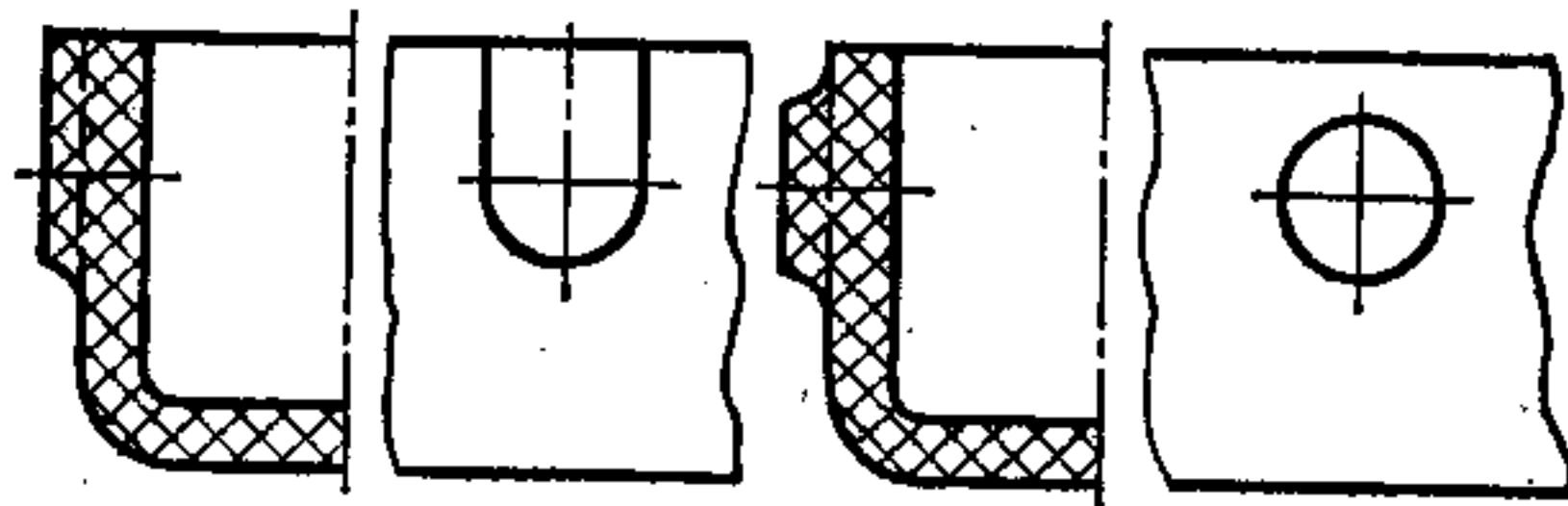
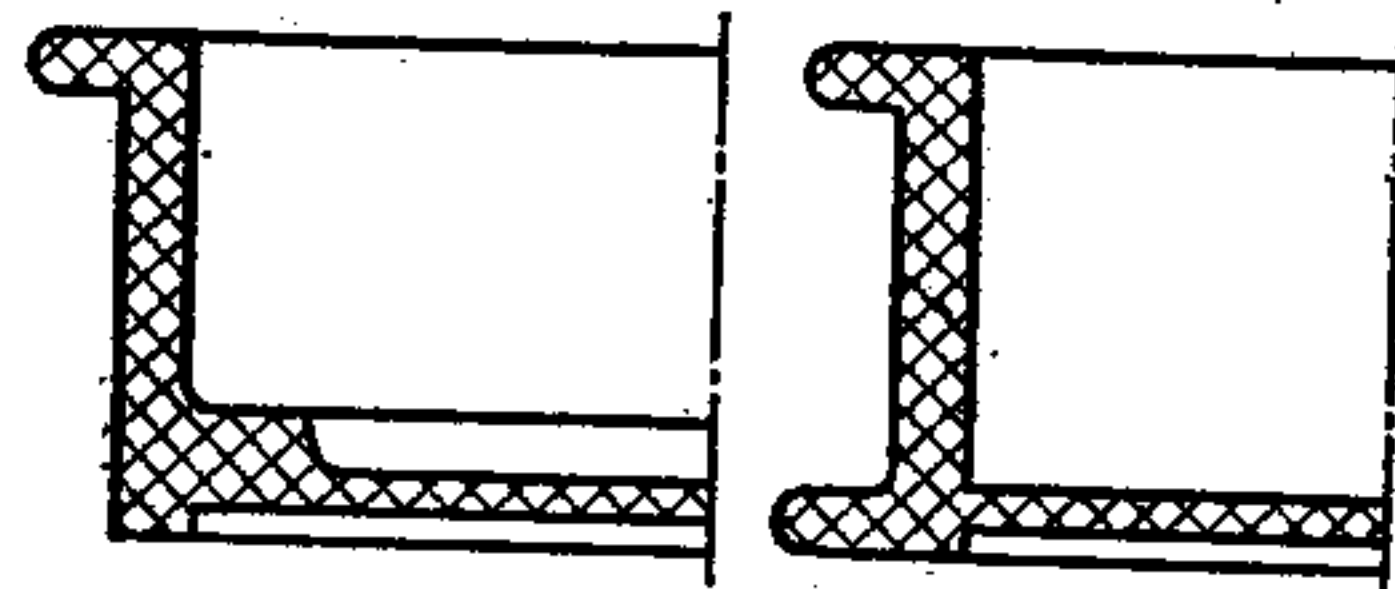
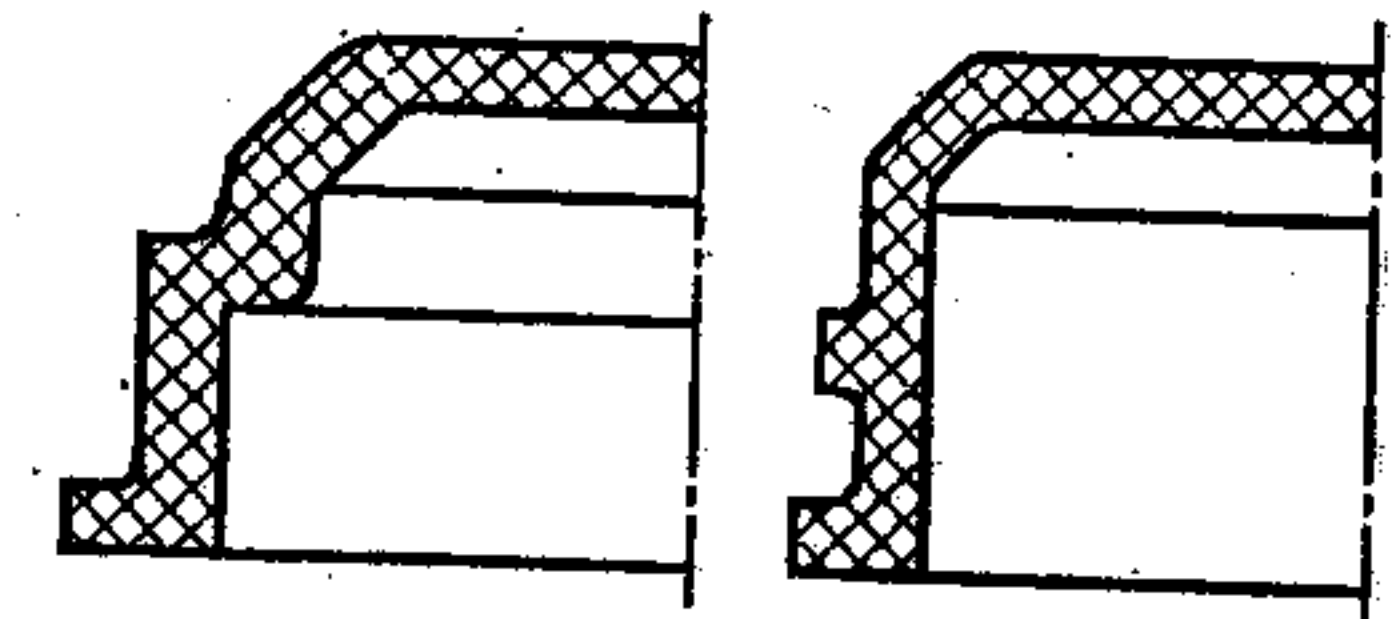


Рис. 64. Деталь с боковым приливом на вертикальной стенке

Технологично Нетехнологично



а)



б)

Рис. 66. Примеры правильного и неправильного оформления деталей с углублениями

Правильно Неправильно

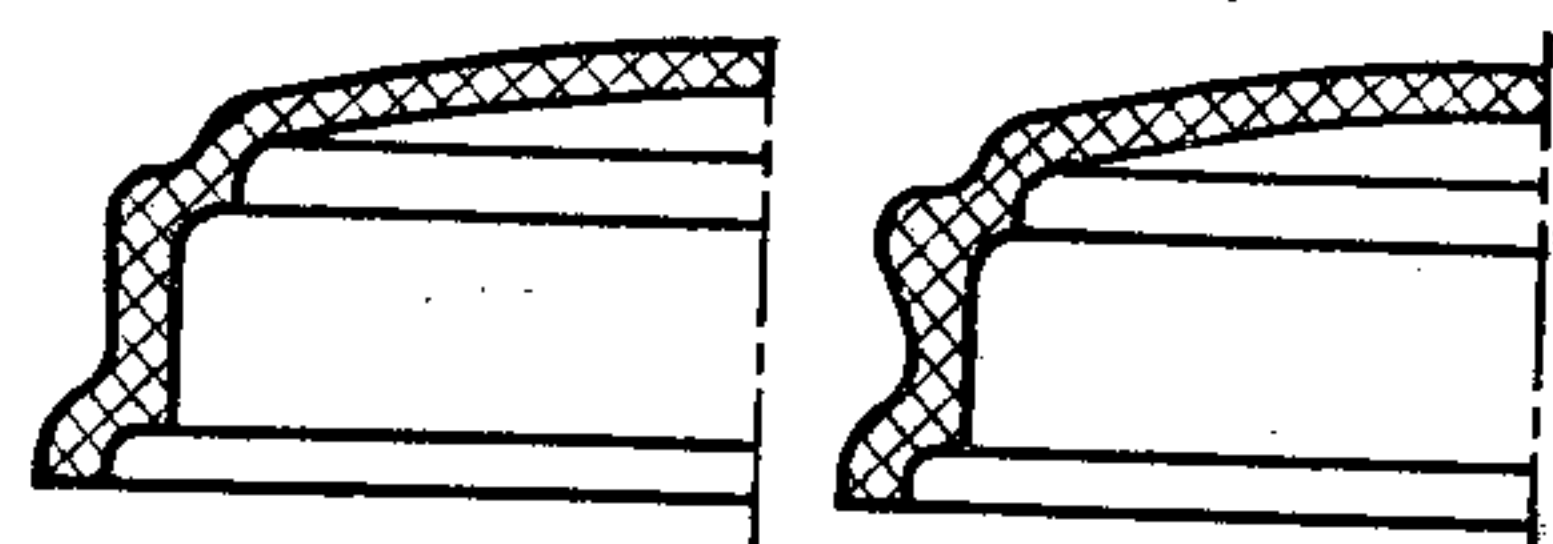


Рис. 65. Оформление детали типа крышки

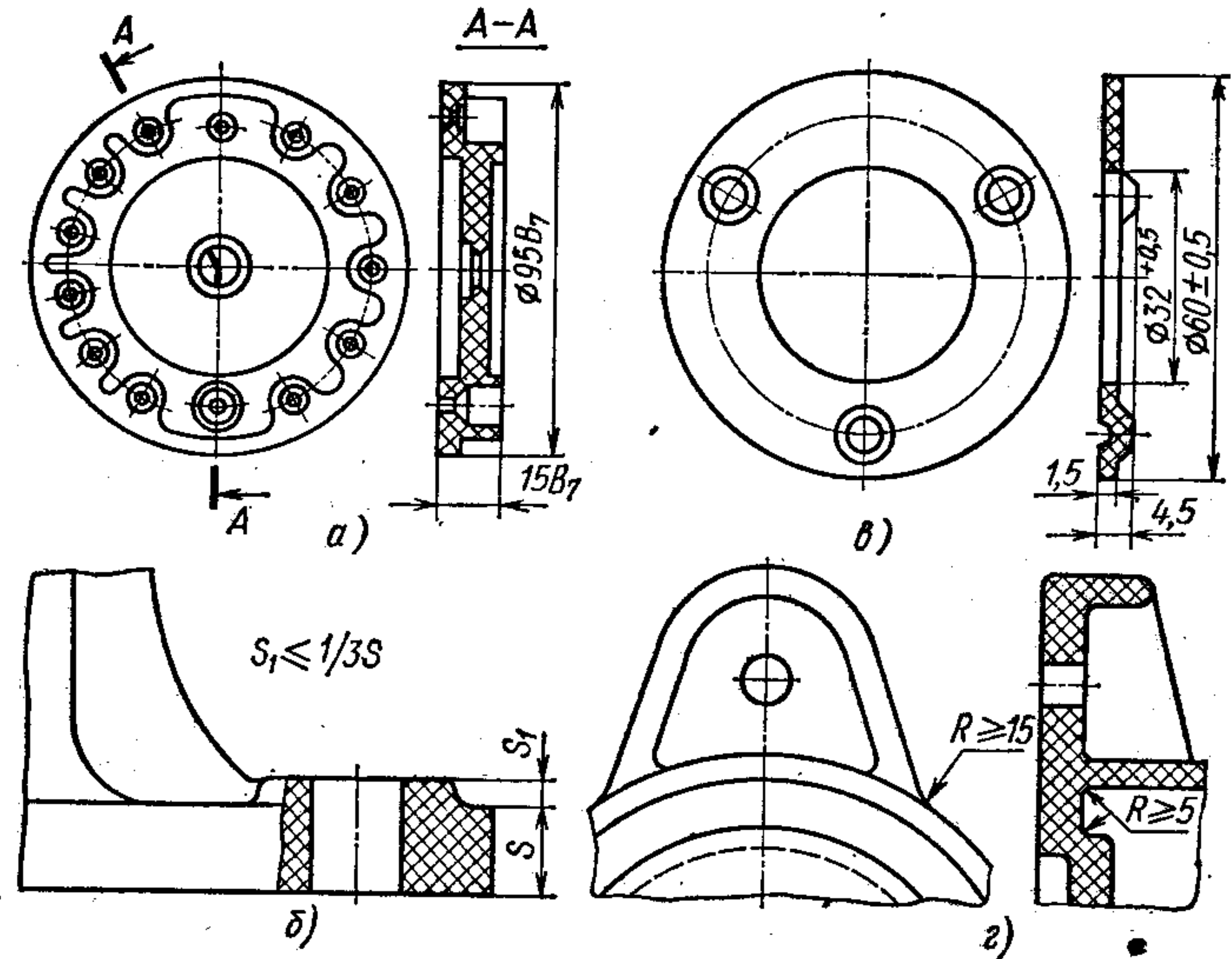


Рис. 67. Детали с опорными плоскостями

Углубление для оформления бокового прилива на вертикальных стенках детали (рис. 64) может быть устранено простым продолжением прилива до кромки стенок.

Для изготовления крышки с обратной конусностью (рис. 65) требуется пресс-форма с разъемными щеками, такая же крышка может быть выполнена в неразъемной форме.

Аналогичные примеры деталей приведены на рис. 66, а—в.

В ряде случаев более рационально применять дополнительную механическую обработку детали для получения необходимых углублений (пазов), чем использовать разъемные пресс-формы. Это относится прежде всего к цилиндрическим деталям, имеющим небольшие углубления внутри (рис. 66, в).

ОПОРНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Для устранения влияния коробления, усадки и неровностей больших площадей, повышения жесткости и точности сопрягаемых элементов деталей применяют выступающие над поверхностями опорные плоскости в виде выступов, бобышек, платиков и буртиков.

При конструировании этих элементов детали следует придерживаться следующих рекомендаций.

Опорные поверхности (крышек, плит и т. п.) ограничивать до минимума (рис. 67, а).

Высота бобышек и платиков должна быть минимальной (рис. 67, б).

При необходимости выполнить бобышку или платик высотой, превышающей $\frac{1}{3}$ высоты основной стенки, необходимо предусматривать в основной стенке выемку (рис. 67, в).

Бобышки и платики сопрягают с основной стенкой дета-

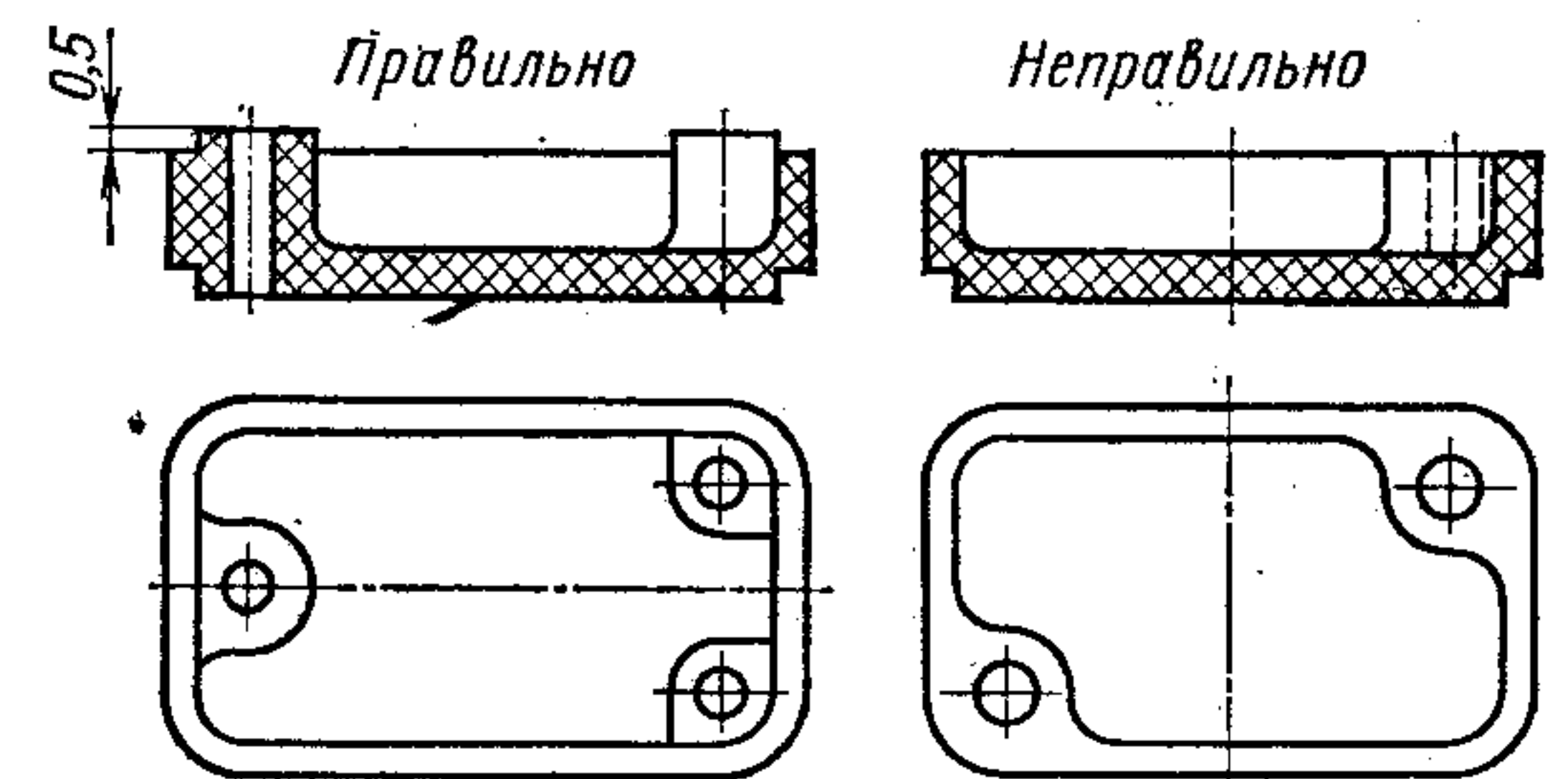


Рис. 68. Примеры оформления опорных поверхностей

ли плавно, без резких углов и переходов. Обрабатываемые поверхности бобышек и платиков располагают на одном уровне, это снижает трудоемкость механической обработки. Расположенные на близком расстоянии несколько бобышек или платиков следует объединить. Плоскости бобышек следует располагать перпендикулярно оси отверстий.

Крепежные проушины для большей жесткости и прочности укрепляют ребрами жесткости, избегая при этом резких углов и переходов (рис. 67, з).

Сплошные опорные поверхности или опоры на две точки заменяют отдельными опорами на три точки (рис. 68).

НАКАТКА И РИФЛЕНИЕ

Накатку и рифление осуществляют в процессе формообразования и обычно на наружных поверхностях деталей. Рифленые поверхности применяют для удобства вращения от руки, с декоративной целью, а в некоторых случаях по технологическим причинам, например для фиксации.

Для обеспечения простоты извлечения детали из формы (без применения съемных частей) накатку и рифление выполняют прямыми ребрами, параллельными направлению выталкивания детали из формы (рис. 69).

Наиболее распространенные виды рифленой поверхности приведены в табл. 25 [37].

Рифление поверхности матрицы вдавливанием стального эталона применяют для конических поверхностей и профилей, не удобных для изготовления матрицы снятием стружки. Для мелкосерийного производства применять матрицы с такими поверхностями не рекомендуется.

При выполнении рифленых поверхностей следует придерживаться также следующих рекомендаций.

На конических и цилиндрических поверхностях недопустимы винтовые или сетчатые рифления.

Ширина ребер должна быть не менее 0,3—0,5 мм, а высота возвышения над базовой поверхностью не должна превышать их ширины.

При рифлении цилиндрической поверхности или поверхности, имеющей съемный уклон, ребра рифления могут иметь съемные уклоны, превышающие уклон базовой поверхности.

На цилиндрических и конических поверхностях не следует делать сквозных ребер (рис. 70, а) (они сложны в изготовлении, легко повреждаются при эксплуатации), а также ребер, занимающих среднюю часть поверхности (рис. 70, б); такие ребра можно получить только в разборных матрицах.

Наиболее целесообразно на цилиндрических и конических наружных поверхностях применять глухие ребра рифления (рис. 71).

Для плоских поверхностей применяют прямое (параллельное) и сетчатое рифление полукруглого или треугольного сечения. При сетчатом рифлении взаимное пересечение ребер должно быть в пределах 60—90° (рис. 72).

Рифление наружных плоских поверхностей рекомендуется выполнять так, чтобы ребра рифления были заподлицо с плоскостью изделия или несколько ниже (рис. 73).

Следует избегать рифлений, выступающих над уровнем плоскости изделия, так как, несмотря на определенные эксплуатационные преимущества перед предыдущими, они служат препятствием при зачистке изделия.

РЕЗЬБЫ

Резьбы в пластмассовых изделиях получают тремя основными способами:

- непосредственно при прессовании или литье изделия;
- механической обработкой отдельных элементов изделия;
- вставкой металлических частей, имеющих резьбу, в прессованные изделия.

На деталях из пластмасс можно получать наружную и внутреннюю резьбу различного профиля (рис. 74). Можно применять резьбу метрическую дюймовую, трубную цилиндрическую по ГОСТ 6357—73, коническую дюймовую по ГОСТ 6111—52* и др.

Рис. 69. Детали с накаткой и рифлением

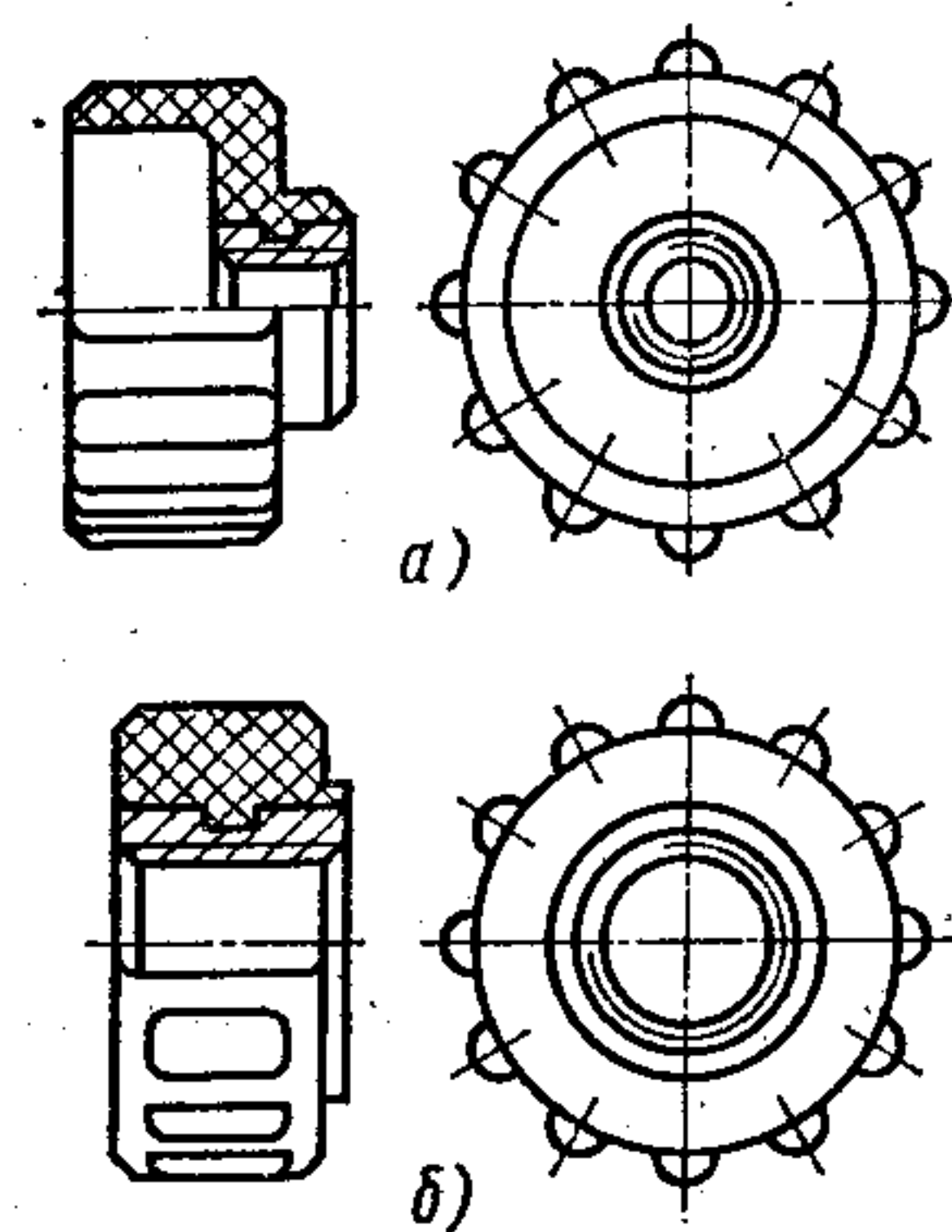
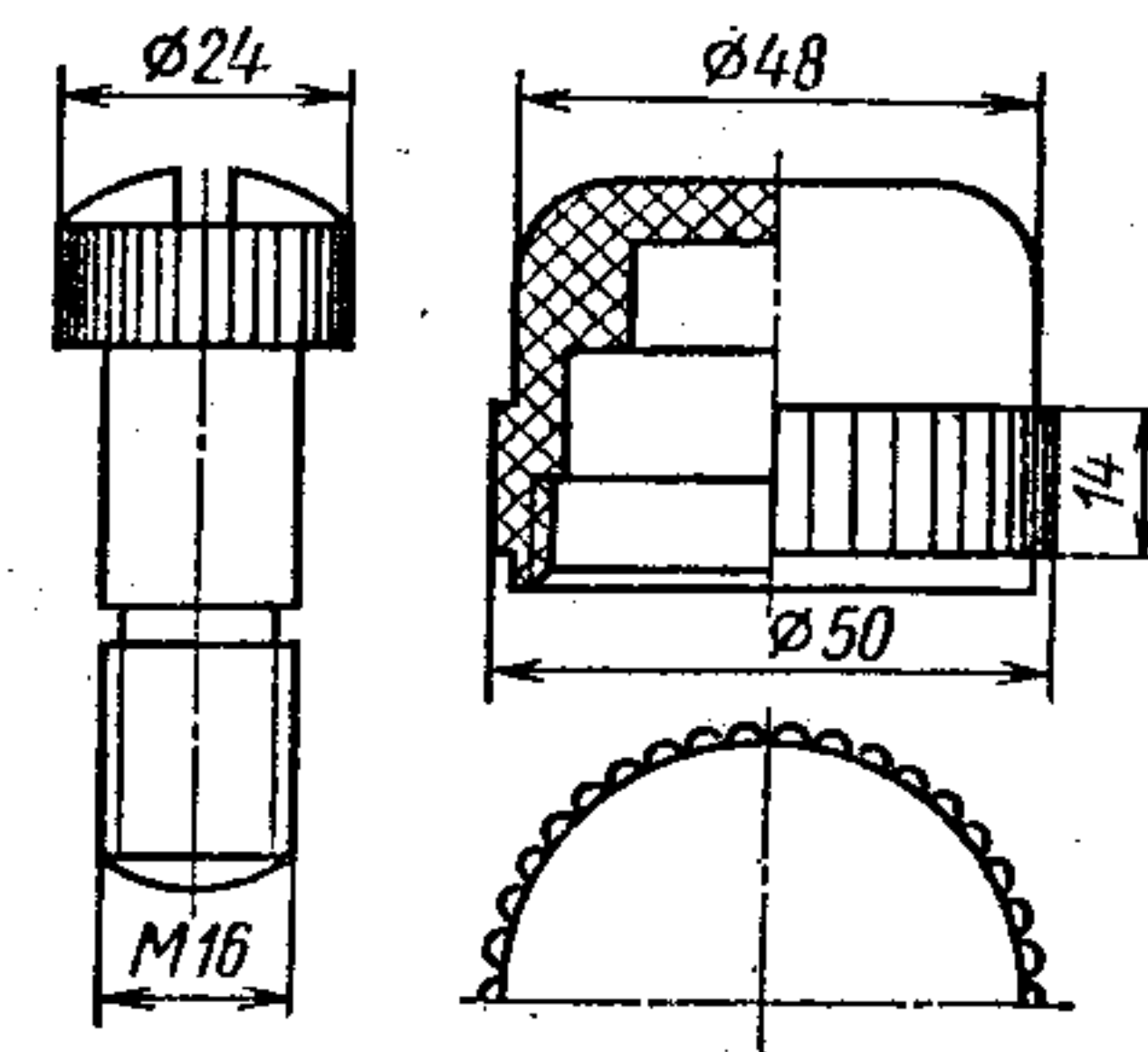


Рис. 70. Примеры нетехнологичного расположения ребер (гайки из пресс-материала 03-010-02)

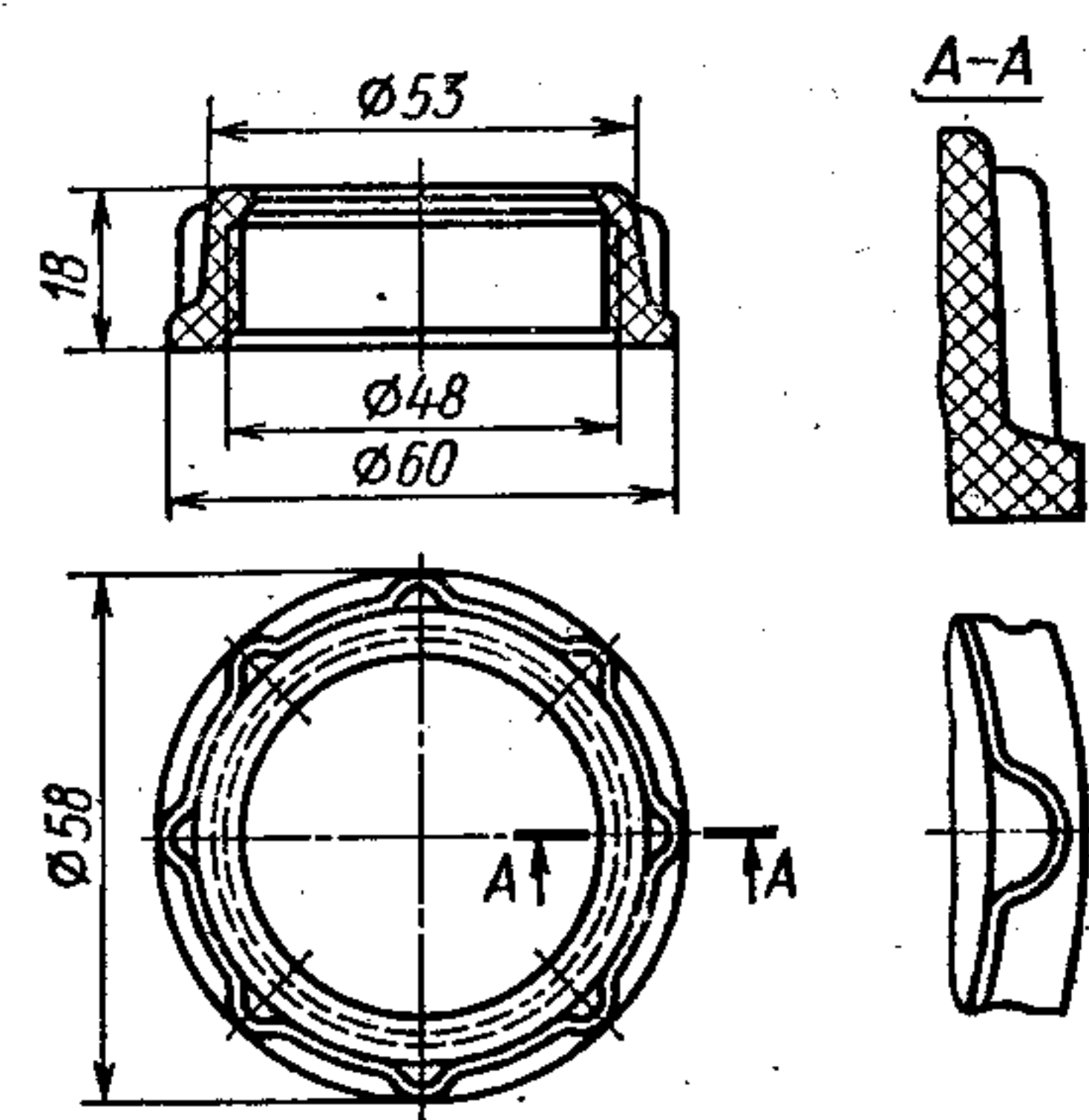


Рис. 71. Пример технологичного расположения ребер (гайка накладная из полиэтилена низкого давления)

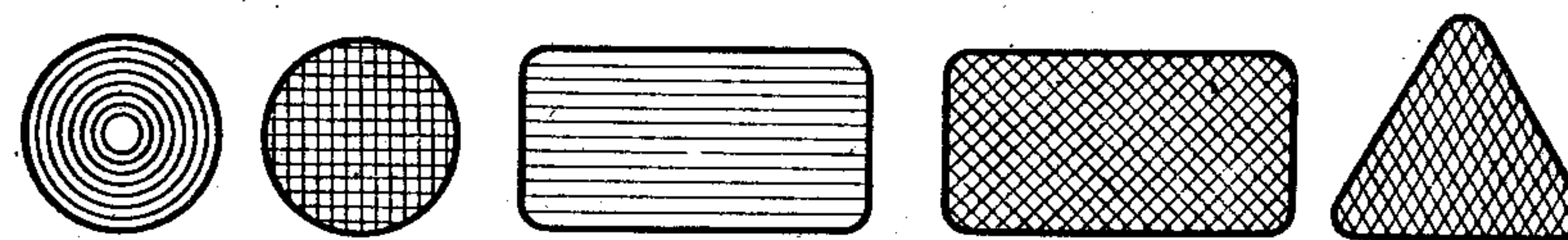


Рис. 72. Примеры рифления плоских поверхностей

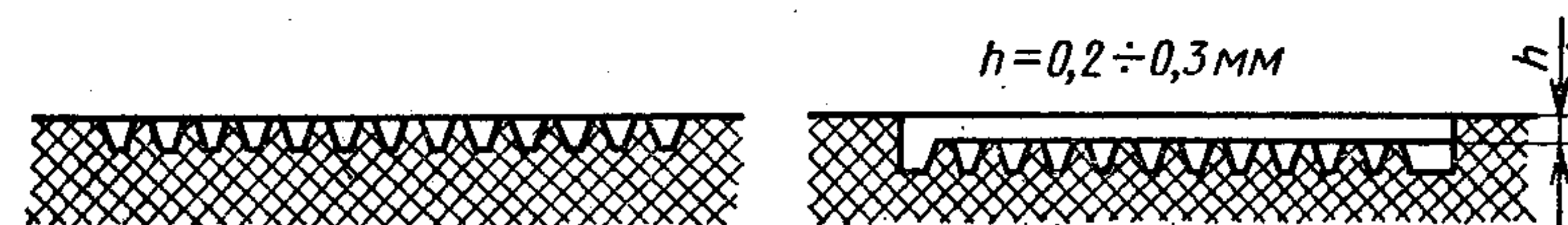
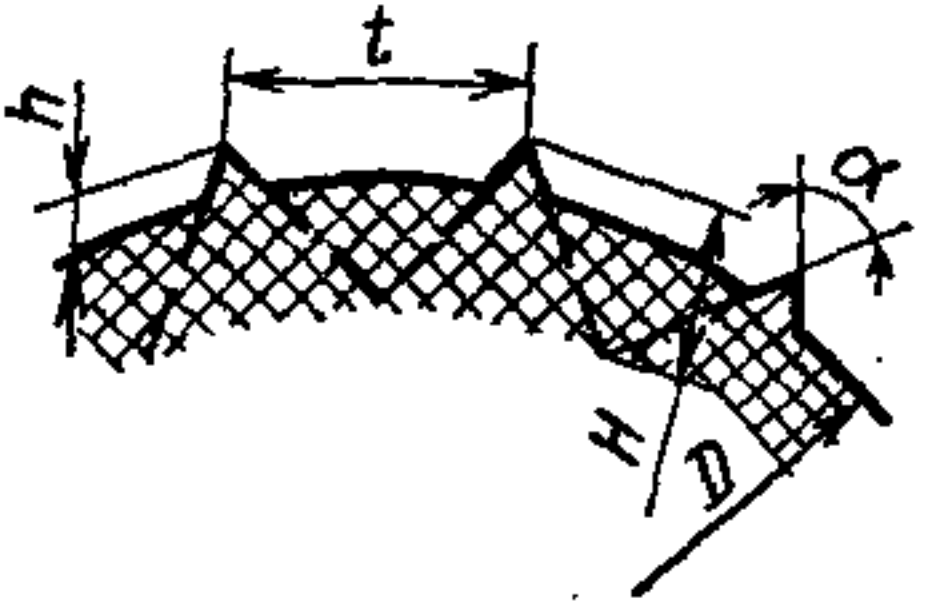
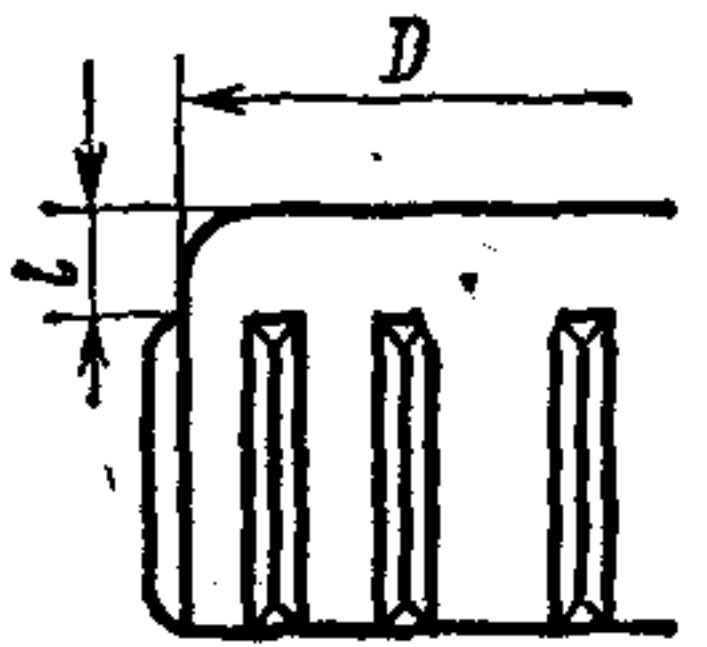
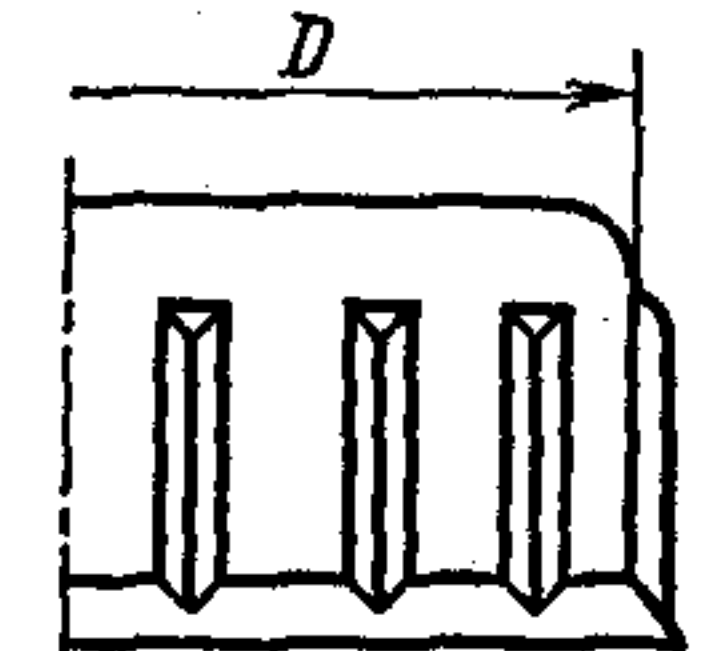
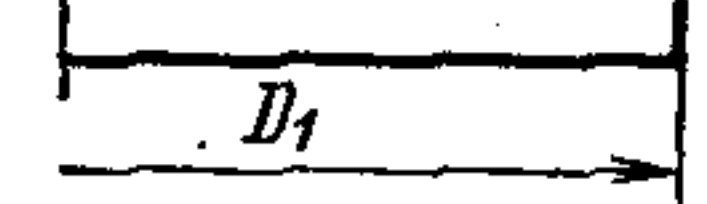
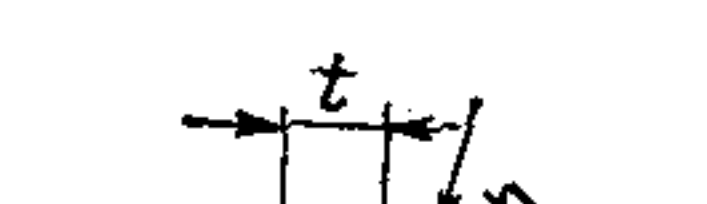
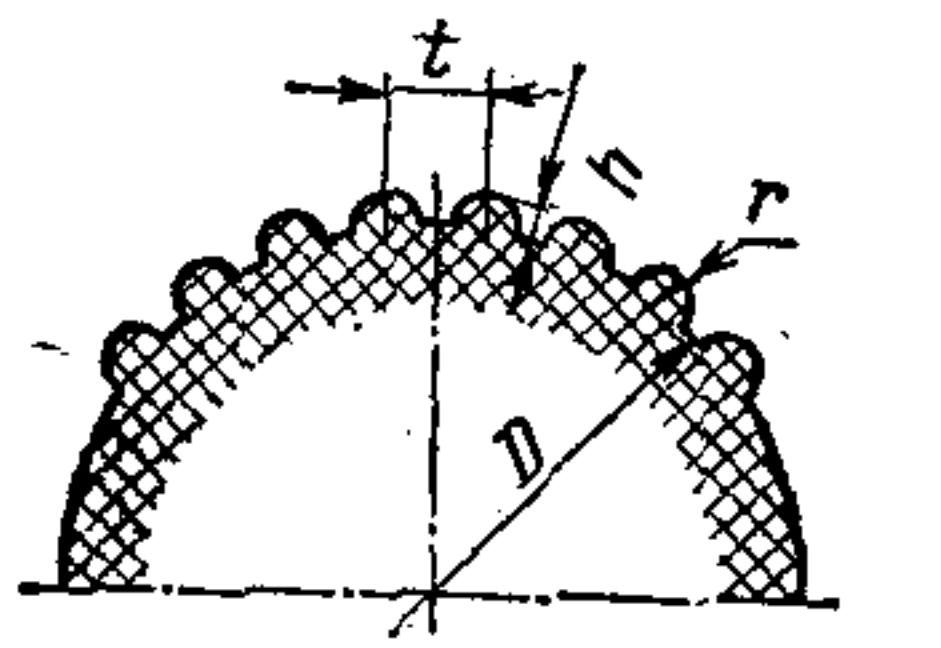
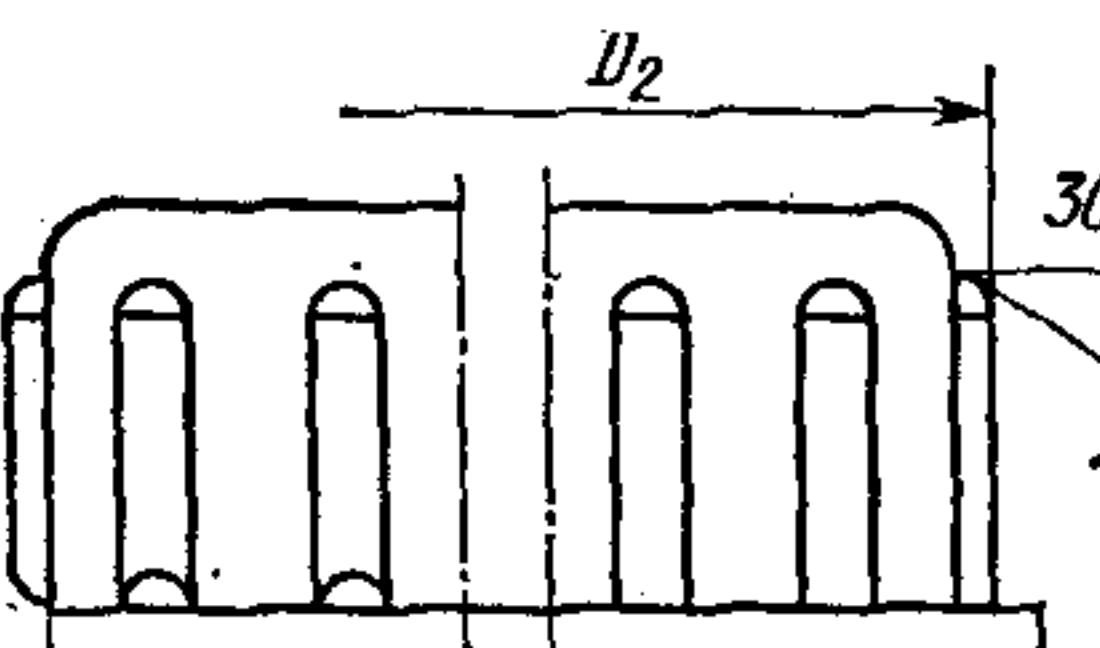
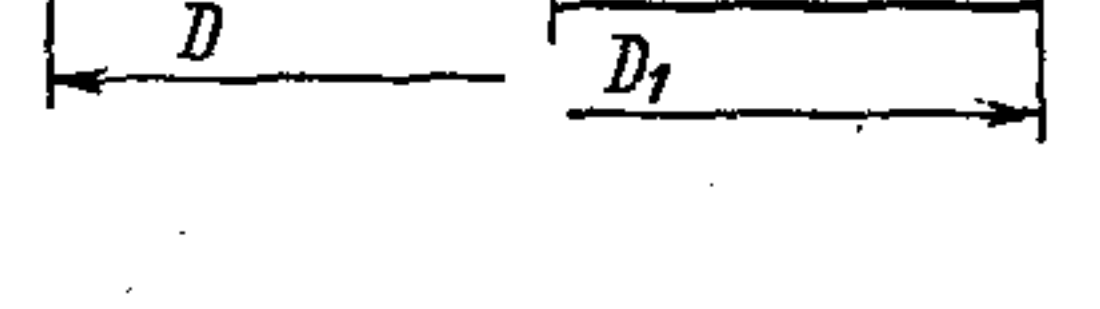

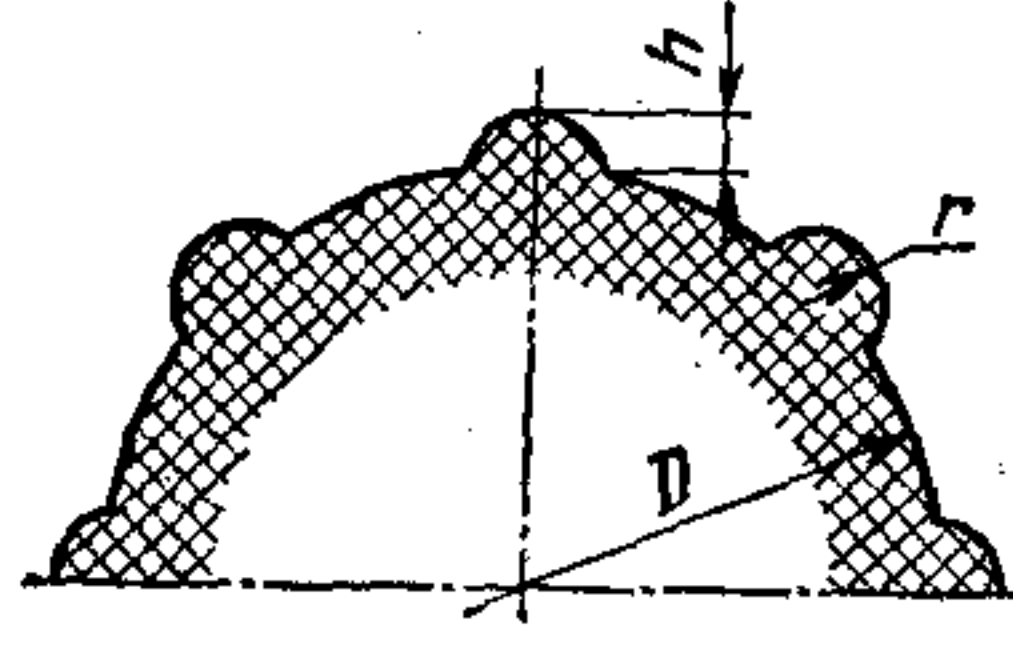
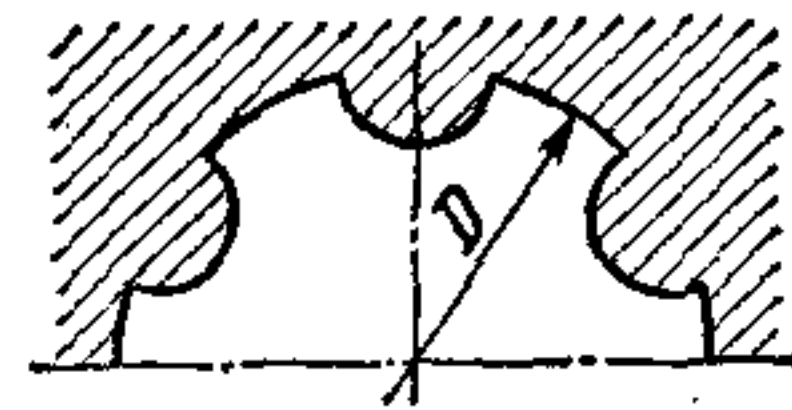


Рис. 73. Примеры рифления наружных плоских поверхностей

Эскиз	Размеры элементов, мм	Назначение и особенности выполнения
	Рифление поверхности матрицы накаткой роликом	Для навинчиваемых деталей и ручек управления
	t 1,0 1,5 2,0	
	h 0,2-0,3 0,3-0,5 0,5-0,8	
	alpha 60 или 90° —	
	H 3h —	
	l 1,5 —	
	Рифление поверхности матрицы сверлением	Для навинчиваемых деталей и ручек управления
	D От 10 до 22 Св. 22 до 50	
	r 1,0 1,5	
	h 0,75 1,2	
	t 3-4 5-6	
	Рифление поверхности матрицы расточкой	Для навинчиваемых деталей
	D От 10 до 22 Св. 22 до 40 Св. 40 до 60 Св. 60 до 80	
	r 3 4 6 10	
	h 1,5 2,0 3,0 5,0	
	Количество выступов 6 6 8 8	

Эскиз	Размеры элементов, мм	Назначение и особенности выполнения
	Рифление поверхности матрицы вдавливанием стального эталона	Для ручек управления. Выполняют мощными прессами при удельном давлении 20-30 тс/см²

Метрическая резьба на деталях диаметром 1—180 мм регламентирована ГОСТ 11709—71*. Диаметры и шаги резьбы выбирают по ГОСТ 8724—58*, но не рекомендуется применять шаги 0,5; 0,75 и 1 мм для диаметров резьбы соответственно свыше 16, 18 и 36 мм.

Основные размеры резьбы с крупными и мелкими шагами выбирают по ГОСТ 9150—59*.

При необходимости выполнения резьбы диаметрами 3—8 мм допускается применение особо крупных шагов: 0,8; 1 и 1,5 мм (табл. 26).

26. Основные размеры резьбы (мм) с особо крупными шагами (ГОСТ 11709—71*)

Шаг резьбы P	Диаметр резьбы			Высота профиля H ₁
	наружный d = D	средний d ₂ = D ₂	внутренний d ₁ = D	
0,8	3	2,480	2,134	0,433
	4	3,350	2,918	
1,5	5	4,026	3,376	0,812
	6	5,026	4,376	
	8	7,026	6,376	

Применение резьб с особо крупными шагами допускается также для деталей из металлов, сопрягаемых с деталями из пластмасс.

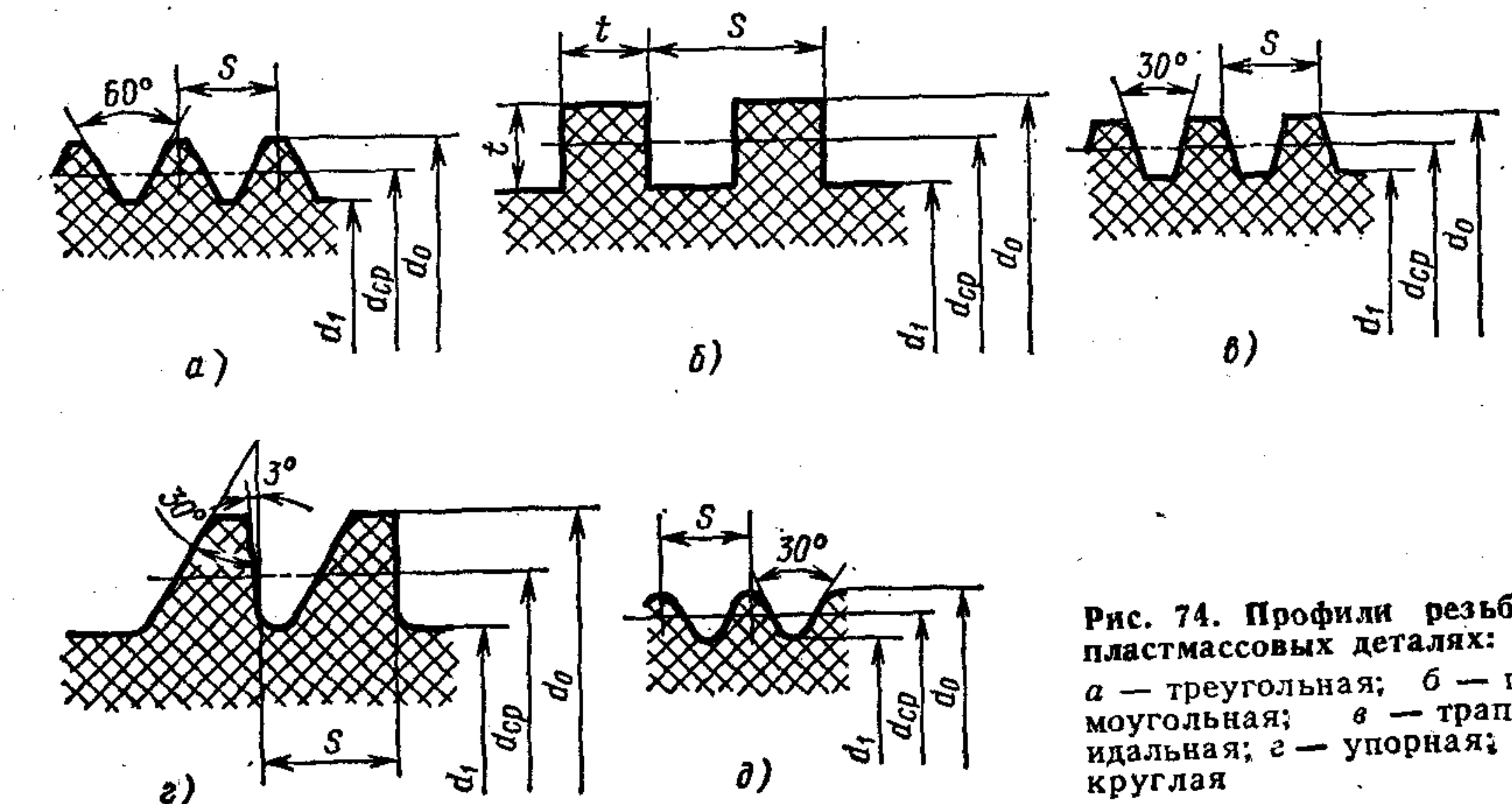


Рис. 74. Профили резьб на пластмассовых деталях: а — треугольная; б — прямоугольная; в — трапецидальная; г — упорная; д — круглая

Выбор шага резьбы. Шаг резьбы выбирают в соответствии с приложением к ГОСТ 11709—71*.

Для терморезистивных материалов с порошкообразным наполнителем наиболее прочной является резьба с шагом 1,5 мм. Резьбы с более крупными шагами менее прочны.

В нагруженных резьбовых соединениях, в которых болт изготовлен из пластмассы, а гайка из металла с шагом резьбы более 1,5 мм, целесообразно для увеличения прочности уменьшить высоту профиля резьбы болта, уменьшив наружный диаметр резьбы. Нижнее отклонение наружного диаметра не должно выходить при этом за пределы допуска 4-го класса точности.

Величина уменьшения наружного диаметра резьбы кольца по сравнению с расчетным будет

$$\Delta_1 d = c_{(4)} - \Delta d_2 \Sigma,$$

где $c_{(4)}$ — допуск наружного диаметра резьбы 4-го класса точности; $\Delta d_2 \Sigma$ — суммарная погрешность среднего диаметра резьбы.

Резьбы с шагом менее 1,5 мм для нагруженных соединений не рекомендуются, так как вследствие переобогащения витков такой резьбы смолой они имеют меньшую прочность на срез.

Из термопластичных материалов можно получать резьбу с любым шагом.

Получение резьбы. Наиболее экономичным и производительным способом получения резьбы является прямое или литьевое прессование. Резьбы могут быть получены с точностью 2а, 3 и 4-го классов. Процесс получения наружных резьб технологически проще процесса получения внутренних резьб, так как первые могут быть оформлены разъемными матрицами. Но такая резьба будет более низкого качества и меньшей точности из-за следов стыка формующих элементов.

Особенно рекомендуется применять разъемные матрицы при изготовлении резьбовых деталей из хрупких термопластов (например, полистирола).

Наименьший диаметр резьбы (мм), получаемой прессованием, в зависимости от типа пресс-материала и его технологических свойств:

Порошкообразные композиционные пластики	3
Волокнистые материалы	4

Не рекомендуется изготавливать прессованием резьбы, шаг которых менее 0,7 мм, так как получить требуемую шероховатость поверхности формующих элементов со столь мелким шагом очень трудно.

Преимущество резьб, получаемых механической обработкой, заключается в большей их точности по сравнению с прессованными. Такие резьбы рекомендуется применять:

при повышенных требованиях к точности диаметральных или координатных размеров (при наличии нескольких резьбовых сопрягающихся элементов);

при низкой механической прочности формующего резьбу элемента пресс-формы (например, если резьбовые знаки имеют диаметр менее 2,5—3,0 мм);

при получении наружной резьбы диаметром менее 10—12 мм и внутренней диаметром менее 4 мм;

при получении мелких резьб с шагом 0,5 мм и менее.

Если прочность резьбы должна быть высокой или деталь необходимо часто отвинчивать, резьбу следует нарезать на армирующих элементах. Длина резьбы должна быть меньше длины арматуры.

Внутренняя резьба (при прессовании) оформляется знаками (или пуансоном), наружная — кольцами (иногда прямо в матрице).

При оформлении наружной резьбы должны быть предусмотрены пазы, выступы и другие элементы, предотвращающие поворот детали при вывинчивании кольца.

При оформлении внутренней резьбы знаки вывинчивают из детали после прессования.

Резьбу легче нарезать на деталях из волокнистых и слоистых пластиков, чем на деталях из порошкообразных материалов, вследствие большей хрупкости последних.

Конструктивные особенности прессованных резьб. При конструировании изделий из пластмасс с прессованной резьбой следует учитывать, что прочность пласт-

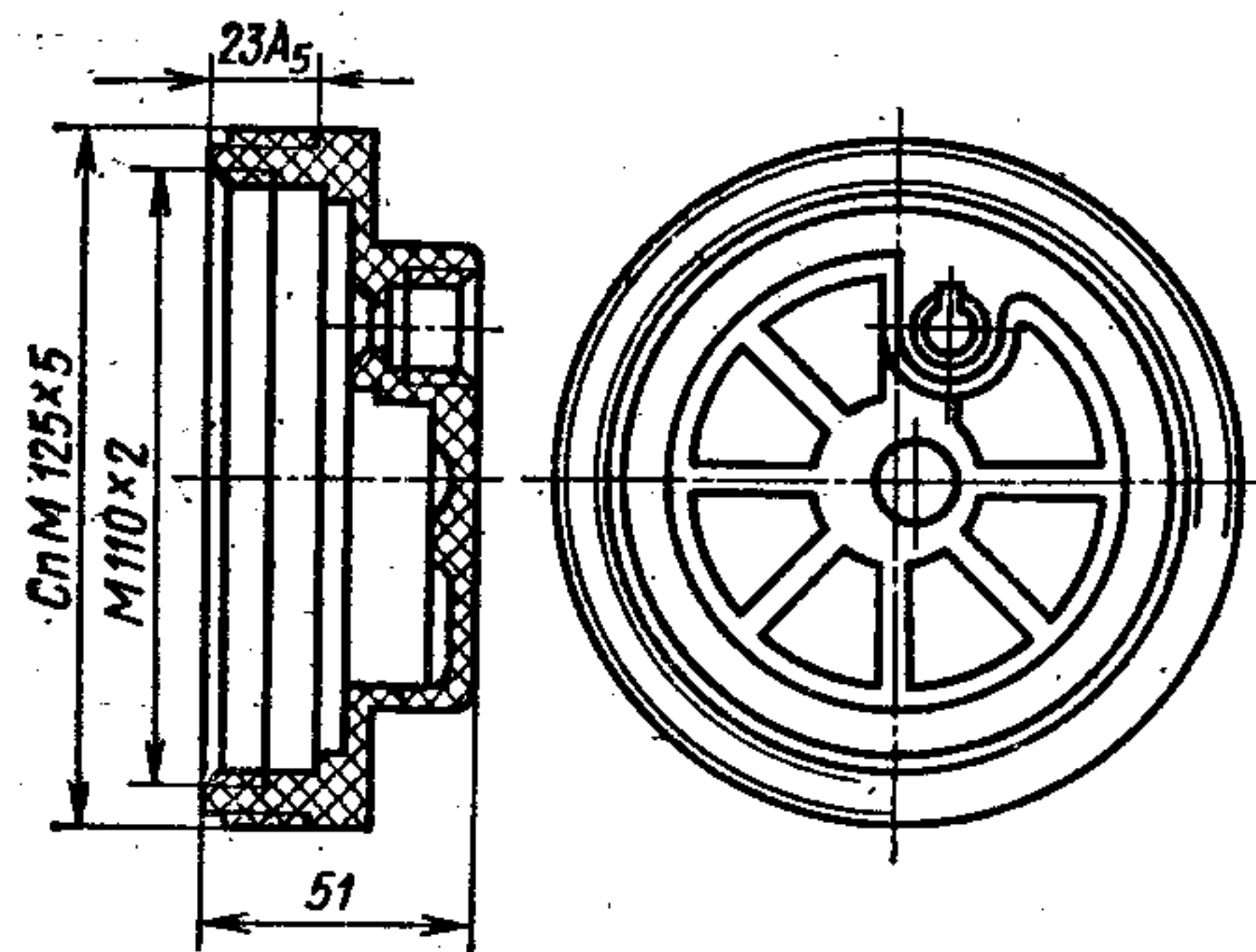
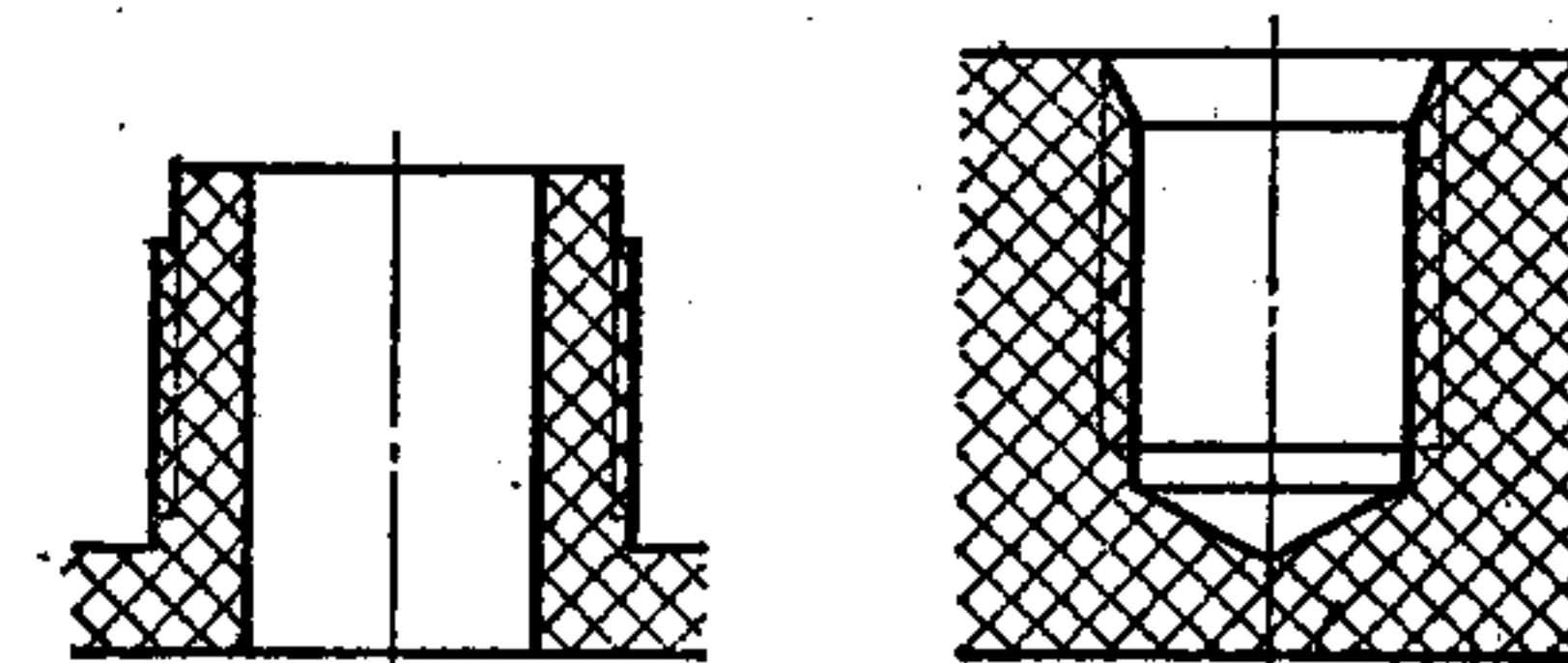


Рис. 75. Крышка из пресс-материала АГ-4В с резьбой круглого профиля

Рис. 76. Профиль прессуемых резьб



масс значительно ниже прочности металлов. Поэтому резьбу пресс-изделий не следует подвергать значительным усилиям.

Для соединений определенной точности следует применять метрическую резьбу по ГОСТ 11709—71*.

При расчете диаметра резьбы необходимо учитывать усадку материала и оставлять зазор между винтом и гайкой немного больше, чем для изделий из металла.

При соединении резьбой прессованного изделия с металлической деталью в случае, когда необходима определенная точность, при длине резьбы более 20—25 мм рассчитывают усадку также и для шага винта.

Для более грубых резьбовых соединений применяют обычно резьбу круглого профиля (рис. 75); такая резьба легко прессуется, обладает большой прочностью, благодаря большому зазору легко завинчивается. Шаг резьбы 2,5—4 мм.

Для прессуемых резьб всех видов обязательно наличие фаски или кольцевой выточки на конце резьбы (рис. 76). Величина фаски зависит от шага резьбы и регламентирована ГОСТ 10549—63*. Для наружных резьб наличие фаски на их заходной части нежелательно, так как это затрудняет изготовление формующего элемента.

При оформлении резьбы в тонкостенных элементах изделий и если по конструктивным соображениям наличие фаски на конце резьбы нежелательно, следует предусматривать выточку для сбегания и выхода резьбы. Размер выточки берут $(0,5 \div 1)P$.

При оформлении сквозной резьбы для защиты знака между его торцом и оформляющей частью пресс-формы оставляют гарантированный зазор. Образующую пленку снимают механической обработкой. При этом предусматривают фаску или проточку, перекрывающую резьбу не менее чем на один шаг.

Прессованием можно получать резьбы с правой и левой нарезкой. Несущие элементы левых резьб обозначают в соответствии с ГОСТ 2904—45.

Резьбы могут быть одно- и многоходовые с различным числом витков. Желательно, чтобы число витков резьбы было равно 4, 8, 16.

Соотношение диаметров и длин рабочей части резьбовых знаков (глубина формования) в случаях, когда не требуются глубокие резьбовые отверстия, принимают равным 1,5—2,0 диаметрам резьбового знака.

Размеры шага резьбы, получаемой прессованием или литьем, могут иметь значительные отклонения в основном за счет колебания величины усадки и наличия погрешности в изготовлении формующего элемента. Влияние этих факторов учитывают только в осевом направлении, ограничивая длину прессуемой резьбы.

Для определения наибольшей длины свинчивания можно рекомендовать формулу [30]

$$h = \frac{\Delta - (\Delta_{изг} + 0,06 + d_{cp}) k}{0,0035P},$$

где h — количество шагов резьбы; Δ — допуск среднего диаметра резьбы, мм (как правило, по 3-му классу точности); $\Delta_{изг}$ — допуск на средний диаметр резьбы формующего элемента; допуск 3-го класса точности, мм, по ОСТ 1013; d_{cp} — средний

диаметр формуемой резьбы, мм; k — коэффициент, характеризующий величину колебания усадки пресс-материала; P — шаг резьбы, мм.

Величину коэффициента k можно вычислить по формуле

$$k = \frac{x_{p \max} - x_{p \min}}{100},$$

где $x_{p \max}$ и $x_{p \min}$ — наибольшая и наименьшая величины расчетной усадки, %.

Зная величину шага P , можно рассчитать наибольшую длину свинчивания. На основании приведенной формулы составлена табл. 27.

27. Наибольшие длины свинчивания прессованных резьб в изделиях из пластмасс с колебанием усадки 0,4% ($k=0,004$) и 0,1% ($k=0,001$)

Размеры, мм

Номинальный диаметр	Шаг резьбы P	$k = 0,004$	$k = 0,001$	Номинальный диаметр	Шаг резьбы P	$k = 0,004$	$k = 0,001$		
4	0,7	12	15	30	3,5	28	52		
5	0,8	14	17		2,0	17	42		
6	1,0	18	22		1,5	8	33		
					0,75	15	20	1,0	—
8	1,25	19	26	36	4,0	26	55		
					1,0	18	48		
					0,75	14	20	9	38
10	1,5	23	30	42	3,0	11	46		
					1,25	18	25	—	37
					1,0	16	24	1,5	—
12	1,75	20	30	48	5,0	24	63		
					1,5	19	29	—	44
					1,25	14	23	—	35
					1,0	13	22	—	27
16	2,0	24	36	56	5,5	18	64		
					1,5	14	27	8	49
					1,0	8	21	—	44
20	2,5	25	41	64	4,0	—	64		
					2,0	20	36	—	44
					1,5	11	28	—	36
					1,0	5	22	—	27
24	3,0	30	49	64	6,0	14	65		
					2,0	15	36	—	51
					1,5	7	26	—	42
					1,0	—	20	—	34
					1,5	—	25		

Примечание. Таблица составлена применительно к наиболее употребительному 1-му ряду диаметров резьбы по ГОСТ 8724—58*.

Минимальные размеры перемычек для резьбовых отверстий и толщины дна при глухой резьбе приведены в табл. 28 [48].

В изделиях с последовательно расположенными резьбами разных диаметров (рис. 77) рекомендуется делать одинаковый шаг резьб, что значительно упрощает конструкцию пресс-формы.

Для свинчивания с резьбового знака круглых резьбовых изделий на последних предусматривают рифленую поверхность, шлицы, приливы или пазы.

Конструктивные особенности резьб, получаемых механической обработкой. Резьбу нарезают метчиком из твердосплавного материала или самонарезающими гайками в предварительно отформованных отверстиях. Этот метод применяют для получения наружной резьбы небольшого диаметра (обычно менее 10—12 мм), если получение ее прессованием связано с большими трудностями, и внутренней — диаметром менее 4 мм.

Нарезание резьбы является единственным способом изготовления резьбовых поверхностей деталей из слоистых пластиков. Рациональные соотношения конструктивных элементов приведены в табл. 29 [37].

Следует предусматривать во избежание сколов у кромок зенковку отверстий, нарезаемых метчиком.

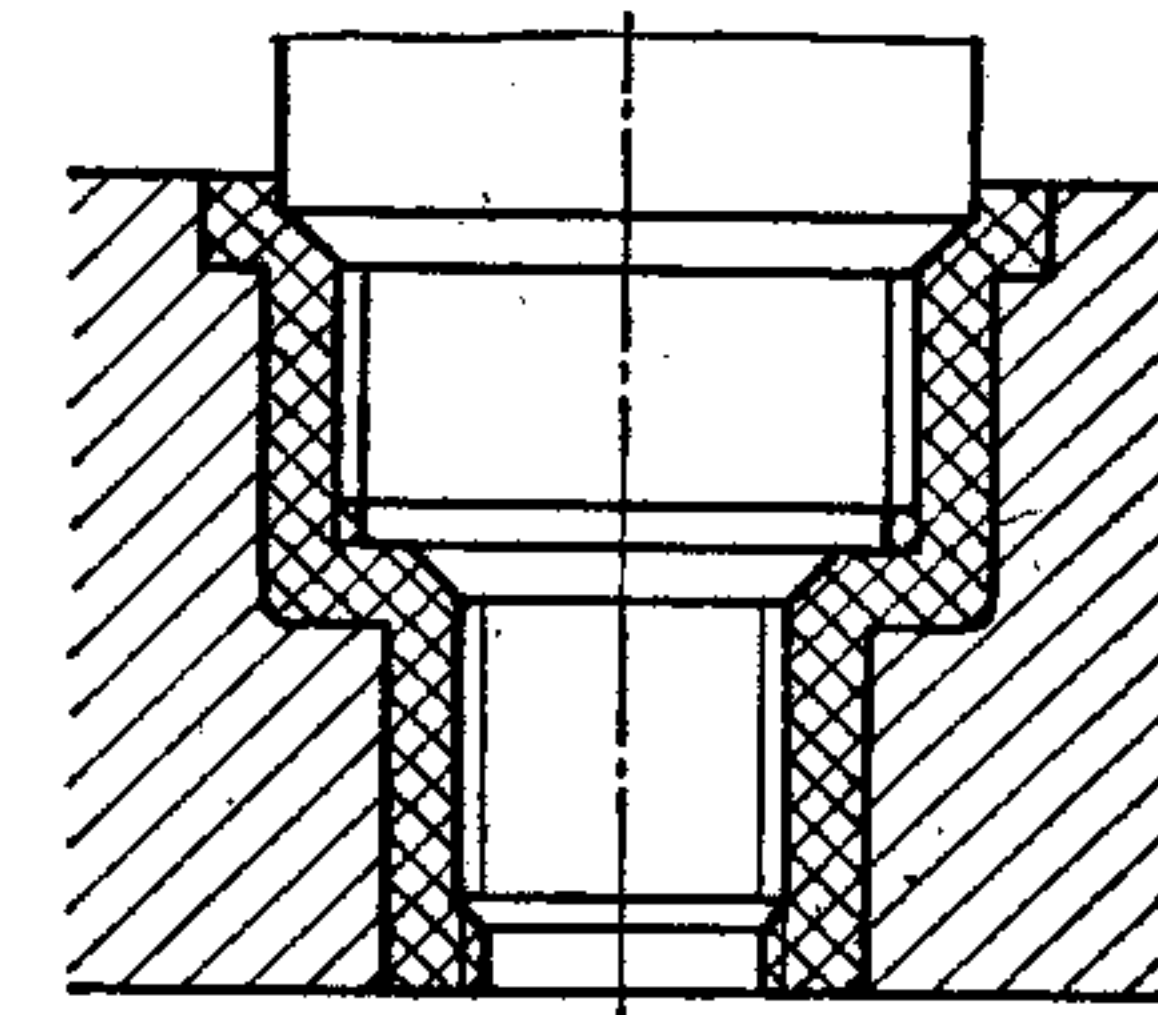


Рис. 77. Втулка из пресс-материала 01-040-02

28. Минимальные размеры перемычек между резьбовыми отверстиями и минимальные толщины дна глухих резьбовых отверстий

Размеры, мм

Эскиз	Диаметр резьбы	b_1	b_2	b
	До 3	1,3	2,0	2,0
	Св. 3 до 6	2,0	2,5	3,0
	> 6 > 10	2,5	3,0	3,75
	> 10 > 18	3,75	4,3	5,0

29. Соотношения конструктивных элементов отверстий под нарезание резьб

Эскиз	d	d_1	t_D	t_H	d_2	b	R
	M2,6	2,16	4,0	3,0	2,9	0,2	0,2
	M3,0	2,55	4,5	3,5	3,4	0,3	0,2
	M3,5	2,95	5,5	4,0	4,0	0,3	0,3
	M4	3,30	6,0	4,5	4,5	0,4	0,3
	M5	4,20	8,0	6,0	5,5	0,4	0,4
	M6	4,90	9,5	7,0	6,5	0,5	0,5
	M8	6,60	13,0	9,5	8,6	0,6	0,6
	M10	8,30	16,0	12,5	10,7	0,8	0,7

Примечание. t_H — длина резьбы.

При нарезке метчиком несквозных отверстий необходимо, чтобы их глубина была несколько больше длины нарезки (см. ГОСТ 10549—63*). В этом случае на дне остается достаточно места для приема стружки, получающейся при нарезании резьбы.

АРМИРОВАНИЕ

Пластмассы, обладающие рядом ценных свойств, не лишены, однако, и недостатков. Так, например, они характеризуются низкой контактной прочностью, очень малым сопротивлением сдвигу (срезу), низкими электро- и теплопроводностью; они немагнитны, теряют прочность при повышенных температурах, имеют повышенную склонность к ползучести при длительных нагрузках и т. д.

Поэтому, если необходимо получить детали с такими эксплуатационными свойствами, которыми не обладают пластмассы, их приходится конструировать с различными элементами из других материалов, называемыми арматурой.

В качестве арматуры применяют детали из металлов, керамики и стекла. Чаще используют металлическую арматуру из стали, латуни, бронзы, причем для увеличения износоустойчивости не обязательно армировать оба трущихся элемента. Хорошо противостоят износу сталь — капрон или сталь — пластмасса с древесным шпоном в качестве наполнителя.

Арматуру применяют также для увеличения жесткости и точности деталей. Она препятствует усадке пластмассы, уменьшая ее величину и пределы колебания.

Арматурой служат различные стержни, корпуса или охватывающие кольца детали (в этом случае, находясь снаружи детали, арматура не служит препятствием для усадки), фиксирующие или установочные стержни и т. д. Применение арматуры в этих случаях способствует возможности легкой взаимозаменяемости изделий.

Арматуру, применяемую для увеличения механической прочности, обычно располагают внутри детали. В процессе эксплуатации изделия она воспринимает основные нагрузки. Пластмасса выполняет в этом случае роль облицовки.

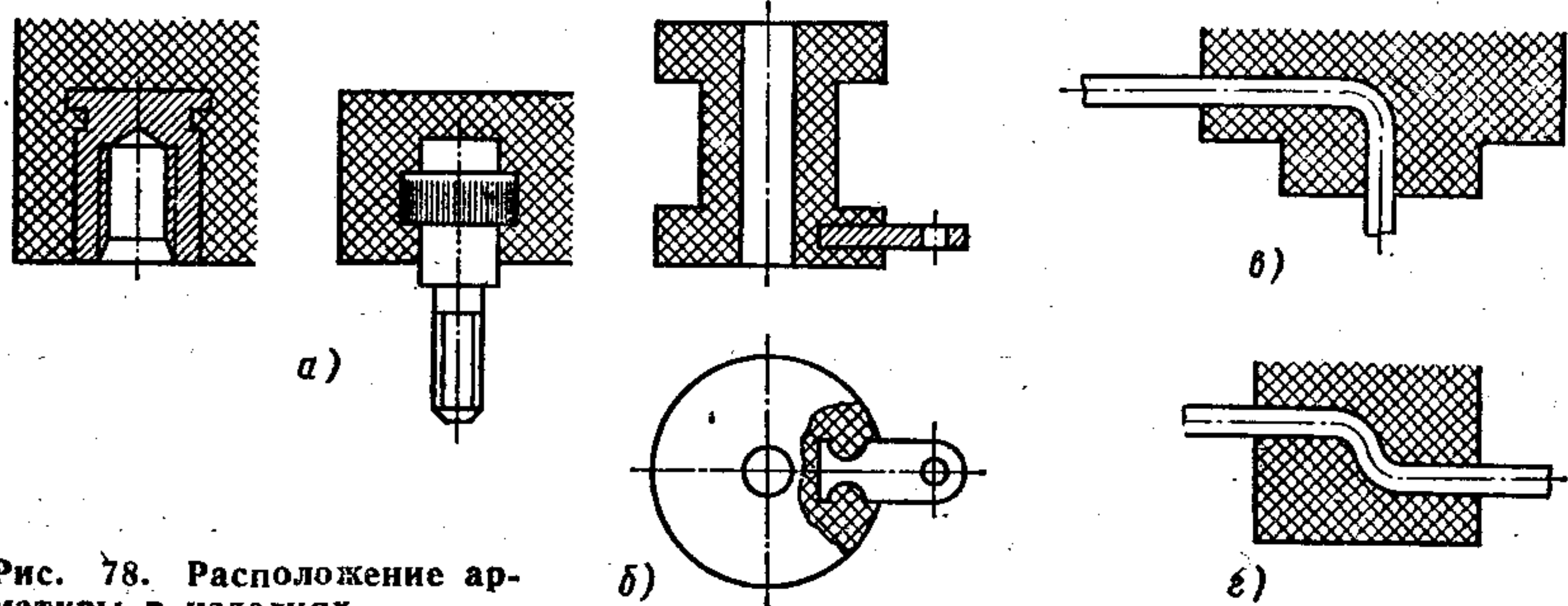


Рис. 78. Расположение арматуры в изделиях

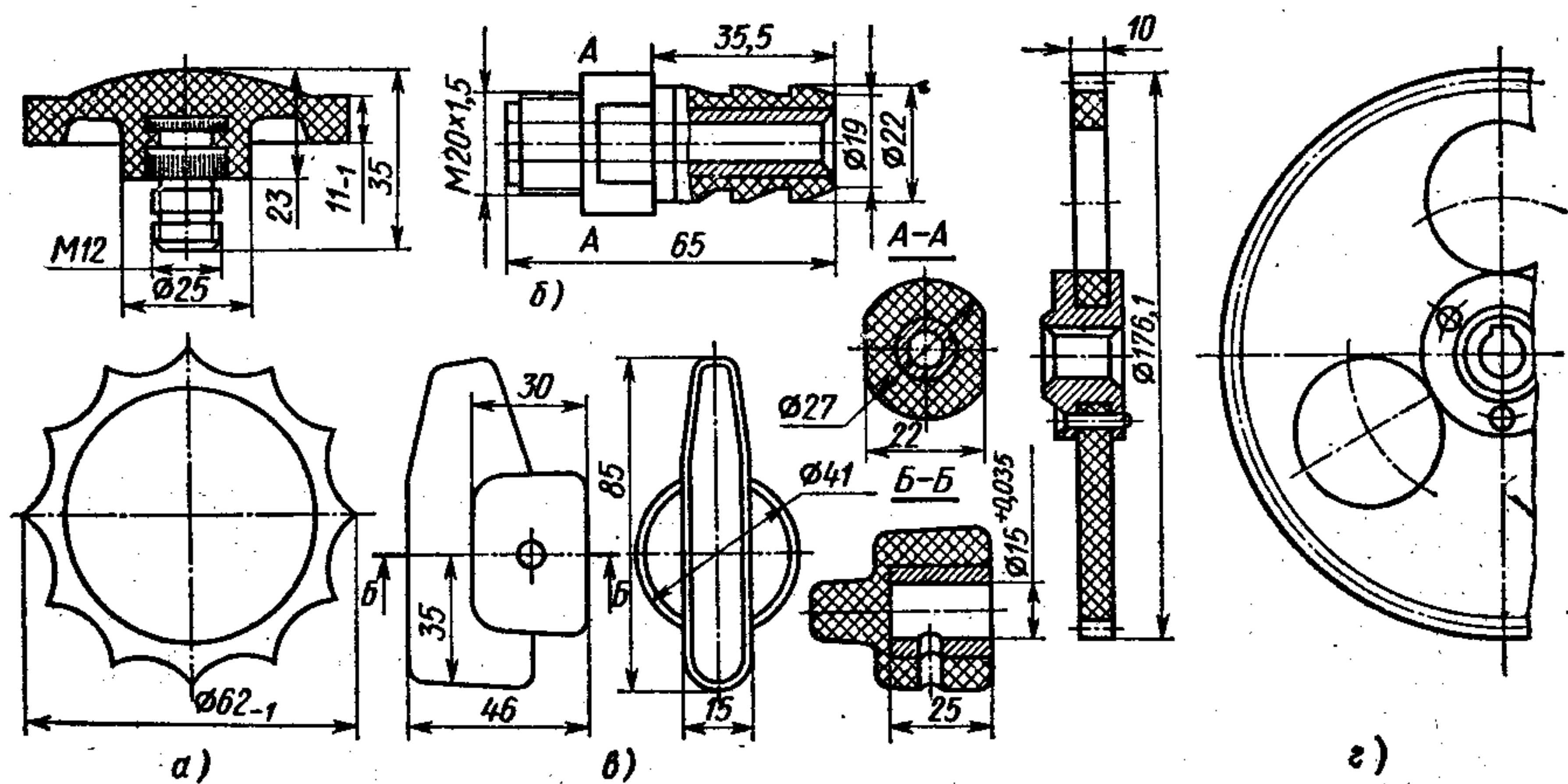


Рис. 79. Гайка глухая из пресс-материала 03-010-02

По расположению в изделии различают арматуру: глухую (рис. 78, а), одностороннюю (рис. 78, б), угловую (рис. 78, в), сквозную (рис. 78, г).

Вместе с тем армированным конструкциям свойственны некоторые недостатки:

в материале детали из-за различных коэффициентов расширения пластмассы и арматуры возможно появление трещин;

увеличивается вероятность выхода из строя детали во время эксплуатации, особенно при резкой перемене температур из-за наличия микротрещин в пластмассе вокруг арматуры;

возрастает брак из-за повреждений арматуры, неудачной ее установки в форме;

увеличивается стоимость форм и усложняется их изготовление.

Способы закрепления арматуры в изделии. Соединение арматуры с пластмассой должно быть настолько прочным, чтобы извлечение арматуры сопровождалось разрушением изделия или деформацией арматуры.

Применяют следующие способы закрепления арматуры:

опрессование в процессе изготовления изделия (рис. 79, а);

запрессовка в изготовленную деталь (рис. 79, б);

постановка на резьбе (рис. 79, в);

укрепление при помощи заклепок (рис. 79, г).

Арматуру для предохранения от проворачивания иногда крепят дополнительно штифтами (рис. 79, в).

Фиксирующие элементы арматуры, запрессовываемые или заформовываемые в пресс-материал, определяют геометрическое положение арматуры относительно изделия; кроме базирования, они предназначены для крепления арматуры. Некоторые наиболее широко применяемые фиксирующие элементы приведены в табл. 30 [6].

Выбор способа крепления арматуры определяется требованиями прочности и технологичности конструкции. Поэтому часто используют комбинированные варианты монтажа арматуры, например, резьбосклеиваемые, заклепочно-клеиваемые.

Требования к арматуре и ее расположение в изделии. Основные требования, которыми следует руководствоваться при проектировании армированных изделий, зависят от типа запрессовываемой арматуры.

Рекомендуемые соотношения размеров одного из видов втулочной арматуры приведены в табл. 31. Некоторые другие виды втулочной арматуры показаны на рис. 80.

Втулочную арматуру рекомендуется применять с глухим нарезанным отверстием. Круглая и коническая головки содействуют скольжению пластмассы при прессовании.

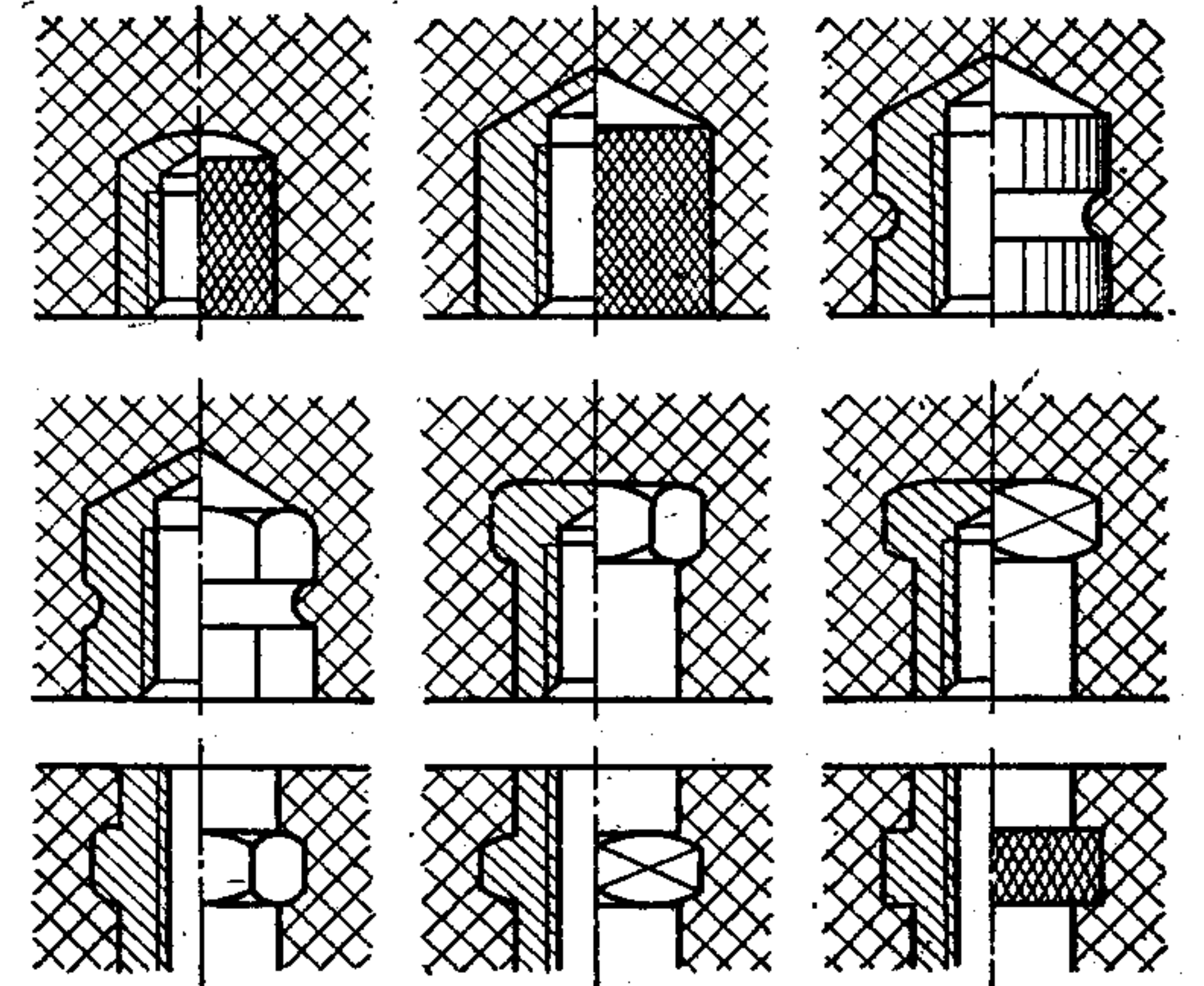


Рис. 80. Варианты крепления втулочной арматуры

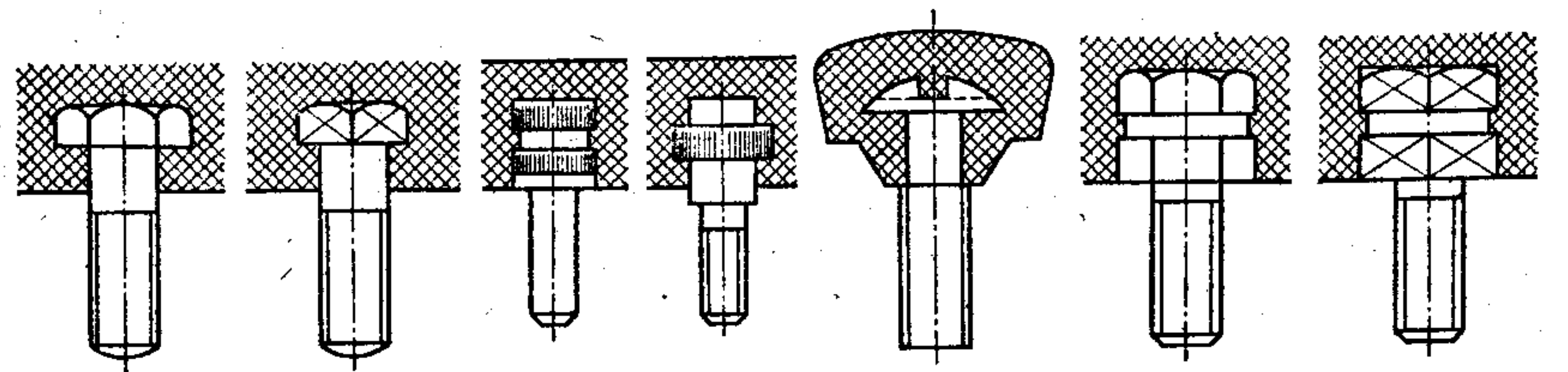

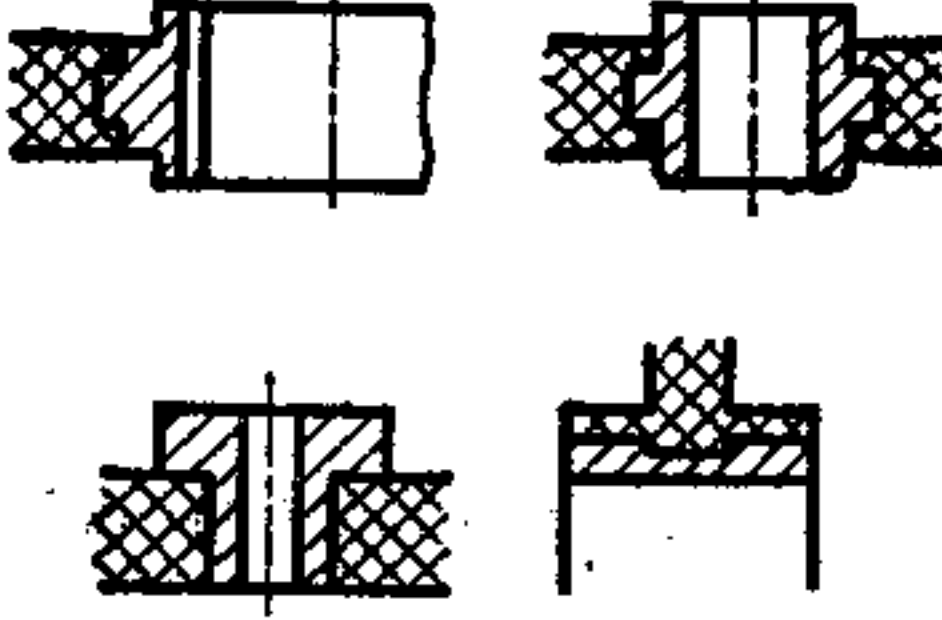



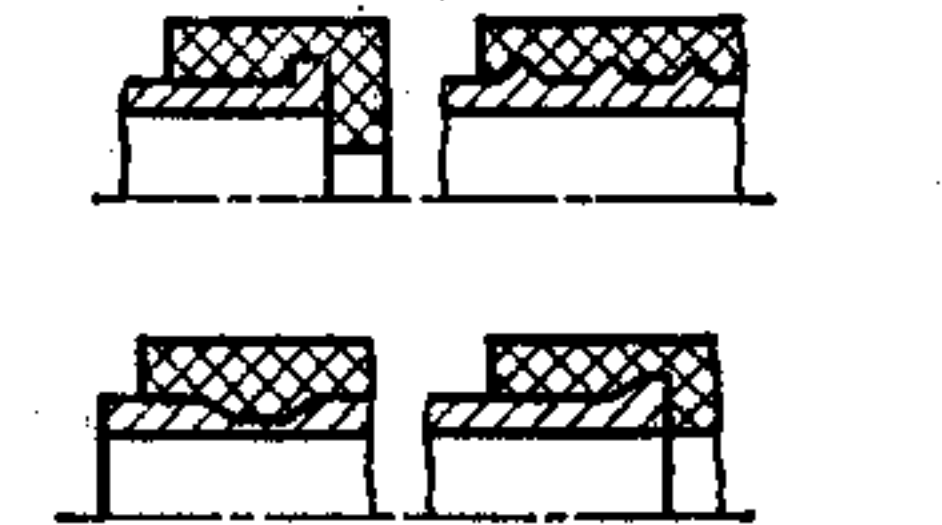


Рис. 81. Варианты крепления стержневой арматуры

30. Конструкция фиксирующих элементов, их назначение и область применения

Фиксирующая арматура	Назначение	Область применения
<p>Цилиндрическая</p> 	Для монтажа крепежной арматуры в деталях радиоаппаратуры, вспомогательных деталях машин и технологической оснастки	Для фиксации втулок, гнезд, штырей, пальцев, цапф, ступиц в пластмассовой детали непосредственно при формовании, литье или прессовании
<p>Износоустойчивая полая</p> 	Для передачи крутящих моментов и восприятия высоких контактных нагрузок в элементах механического привода	В качестве ступиц, цапф подпятников, кинематических звеньев механического привода (зубчатых колес, звездочек, маховиков, шатунов, кривошипов) и кондукторных втулок приспособлений
<p>Стержневая</p> 	Для элементов, не имеющих больших нагрузок и работающих как балка (анкер) с заделанным концом. Используют в радиоэлектротехнике и технологической оснастке	Токосъемные элементы в штепсельных вилках, цоколях радио- и электроаппаратуры, а также фиксирующие элементы приспособлений
<p>Клеммная</p> 	Для передачи электрического тока и в качестве крепежных элементов (проушин-вешалок, крючков)	В приборостроении и электрических деталях, а также в изделиях ширпотреба
<p>Кольцевая наружная</p> 	Для деталей силового привода, испытывающих высокие контактные напряжения, и токосъемных кольцевых коллекторов	Для изготовления пластмассовых колес, катков, тормозных шкивов, ленточных тормозов, коллекторов электрооборудования
<p>Трубчатая</p> 	Для соединения пластмассовых деталей с металлическими штуцерами, патрубками, форсунками, трубопроводами	В гидротехнических деталях низкого и высокого давления, трубах, аппаратуре (ниппели и штуцера сосудов высокого давления); фланцевые утолщения труб и оболочек, выводы в дроссельной аппаратуре

Сквозное отверстие во втулочной нарезанной арматуре делать не рекомендуется, пластмасса может проникнуть в резьбу.

Некоторые варианты крепления стержневой (проволочной) арматуры показаны на рис. 81. Шестигранная или квадратная головка обеспечивает хорошее крепление, но грани их могут вызвать трещины, поэтому вокруг арматуры необходимо иметь пластический материал толщиной не менее $\frac{2}{3}$ диаметра головки.

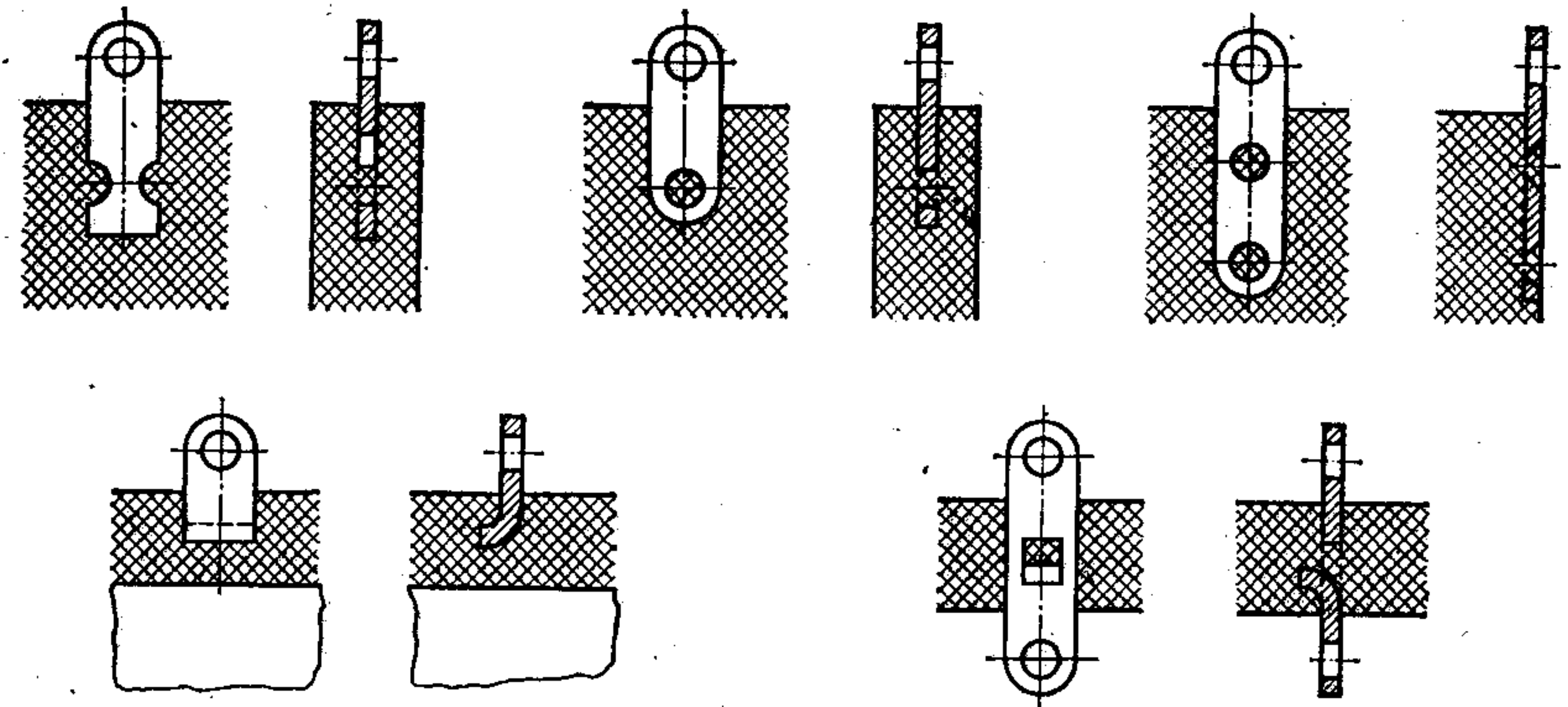
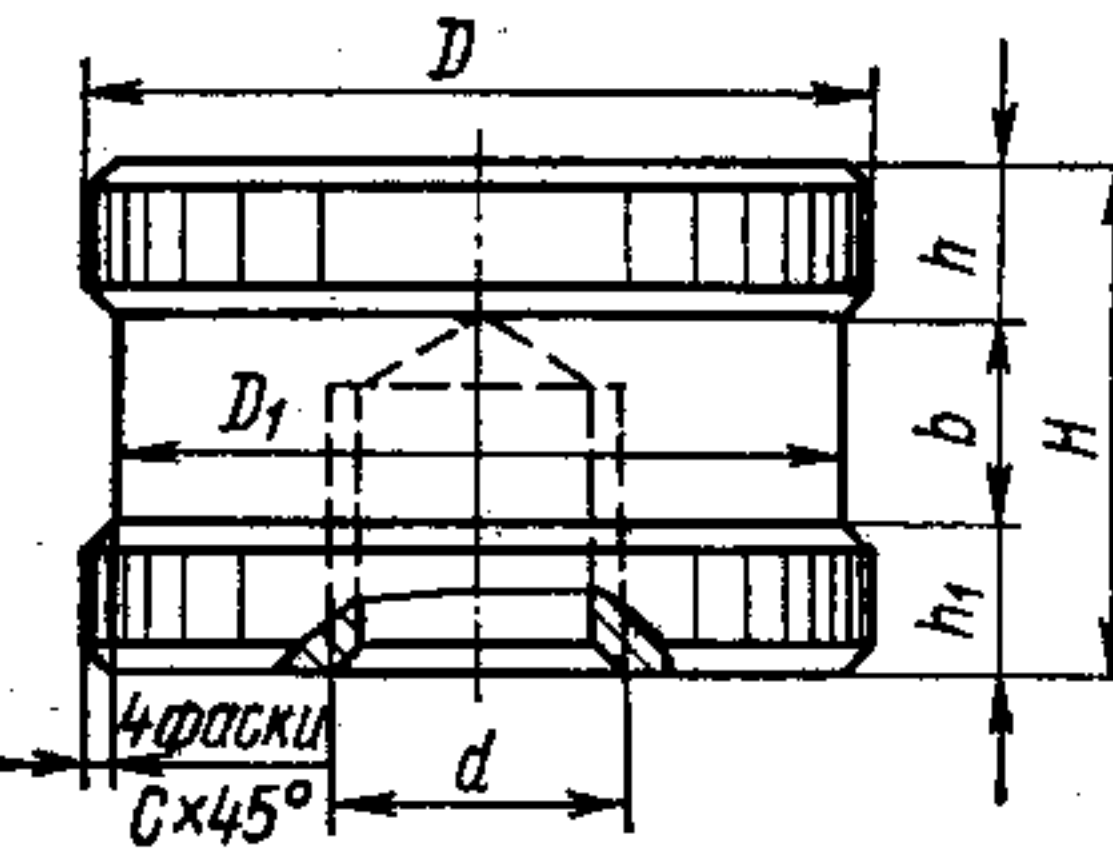


Рис. 82. Варианты крепления плоской листовой арматуры

31. Рекомендуемые соотношения размеров втулочной арматуры

Размеры, мм

Эскиз	d	D	D_1	H	h	h_1	b	c
	M2*	4	—	4	—	—	—	0,2
	M2,6*	4,5	—	4,5	—	—	—	0,3
	M3*	5	—	6	—	—	—	0,4
	M4	7	5,6	8	3,5	1,75	1,75	0,4
	M5	8	6,4	8	4	2	2	0,5
	M6	10	8	10	5	2,5	2,5	0,6

* Рекомендуется сетчатая накатка.

Стержневую арматуру закрепляют с помощью образуемых на ее концах различных отгибов, разрезов с отгибами и петель. Надежное крепление дает расплющивание арматуры. Длина расплющивания должна быть не менее 2—4 мм.

Плоскую листовую арматуру в зависимости от толщины крепят с помощью вырезов, отверстий, отгибов (рис. 82). Крепить с помощью отверстия следует при толщине арматуры более 1 мм; боковые вырезы глубиной 0,3—0,5 мм позволяют крепить арматуру толщиной до 1 мм.

При малой толщине сечения пластмассы невозможно применить отверстие или вырезы, рекомендуется согнутая арматура.

Кольцеобразную арматуру в основном применяют как основания к венцам зубчатых колес из пластмассы. Зубчатые венцы крепят к арматуре различными способами в зависимости от окружного усилия, угловой скорости колеса и других факторов. Для более надежного соединения зубчатого венца с основанием на поверхности последнего выполняют фигурные впадины или выступы. При этом по-

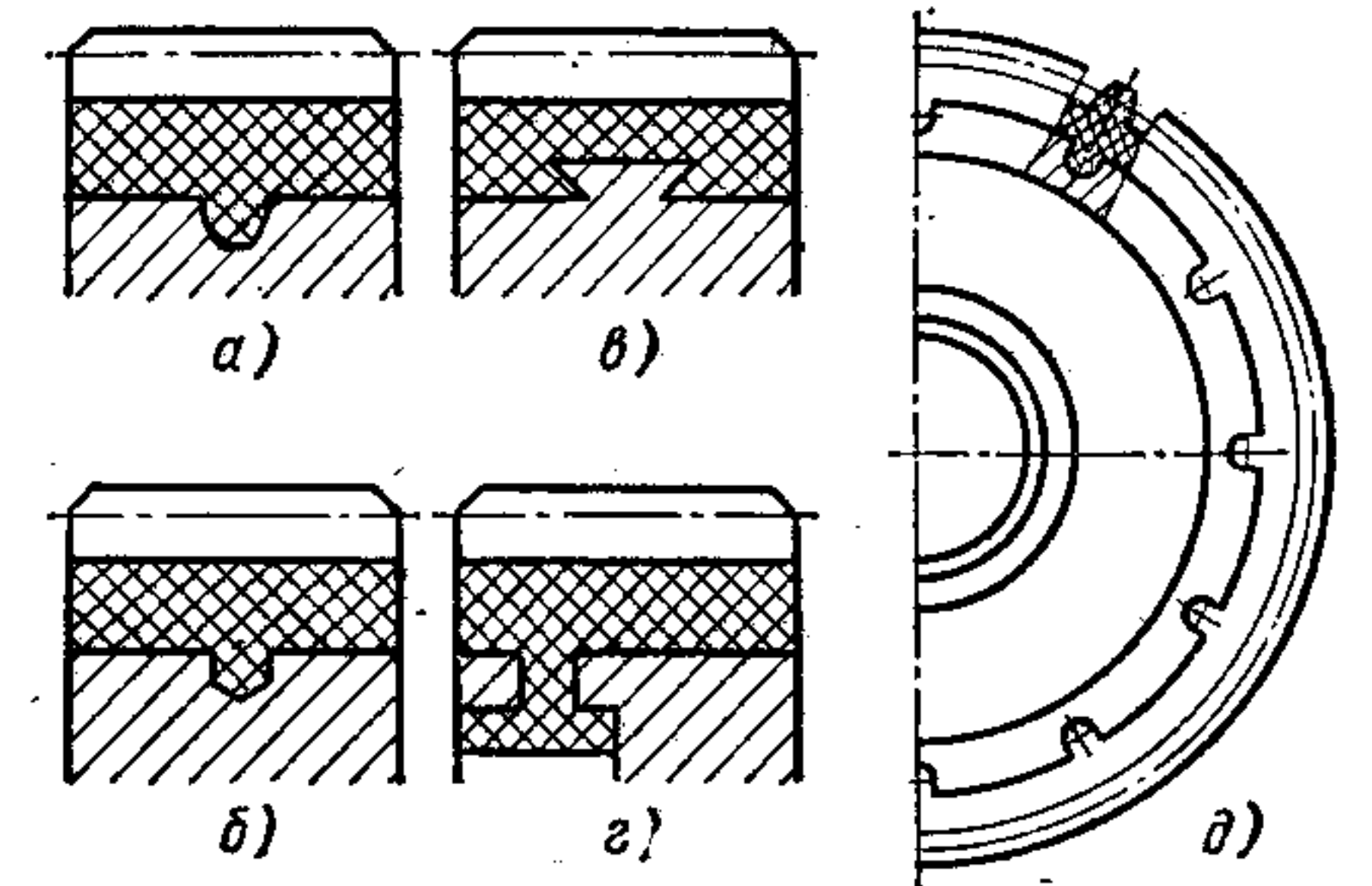


Рис. 83. Варианты крепления кольцеобразной арматуры к венцу зубчатого колеса из пластмассы

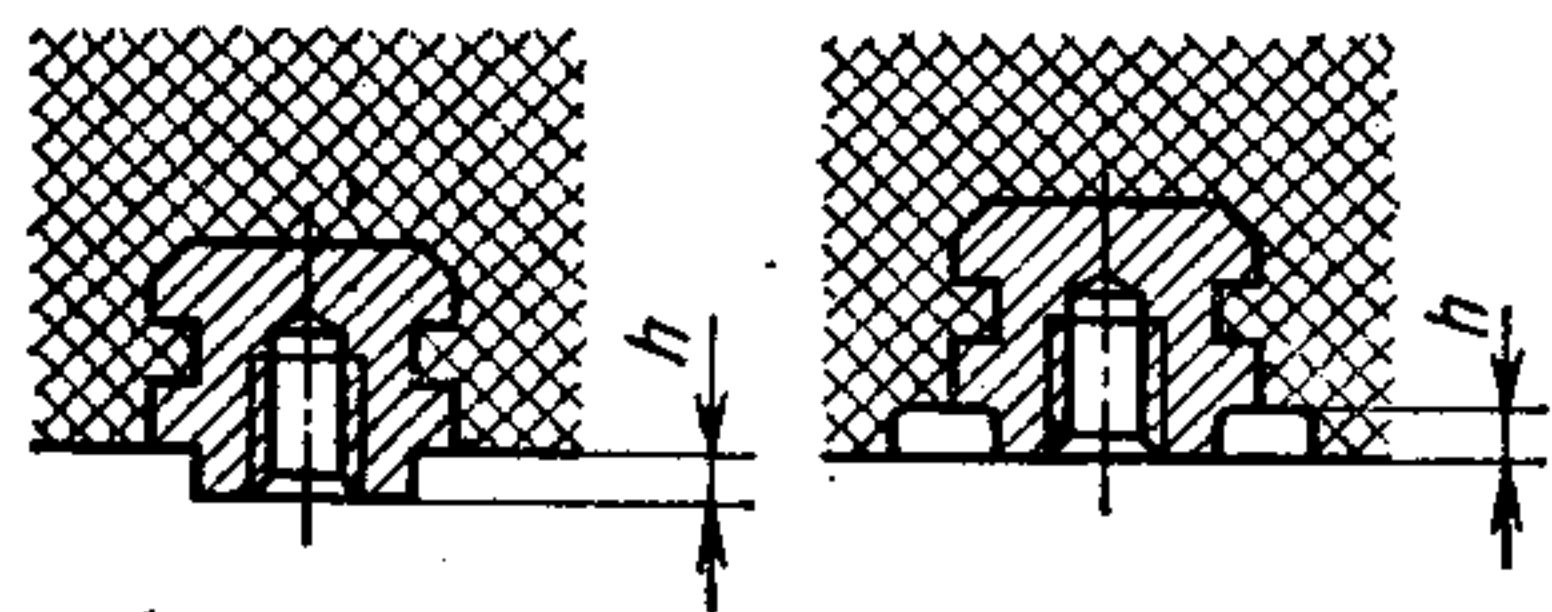


Рис. 84. Способы фиксации втулочной арматуры

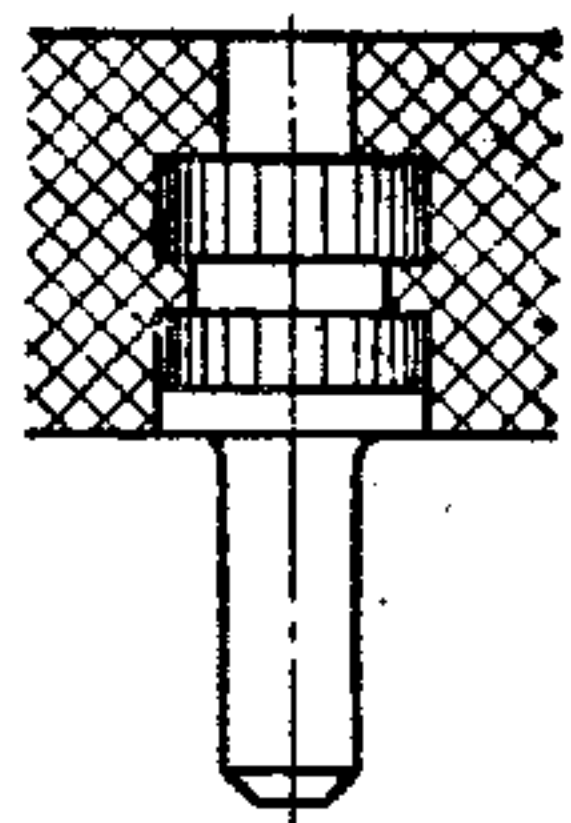


Рис. 85. Способ фиксации штифтовой арматуры

верхность основания, соединяющаяся непосредственно с пластмассовым венцом, подвергают грубой обработке (параметр шероховатости $Rz = 40 \div 320$ мкм).

Варианты крепления зубчатого венца к основанию показаны на рис. 83.

Варианты, показанные на рис. 83, а и б, применяют в передачах с малыми угловыми скоростями и незначительными окружными усилиями. Сцепление венца с основанием здесь осуществляется за счет канавки радиусом 5—8 мм (рис. 83, а) или ряда глухих отверстий диаметром 4—6 мм и глубиной 5—8 мм, расположенных по наружному диаметру основания на расстоянии 20—25 мм одно от другого (рис. 83, б).

Конструкции на рис. 83, в и г применяют в передачах с повышенными угловыми скоростями. В конструкции на рис. 83, в кольцевой фигурный выступ выполнен на наружном диаметре основания. Вариант на рис. 84, г отличается внутренним пластмассовым венцом, который заливается через ряд отверстий диаметром 4—6 мм, расположенных на расстоянии 25—30 мм одно от другого.

Для зубчатых колес, работающих в особо тяжелых условиях, рекомендуется крепление (рис. 83, д), в котором отверстия диаметром 8—10 мм сверлят по наружному периметру основания. Центры отверстий располагают на расстоянии (от наибольшего диаметра основания), не превышающем радиуса отверстия.

В процессе формования пластмассовых деталей на арматуру действуют значительные усилия со стороны потоков пластмассы, поэтому арматуру необходимо надежно фиксировать в пресс-форме. Так, например, для фиксации втулочной арматуры используют гладкие или резьбовые отверстия диаметром не менее 2,5—3 мм и выступающие из пластмассы части арматуры. Выступ арматуры, используемый для фиксации, должен быть цилиндрической формы, высотой $h \geq 1$ мм (рис. 84) при точности изготовления не ниже 3-го класса. Фиксация арматуры выступающими из пресс-материала элементами наиболее надежна. При этом уменьшается нагрузка на фиксирующие знаки пресс-формы.

Для предотвращения осевого смещения штифтовой и втулочной арматуры в процессе прессования изделий рекомендуется предусматривать технологические отверстия под опорный знак (рис. 85).

В изделиях со штифтовой и стержневой арматурой при длине L , превышающей в 2 раза и более диаметр арматуры, расположенной перпендикулярно оси прессования, необходимо также предусматривать технологические отверстия для установки опорных знаков в пресс-форме (рис. 86).

Рекомендуемые диаметры опор и расстояния между ними в зависимости от диаметра арматуры приведены в табл. 32 [37].

Арматура, штампованная из листового материала, менее устойчива, препятствует течению материала в пресс-форме, воспринимает давление, коробится и прогибается, а иногда вырывается из посадочных гнезд. Поэтому штампованную арматуру следует располагать ребром к направлению потока материала.

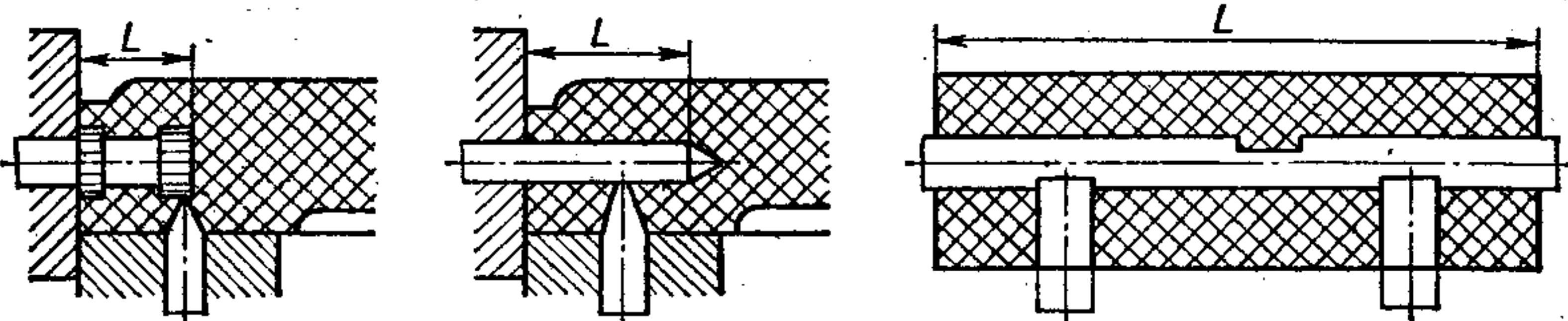


Рис. 86. Способы фиксации штифтовой и стержневой арматуры

В приливах или бобышках арматуру располагают так, чтобы высота ее превышала высоту прилива (рис. 87).

В случаях, когда металлическая арматура является электрическим искрящим контактом, следует предусмотреть воздушный зазор между поверхностью пластмассы и поверхностью искрения, для того чтобы избежать воздействия на пластмассу электрической дуги. Проводники соединяют твердым припоем или сваркой (пайка оловом при опрессовке пластмассой приводит к обрыву проводника).

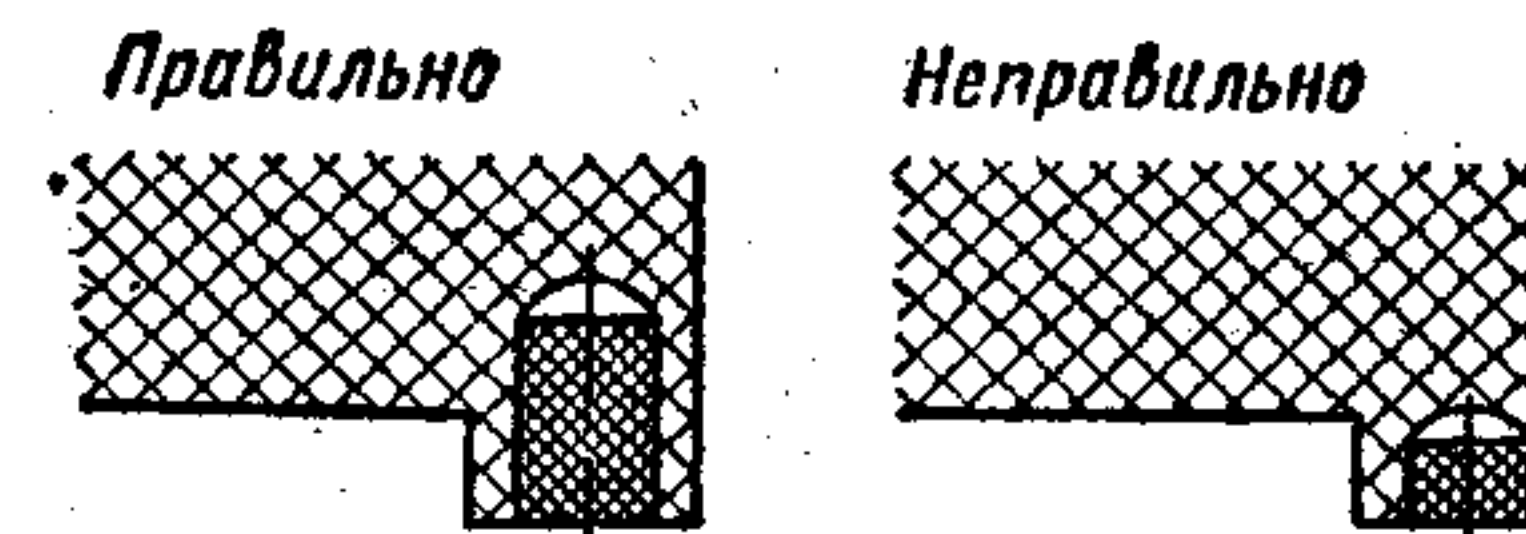


Рис. 87. Расположение арматуры в приливах и бобышках

32. Рекомендуемые размеры опор под проволочную арматуру, мм

Эскиз	d	D	l
	До 0,8	3	6
	Св. 0,8 до 1,2	3,5	8
	» 1,2 » 1,5	4	10
	» 1,5 » 2,0	5	15
	» 2,0 » 2,5	6	20

Поверхности арматуры, подлежащие запрессовке в пластмассу, должны обеспечивать качественное и надежное сцепление связующего (или клея) с металлом.

Запрессовываемые поверхности металлической арматуры для надежного сцепления с пластмассой обрабатывают шкуркой или подвергают пескоструйной обработке и тщательно обезжиривают. Если это оказывается недостаточным для обеспечения заданной прочности соединения, то на поверхность арматуры наносят прямую или сетчатую накатку, рифление, резьбу, кольцевые канавки, отверстия, фрезеруют лыски или пазы.

Геометрические параметры шага накатки на металлической арматуре можно брать из табл. 33 и 34.

33. Шаг накатки, мм

Диаметр накатываемой части арматуры, мм	Материал		Диаметр накатываемой части арматуры, мм	Материал	
	Латунь, алюминий	Сталь		Латунь, алюминий	Сталь
До 5	0,5	0,6	Св. 16 до 32	1,0	1,2
Св. 5 до 8	0,6	0,8	» 32 » 64	1,2	1,6
» 8 » 16	0,8	1,0	» 34	1,6	2,0

Примечание. После накатки диаметр увеличивается примерно на 0,25 шага накатки.

34. Шаг сетчатой накатки, мм

Диаметр арматуры, мм	Волокнит	03-010-02	СП1-342-02
4—7	0,8	0,8	0,5
8—16	1,0	1,0	0,8
16—25	1,2	1,2	1,0
25 и более	1,5	1,5	1,2

Размеры (в мм) накатки для прессовых соединений металлических деталей с деталями из текстолита и гетинакса:

Диаметр арматуры	До 6	Св. 6 до 18	Св. 18 до 30
Шаг накатки	0,5	0,6	0,8

Длина накатки $L \approx (1 \div 1,5) d$; текстолит и гетинакс перед механической обработкой необходимо просушить.

При накатке края арматуры несколько приподнимаются, поэтому необходимо предусмотреть надрезку посадочного буртика арматуры или не доводить накатку на 1—1,5 мм до торца буртика; это обеспечит плотное прилегание арматуры к плоскости матрицы.

Кольцевые канавки желательно располагать примерно посередине запрессовываемой части арматуры, ширина их должна быть достаточной для удержания арматуры в детали (для порошкообразных пластмасс не менее 0,5 мм). Диаметры кольцевых наплавов на арматуре $d_1 = (0,6 \div 0,8) d$, где d — диаметр арматуры.

Накатку на арматуре не следует делать, если она не работает на проворачивание; в противном случае могут возникнуть трещины. Если арматура работает на проворачивание и в то же время расположена близко к стенке, то накатку целесообразно заменять односторонней лыской. На торцевой поверхности арматуры, заделанной в пластмассу для уменьшения концентрации напряжений в наиболее нагруженной зоне материала, рекомендуется снимать фаску. Размер фаски, мм:

Диаметр арматуры	От 4 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 15	Св. 15 до 25	Св. 25
Размер фаски под углом 45°	0,5	1	2	2,5	3

Материалы пластмассового армированного изделия и арматуры выбирают с близкими коэффициентами линейного расширения. Коэффициенты линейного расширения пластмасс приведены в табл. 1 гл. 1, а для армирующих материалов в интервале 0—100° С указаны ниже.

	$\alpha \cdot 10^6$
Стекло	0,5—3,2
Фарфор	3,4—4,1
Керамика	5,0—10,0
Стали конструкционные	10—12
Медь	16,5
Бронза	14,9—20,4
Латунь	17,0—21,2
Алюминиевые сплавы	19,5—24,5
Серебро	19,7

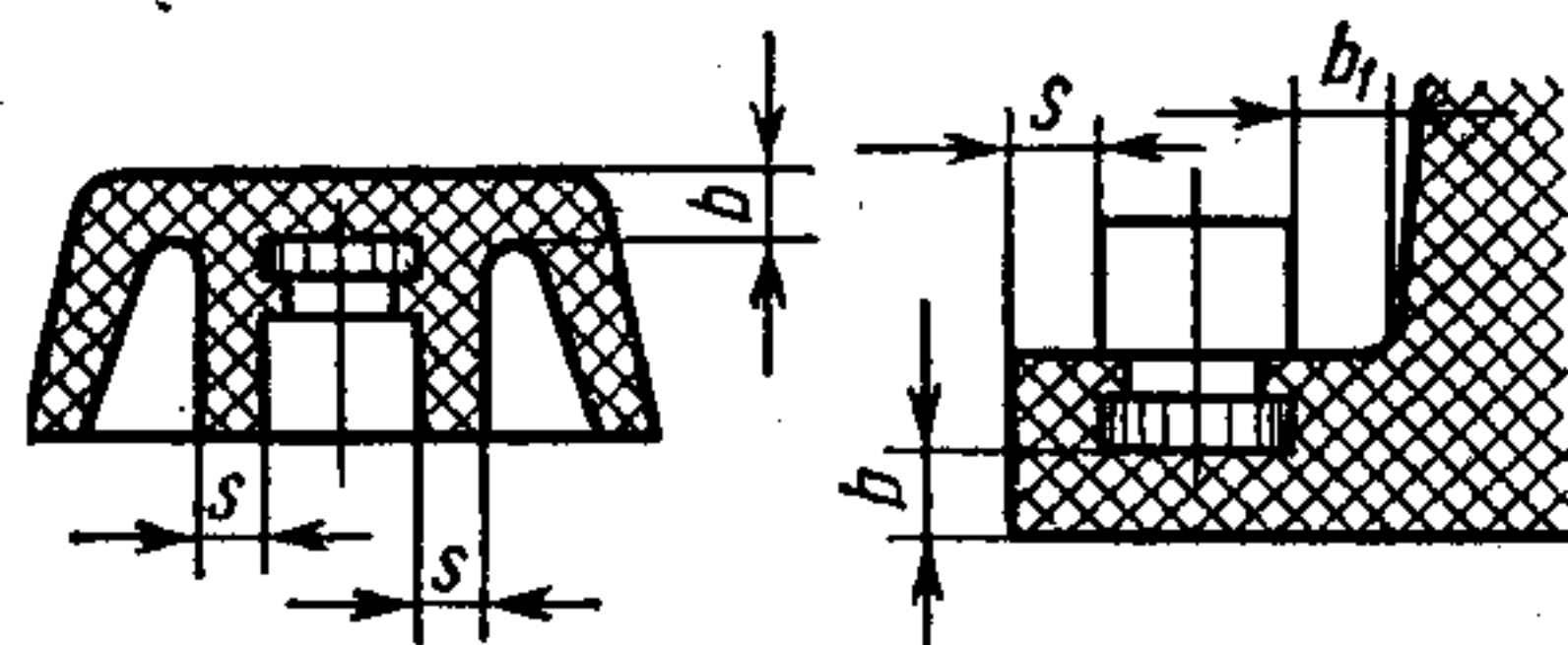
Большое значение имеют не только конструктивные особенности арматуры, но и ее размещение в изделии.

Толщина материала над арматурой должна быть не менее 2 мм (при диаметре арматуры до 5 мм) для предотвращения образования выпуклости на наружной стороне. Для арматуры большего диаметра толщина материала приведена в табл. 35.

35. Средняя толщина слоя пластмассы вокруг металлической арматуры при прямом прессовании для изделий из порошкообразных материалов со средней усадкой 0,8%

Размеры, мм

Диаметр опрессовываемой арматуры	Толщина слоя пластмассы		
	между арматурой и стенкой b_1	от арматуры до края изделия S	над арматурой b
До 3	1,5	2,0	2,0
Св. 3 до 6	2,5	3,0	3,0
» 6 » 10	3,5	4,5	4,0
» 10 » 18	5,0	5,5	5,0
» 18 » 30	6,0	7,0	6,0



Указанные в табл. 35 и 36 минимальные толщины слоя S пластмассы можно уменьшить примерно на 30% за счет применения арматуры с конусом (рис. 88).

При назначении минимальной толщины дна под запрессованной кольцевой металлической арматурой пользуются табл. 37, а для стенки пластмассы вокруг арматуры — табл. 38.

При таких (по конструктивным соображениям) слоях пластмассы вокруг металлической арматуры следует использовать материалы, обладающие возможно меньшей усадкой и наиболее низким коэффициентом линейного расширения.

В деталях с тонкими перемычками около арматуры в процессе прессования возможно появление трещин, приводящих к уменьшению механической прочности. Поэтому такие детали (рис. 89) следует конструировать с технологическими приливами, удаляемыми после прессования.

При проектировании изделия с несколькими армирующими деталями следует стремиться к более равномерному их распределению по изделию. Перенасыщение

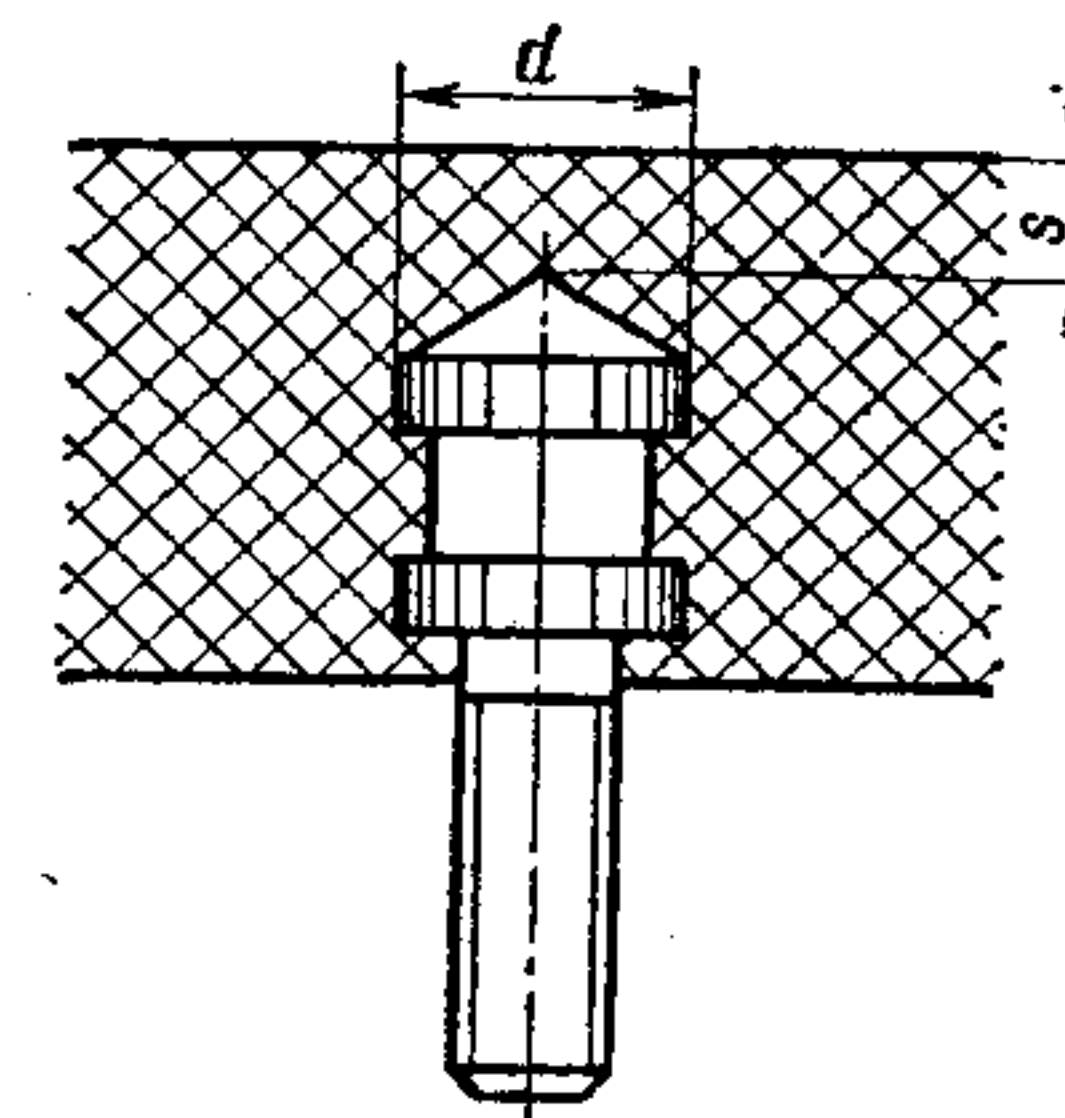


Рис. 88. Арматура с конусом

36. Толщина слоя пластмассы вокруг металлической арматуры (для материалов типа АГ-4)

Размеры, мм

Метод опрессовки арматуры	Диаметр опрессовываемой арматуры	Толщина слоя пластмассы (см. эскиз к табл. 35)	Метод опрессовки арматуры	Диаметр опрессовываемой арматуры	Толщина слоя пластмассы (см. эскиз к табл. 35)
Прямое прессование	6—9	0,5—2,0	Пресс-литье	9—15	1,0—4,0
	20—24 28—32	1,0—3,0 1,5—3,5		28—32	1,0—3,0

37. Минимальная толщина дна под запрессованной кольцевой металлической арматурой

Размеры, мм

	D	H	b
	До 20	4	2,0
	Св. 20 до 40	5	2,5
	» 40 » 60	6	3,0
	» 60 » 80	8	4,0

38. Минимальная толщина слоя пластмассы вокруг арматуры

Размеры, мм

Диаметр опрессовываемой части арматуры	Размеры, мм		
	АГ-4С	Волокнит	03-010-02, СПИ-342-02
От 4 до 6	1—2	2,5	2,5
Св. 6 » 10	1,5—2,5	3,5	3,5
» 10 » 20	2—3	5	6
» 20 и более	3—4	6	8

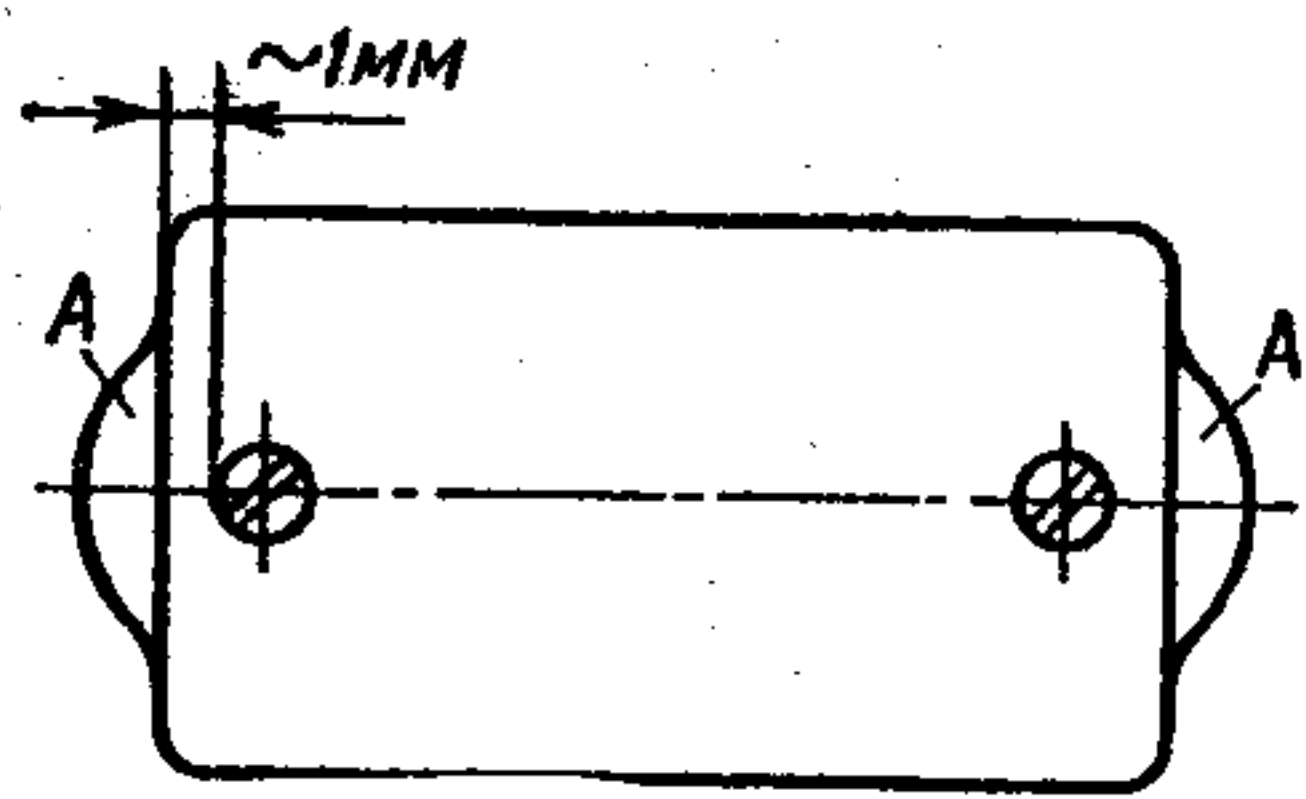


Рис. 89. Армированное изделие с технологическими приливами А

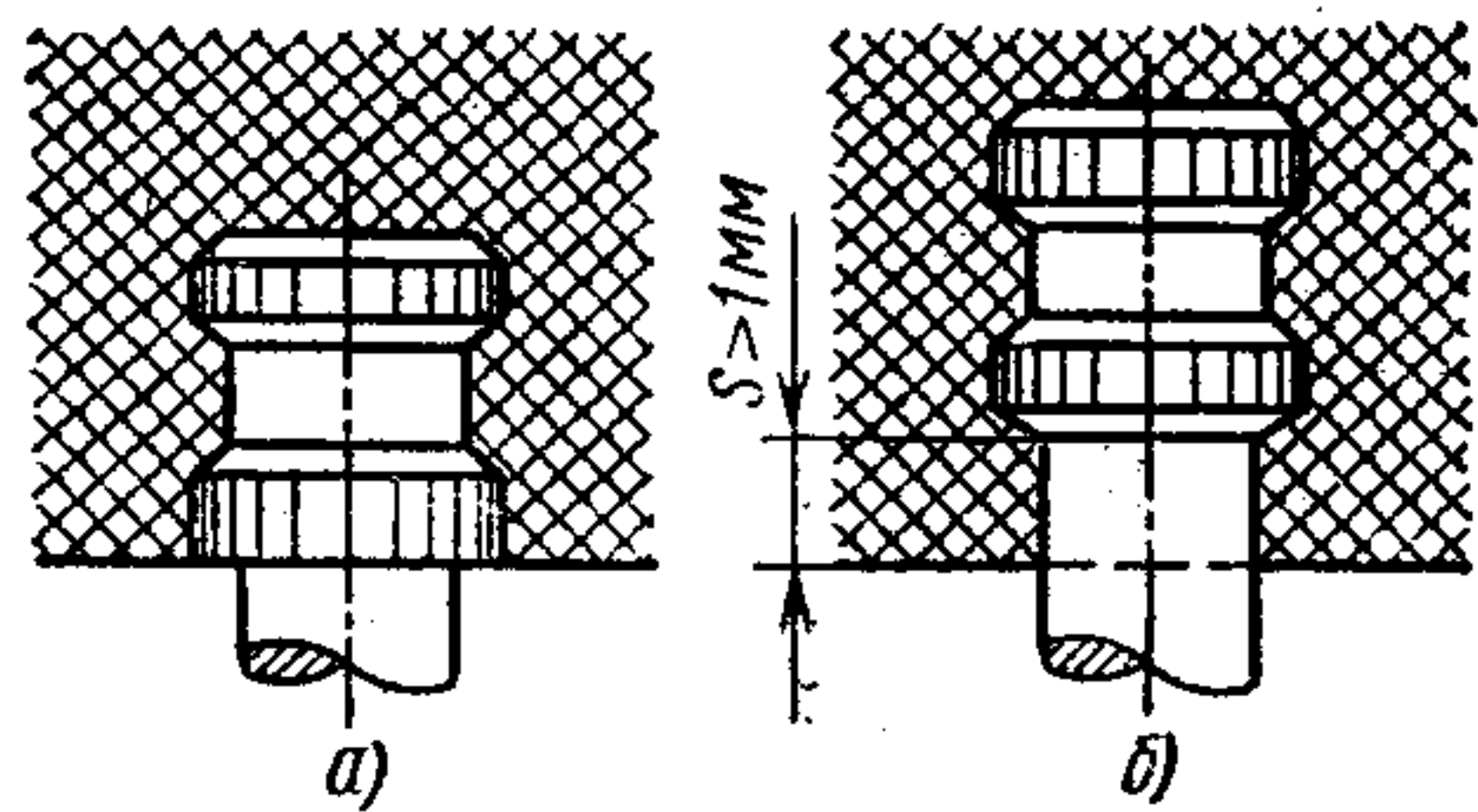


Рис. 90. Размещение арматуры в изделиях

арматурой одного из краев изделия в большинстве случаев приводит к его деформации. Это объясняется различием в характере усадки у насыщенной арматурой части изделия по сравнению с неармированной.

Между утолщенной частью арматуры, находящейся в пластмассе, и поверхностью изделия не должно оставаться слоя пластмассы толщиной менее 1 мм. Подобную арматуру следует располагать так, чтобы ее утолщенная часть была вровень с поверхностью (рис. 90, а) или отстояла от нее на расстоянии более 1 мм (рис. 90, б). Если выступ арматуры расположен на расстоянии менее 1 мм от поверхности изделия, то оставшийся промежуток будет служить причиной отслаивания пластмассы или причиной ее недопрессовки.

Размещать арматуру с утолщенной частью рекомендуется с заглублением (рис. 91), чтобы не произошло отрыва выступа от пластмассовой поверхности в процессе усадки. Чтобы не было затекания пластмассы в гнезда, применяют резьбовые буксы (табл. 39).

39. Конструкция и соотношение размеров резьбовых букс

Размеры, мм

Эскиз	Параметры	Резьба					
		M2,3	M2,6	M3	M4	M5	M6
	d	4,5	5,0	6,0	7,5	8,5	9,5
	d_1	3,5	4,0	4,5	5,5	6,5	7,5
	H	6,5	7,5	8,0	11,0	13,0	15,0
	L	4,0	4,5	5,0	7,0	8,0	10,0
	l	1,0	1,0	1,0	1,5	2,0	2,0
	t	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6
	z	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3

Точность изготовления арматуры должна соответствовать ее конструкции и условиям фиксации в пресс-форме. Наибольшие требования по точности предъявляются к штампованной листовой или сквозной арматуре, так как под первую необходимо изготовить в пресс-форме соответствующие пазы и окна; точность изготовления высотных размеров деталей из пластмасс зависит от точности изготовления открытой арматуры, выходящей на поверхность детали.

Запрессовка арматуры в ранее изготовленное горячее изделие. Второй метод закрепления арматуры в пластмассовой детали — запрессовка в горячее изделие. Запрессовку арматуры в горячее изделие обычно применяют в случае больших размеров арматуры, при небольшой толщине слоя пластмассы вокруг опрессовы-

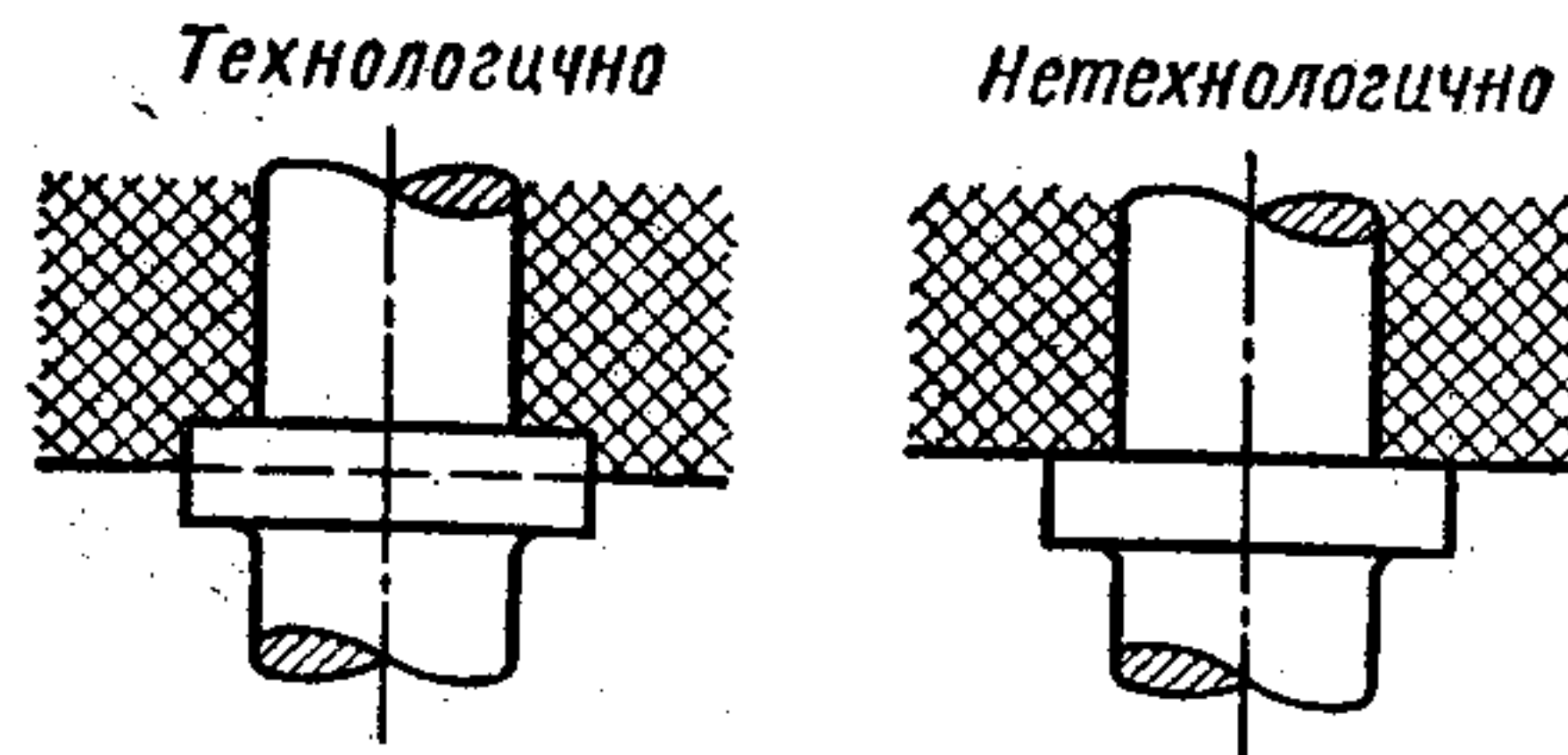


Рис. 91. Размещение арматуры в изделиях

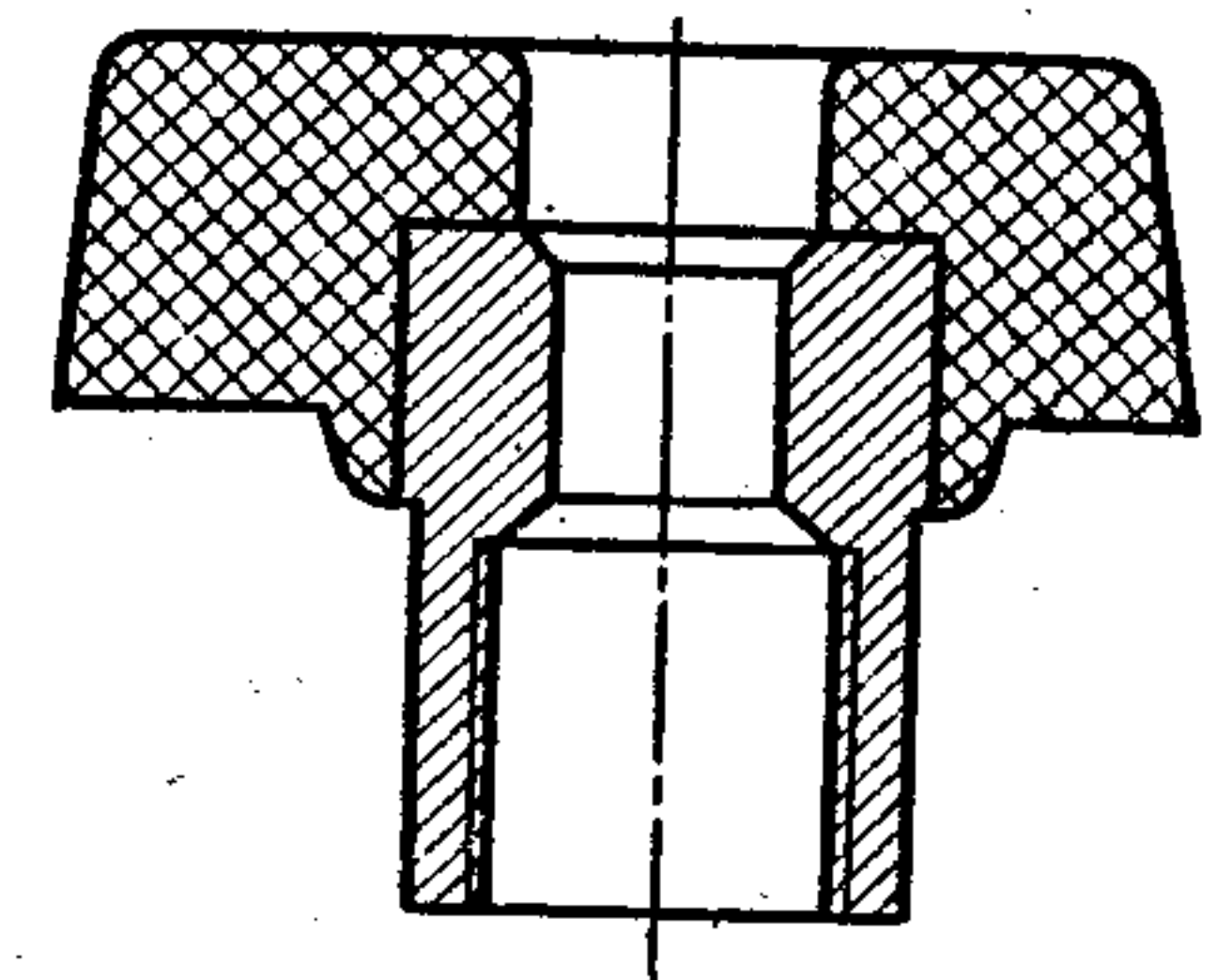


Рис. 92. Расположение арматуры в изделиях

ваемой арматуры (от 35 до 50% диаметра арматуры), вызывающей опасения, что вследствие возникновения внутренних напряжений в результате усадки изделия его поверхность может растрескаться, а также при возникновении трудностей, связанных с закреплением или фиксацией арматуры в пресс-форме.

Этот способ дает вполне надежную связь арматуры с изделием, но используют его, как правило, при цилиндрической арматуре, так как это облегчает формирование отверстий под арматуру в изделиях. При конструировании таких деталей размеры отверстий под запрессовку арматуры необходимо назначать с учетом усадки пластмассы, размеров вставок и необходимого натяга (табл. 40). Натяг создается за счет усадки пластмассы при охлаждении детали с арматурой. Кроме этого натяга, для мелких металлических вставок требуется дополнительный натяг порядка 0,025—0,050 мм, а для крупных — порядка 50% величины усадки.

40. Соотношение диаметров арматуры и отверстий в готовых изделиях при усадке материала 0,8%

Размеры, мм

Диаметр арматуры	Диаметр отверстий d_1 в изделиях		Примечание
	толстостенных	тонкостенных	
До 10	$d - 0,3$ мм	$d + 10\%$ усадки	При закреплении в процессе прессования металлической арматуры диаметром 100 мм в изделие из пластмассы с толщиной стенки 6 мм происходит неизбежное растрескивание пластмассы, так как при усадке 0,8% величина усадки (натяга) будет равна 0,8 мм. Однако, если та же самая арматура запрессовывается в готовое изделие после его формирования, на ее крепление дается натяг всего лишь 0,4 мм
От 10 до 30	d	$d + 30\%$ усадки	
» 30 » 60	$d + 15\%$ усадки	$d + 40\%$ усадки	
» 60 » 100	$d + 25\%$ усадки	$d + 50\%$ усадки	

При данном способе используется только 75—50% усадки, что снижает внутренние напряжения и предотвращает разрушение опрессовываемого слоя [37].

Арматура должна иметь прямую параллельную накатку (сетчатая накатка при опрессовывании в изделие срезает часть материала, чем ослабляет натяг) и кольцевые канавки. Это положение относится только к случаю запрессовки арматуры в отпрессованную деталь. Поверхность запрессовываемой арматуры рекомендуется покрывать глифталево-масляным лаком Кф-95 или Гф-95 (ГОСТ 8018—70), МГМ (ВТУ МЭП ОАА 504-008—53) или № 1230, клеем Л-4 (временная инструкция Н-28-78).

Чтобы иметь возможность запрессовать арматуру до упора и этим облегчить процесс сборки, посадочные части арматуры или изделия выполняют с ограничителями в виде выступов или фасок (рис. 92). Если цилиндрическая арматура работает на скручивание, то поверхность ее обязательно снабжают рифлением. Последнее может быть прямым или спиральным с углом подъема спирали (к оси арматуры) не более 15—20°.

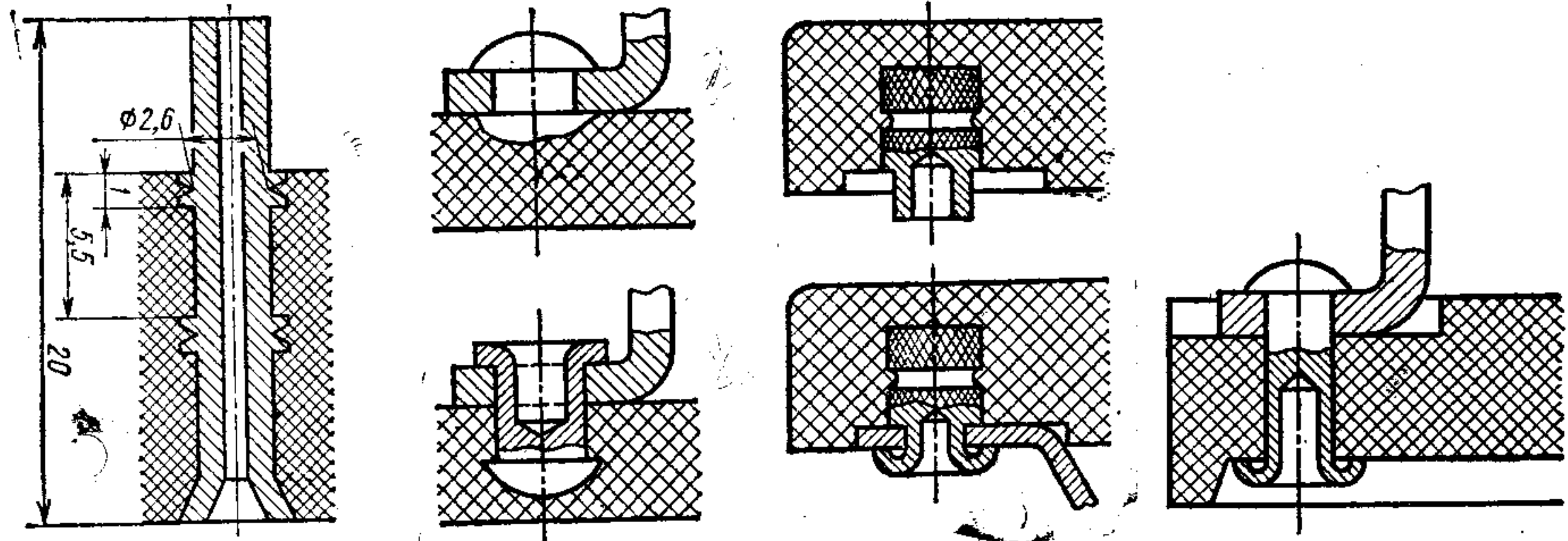


Рис. 93. Расположение арматуры в изделиях

Рис. 94. Армирование с помощью опрессованных заклепок

Рис. 95. Армирование с помощью заклепок

Закрепление арматуры способом вклеивания. В основном этот способ используют для армирования тонкостенных и малогабаритных изделий, а также для закрепления тонкой ажурной металлической, керамической или стеклянной арматуры.

Поверхности, подвергаемые склеиванию, тщательно зачищают и обезжиривают; лучше, если они будут шероховатыми. Наличие уклонов на охватываемых и охватывающих поверхностях нежелательно.

Установку арматуры на клею в холодную пластмассовую деталь осуществляют обычным методом, согласно технологии, принятой для склеивания металлов и других материалов с пластмассами.

Для обеспечения хорошего качества соединения между контактными поверхностями следует предусматривать зазор в пределах 0,04—0,06 мм на сторону. Для вклеивания применяют универсальные клеи типа БФ, эпоксидные и др.

При клеевом соединении должны быть предусмотрены буртики или другие торцовые базы, обеспечивающие точность и идентичность выполнения монтажа.

В некоторых случаях армированные детали из пластмасс должны быть герметичными. Такие узлы получают только опрессовыванием арматуры при изготовлении детали. Для получения герметичных узлов со сквозной арматурой необходимо, кроме выбора пластмассы, правильно выбрать конструкцию запрессовываемой части арматуры и клей или герметик для увеличения адгезии пластмассы и материала арматуры.

Для герметичных соединений арматуры с пластмассой применяют пресс-материалы АГ-4С и др. В качестве клеев рекомендуется брать бутварный лак ПБ-10, лак 7 и клей МПФ-1 по МРТУ 6 № М-800—61.

Конструкция запрессовываемой части арматуры должна обеспечить увеличение поверхности соприкосновения металла с пластмассой и устранить возможность возникновения внутренних напряжений. Последнее обеспечивают устранением острых кромок и резких переходов с запрессовываемой части арматуры (рис. 93).

Армирование с помощью заклепок. Это наиболее распространенный способ в радиотехнической промышленности. Заклепки крепят в изделии опрессовкой (рис. 94) или вводят при армировании в заранее предусмотренные места (рис. 95). Обычно применяют трубчатые заклепки, для деформации которых требуются меньшие усилия.

В некоторых случаях арматуру крепят без заклепок способом деформации отдельных ее участков. Этот вариант обычно применяют при тонколистовом армирующем материале (толщиной до 1 мм) или тонком прутке, для деформации которых не требуются значительные нагрузки.

НАДПИСИ НА ДЕТАЛЯХ

Надписи (буквы, цифры, знаки) на деталях получают обычно в процессе прессования. Этот способ наиболее прост и дешев, но в некоторых случаях надписи наносят после изготовления детали гравировкой, печатанием или другими способами.

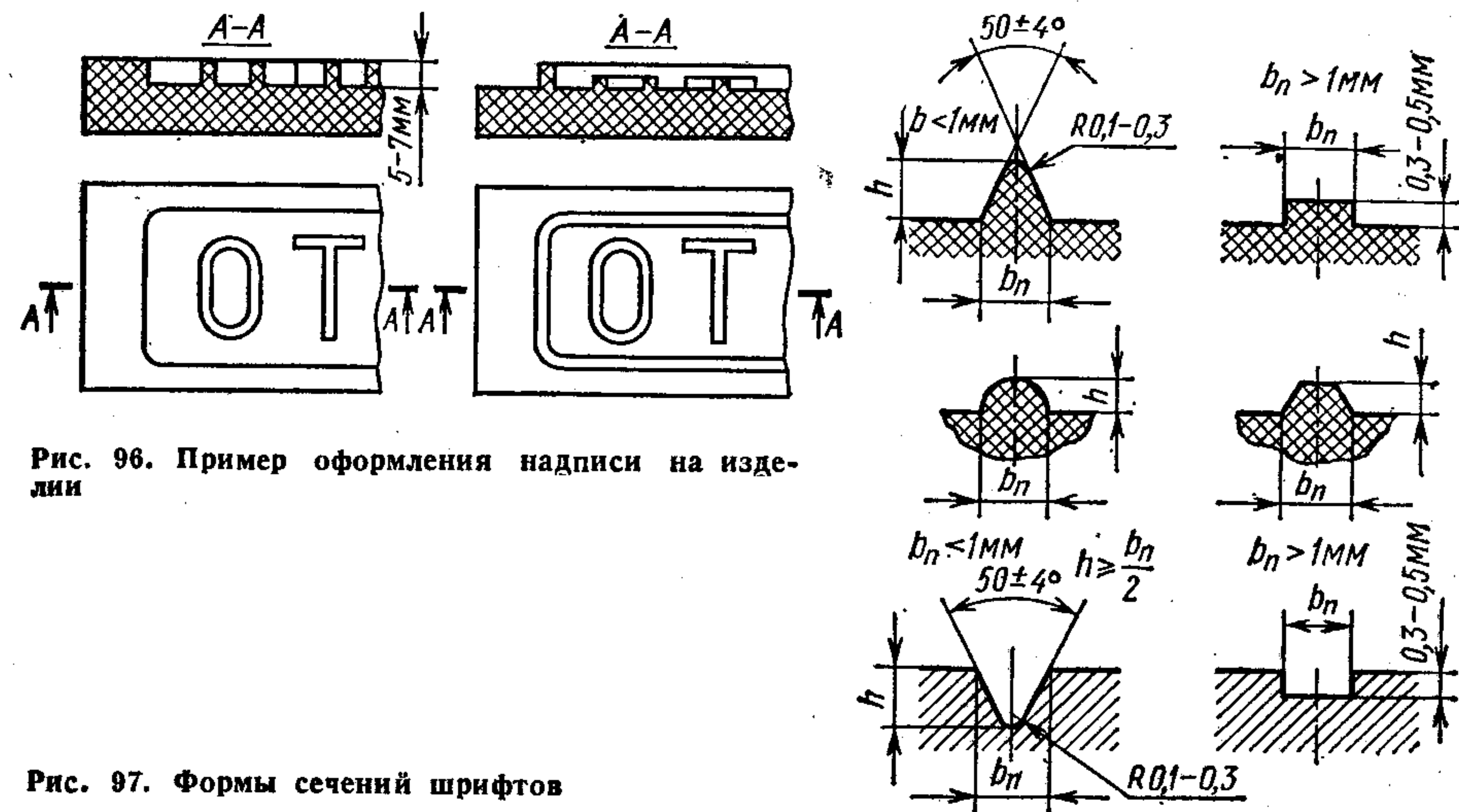


Рис. 96. Пример оформления надписи на изделии

Рис. 97. Формы сечений шрифтов

При изготовлении пресс-формы резанием надписи на деталях следует делать выпуклыми, а в формах, получаемых холодным выдавливанием, — углубленными. Надписи, полученные такими способами, отличаются прочностью и четкостью изображения.

При оформлении надписей следует: наименьшую их высоту над поверхностью изделия устанавливать в пределах 0,3—0,5 мм;

буквы высотой 0,75 мм для предотвращения выкрашивания выполняют шире у основания, чем у вершины;

для защиты выпуклого шрифта от повреждений в процессе эксплуатации изделия и удобства снятия возможного облоя надписи помещают в незначительные углубления на поверхности изделия. Углубления должны быть такими, чтобы надписи не выступали за пределы наружной поверхности или были немного ниже ее; при незначительной толщине изделия, когда базовая поверхность надписи не может быть углублена в изделие, предусматривают специальный защитный ободок высотой, несколько большей или равной высоте шрифта (рис. 96).

Формы сечений выпуклого и углубленного шрифтов показаны на рис. 97. Если необходимо получить на изделии надпись другого цвета, чем цвет изделия, то используют метод армирования. Наиболее распространенным в этом случае является литье под давлением.

При этом методе в особой пресс-форме получают арматуру (цифры, знаки, буквы). Затем во второй пресс-форме арматуру заливают пластмассой другого цвета, причем надпись должна быть выполнена из пластмассы, имеющей более высокую температуру плавления или обладающей более высокой термостойкостью по сравнению с пластмассой изделия.

Наиболее часто на деталях из пластмасс применяют шрифты по ГОСТ 2930—62*.

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПЛАСТМАССОВЫХ ДЕТАЛЕЙ *

К пластмассам, в отличие от некоторых других материалов (эластомеров, жидкостей), предъявляются требования механической прочности и жесткости. Поэтому в качестве пластических масс применяют высокополимеры в стеклообразном и кристаллическом состояниях.

В качестве пластмасс при температурах ниже температуры стеклования находят в основном применение высокополимеры двух типов: термопластичные и термоактивные.

Термопластичные полимеры (термопласты) при нагревании переходят в вязкотекучее состояние, т. е. при высоких температурах они текут подобно жидкостям. Большие молекулы (макромолекулы) термопластов имеют линейную или слабо разветвленную структуру.

При проведении прочностных расчетов пластмассовых деталей необходимо принимать во внимание особенности их механического поведения, отличающегося от поведения таких традиционных конструкционных материалов, как металлы при нормальных температурах. Здесь в первую очередь следует отметить зависимость свойств полимерных материалов от времени и температуры. В этом смысле полимеры сходны по своему поведению с металлами при высоких температурах, также обнаруживающими при этих условиях зависимость свойств от температуры и времени. Но природа деформаций и прочности у полимеров и металлов существенно разная.

Для большей части полимерных материалов полная деформация ϵ может быть представлена в виде суммы:

$$\epsilon = \epsilon_{упр} + \epsilon_{вэ} + \epsilon_{пл};$$

здесь $\epsilon_{упр}$ — упругая деформация, развивающаяся практически мгновенно (точнее — со скоростью звука). Возникновение упругих деформаций связано с изменением в макромолекулах под действием приложенных сил межатомных расстояний и валентных углов, а в некоторых случаях — с изменением межмолекулярных расстояний, когда преодолеваются межмолекулярные силы упругости, которые еще называют вторичными или ван-дер-ваальсовыми силами.

Деформация $\epsilon_{вэ}$ есть высокоэластическая деформация, обусловленная постепенным раскручиванием макромолекул под действием приложенных сил от первоначально хаотических конформаций до более вытянутых, отвечающих условиям равновесия в поле напряжений. Конформации макромолекулы — это различные формы одной и той же цепной молекулы. После снятия нагрузки $\epsilon_{вэ}$ постепенно исчезает, при этом восстанавливаются хаотические конформации полимерных цепей. По характеру своего развития высокоэластические деформации есть деформации упругого последействия, т. е. они изменяются с некоторым запаздыванием по отношению к приложенному напряжению. Чем выше температура, тем быстрее (при прочих равных условиях) происходит развитие деформации $\epsilon_{вэ}$ при нагрузке и тем быстрее она исчезает после разгрузки.

Наиболее ярко высокоэластические деформации проявляются у эластомеров (каучуков и резин), хотя в некоторой степени они проявляются и у пластических масс, определяя (наряду с деформациями $\epsilon_{пл}$) их релаксационные свойства. Более подробно природа высокоэластической деформации описана в работах [14, 15, 23].

Деформация $\epsilon_{пл}$ есть пластическая или вязкая деформация. Наиболее ярко деформации $\epsilon_{пл}$ проявляются у вязкотекучих полимеров выше температуры текучести T_T , хотя в некоторых случаях (например, при повышенных температурах и высоких уровнях напряжений) они могут быть существенными и для пластических масс. При высоких температурах деформации $\epsilon_{пл}$ связаны со смещением макромолекул одна относительно другой, но в некоторых случаях (особенно при больших напряжениях) деформации $\epsilon_{пл}$ вызываются накоплением повреждений в материале, разрывом, а также возможной последующей рекомбинацией (в новых положениях) разорванных химических связей. Деформации $\epsilon_{пл}$ зависят от времени в соответствии с законами пластического или вязкого течения.

Поскольку деформации $\epsilon_{вэ}$ и $\epsilon_{пл}$ зависят от времени, то и модуль материала (аналогичный модулю упругости E для идеально упругих материалов) зависит от времени, т. е. для полимерных материалов модуль следует считать функцией времени $E = E(t)$. Кроме того, так как $\epsilon_{вэ}$ и $\epsilon_{пл}$ развиваются тем быстрее, чем выше температура T , то модуль зависит также и от температуры. Если деформирование образца, изделия проводить с большой скоростью, то влияние деформаций $\epsilon_{вэ}$ и $\epsilon_{пл}$ будет сказываться в меньшей степени, так что форма диаграммы деформирования $\sigma - \epsilon$ будет зависеть от скорости нагружения $\dot{N} = dN/dt$ (рис. 1). При этом модуль материала, определяемый тангенсом угла наклона диаграммы $\sigma - \epsilon$ вблизи начала координат, будет тем выше, чем выше скорость нагружения $\dot{\sigma}$. В общем случае модуль полимерного материала зависит от истории напряженно-деформированного состояния.

Аналогичное влияние оказывают время и температура на разрушающее напряжение (табл. 1).

1. Зависимость разрушающего напряжения от температуры

Материал и вид испытания	Разрушающее напряжение, кгс/см ² , при температуре, °С	
	-50	+70
Текстолит, растяжение	900	600
Гетинакс, сжатие	2000	1100
Фенолформальдегидный пластик:		
растяжение	500	300
сжатие	2500	1100
Нейлон, растяжение	1200	700

При определении временной зависимости модуля $E(t)$ или зависимости длительной прочности $\sigma_p(t)$ необходимо конкретизировать режим испытания. Обычно временная зависимость модуля $E(t)$ снимается в опыте на релаксацию при невысоких деформациях, когда $\epsilon = 0$ при $t < 0$ и $\epsilon = \epsilon_0 = \text{const} \neq 0$ при $t > 0$. Кривая длительной прочности определяется в результате математической обработки опытов, причем отдельный опыт проводится в режиме $\sigma = 0$ при $t < 0$, $\sigma = \text{const} \neq 0$ при $t > 0$ (или $N = 0$ при $t < 0$, $N = \text{const} \neq 0$ при $t > 0$); при разрушении образца имеем значение σ_p , соответствующее долговечности образца t . Множество опытов при различных σ дает, таким образом, кривую длительной прочности $\sigma_p(t)$.

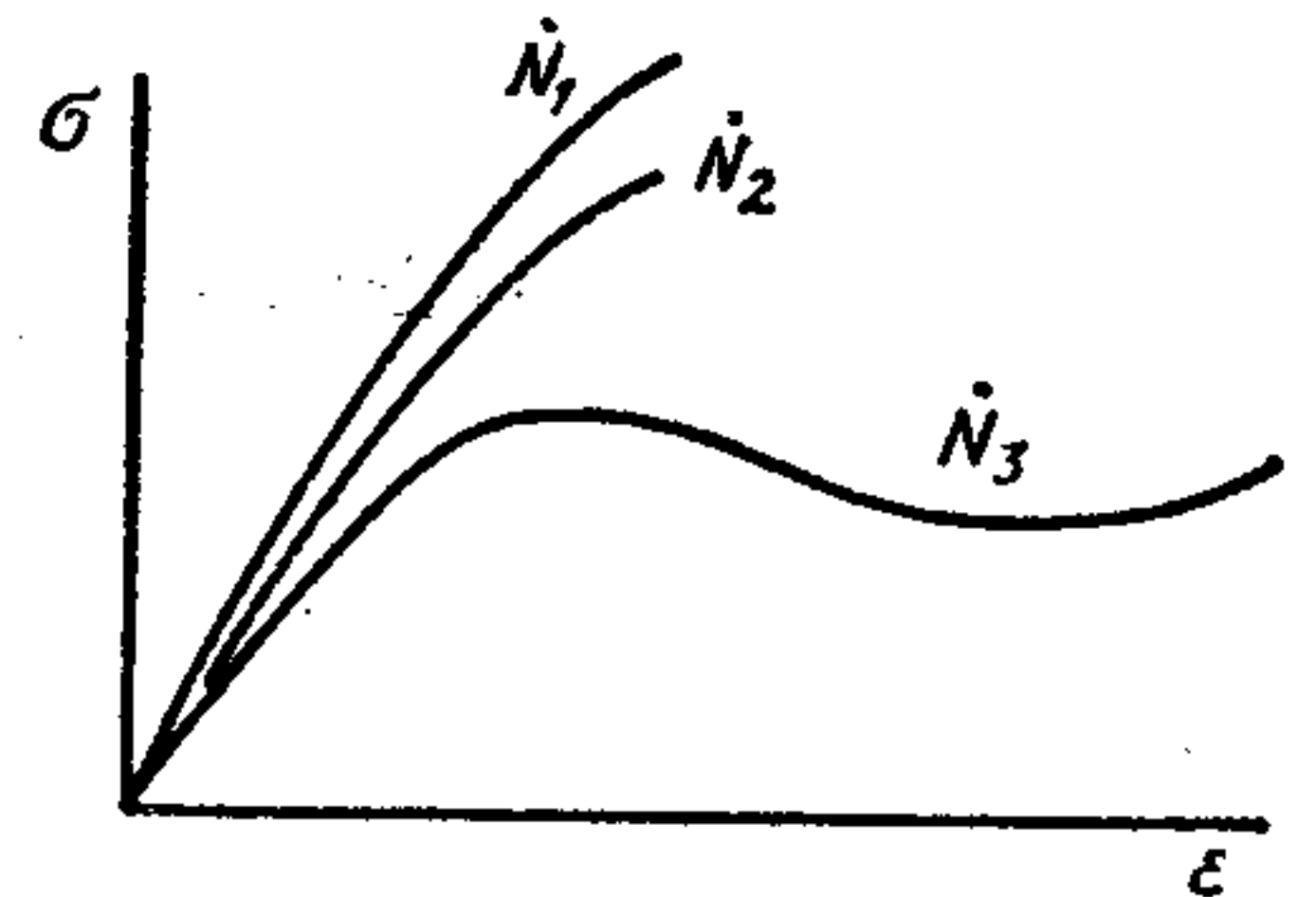


Рис. 1. Зависимость $\sigma - \epsilon$ для полимеров при различных скоростях нагружения $\dot{N} = dN/dt$ ($\dot{N}_1 > \dot{N}_2 > \dot{N}_3$)

* Глава написана совместно с Н. И. Малининым.

Функции $E(t)$ и $\sigma_p(t)$ можно рассматривать как характеристики полимерного материала; они играют такую же роль, как модуль упругости и предел прочности для упругих хрупких материалов. В некоторых случаях длительная выдержка изделий из полимеров в условиях хранения или эксплуатации, особенно в агрессивных средах, приводит к изменению свойств материала и изменению функций $E(t)$ и $\sigma_p(t)$. Таким образом, влияние времени сказывается двояко. Во-первых, вследствие релаксационных свойств и свойств длительной прочности величины E и σ_p суть функции времени и, во-вторых, вследствие старения величины E и σ_p при фиксированных значениях t меняются. Довольно часто эти две причины изменения механических характеристик пластмасс не разделяют, при этом просто считают, что свойства пластмасс зависят от времени.

Так как у реактопластов пространственная сетка обычно является значительно более развитой по сравнению с термопластичными полимерами, то релаксационные процессы у реактопластов выражены в существенно меньшей степени, чем у термопластов. В связи с этим в большей части расчетных случаев для жестких термоактивных пластмасс допустимо применение закона Гука.

Релаксация напряжений в узком смысле этого слова есть постепенное падение напряжений в детали, удерживаемой при постоянных деформациях. Но релаксационные процессы проявляются и в других случаях. При действии постоянных напряжений или нагрузок релаксационный процесс представляет собой ползучесть. При циклических нагрузках на диаграммах $\sigma - \epsilon$ вследствие релаксации напряжений возникают петли гистерезиса.

Из релаксационных процессов наибольшее значение имеет ползучесть. Количество ползучести при заданном напряжении может быть выражена деформацией ползучести

$$\epsilon^c = \epsilon - \epsilon_0,$$

где ϵ — полная деформация; ϵ_0 — начальная деформация, развивающаяся практически мгновенно.

Иногда бывает важно определить среднюю скорость ползучести $\dot{\epsilon}^c$ при заданном напряжении в интервале времени $t_2 - t_1$. Она определяется формулой

$$\dot{\epsilon}^c = \dot{\epsilon} = \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{t_2 - t_1}.$$

По данным В. М. Шанникова, кривые ползучести, полученные на стандартных образцах при одноосном нагружении, можно использовать для определения допускаемых деформаций. Расхождение с опытом при этом обычно не превышает 10%.

Расчеты на прочность практически всегда производят исходя из допущений о том, что пластмасса является однородной, монолитной (сплошной) средой.

При проведении прочностных расчетов изделий из пластмасс используется представление о предельных напряженных состояниях. Состояние называют предельным, если при нем происходит недопустимый физический процесс (возникновение недопустимо больших деформаций для пластичных тел, разрушение для хрупких тел).

При одноосном растяжении условия прочности формулируются весьма просто:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma]; [\sigma] = \frac{\sigma_{\text{пред}}}{[n]};$$

$$\sigma_{\text{пред}} = \sigma_{\text{т.р}} \text{ при } T_{\text{хр}} \leq T \leq T_{\text{с}};$$

$$\sigma_{\text{пред}} = \sigma_{\text{р}} \text{ при } T \leq T_{\text{хр}},$$

где σ_{\max} — напряжение в опасной точке детали; $[\sigma]$ — допускаемое напряжение; $[n]$ — коэффициент запаса прочности; $\sigma_{\text{пред}}$ — предельное напряжение при одноосном растяжении (или сжатии).

При сложном напряженном состоянии действуют несколько компонент напряжений (от двух до шести), и необходимо учесть влияние каждой из них. Здесь приходится использовать теории (гипотезы) прочности, назначение которых состоит в том, чтобы заданному напряженному состоянию поставить в соответствие неко-

торое напряженное состояние при одноосном растяжении, называемое эквивалентным. Соответствующее напряжение $\sigma_{\text{экв}}$ есть эквивалентное напряжение.

Ниже будут приведены некоторые методики расчетов на прочность изделий из изотропных и анизотропных пластмасс, в большей мере учитывающие специфику полимерных материалов, чем классические теории прочности.

Твердость большей части конструкционных полимеров снижается при повышении температуры в соответствии с законом

$$H_T = H_0 e^{-\alpha(T - T_0)},$$

где H_T и H_0 — твердость при температуре T и $T_0 = 20^\circ \text{C}$; $\alpha \approx 0,005$ — константа материала.

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТМАСС

Изотропная пластмасса имеет одинаковые физико-механические характеристики в любом направлении.

К изотропным материалам можно отнести не только такие термопласты, как полиэтилен, полипропилен, винипласт, полиметилметакрилат, полистирол, фторопласт-3, но и пластмассы, наполненные равномерно диспергированным в полимерной основе наполнителем.

Материалы с хаотическим расположением армирующих волокон могут быть также отнесены к однородным изотропным материалам. В микрообъемах они являются неоднородными и анизотропными; в макрообъемах в первом приближении их можно считать квазиоднородными и квазиизотропными.

Расчет на прочность деталей из пластмасс проводят в следующем порядке.

Рассчитывают нагрузки, действующие на деталь, и определяют температурные условия ее работы. Задают долговечность детали, класс точности, степень ответственности. Методами сопротивления материалов находят напряжения в опасных сечениях детали. Определяют три главных напряжения σ_1 , σ_2 и σ_3 в опасной точке сечения.

По этим напряжениям рассчитывают эквивалентное напряжение $\sigma_{\text{экв}}$.

При кратковременном нагружении

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{1}{2} [a(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) + c \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}] + \\ + \frac{1}{2} \sqrt{[a(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) + c \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}]^2 + 4b(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2}.$$

Для плоского напряженного состояния при кратковременном нагружении

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{1}{2} [a(\sigma_1 + \sigma_3) + c \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_3)^2 + \sigma_1^2 + \sigma_3^2}] + \\ + \frac{1}{2} \sqrt{[a(\sigma_1 + \sigma_3) + c \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_3)^2 + \sigma_1^2 + \sigma_3^2}]^2 + 4b(\sigma_1 + \sigma_3)^2};$$

здесь

$$a = \frac{3(1 - \nu)}{5 + \nu}; \quad b = \frac{\nu(1 - \nu)}{5 + \nu};$$

$$c = \frac{(\nu + 2)(\nu + 1)}{\sqrt{2}(5 + \nu)}; \quad \nu = \frac{\sigma_{\text{вр}}}{\sigma_{\text{вс}}}.$$

При длительном статическом нагружении

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{1}{2} [a_t(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) + c_t \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}] + \\ + \frac{1}{2} \sqrt{[a_t(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) + c_t \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}]^2 + 4b_t(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2},$$

где

$$a_t = \frac{3(1-\eta)}{5+\eta}; \quad b_t = \frac{\eta(1-\eta)}{5+\eta};$$

$$c_t = \frac{(n+2)(\eta+1)}{\sqrt{2}(5+\eta)};$$

здесь η — отношение разрушающих напряжений материала при растяжении и сжатии при длительном действии нагрузки;

$$\eta = \frac{\sigma_{p.t}}{\sigma_{p.ct}}.$$

Далее проверяют условие прочности $\sigma_{эKB} \leq [\sigma]$.

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ АНИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТМАСС

Анизотропные пластмассы имеют различные механические характеристики в разных направлениях. У однородных полимеров некоторая анизотропия может возникнуть при переработке, когда макромолекулы в процессе течения или холодной вытяжки получают преимущественную ориентацию в одном или в двух направлениях. В большей мере анизотропия деформационных и прочностных свойств проявляется у ориентированных, армированных волокнами пластиков, таких как стеклопластики, угле-, боро- и органопластики. У ориентированных стеклопластиков стеклянные волокна ориентированы в одном или в двух направлениях, где действуют наибольшие напряжения и где материал должен быть наиболее прочным. Вследствие преимущественной ориентации волокон у ориентированных стеклопластиков (а также угле-, боро- и органопластиков) в одном или в двух направлениях их физико-механические свойства зависят от направления. Иными словами, такие пластики — анизотропные материалы.

Если армирующие волокна у ориентированных стеклопластиков направлены в одном или в двух взаимно перпендикулярных направлениях, то такой материал можно считать ортотропно изотропным (сокращенно ортотропным), поскольку у него имеются три ортогональные плоскости упругой симметрии.

Разрушающие напряжения в произвольном направлении при растяжении (сжатии) ортотропных стеклопластиков можно определять по формуле, аналогичной зависимости для преобразования упругих постоянных при переходе к новым осям:

$$\frac{\sigma_\varphi}{\sigma_0} = \frac{\lambda_\sigma}{\lambda_\sigma \cos^4 \varphi + 2B_\sigma \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi},$$

где σ_φ — разрушающее напряжение при растяжении (сжатии) в данном направлении; σ_0 — разрушающее напряжение вдоль оси x_0 ; φ — угол между данным направлением и осью упругой симметрии.

Кроме того, здесь и ниже B , B_σ , λ , λ_σ , c — коэффициенты, определяемые соотношениями упругих и прочностных свойств анизотропного материала в разных направлениях, т. е. параметры материала.

Модули упругости и коэффициенты Пуассона определяют по формулам

$$\frac{G_\varphi}{G_0} = \frac{1}{1 - (1-c) \sin^2 2\varphi};$$

$$\frac{E_\varphi}{E_0} = \frac{\lambda}{\lambda \cos^4 \varphi + 2B \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi};$$

$$\mu_\varphi = \frac{\mu_{90} - \frac{1}{4}(1+\lambda-2B) \sin^2 2\varphi}{\lambda \cos^4 \varphi + 2B \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi},$$

где E_φ , G_φ , μ_φ — модули упругости и коэффициент Пуассона в направлении φ ; E_0 — модуль упругости по отношению к оси x_0 ; G_0 — модуль сдвига по отношению

к осям x_0 и y_0 ; μ_0 , μ_{90} — коэффициенты Пуассона при растяжении вдоль осей упругой симметрии материала x_0 и y_0 .

Для некоторых стеклопластиков упомянутые выше параметры анизотропии механических характеристик имеют значения (при нормальной температуре):

	λ	λ_σ	B	B_σ	c
КАСТ-В	0,55	0,125	1,29	1,34	0,534
Р-49С	1,00	1,00	3,42	3,42	0,31
АГ-4С	1,00	1,00	2,8	2,80	0,45
ДСП	0,15	0,10	1,10	1,12	0,53

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ АРМИРОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ

При правильном конструировании арматура воспринимает и равномерно распределяет основные нагрузки.

Детали из пластмасс, армированные металлической арматурой, следует рассчитывать на прочность соединения пластмассы с крепежной арматурой. Она в основном зависит от нагрузки N , диаметра арматуры d , диаметра охватывающего слоя пластмассы вокруг арматуры D и глубины заделки арматуры H (рис. 2).

При нагружении материал в зоне армирования находится в сложном напряженном состоянии.

Приближенный расчет можно произвести, если свести его к случаю простого растяжения. Тогда допускаемая нагрузка

$$[N] = \frac{[\sigma] F}{k_1 k_2},$$

где $[\sigma]$ — допускаемое напряжение для применяемой пластмассы; F — площадь поперечного сечения пластмассовой детали в зоне заделки арматурного стержня;

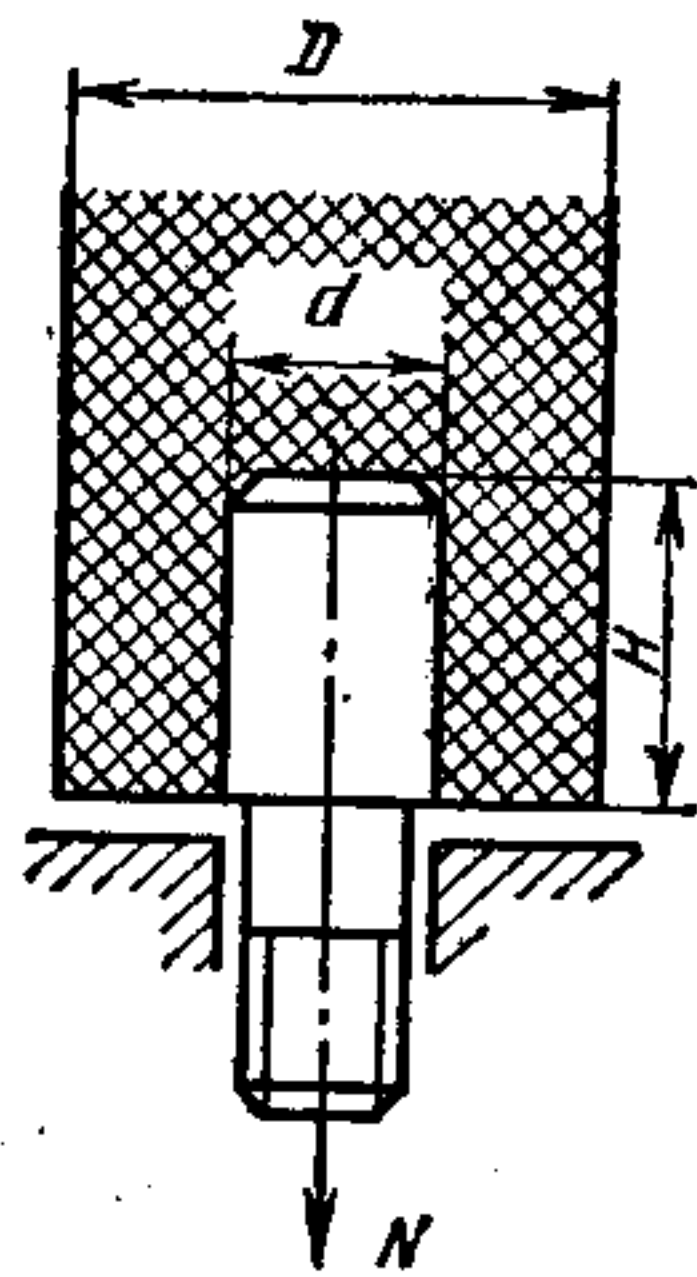
$$F = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4};$$

2. Значения коэффициента k_1

Материал	$\frac{H}{d}$	k_1 при $\frac{D}{d}$							
		4,5 и более	4	3	2,4	2,1	1,62	1,5	1,35 и менее
АГ-4С	0,5	13	10	5	3,8	2,6	1,7	1,25	1,17
	1	7,8	5,5	3	1,75	1,25	1	1	1
	1,5	5	3,8	2,85	1,32	1	1	1	1
Волокнит	0,5	11	10	6,5	4,15	2,8	2,3	1,73	1,6
	1	7,6	6	3,7	2,3	1,7	1,47	1,25	1,2
	1,5	4,5	3,85	2,15	1,6	1,5	1,25	1,22	1,15
К-18-2 К-214-2 ФКПМ-15Т	0,5	1,5	10	7	5	3,6	3	2,23	2,1
	1	8	6,3	4	3	2,2	2	1,65	1,5
	1,5	5,2	3,85	2,8	2	1,7	1,42	1,35	1,2

3. Значения коэффициента k_2

Материал	k_2 при D , мм			
	До 15	Св. 15 до 30	Св. 30 до 45	Св. 45
АГ-4С	0,85	1	1,25	1,35
Волокнит	0,95	1	1,40	1,5
К-18-2, К-214-2, ФКПМ-15Т	0,95	1	1,40	1,5



k_1 — коэффициент, учитывающий тип пластмассы и конструктивные размеры соединения; k_2 — коэффициент, учитывающий влияние на прочность соединения наружного диаметра D .

Величины коэффициентов выбирают по табл. 2 и 3.

Допускаемые напряжения находят по формулам: при кратковременном нагружении

$$[\sigma] = \frac{\sigma_p}{[n]}$$

при длительном нагружении

$$\sigma = \frac{\sigma_p}{[n] n_t}$$

Рис. 2. Схема армированной детали

здесь n_t — коэффициент, учитывающий длительность нагружения. Ориентировочные величины n_t приведены в табл. 4.

4. Значение коэффициента n_t

Материал	n_t при длительности нагружения, ч		
	До 100	Св. 100 до 2000	Св. 2000 до 10 000
К-18-2, К-214-2, ФКПМ-15Т Волокнит АГ-4С	1,28	1,55	1,75
	1,25	1,5	1,65
	1,35	1,6	1,9

ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ, ЗАПАСЫ ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

При выборе допускаемых напряжений и коэффициентов запаса прочности учитывают специфику поведения пластмассовой детали в напряженном состоянии (изменение размеров и формы детали под нагрузкой, температурно-временную зависимость несущей способности, влияние технологии изготовления детали, влажность, структурные изменения и др.).

Поскольку для большей части пластмасс эффективные модули существенно ниже, чем для металлов, то расчеты на прочность проводят по допускаемым деформациям. При этом следует иметь в виду, что для деталей машин и приборов, изготовляемых по 3—4-му классам точности, допускаются изменения размеров вследствие деформации не более 0,5—1%, а для деталей 5—7-го классов — деформации не выше 3—4%.

При определении запасов прочности пластмассовых деталей довольно широко применяют метод поправочных коэффициентов, учитывающих влияние различных факторов на прочность и деформируемость детали.

На основании данных практики коэффициент запаса прочности $[n]$ при постоянной нагрузке и отсутствии концентрации напряжений может изменяться в широком диапазоне (1,5—3; меньший предел относится к термореактивным пластмассам), а при наличии концентраторов напряжений значение $[n]$ может увеличиться до 6.

При более точном расчете коэффициент запаса прочности

$$[n] = OKTM,$$

где O — коэффициент, учитывающий ответственность детали и условия ее эксплуатации; $O = O_1 O_2$; K — коэффициент, учитывающий влияние концентраторов напряжений, размеры и конфигурацию деталей, точность расчета; $K = K_1 K_2 K_3$; T — технологический коэффициент; $T = T_1 T_2 T_3$; M — коэффициент, учитывающий специфику материала; $M = M_1 M_2$.

При повышенных, по сравнению с комнатной, температурах вводится еще один коэффициент, несколько увеличивающий полученный запас прочности.

Значения величин, определяющих коэффициент запаса прочности, принимают по табл. 5.

При расчете деталей из термореактивных пластмасс, работающих в условиях статического нагружения, можно применять упрощенную формулу для определения коэффициента запаса прочности, по которой

$$[n] = n_s n_{k_1} n_{k_2} n_{m_1} n_{m_2} n_t n_T n_c,$$

где n_s — коэффициент, учитывающий ответственность детали и специфику работы; $n_s = 1,00 \div 1,3$; n_{k_1} — коэффициент, учитывающий степень точности расчета.

При расчете по критерию Мора $n_{k_1} = 1,1 \div 1,4$; по критерию, предложенному

в работе [22], $n_{k_1} = 1,0 \div 1,15$; n_{k_2} — коэффициент, учитывающий концентрацию

напряжений (табл. 6); n_{m_1} — коэффициент, учитывающий нестабильность материала;

$n_{m_2} = 1,1 \div 1,35$; n_{m_2} — коэффициент, учитывающий влияние величины и формы

детали; $n_{m_2} = 1,0 \div 1,2$ (меньшие значения для малых и простых деталей); n_t —

коэффициент, учитывающий временную зависимость прочности материала при одно-

осном растяжении (табл. 7); n_T — коэффициент, учитывающий влияние температуры;

при $T = 15 \div 20^\circ\text{C}$ $n_T = 1$; n_c — коэффициент, учитывающий влияние среды;

5. Значения величин, определяющих коэффициент запаса прочности

Обозначение	Условия применения	Значение
O_1	Неответственные (несиловые) детали	1—1,05
	Силовые детали	1,05—1,1
O_2	Силовые детали, работающие в условиях вибрации, динамической и знакопеременной нагрузок	1,2—2,5 и более
	Нормальная атмосфера	1,0
	Повышенная влажность, вода	1,1
K_1	Органические растворители, масла и др.	1,2
	Принимают в зависимости от наличия концентраторов напряжений	1—2,2 и более
K_2	Принимают в зависимости от габаритов и сложности деталей; большие значения для крупных и сложных деталей	1—1,15
K_3	Приближенный расчет	1,4—1,6
T_1	Детали, формуемые методом намотки	1—1,05
	Литые и прессованные детали	1,05—1,15
T_2	Детали, формуемые автоклавным, вакуумным и контактным методами	1,15—1,25
	Длительное отверждение при невысоких температурах	1—1,05
T_3	Отверждение в пресс-форме	1,1—1,2
	Отверждение ТВЧ	2—2,5
M_1	При нанесении связующего из пульверизаторов и центробежным способом	1,1—1,25
	Другие методы пропитки	1,05
M_2	Термореактивная армированная пластмасса	1
	Простые и наполненные термореактивные пластмассы	1,1—1,35
	Термопласты	1,05—1,2
	Изотропные пластмассы	1,1

6. Значения коэффициента n_{k_2}

Концентратор напряжения	АГ-4В	АГ-4С	Волокнит	К-18-2	ФКПМ-15Т
Круглые отверстия	1,0	1,0	1,05	1,5	1,2
Треугольные надрезы	1,0	1,0	1,12	1,8	1,15
Прямоугольные надрезы	1,0	1,0	1,1	1,6	1,35

7. Значения коэффициента n_t при длительности нагрузки $t = 100, 1000, 10\ 000$ ч

Материал	Растяжение			Сжатие		
	n_{100}	n_{1000}	$n_{10\ 000}$	n_{100}	n_{1000}	$n_{10\ 000}$
АГ-4В	1,14	1,16	1,18	1,30	1,37	1,42
АГ-4С рубленое волокно, 10—15 мм	1,32	1,37	1,43	1,42	1,53	1,65
Волокнит	1,39	1,47	1,55	1,43	1,56	1,71
К-18-2	1,35	1,42	1,50	1,39	1,51	1,63
ФКПМ-15Т	1,56	1,58	1,73	1,56	2,13	2,66

$n_c = 1,0 \div 1,1$. При сложном напряженном состоянии и длительном нагружении эквивалентное напряжение $\sigma_{э\text{кв}}$ определяют по формуле (см. с. 107).

Влияние времени на деформации и прочность пластмасс изучено недостаточно (особенно армированных, так как в этом случае дополнительная трудность заключается в определении доли арматуры, работающей в направлении приложенной нагрузки).

Недостаточно изучено также влияние на длительную прочность различных факторов — концентрации напряжения, масштабного фактора, вида напряженного состояния, повторных перегрузок и др.

Долговечность (в ч) пластмассовой детали может быть приближенно определена по формуле

$$\tau = A e^{-\alpha\sigma}, \quad (1)$$

где α и A — постоянные, определяющие временную зависимость прочности материала (определяют опытным путем); σ — заданное напряжение, кгс/см² при одноосном растяжении и сжатии.

Значения α и A для ряда материалов приведены в табл. 8.

Для полиамидов, часто применяемых в узлах трения, падение прочности при повышении температуры в пределах 20—110 °С можно учитывать коэффициентом k_T (табл. 9):

$$k_T = \frac{T_{пл} - T_p}{T_{пл} - 20},$$

где $T_{пл}$ — температура плавления; T_p — рабочая температура.

При необходимости оценки долговечности детали, работающей при постоянном напряжении, но в условиях повышенных температур, можно использовать зависимость (1), подставив в нее вместо фактического напряжения σ напряжение $\sigma_T = \frac{\sigma}{k_T}$.

8. Значения α и A

Материал	α	A	Материал	α	A
Растяжение [19]			Сжатие [19]		
Капрон	0,46	$2 \cdot 10^{11}$	Волокнит	0,157	$2 \cdot 10^{22}$
Полистирол	3,1	$6,4 \cdot 10^9$	К-18-2	0,145	$1,59 \cdot 10^{21}$
Нитроцеллюлоза	3,0	$1 \cdot 10^{12}$	ФКПМ-15Т	0,183	$3,55 \cdot 10^{14}$
Пластифицированный поливинилхлорид	6,9	$6,3 \cdot 10^7$	Волокнит	0,038	$2,8 \cdot 10^{14}$
Фосфористая бронза	1,25	$1 \cdot 10^{20}$	К-18-2	0,0337	$5,6 \cdot 10^{15}$
			ФКПМ-15Т	0,0337	$1,12 \cdot 10^9$

Если долговечность пластмассовой детали задана, то ориентировочно допускаемое напряжение можно определить по следующим упрощенным формулам [7]:

9. Значения температурного коэффициента k_T

Материал	k_T при температуре, °С						
	-40	-20	0	+40	+60	+80	+100
Текстолиды	—	—	—	0,86	0,76	0,68	0,59
Стеклопластики	—	—	1,07	0,93	0,95	0,89	0,85
ДСП-Б, ДСП-В, ДСП-Г	—	—	1,08	0,88	0,76	0,68	0,59
Капрон, полиамид П-68	—	1,15	1,03	0,88	0,80	0,69	0,58
Полиформальдегид	1,10	1,08	1,03	0,86	0,68	0,49	0,28
Поликарбонат	1,15	1,14	1,10	0,90	0,75	0,60	0,40
Фторопласт-4	—	—	1,30	0,98	0,92	0,84	0,76
Капролон А, В, С	—	1,18	1,10	0,68	0,78	0,65	0,52

* При +20 °С $k_T = 1$.

для изотропных пластмасс

$$[\sigma]_t = [\sigma] \left(\frac{t}{n}\right)^{-m}; \quad (2)$$

$$[\epsilon]_t = [\epsilon] \left(\frac{t}{n}\right)^m \quad (3)$$

и для анизотропных пластмасс

$$[\sigma]_t = k_\sigma [\sigma],$$

где $[\sigma]_t$ и $[\epsilon]_t$ — соответственно допускаемые расчетные напряжения и деформации пластмассовой детали при длительном статическом нагружении в течение t ч; $[\sigma]$ и $[\epsilon]$ — допускаемые напряжения и деформации при кратковременном статическом нагружении; m и n — коэффициенты, зависящие от вида пластмассы (табл. 10); k_σ — коэффициент долговечности (табл. 11).

10. Значения величин m и n

Материал	m	n
Полиамиды	0,047	$4 \cdot 10^{-4}$
Полиэтилен	0,04	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Фенопласты	0,08—0,1	$1 \cdot 10^{-5}$
Аминопласты	0,1	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Полиакрилаты	0,029	$1,9 \cdot 10^{-3}$

11. Значения коэффициента k_σ

Материал	k_σ	Материал	k_σ
Текстолиды	0,6—0,7	АГ-4В	0,31—0,5
ДСП	0,55—0,6	Армированные стеклопластики типа СВМ и стеклотекстолиды	0,65—0,8
Гетинакс	0,7—0,75		
АГ-4С	0,58—0,67		

Если для заданной температуры эксплуатации данные по прочности отсутствуют, то в первом приближении их можно определять линейной интерполяцией, как схематически представлено для примера на рис. 3. Из табл. 1 взяты значения разрушающего

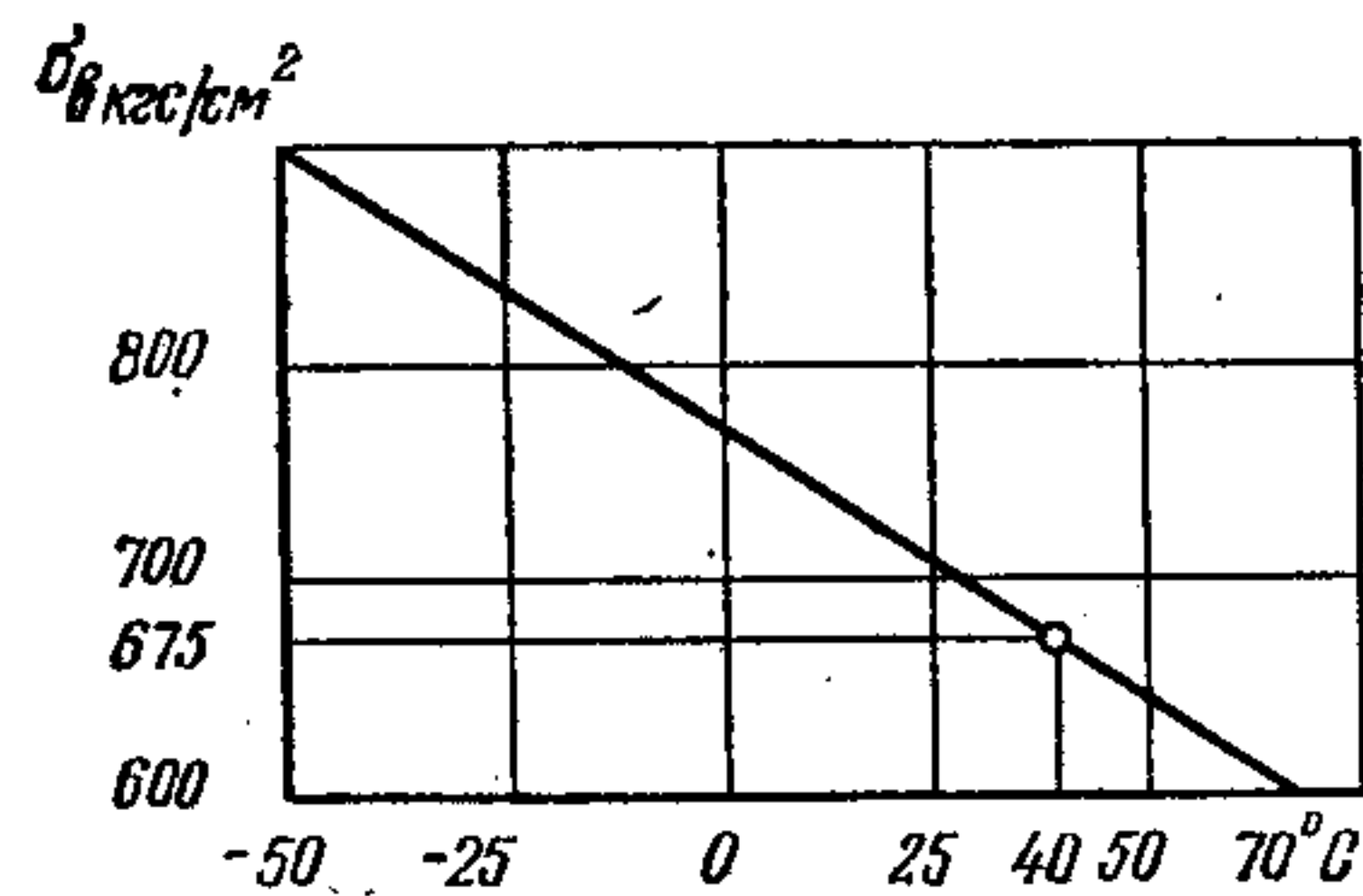


Рис. 3. Зависимость разрушающего напряжения при растяжении текстолита от температуры

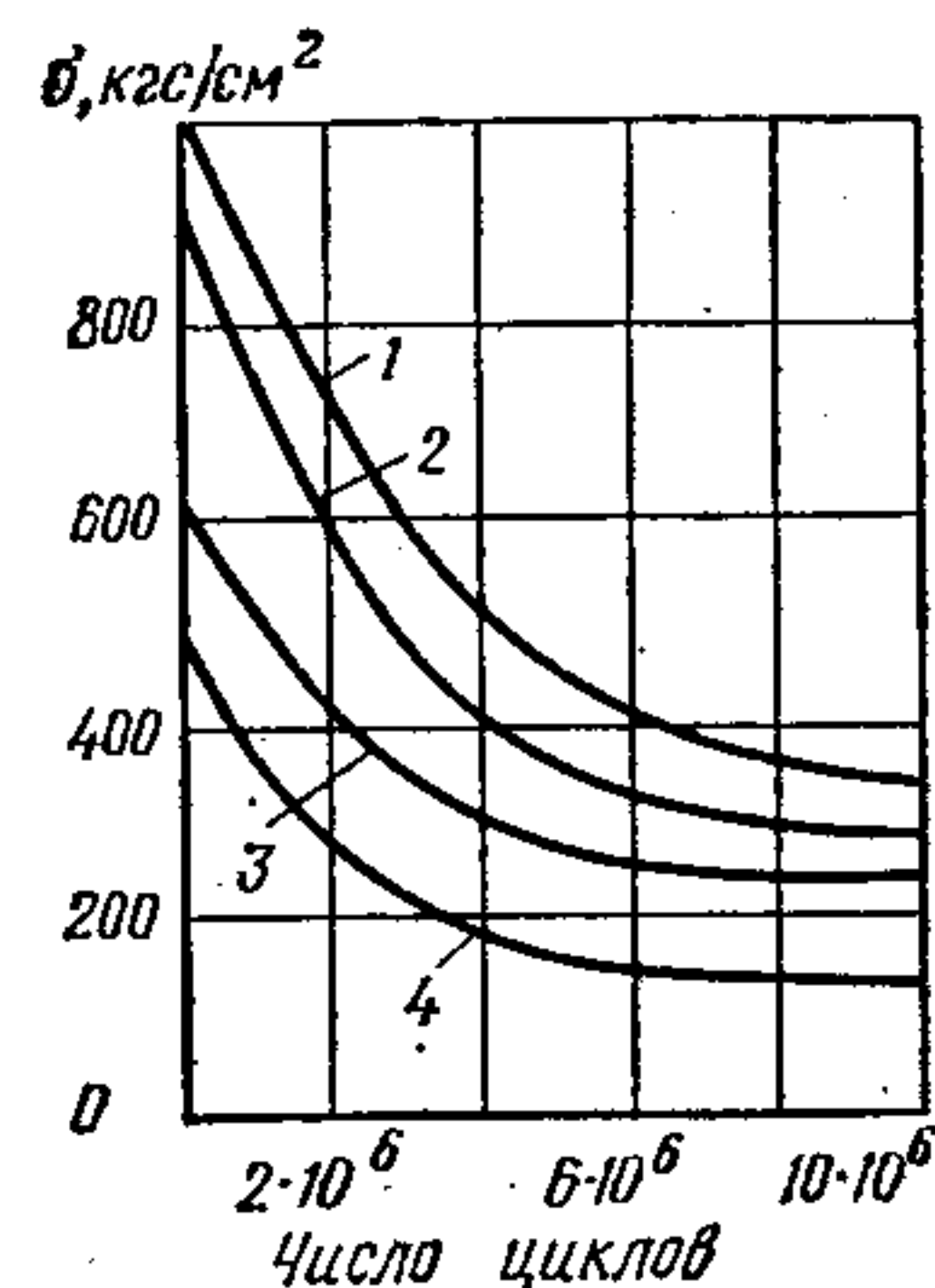


Рис. 4. Кривые ограниченной выносливости:
1 — капролон; 2 — полиформальдегид; 3 — капрон; 4 — полипропилен

напряжения для текстолита: при $T = -50^\circ\text{C}$ 900 кг/см^2 и при $T = +70^\circ\text{C}$ 600 кг/см^2 . Интерполяцией установлено, что при $T = +40^\circ\text{C}$ разрушающее напряжение составляет 675 кг/см^2 .

Влияние масштабного фактора. Под масштабным фактором понимают зависимость прочности от размеров деталей (образцов). Чем больше поверхность или объем детали, тем вероятнее встретить наиболее опасный дефект, который определяет прочность детали. Поэтому с увеличением размера детали (изделия) ее прочность должна уменьшаться. Масштабный фактор в большой степени зависит от перераспределения напряжений и протекания процессов релаксации, от концентрации напряжений, обусловленных геометрией и качеством изготовления детали. Влияние масштабного фактора в чистом виде может быть определено для образцов геометрически подобных размеров, изготовленных из одного и того же материала одинаковыми технологическими процессами при соблюдении геометрического подобия образцов различных размеров.

Для изотропных жестких пластмасс ($E > 10^4 \text{ кг/см}^2$) влияние размеров образца на прочность может определяться также условиями отверждения пластмассы: разной температурой внутри и на поверхности образца вследствие плохой теплопроводности, трудностью выхода воздуха и т. д.

Увеличение толщины образцов для ряда пластмасс приводит к снижению ударной вязкости, разрушающих напряжений при изгибе и растяжении. Повышение способности к перераспределению напряжений благодаря ускорению релаксационных процессов снижает влияние масштабного фактора.

Наполнение пластмассы порошкообразными наполнителями увеличивает влияние масштабного фактора, так как чем больше объем наполнителя в полимере, тем больше образуется дефектов, снижающих прочность детали. Поэтому при проектировании нагруженных полимерных изделий больших толщин нежелательно использовать наполненные пластмассы, так как при этом значительно снижается прочность изделий.

Усталость пластмасс. При нагружении пластмассовой детали переменными во времени силами (периодическими или непериодическими) деталь может выйти из строя в результате усталости материала. Разрушение наступает при более низком напряжении, чем разрушающее напряжение, определенное при кратковременных нагрузках.

Если частота вынужденных колебаний совпадает с частотой собственных колебаний тела, возникает явление резонанса, и усталостное разрушение пластмассы может наступить и при весьма малой переменной нагрузке.

У пластмасс по сравнению с металлами резонансные явления проявляются в меньшей степени вследствие более низкой плотности и большего декремента затухания.

Для пластмасс обычно определяют так называемый предел ограниченной выносливости при заранее обусловленном числе циклов нагружения (например, 10^6 или 10^7 циклов). Тогда усталостная прочность для данного числа циклов нагружения является критерием стойкости к усталости.

Стойкость к усталости может быть в ряде случаев охарактеризована коэффициентом усталости

$$K = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_p},$$

где σ_{-1} — предел выносливости; σ_p — разрушающее напряжение при статической нагрузке.

Коэффициент усталости большей части термопластов (кроме полиформальдегида) низок и равен примерно 10% кратковременной прочности; у армированных пластмасс этот коэффициент достигает 20—35% кратковременной прочности.

Результаты усталостных испытаний могут быть использованы для расчетов конструкций только в тех случаях, когда способ нагружения и геометрия образцов приближаются к режимам нагружения детали в условиях эксплуатации.

Для большей части деталей машин, имеющих сложную геометрическую форму (зубчатые колеса, муфты, лопасти и др.), усталостные испытания необходимо проводить непосредственно на деталях.

Кривые усталости для ряда конструкционных пластмасс показаны на рис. 4 [5, 7, 14, 19 и др.].

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПОДШИПНИКОВ И НАПРАВЛЯЮЩИХ

ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ

В подшипниках скольжения относительно редко удается получить чисто жидкостное трение.

При полужидкостном трении, встречающемся обычно в практике эксплуатации подшипников, а также при граничном трении, главную роль играют свойства трущихся поверхностей, непосредственно вступающих в контакт на отдельных участках; в этих условиях долговечность подшипников в значительной степени характеризуется их износоустойчивостью, антизадирными и другими свойствами.

Пластмассы широко применяют в подшипниках скольжения вследствие того, что многие из них обладают высокой износоустойчивостью, антизадирными свойствами, малым коэффициентом трения, не подвержены коррозии.

При работе вкладышей из пластмасс поверхности трения полируются, что уменьшает износ как неметаллической, так и металлической поверхности.

В качестве материала для подшипников используют реактопласты (текстолиты, древеснослоистые пластики, текстолитовую и древесную крошку) и термопласты (полиамиды, фторопласт-4, полиформальдегид), а также различные композиционные пластики (пластографит, капрографит, сочетания пластмасс с металлами).

Конструирование подшипников из реактопластов

Для подшипников обычно используют текстолиты 2 и 2Б. Применяют также текстолит 3, специальные марки текстолита ПТК и ПТ и текстолит из крошки, изготовляемый горячим прессованием обрезков хлопчатобумажной ткани, пропитанной искусственными смолами.

Из древеснослоистых пластиков (ДСП) для изготовления вкладышей применяют две марки: ДСП-Б, в котором каждые 10—20 слоев шпона с параллельным направлением волокон чередуются с одним слоем — перекрестным под углом 90° (свойства такого материала лучше при работе на торец, чем при работе по волокну; располагать ДСП плашмя нельзя); ДСП-В, в котором направления волокон древесины в смежных слоях взаимно перпендикулярны; свойства этого пластика одинаковы в продольном и поперечном направлениях.

Древесные пластики более износоустойчивы при работе на торец, чем по волокну, т. е. когда волокна во вкладыше направлены радиально к оси вала, а направление силы трения перпендикулярно волокнам.

Несмотря на большую износоустойчивость текстолитов по сравнению с ДСП, они несколько больше изнашивают вал; вкладыши, изготовленные из крошки ДСП, обеспечивают минимальный износ вала. Коэффициент трения для упомянутых реактопластов при обильной смазке водой колеблется в пределах 0,002—0,02; при смазке маслом 0,007—0,09; при работе без смазки 0,25—0,35.

Благодаря упругим деформациям пластиков на поверхностях микроконтактов не наблюдается сосредоточения нагрузок. Высокая упругость и демпфирующая способность позволяют применять пластики при ударных нагрузках. Упругие деформации влияют на точность работы подшипника и всего узла в целом. Для уменьшения

этого влияния вкладыши делают минимальной толщины, а подшипник перед работой прирабатывают 2—4 ч при полной нагрузке.

Проведенные испытания показали, что упругое восстановление пластиков продолжается примерно в течение 3 ч и более после снятия нагрузки. После длительного перерыва требуется дополнительная приработка. Поэтому перерывы в работе для подшипников из ДСП, а также (в меньшей степени) из текстолита вредны, так как повышают количество приработок и увеличивают их износ.

Отрицательно сказывается на работе подшипников водопоглощение, в результате которого они изменяют свои размеры.

В зажатом состоянии способность пластиков поглощать воду значительно снижается и не превышает 2—4%. Минеральные масла поглощаются пластиками в ничтожном количестве, и практически при 20 °С маслопоглощение пластиков можно не учитывать.

Теплостойкость текстолита и ДСП колеблется в пределах 120—140 °С, однако уже при 60—80 °С начинается интенсивное разбухание.

ДСП реагируют также и на понижение температуры. Влажные вкладыши подшипников при нахождении в течение 35—70 суток на морозном воздухе (до —50 °С) изменяют свой размер в пределах 0,5—1%. Наблюдающиеся при этом деформации вызывают незначительные поверхностные трещины. Тепловое расширение пластиков несколько больше, чем металлов. Это свойство следует учитывать при конструировании подшипников во избежание защемления вала, особенно при расположении пластика не на торец.

Пластмассовые подшипники изготавливают в виде вкладышей, состоящих из двух частей и более, цельных втулок или отдельных кольцевых секторов. Вкладыши и втулки из текстолита или ДСП изготавливают наборными из отдельных элементов (секций).

Наборные подшипники. По расположению слоев материала в наборе различают подшипники с поперечным (рис. 1) и продольным (рис. 2) набором. ДСП обычно набирают так, чтобы торец волокон древесины был перпендикулярен поверхности вала. При этом расположение слоев пластика может быть радиальным (рис. 3, а) или параллельным среднему радиусу подшипника (рис. 3, б); поперечное расположение (параллельное сечению вала) (рис. 3, в) не рекомендуется.

Подшипники, изготовленные из плиточного текстолита (набирают так же, как из ДСП), имеют расположение слоев, концентричное поверхности вала (рис. 4).

Элементы наборных подшипников, изготовленных из продольных брусков ДСП трапецевидной формы, применяют только с радиальным расположением слоев материала.

Боковые поверхности брусков обрабатывают так, чтобы бруски можно было сложить в многоугольную трубу (рис. 5).

Размеры бруска

$$b = d_2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad h = \frac{d_2 - d_1 \cos \frac{\alpha}{2}}{2}.$$

Заготовленные клинья можно также подбирать непосредственно в кассету и растачивать по заданному диаметру.

При укладке брусков в корпус образуется зазор f (рис. 6). При $1 < f < 1,5$ мм следует скосить углы у основания брусков. При $f > 1,5$ мм необходимо основание бруска срезать по радиусу корпуса.

Для тяжело нагруженных подшипников толщину вкладыша рекомендуется брать не менее 10—15 мм, а для прокатных станков 17—40 мм (нижний предел для мелкосортных станков, верхний — для тяжелых обжимных станков).

Рекомендуемые размеры наборных склеенных втулок из ДСП приведены в табл. 1. Минимальная толщина стенки, равная 7,5 мм, установлена из соображения прочности. Уменьшение толщины стенки несколько снижает упругие деформации и увеличивает точность работы механизма.

Учитывая, что пластики разбухают от влаги в направлении, обратном прессованию, бруски следует укладывать так, чтобы их ширина располагалась вдоль корпуса или кассеты. В этом случае усилия, возникающие при разбухании, заклинивают бруски в теле кассеты (рис. 7). К недостаткам применения кассет указанного

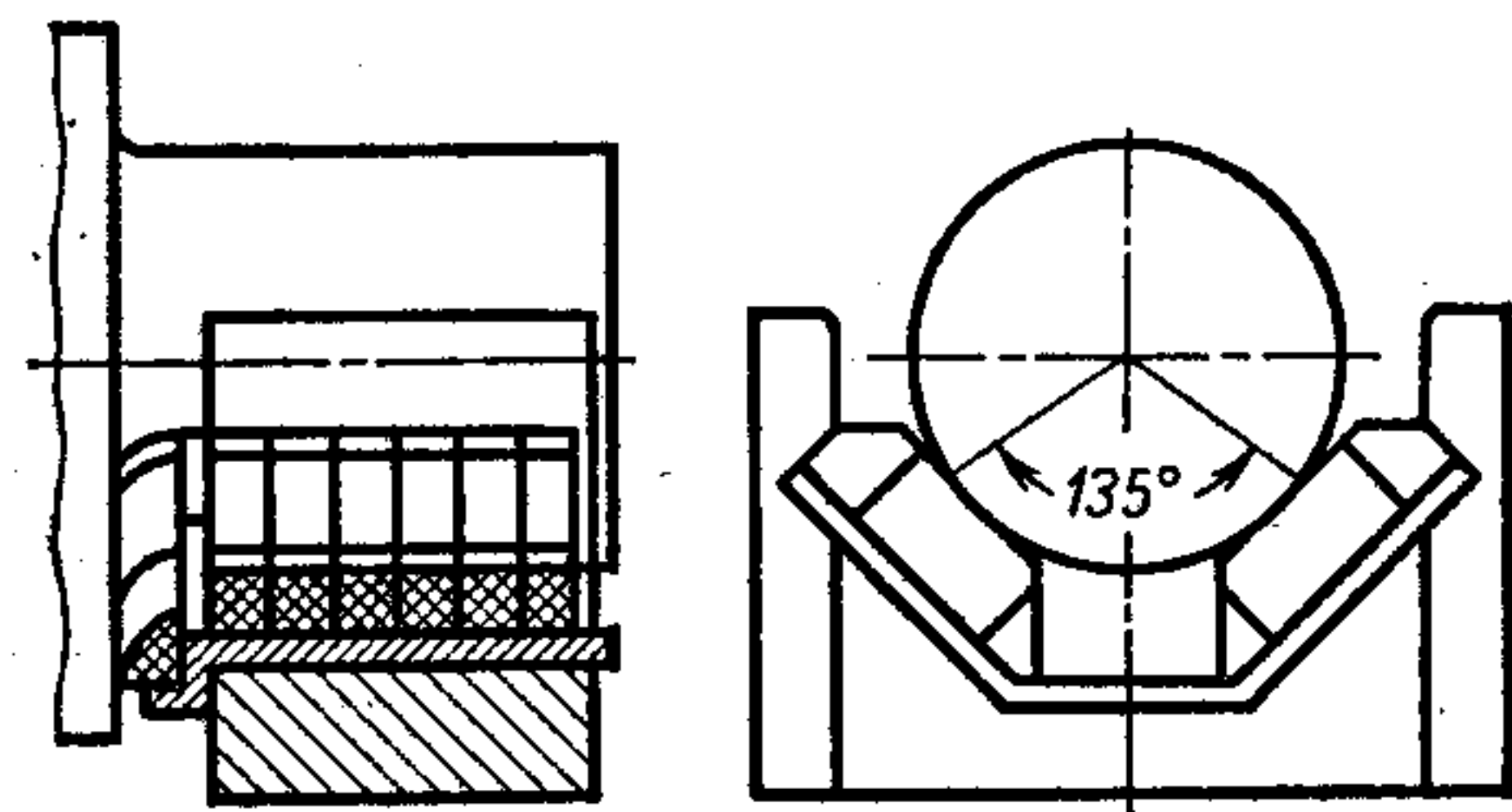


Рис. 1. Подшипник из ДСП с поперечным набором

Рис. 7. Схема установки подшипника в кассете

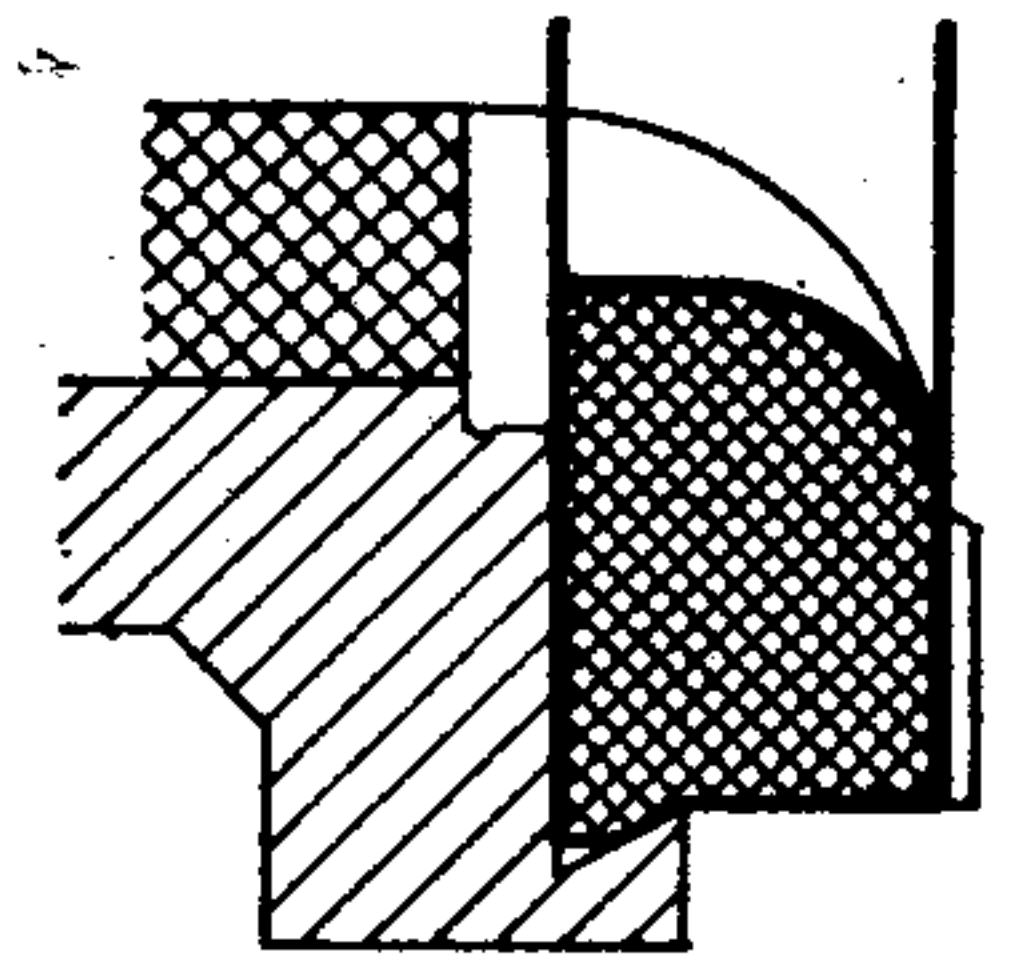
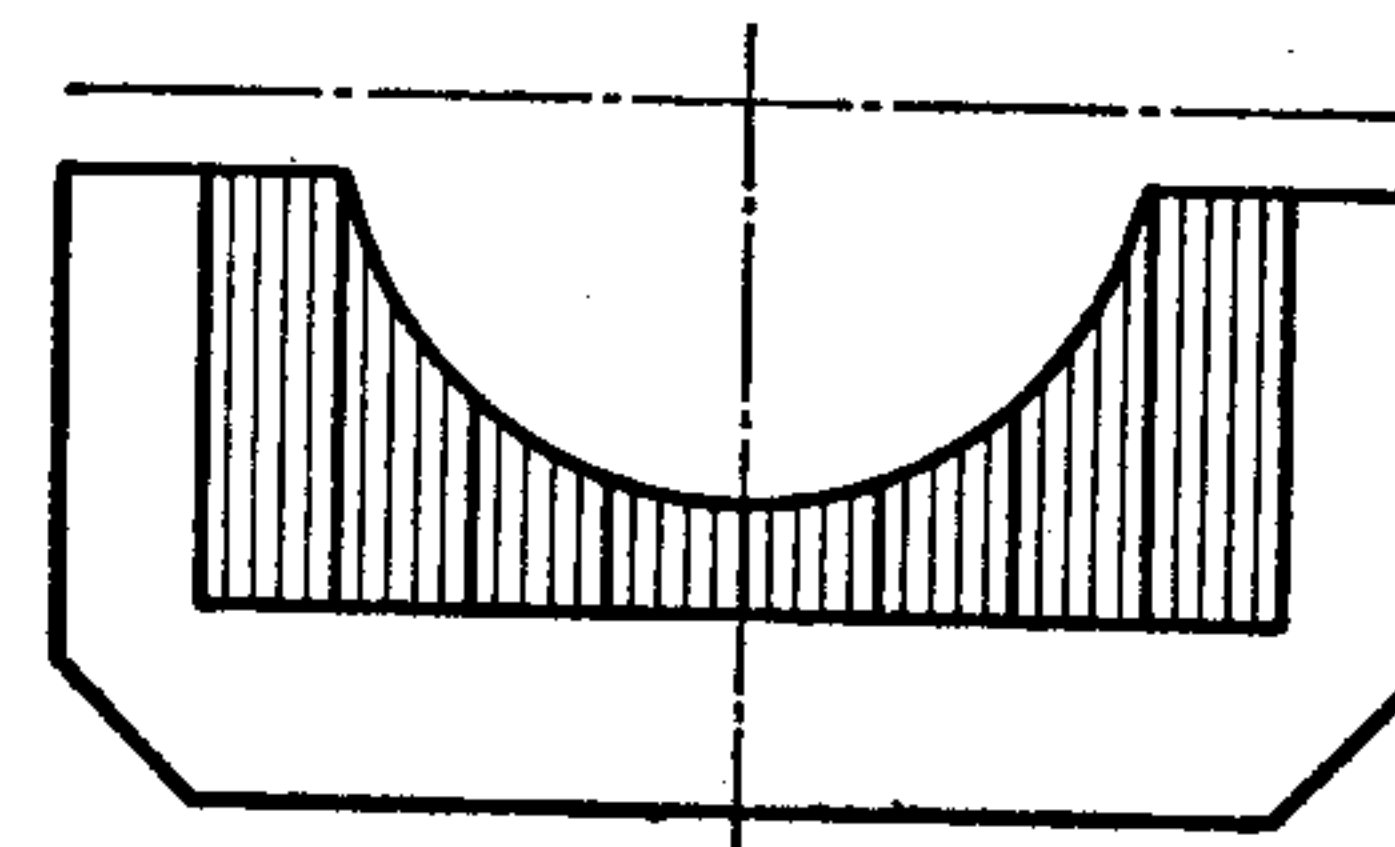


Рис. 8. Крепление брусков на фланце

типа следует отнести то, что из-за различной толщины стенок возникает неодинаковая деформация материала.

На фланце вкладыша бруски располагают на торец, закрепляя их с помощью ласточкина хвоста (рис. 8).

1. Размеры (в мм) наборных склеенных втулок из ДСП

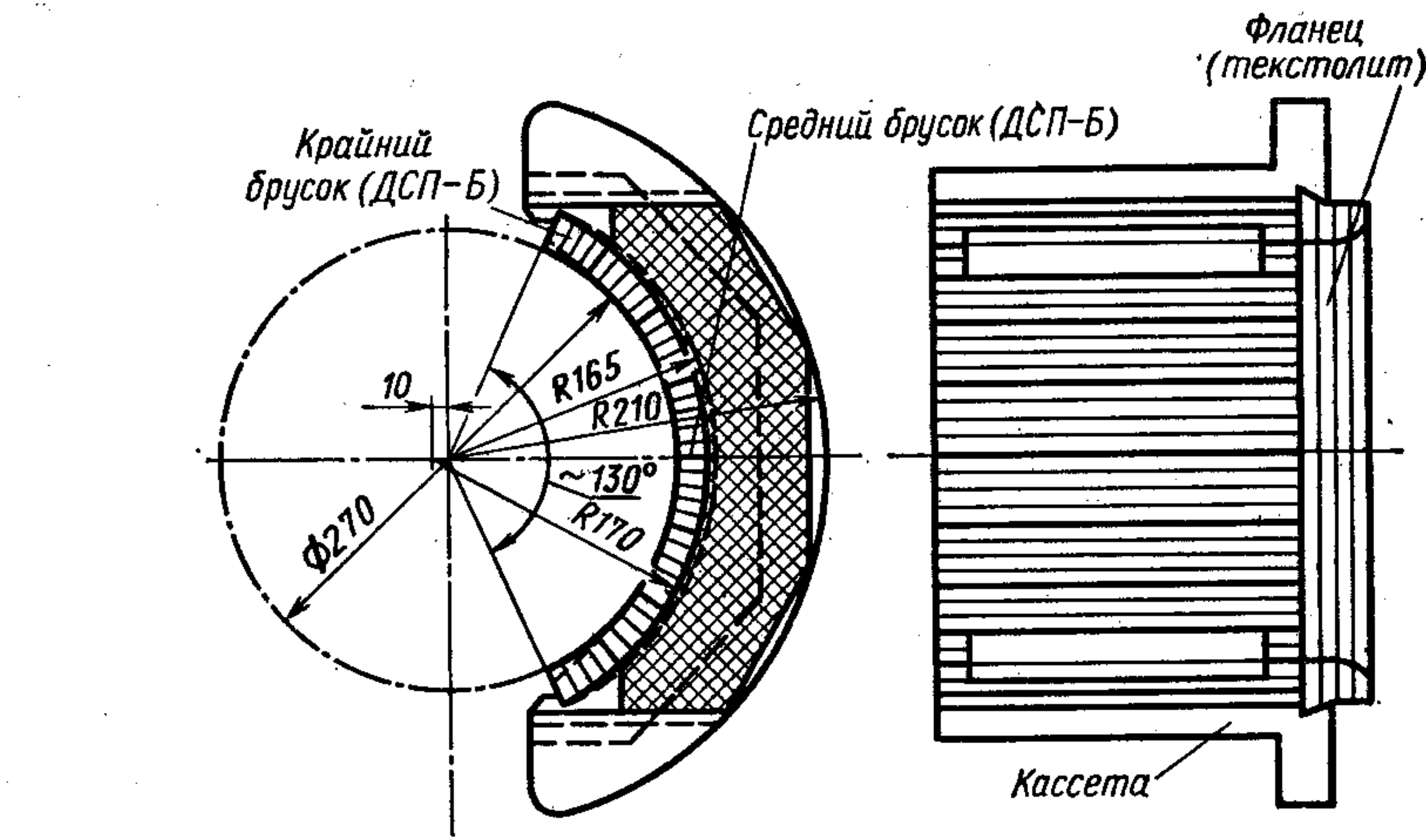


Рис. 2. Подшипник с продольным набором

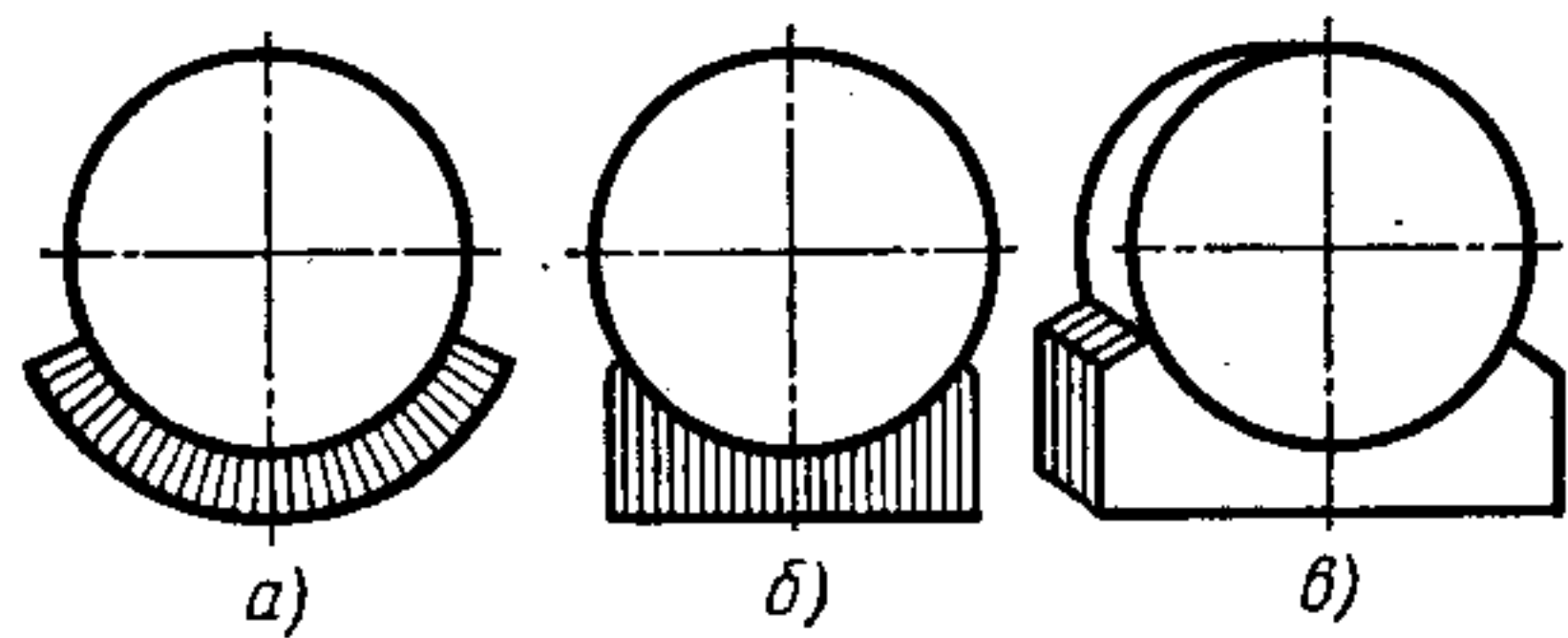
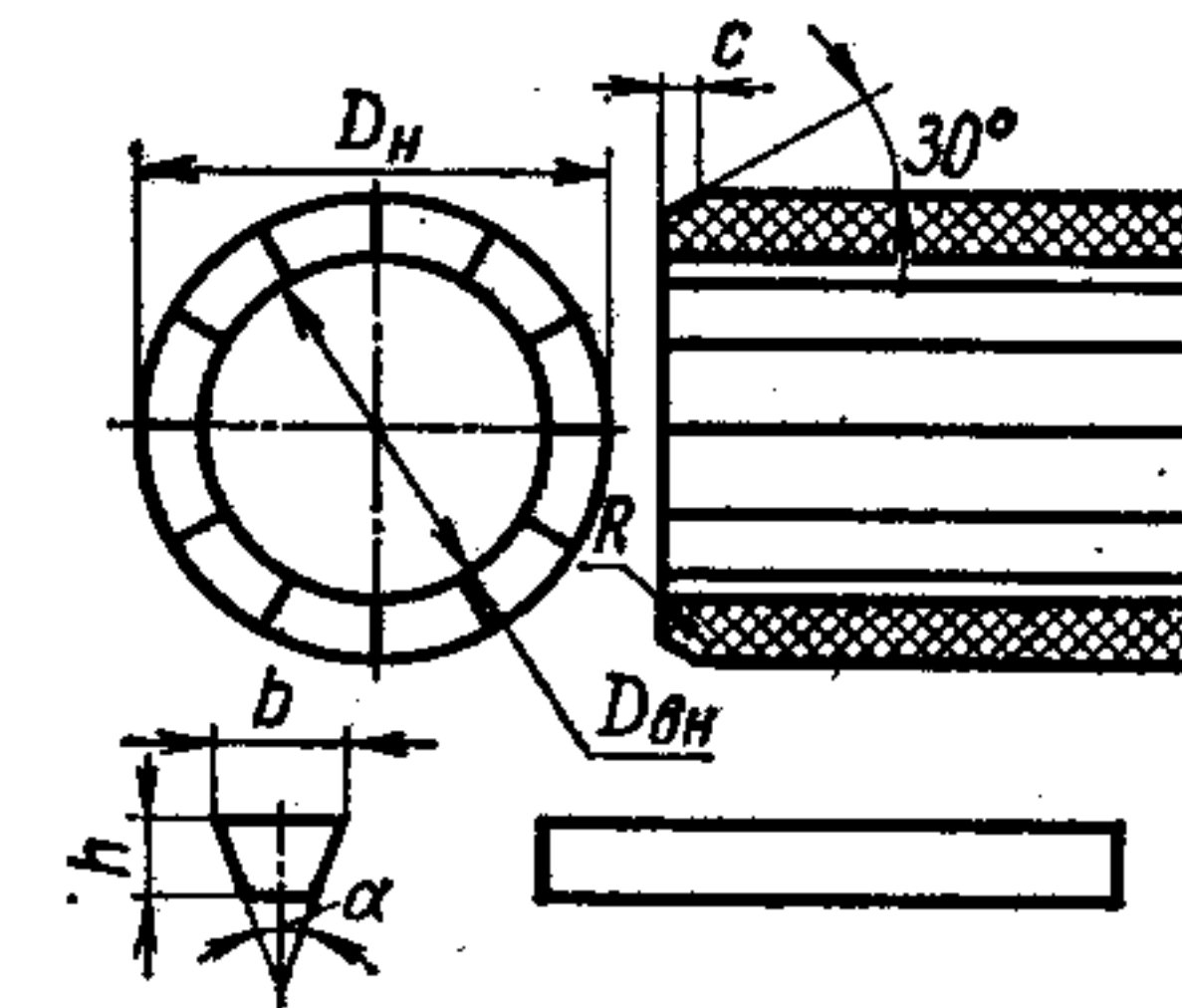


Рис. 3. Подшипник с различным расположением слоев пластика

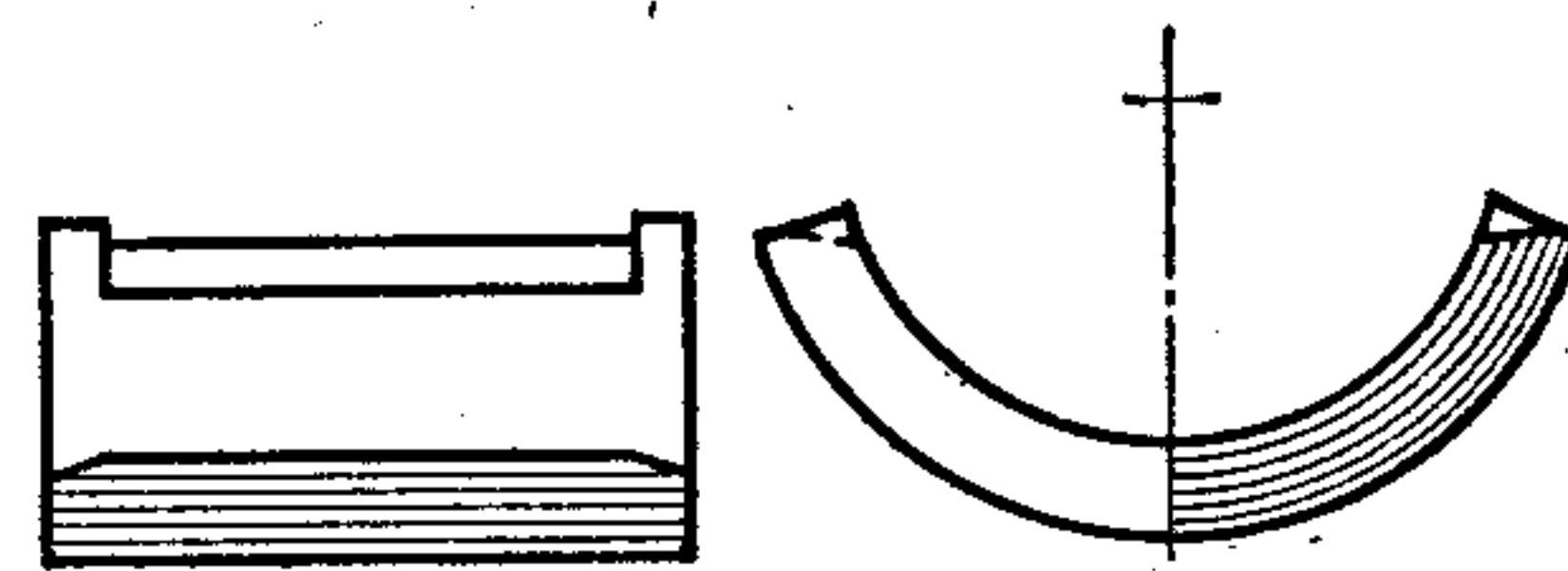


Рис. 4. Расположение слоев concentрично поверхности вала

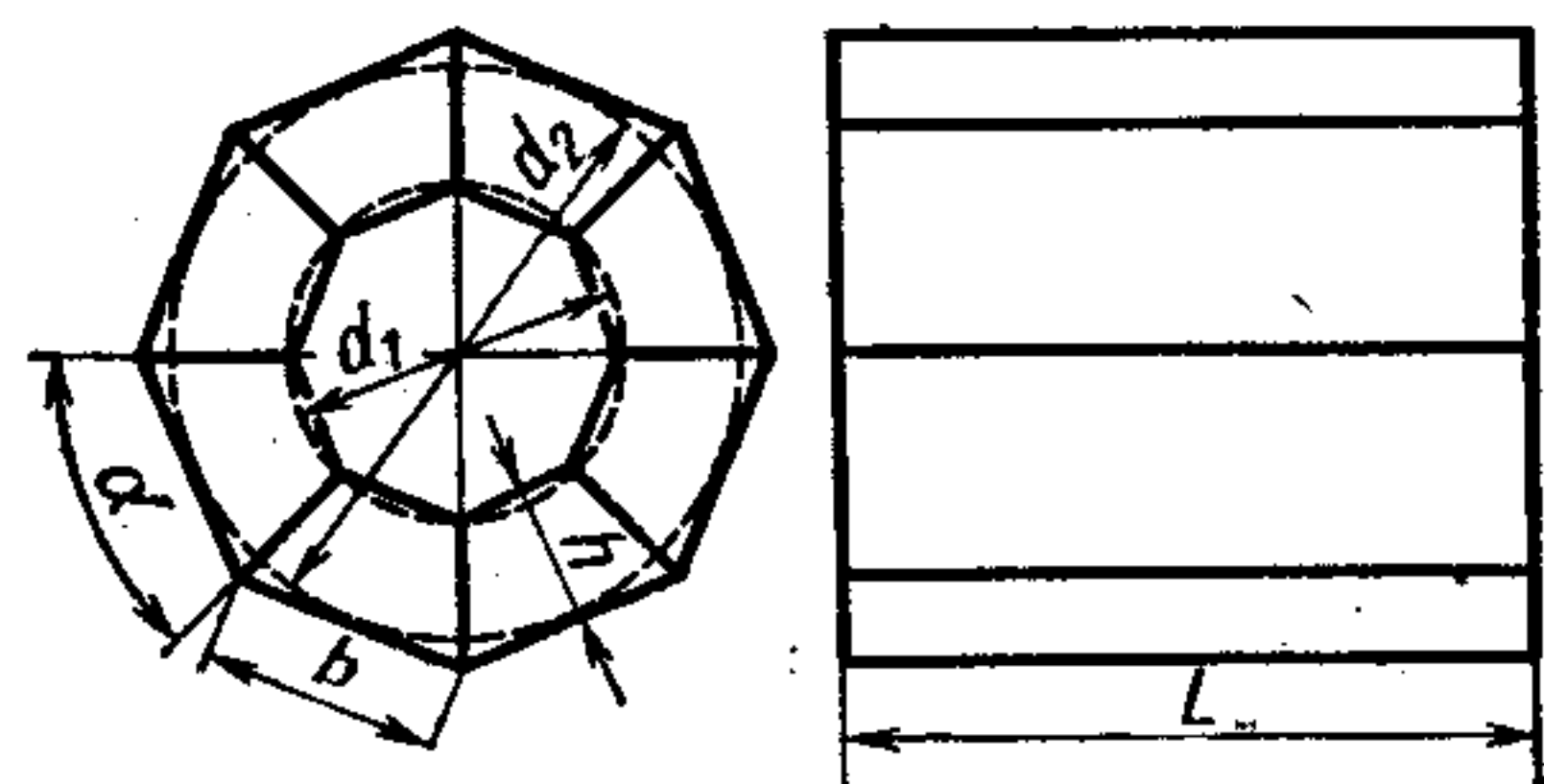


Рис. 5. Заготовка наборного подшипника

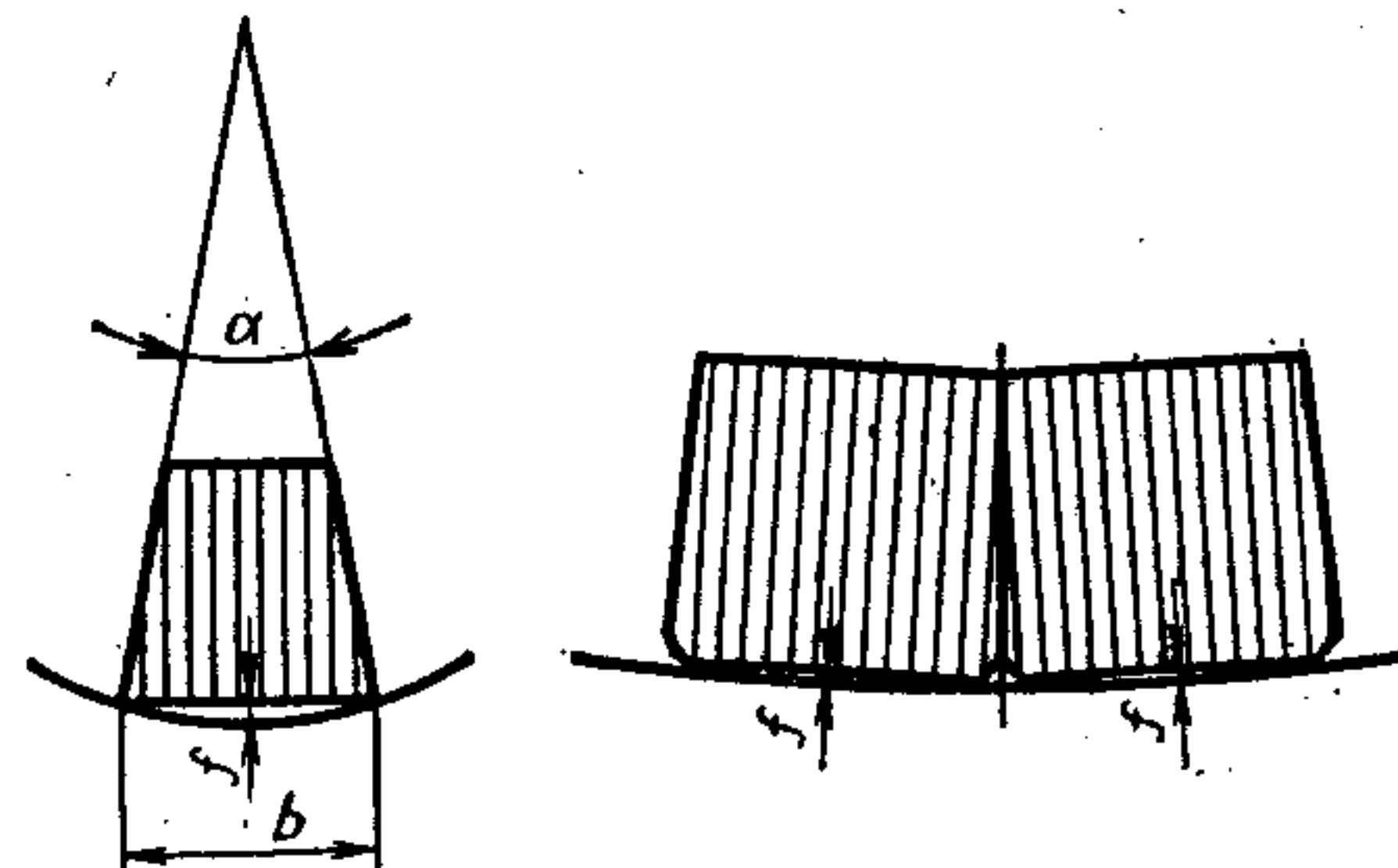


Рис. 6. Сопряжение брусков с корпусом

Втулки				Сегменты			Втулки				Сегменты		
$D_{вн}$	$D_{н}$	R	c	b	h^*	α°	$D_{вн}$	$D_{н}$	R	c	b	h^*	α°
50	65			29		45	180	210			33		
60	75			29			190	220			35		
70	85	3	1,5	33	13	40	200	230	5	2,5	37	18	18
80	95			37			210	240			38		
90	110			29			220	250			33		
100	120			34		30	230	260			34		
110	130			36			240	270			36		15
120	140	4	2	39	15		250	285			38		
130	155			33		24	260	295			39		
140	165			35			270	305			32		
150	175			38			280	315	6	3	33	21	
160	190	5	2,5	32	18	18	290	325			34		12
170	200			32			300	335			35		

* Размер h указан до обработки.

Набор пластика в кассете должен быть плотным, без зазоров и пустот. Боковые планки рекомендуется врезать в корпус, а не прикреплять болтами (рис. 9, а). Для лучшего зажатия пластика применяют комбинацию врезной планки и двух клиньев (рис. 9, б) или крепление клином (рис. 9, в).

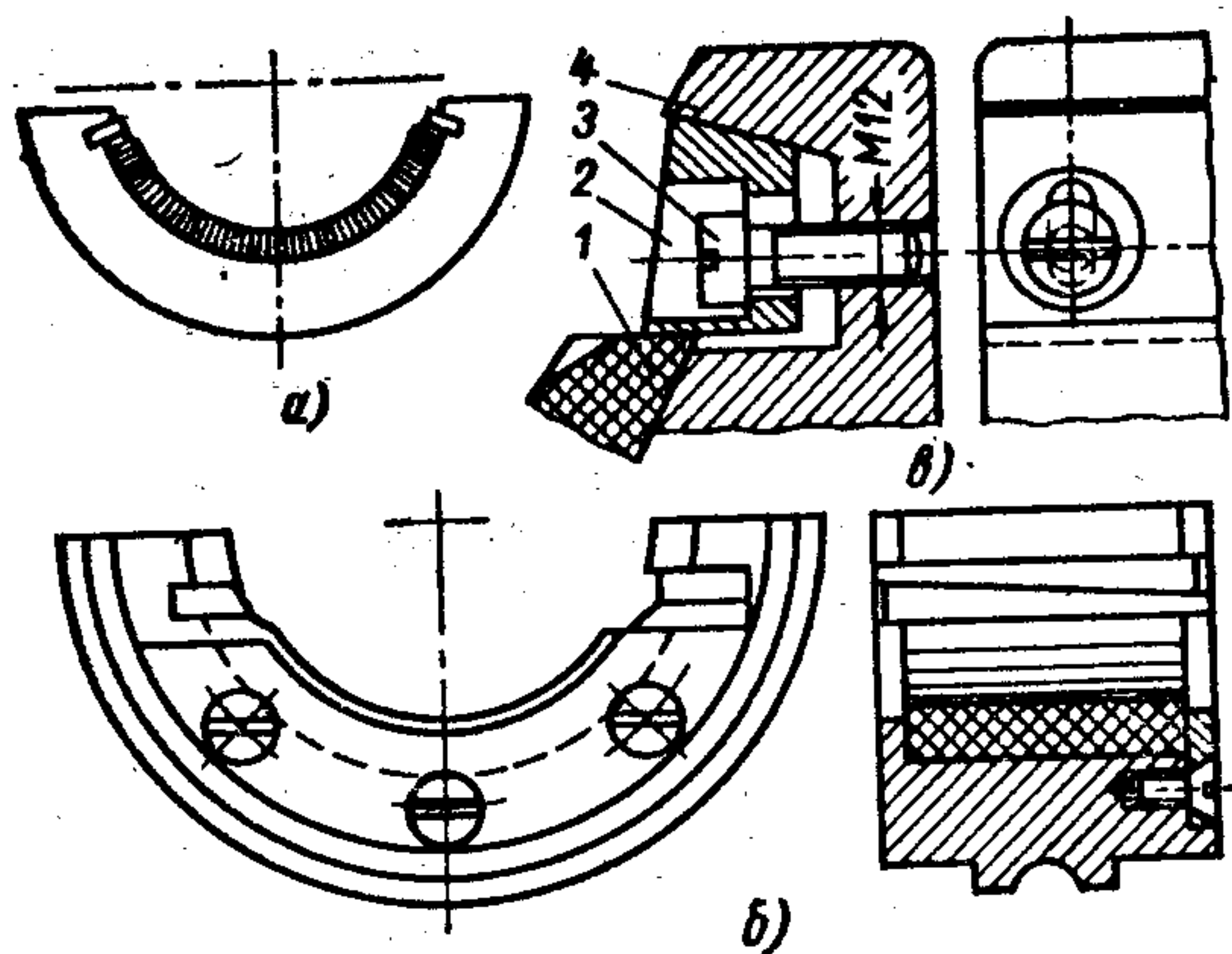
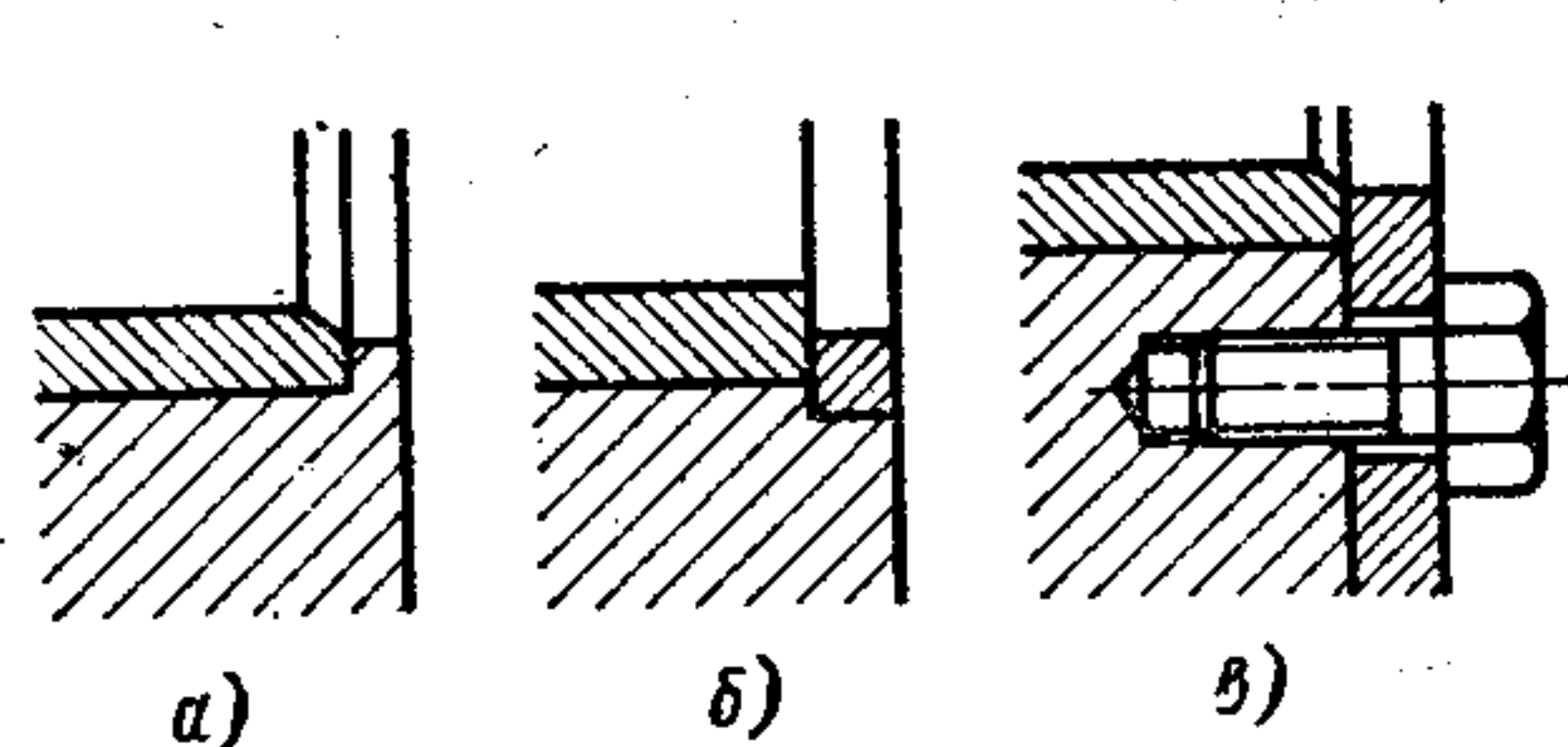


Рис. 9. Крепление вкладыша в корпусе:
1 — вкладыш; 2 — клин; 3 — винт;
4 — корпус подшипника

Рис. 10. Упоры: а — точеные; б — приваренные; в — привинченные



Для предотвращения перемещения втулок и вкладышей в осевом направлении в кассете или корпусе имеются точеные, приваренные или привинченные упоры (рис. 10). Для предохранения наборных подшипников от осевого смещения применяют также буртики.

При сборке секторов (из текстолита или ДСП), изготовленных из плит, для получения лучшей затяжки можно применять приваренные накладки или выполнять буртики в корпусе, а затягивать вкладыш забивкой в направлении оси вала последнего (обычно среднего) бруска, выполненного в виде клина с небольшим углом наклона плоскостей (1 : 100, см. рис. 2). В этом случае никаких осевых упоров не требуется.

Размеры вкладышей выбирают в зависимости от длины и диаметра шейки вала. При наличии боковых вкладышей ширина основного вкладыша $a \approx 2/3d$ (рис. 11), ширина бокового вкладыша $c \approx (1/3 \div 1/4)d$, а ширина поддерживающего вкладыша $b \approx 1/2d$.

Форма основных вкладышей подшипников открытого типа различна. Весьма распространена прямоугольная форма (рис. 12, а). Такой же формы часто делают боковые и поддерживающие вкладыши. Однако для обеспечения равномерной упругой деформации желательно, чтобы вкладыш имел одинаковую толщину, что достигают применением вкладыша кольцеобразной формы (рис. 12, б) или формы, близкой к ней (рис. 12, в).

Для металлических подшипников наиболее часто применяемое отношение ширины подшипника к его диаметру $L/d = 0,5 \div 0,75$. Увеличение длины подшипника не рекомендуется, так как это вследствие изгиба вала увеличивает давление на кромки подшипника и уменьшает его грузоподъемность.

Для неметаллических подшипников, поскольку из-за большей упругости пластиков изгиб вала оказывает несколько меньшее влияние, отношение L/d допускается

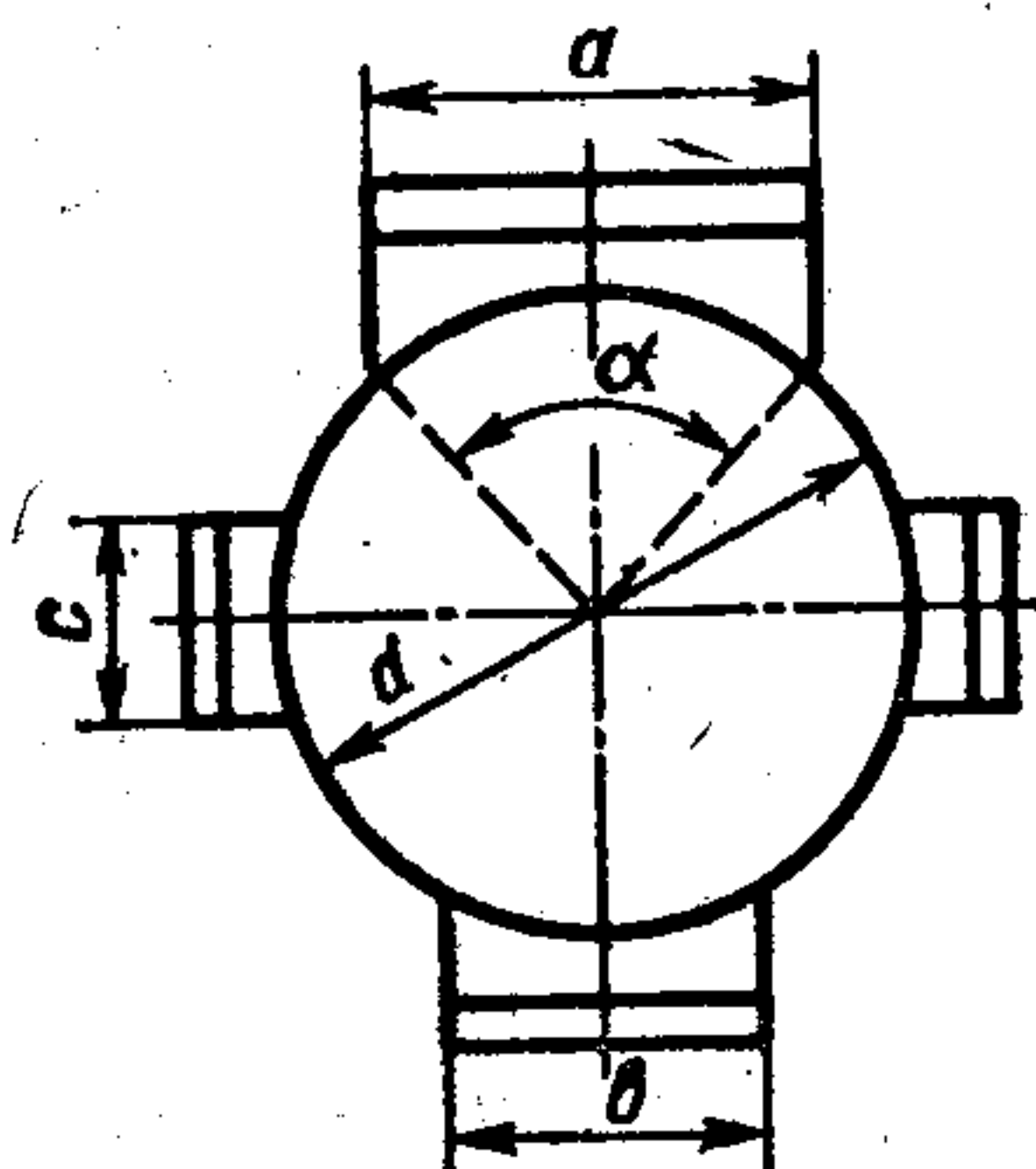
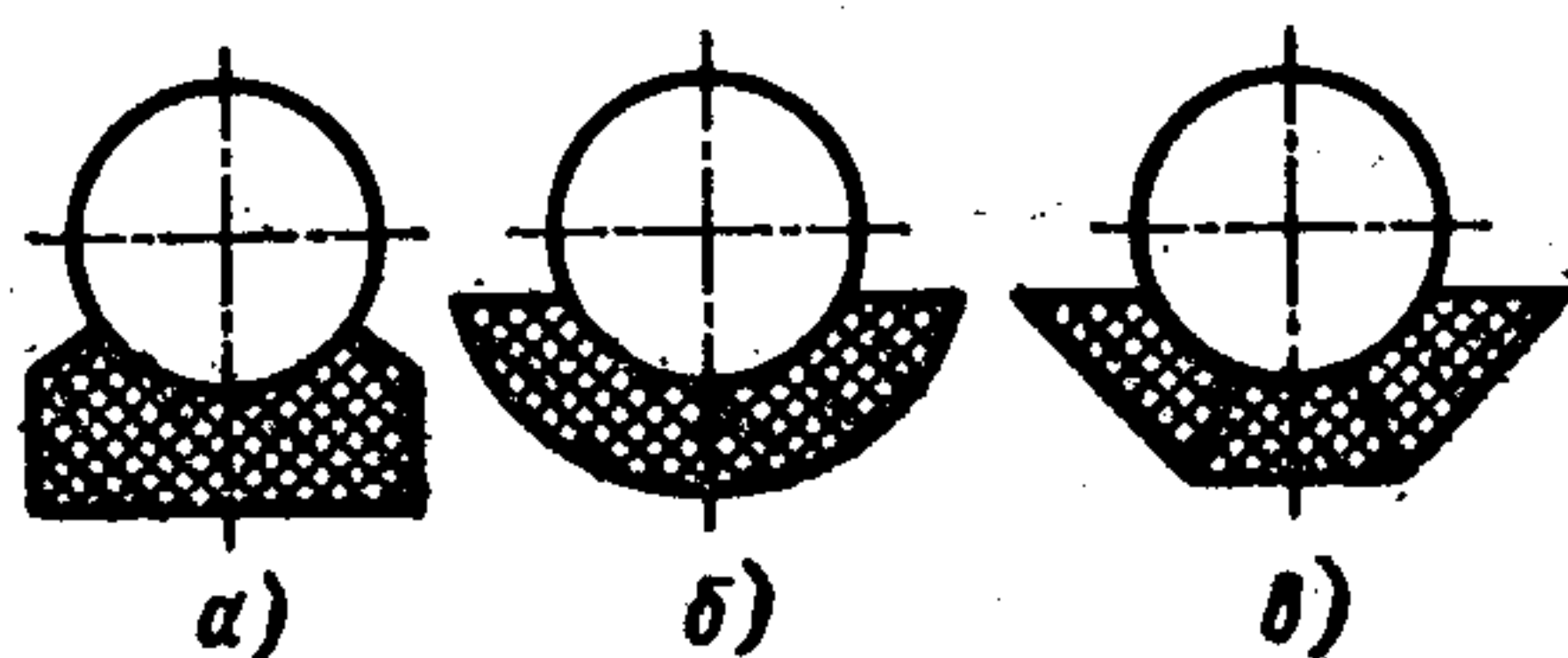


Рис. 11. Размеры вкладышей подшипников открытого типа

Рис. 12. Форма вкладышей подшипников открытого типа



в пределах 0,7—0,8, но не более 1,0 ($L/d > 1$ допускается только в отдельных случаях при самоустанавливающихся опорах).

Большое значение, для безотказной работы подшипников имеет правильный выбор угла обхвата α , образованного двумя радиусами, проведенными из центра вала к границам поверхности контактирования вала с вкладышем (см. рис. 11); рекомендуется выбирать его в пределах 100—120°. Увеличение α при больших нагрузках приводит к заземлению цапфы, ухудшает условия охлаждения поверхности шейки. При меньшем α несколько затруднена работа без боковых вкладышей (для средних валков листовых и универсальных станков угол обхвата принимают равным 50°). Относительный зазор для цельнопрессованных подшипников $\psi = 0,003 \div 0,006$, для наборных из плит $\psi = 0,002 \div 0,004$.

Тип пластика можно выбирать по табл. 2.

2. Рекомендации по выбору пластика для подшипников

Вид смазки	Работа	Давление, кгс/см ²	Скорость скольжения, м/с	Тип пластика
Вода	Спокойная Ударная	250—350 200—250	5—8 5	ДСП-Б, текстолит
Минеральная смазка	Спокойная	30—40 120—150	1,5 3—5	ДСП-Б или ДСП-В Текстолит

Смазка и охлаждение. Вследствие низкой теплопроводности пластика требуется отводить тепло, возникающее в подшипниках в результате трения. Отвод тепла и качество подводимой смазки в значительной степени влияют на максимальную допустимую нагрузку на подшипник. Подшипники из текстолита, ДСП, пластифицированной древесины смазывают в зависимости от условий работы водой, водной эмульсией, консистентными смазками и минеральными маслами; допустимая температура пластика $t \leq 80^\circ \text{C}$. При более высокой температуре начинается интенсивное разбухание а в дальнейшем и обугливание пластика. При среднем давлении ($p \leq 2 \div 3$ кгс/см² и $v \leq 0,5$ м/с) подшипники из ДСП, текстолита и пластифицированной древесины могут работать на самосмазке. При $p \leq 8 \div 10$ кгс/см² и $v \leq 1$ м/с рекомендуется консистентная смазка УС или УТ (солидол или консталин); вводить ее следует после снятия нагрузки при медленном вращении вала. Солидол и смазки на основе графита предохраняют шейки вала от коррозии (в случае, если основной смазкой служит вода) и уменьшают пусковой момент.

Графитная смазка оказывает положительное влияние на приработку и полировку подшипников и увеличивает их долговечность.

При $p > 10$ кгс/см² и $v > 1$ м/с подшипники из древесных и текстильных пластиков смазывают водой; если же она не может быть использована из-за ее коррозионных свойств (наличие кислот или солей), то применяют эмульсию, изготовленную из эмульсола следующего состава: сухое мыло 30%, минеральное масло 50%, жирные кислоты 5%, вода 15%. Подготовленный эмульсол смешивают с 60 частями воды. В отдельных случаях во избежание коррозии применяют 0,5%-ный раствор хромовокислого калия в воде.

Для ДСП ориентировочный максимальный удельный расход воды 0,15 л/мин на 1 см² поверхности подшипников при p до 150 кгс/см², для текстолитовых подшипников 0,35—0,75 л/мин на 1 см² в зависимости от условий работы при температуре воды $\sim 18^\circ \text{C}$.

Воду подают на подшипники в течение всего времени их работы, так как прекращение подачи ее может вызвать выход подшипников из строя. Для смазки подшипников прокатных валков воду подают под давлением 1—2 кгс/см². Температура воды $t \approx 14 \div 18^\circ \text{C}$; повышение температуры воды увеличивает износ пластика.

Воду можно подавать прикрепленными к станине, корпусу или подушке брызгальными трубками (диаметром 12,5—25 мм), по длине которых сделаны отверстия или прорези (рис. 13).

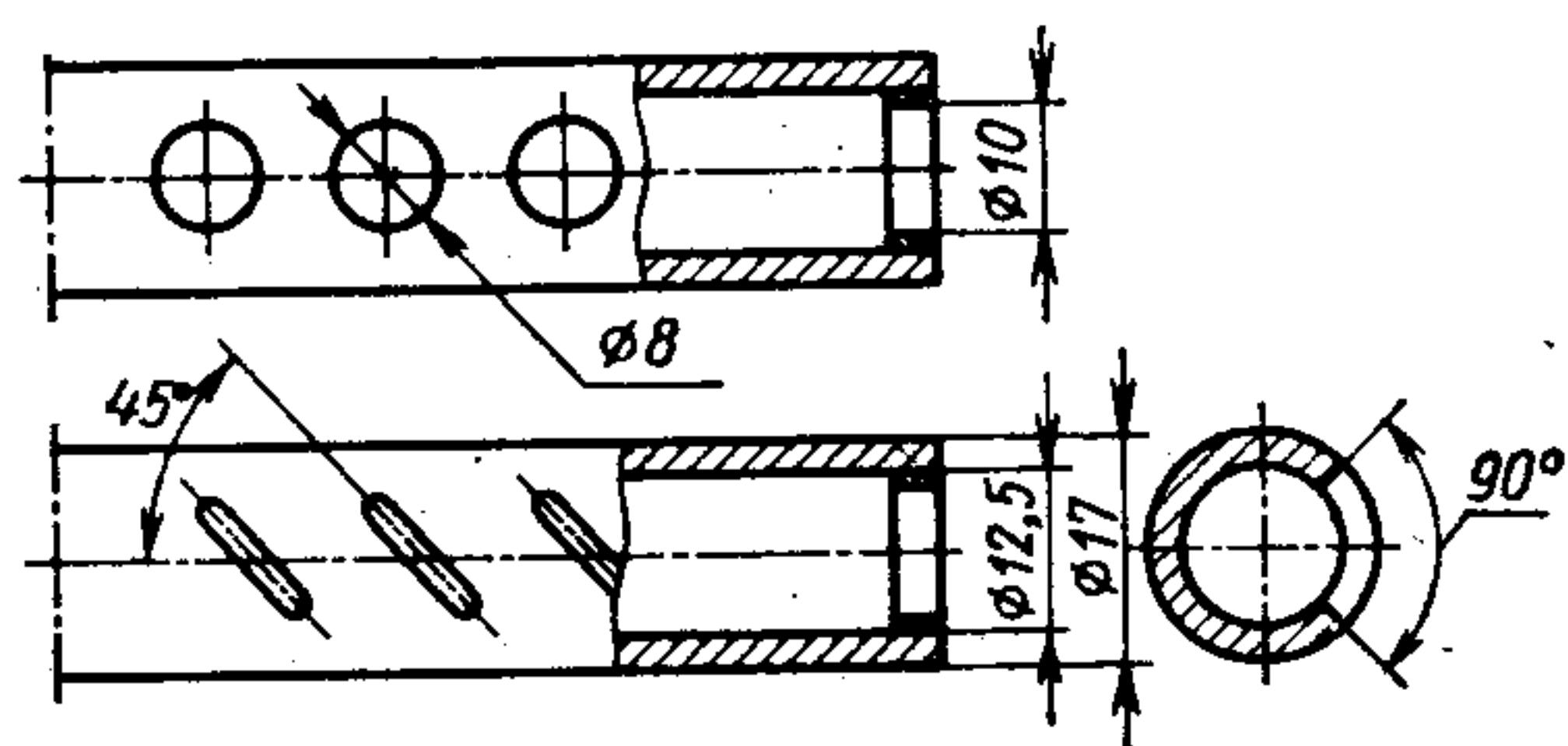


Рис. 13. Брызгальные трубки для подачи смазки в подшипник

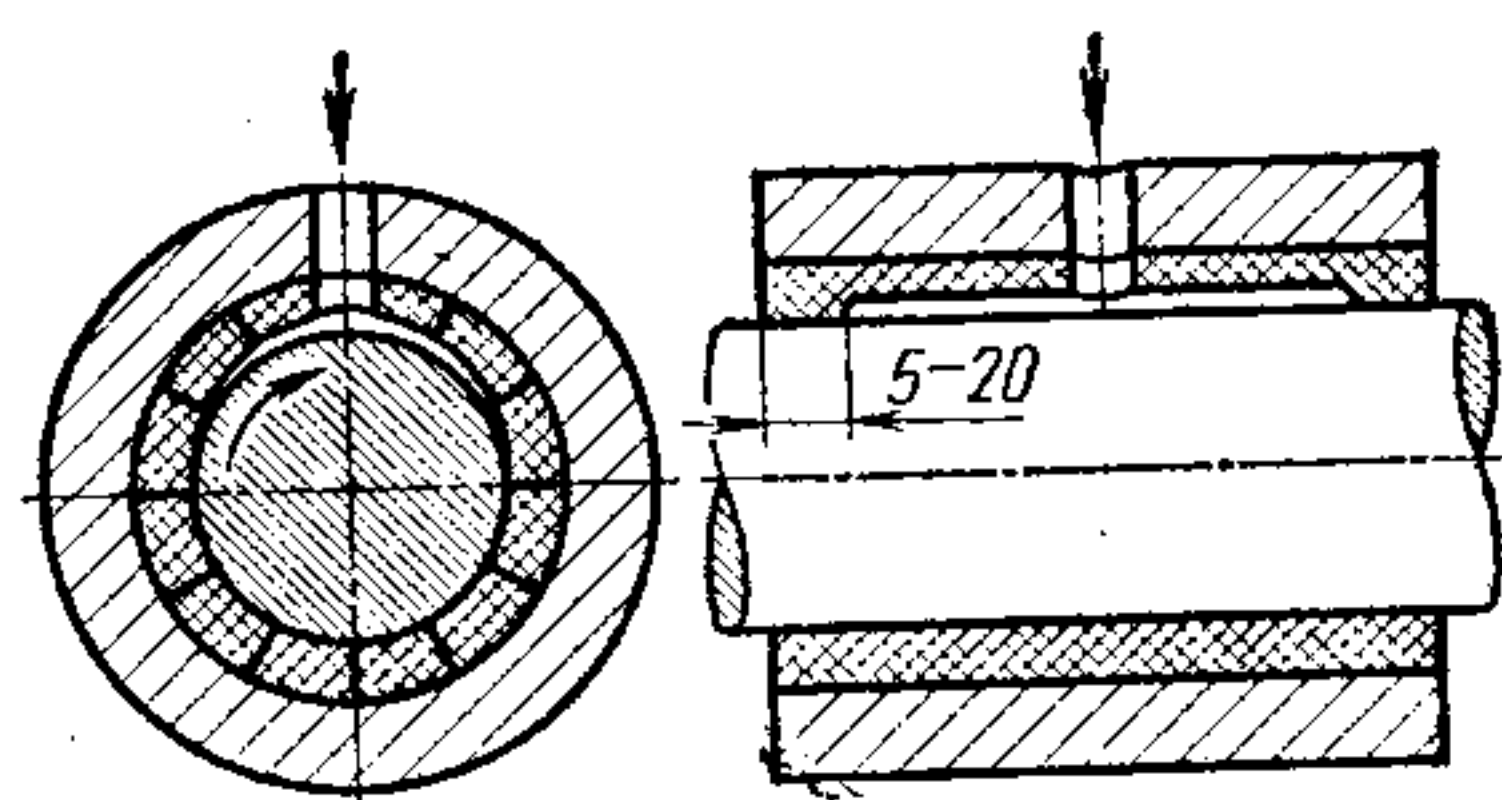


Рис. 14. Карман для распределения смазки в подшипнике

Отверстия брызгальных трубок должны иметь такое расположение, чтобы вода затягивалась в подшипник; вода должна быть очищена от механических примесей и свободна от кислот. Смазку подводят в ненагруженную часть вкладыша. Для правильного распределения смазки в подшипнике делают канавку по длине вкладыша или карманы (рис. 14). Расстояние от кромок подшипника до кармана принимают ~5—20 мм.

Для лучшего попадания смазки во вкладыш рекомендуется предусматривать скосы, которые начинаются у плоского разреза и кончатся примерно у места касания вала с вкладышем. Кромки вкладыша у плоскости разреза закругляют. Обратная пара. Вращающийся вал касается поверхности вкладыша всеми точками своей поверхности. Работа вкладыша носит иной характер: под действием нормального усилия вдоль внутренней образующей вкладыша получается небольшая опорная площадка, которая с течением времени изнашивается и увеличивается по своим размерам. Остальная часть поверхности вкладыша не касается вала и не изнашивается.

Требования, предъявляемые к материалу поверхности вкладыша, более высокие, чем к материалу поверхности вала, так как, помимо хороших антифрикционных свойств, он должен обеспечивать минимальный износ наиболее нагруженной части. С этой целью антифрикционный слой наносят на поверхность вала, а вкладыш подшипника делают из твердого материала; в результате поверхность вала изнашивается равномерно по всей окружности, сохраняя свою цилиндрическую форму, а вкладыш подшипника изнашивается незначительно. Такие пары называются обратными. В практике находят применение втулки с наружной облицовкой пластмассой, насаживаемые на вал; могут использоваться терморезистивные пластмассы (фенолформальдегидные смолы с наполнителями из текстильной крошки, эпоксидные смолы) и термопластичные пластмассы — полиамиды, полиформальдегид и др.

Применение обратной пары ограничивается сложностью технологического процесса нанесения на валы или на наружные поверхности металлических втулок, насаживаемых на вал, антифрикционного полимерного материала. Кроме того, напрессованные пластмассовые втулки при их небольшой толщине развальцовываются.

Тонкослойные и облицованные подшипники

Для уменьшения недостатков пластмасс (разбухание в воде, малая теплопроводность, значительная упругая деформация) применяют металлические вкладыши, покрытые слоем пластмассы из капрона, эпоксидных смол толщиной 0,2—0,5 мм или облицованные слоем терморезистивной пластмассы (текстильной или древесной крошки и др.) толщиной 2—6 мм. При изнашивании такой слой легко восстанавливают повторной облицовкой.

Допускаемые нагрузки и скорости скольжения для тонкослойных покрытий такие же, как и для монолитных подшипников из тех же материалов.

Толщину облицовки из текстильной или древесной крошки в зависимости от диаметра вала принимают:

Диаметр вала, мм . . .	До 100	Св. 100 до 200	Св. 200 до 300	Св. 300 до 400
Толщина покрытия, мм	2—3	4	5	6

Допускаемые давления для этих подшипников $[p] \leq 250$ кгс/см²; $v \leq 10$ м/с. Относительный зазор $\psi \approx 0,003 \div 0,005$.

Для закрепления облицовки на внутренней поверхности вкладыша делают продольные и поперечные канавки глубиной 3—4 мм, шириной 4—5 мм. Эти канавки могут иметь форму ласточкина хвоста (суженного сверху).

Облицовку реактопластами выполняют методом литьевого прессования на гидравлических прессах. Тонкослойные покрытия из термопластов наносят обычно методами вибровихревого или струйного напыления [1, 52].

Конструирование подшипников из термопластов

Подшипники из полиамидов допускают давления и скорости скольжения меньше, чем подшипники из текстолита и ДСП. Так, для капроновых подшипников при смазке минеральными маслами (индустриальное 12, индустриальное 20) $[p] = 100 \div 125$ кгс/см², $v_{\max} = 6$ м/с. При смазке водой грузоподъемность подшипников из полиамидов (П-68, АК-7 и др.) уменьшается.

При $p < 10$ кгс/см² и $v < 1$ м/с подшипники из полиамидов могут работать без смазки при температуре до 70 °С, а при повторно-кратковременном режиме при $t_{\max} = 110$ °С; при более высокой температуре целесообразно изготавливать подшипники из полиформальдегида.

Несущая способность подшипников из пластмасс на основе полиамидных смол и точность их работы зависят от холодной текучести или ползучести. После снятия нагрузки первоначальные размеры изделия частично восстанавливаются (если не был превышен предел текучести материала). Величина колебания деформации пропорциональна толщине стенки подшипника. При расчете подшипника предельно допустимую деформацию нужно определять с учетом ползучести. Для этого табличное значение модуля упругости E нужно умножить на $\frac{1}{1+k_e}$, где $k_e = \frac{\epsilon_n}{\epsilon_0}$ — коэффициент ползучести (здесь ϵ_0 — первоначальная относительная деформация; ϵ_n — приращение деформации, вызванной холодной текучестью; для большинства полиамидов при низких нагрузках $k_e = 0,5 \div 1,0$).

Коэффициент трения f пластмасс на основе полиамидных смол по стали колеблется в широких пределах: при работе без смазки $f = 0,12 \div 0,35$; при смазке водой $f = 0,08 \div 0,12$; при смазке маслом (полужидкостное трение) $f = 0,05 \div 0,12$.

Износ вала, работающего в паре с полиамидным подшипником, пренебрежимо мал.

Рациональная конструкция подшипника состоит из металлического корпуса с запрессованной тонкостенной полиамидной втулкой.

Втулку в корпусе фиксируют натягом, гарантирующим неподвижную посадку в течение всего срока эксплуатации.

Для обеспечения натяга наружный диаметр вкладыша

$$D = d_{об} + \delta,$$

где $d_{об}$ — внутренний диаметр обоймы вкладыша; δ — величина натяга по наружному диаметру вкладыша:

при D , мм	15—25	30—40	50—70	80—100	120—150
» δ , мм	0,25—0,3	0,4—0,5	0,65—0,85	1,0—1,3	1,5—2,0

Толщина стенки t :

при $d_{вала}$, мм	До 30	50—70	80—100	110—150
» t , мм	0,8—1,7	2,2—2,7	3,5—4,5	5,5—6,5

Внутренний диаметр вкладыша (до запрессовки в корпус)

$$d_{вкл} = d + \Delta,$$

где d — диаметр вала; Δ — величина зазора, требуемая по условиям эксплуатации (определяют расчетом или из соотношения $\Delta = d\psi$, где ψ — относительный зазор); ориентировочные значения $\psi = 0,002 \div 0,007$; больший зазор выбирают при повышенных температуре и влажности, при отсутствии или малом количестве смазки.

Рис. 15. Вариант фиксации полиамидной разрезной втулки в металлическом корпусе

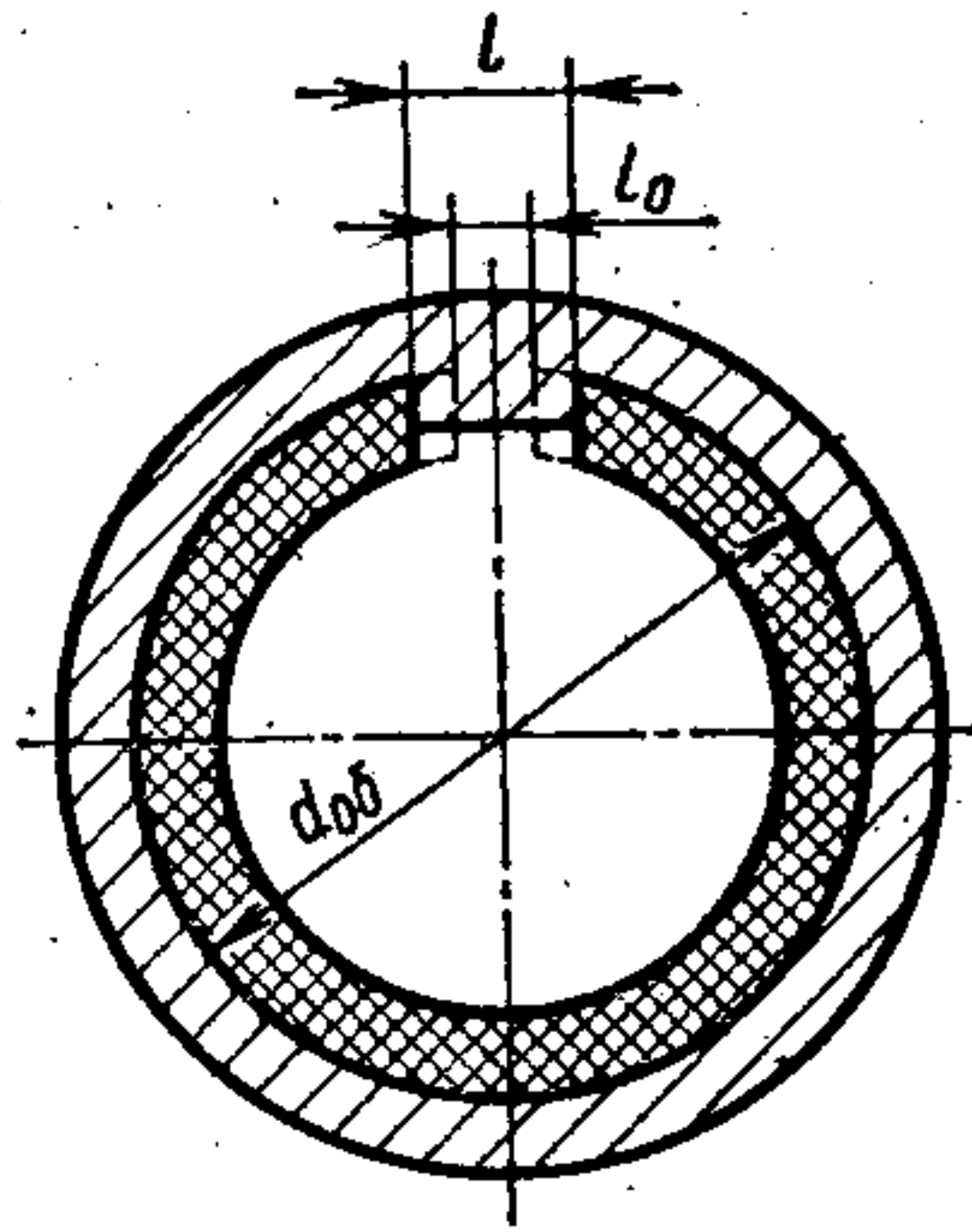
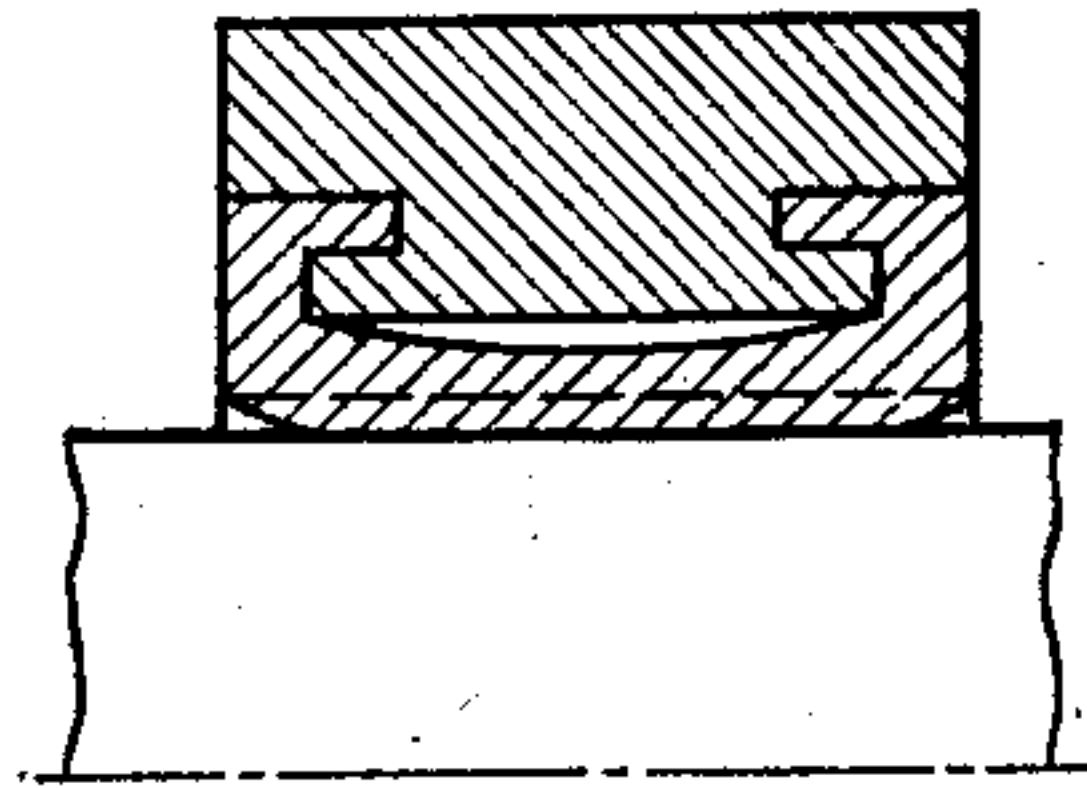


Рис. 16. Деформация литой втулки под нагрузкой



Эксплуатационный зазор при $t \approx 60^\circ\text{C}$ можно ориентировочно принять равным $0,5\% d$. Во избежание коробления втулок бурты на них надо делать маленькими. Если узел трения работает при повышенных температурах и значительных динамических нагрузках, рекомендуется установка фиксаторов или использование клеевого соединения.

Разрезные втулки компенсируют большое линейное расширение пластмасс.

Подшипник, в котором разрезная втулка фиксируется упором в выступ корпуса, показан на рис. 15. Первоначальная ширина разреза втулки l_0 меньше ширины

3. Значения $[pv]$, $\frac{\text{кгс} \cdot \text{м}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$, для полиамидных подшипников

Смазка	Толщина стенки, мм		
	0,3	1,0	3,0
Без смазки	1,8	0,7	0,3
Однократная густая	4,8	2,0	0,7
Периодическая густая	6,5	3,5	2,0

4. Ориентировочные значения $[p]$, $\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$, для подшипников из полиамидов при смазке маслами индустриальным 12 или индустриальным 20

Скорость скольжения, м/с	Смазка					
	Обильная (циркуляционная)		Средняя (не менее одной капли на 1 см^2 трущейся поверхности в 1 мин)		Ограниченная	
	Предварительно приработанные втулки	Неприработанные втулки	Приработанные втулки	Неприработанные втулки	Приработанные втулки	Неприработанные втулки
До 0,15	105—125	90—105	90—110	85—95	85—95	80—95
Св. 0,15 до 1	90—105	60—75	55—90	50—60	35—45	35—40
» 1 » 2	60—75	25—35	35—45	10—15	—	—
» 2 » 4	30—50	20—25	10—15	5—10	—	—
» 4 » 6	8—12	5	—	—	—	—

выступа l , поэтому втулка прижимается к корпусу с натягом. С одной стороны паза выполнены скосы для удобства запрессовки. Втулка может быть изготовлена из ленты или листа с длиной заготовки $L = \pi d_{об} - l_0$. В разрезных втулках изменение их размеров вследствие температурного расширения практически не влияет на величину эксплуатационного зазора. Паз может быть использован для подвода смазки. Втулка может отливаться непосредственно в корпусе по рабочему валу; на ее внутренней поверхности вследствие неравномерной величины усадки образуется выпуклость. Под нагрузкой втулка деформируется, обеспечивая необходимую геометрию (рис. 16).

Допускаемые ориентировочные значения $[pv]$ приведены в табл. 3.

Ориентировочные величины допускаемых нагрузок и скоростей для радиальных подшипников приведены в табл. 4; для упорных подшипников значения $[p]$ должны быть уменьшены на 20—50%.

Подшипники, работающие при недостаточной смазке или без смазки

Подшипники из фторопласта и металлофторопласта. В опорных узлах, смазка которых не может быть гарантирована или не допустима по техническим условиям (при высоких и низких температурах, в некоторых агрессивных средах или там, где смазка может вызвать порчу продукции), применяют подшипники из композиционных материалов на основе фторопласта-4.

Преимущества фторопласта как материала для подшипников: низкий коэффициент трения (0,05—0,1) при высоких нагрузках и малых скоростях скольжения (при высоких скоростях коэффициент трения фторопласта по металлу может повыситься до 0,2—0,3); широкий диапазон рабочих температур (от -200 до $+280^\circ\text{C}$); малая набухаемость; высокая химическая стойкость и др. Однако он не способен воспринимать высокие нагрузки ($[p] \leq 10 \div 20 \text{ кгс/см}^2$), характеризуется относительно большим температурным расширением и малой теплопроводностью.

Для повышения нагрузочной способности подшипников применяют фторопласт с различными наполнителями (см. с. 131—132);

вводят фторопласт в тонкий пористый слой биметалла с основой из более прочного конструкционного материала;

заполняют фторопластом металлический пористый каркас, получаемый спеканием металлических порошков или сеток.

Металлофторопластовые подшипники получают из ленты малоуглеродистой стали, на которую методом порошковой металлургии наносят слой (0,3—0,4 мм) сферических частиц оловянистой или другой бронзы (рис. 17). Поры между частицами заполнены фторопластом с наполнителем (двусернистым молибденом, свинцом или др.).

Пленка из такого материала толщиной несколько сотых миллиметра покрывает также поверхность пористой бронзы. Из лент штампуют свертные втулки, упорные кольца и другие детали узлов трения.

Испытания металлофторопластовых подшипников диаметром 30 мм позволили установить зависимость их долговечности τ от величины pv . Так,

$$\text{при } pv = 4 \frac{\text{кгс} \cdot \text{м}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}} \quad \tau = 100 \div 800 \text{ ч};$$

$$\text{при } pv = 3 \frac{\text{кгс} \cdot \text{м}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}} \quad \tau = 200 \div 2000 \text{ ч}; \text{ при}$$

$$pv = 2 \frac{\text{кгс} \cdot \text{м}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}} \quad \tau = 400 \div 4000 \text{ ч.}$$

Меньшие значения долговечности относятся к режимам с наибольшими скоростями скольжения, когда из-за повышенного тепловыделения температура рабочих поверхностей приближается к 200°C .

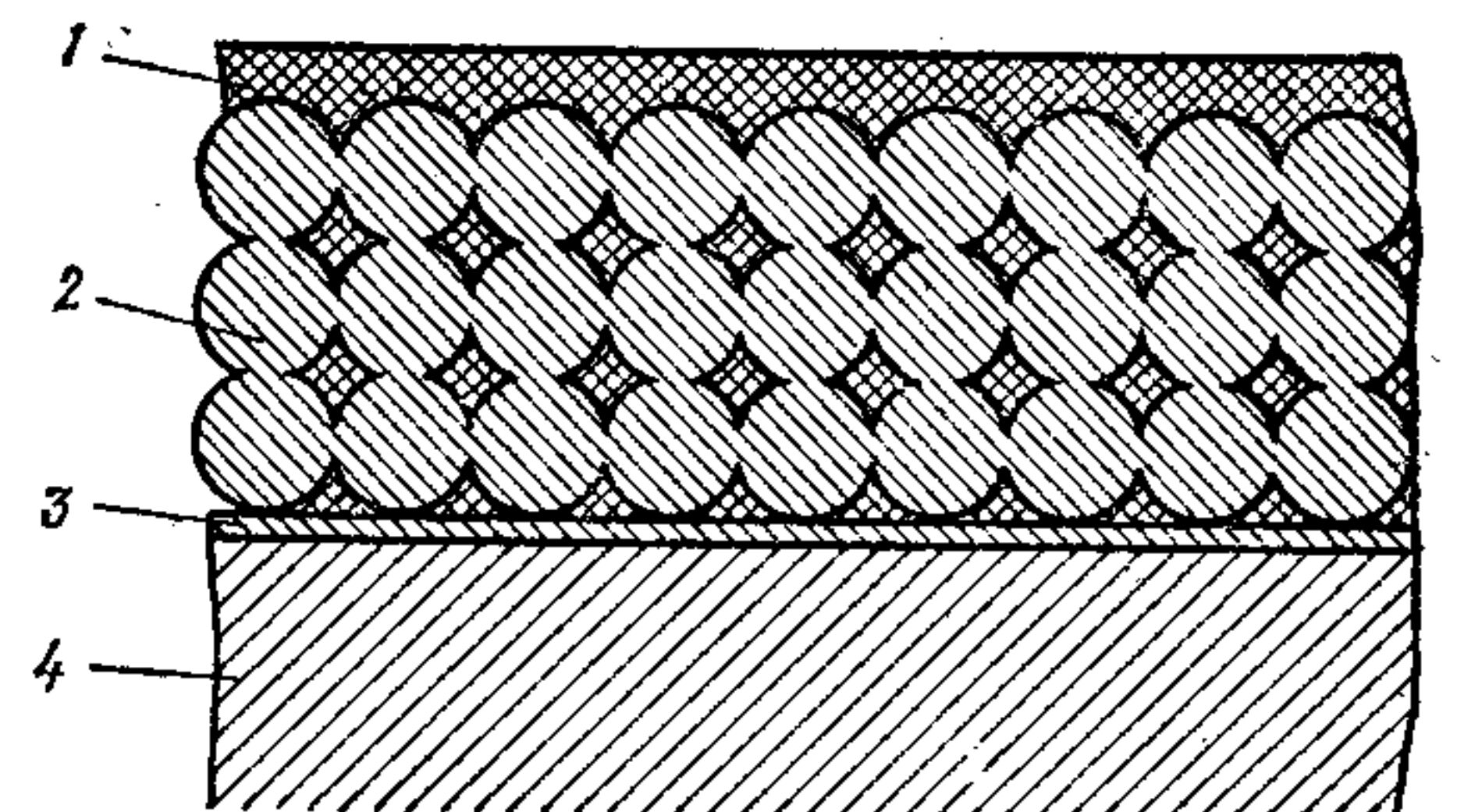


Рис. 17. Схема металлофторопластового материала:
1 — фторопласт; 2 — бронза; 3 — медь; 4 — сталь

Рекомендуемая шероховатость вала $Ra = 0,32 \div 1,25$ мкм. Готовые втулки запрессовывают в корпус по прессовой посадке. Возникающие напряжения рассчитывают по формуле Ляме.

Металлофторопластовая лента выпускается толщиной 1,1; 1,6 и 2,6 мм (размеры стальной основы соответственно 0,75; 1,3 и 2,3 мм) и шириной 75—100 мм. Длина поставляемых полос 500—2000 мм.

В табл. 5 даны размеры выпускаемых втулок, а в табл. 6 — рекомендуемые зазоры в подшипниках.

5. Основные размеры выпускаемых втулок, мм

Внутренний диаметр	Наружный диаметр	Длина втулки	Внутренний диаметр	Наружный диаметр	Длина втулки
10	13	10; 12; 16	25	28	16; 20; 25; 32; 40
12	15	10; 12; 16; 20	30	33	20; 25; 32; 40; 50
15	18	10; 12; 16; 20; 25	32	37	20; 25; 32; 40; 50
16	19	10; 12; 16; 20; 25	36	41	25; 32; 40; 50
18	21	12; 16; 20; 25; 32	40	45	32; 40; 50; 60
20	23	16; 20; 25; 32; 40	55	60	32; 40; 50; 60; 65; 70
22	25	16; 20; 25; 32; 40			

Примечание. Величина наружных и внутренних фасок $0,4 \times 45^\circ$.

6. Рекомендуемые зазоры в металлофторопластовых подшипниках, работающих без смазки

Внутренний диаметр втулки, мм	Расчетный диаметральный зазор, мкм	Гарантированный зазор по посадке		
		минимальный	максимальный	средний
10—18	30	30	100	65
18—30	35	35	125	80
30—40	40	40	140	90
40—50	45	45	145	95

7. Ориентировочные значения $[pv]$, $\frac{\text{кгс} \cdot \text{м}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$, для металлофторопластовых подшипников

Долговечность, ч	Тип подшипника		Направляющие
	цилиндрический	упорный	
Мягкий незакаленный вал: 1000 10 000	5,6 4,25	8,3 4,25	4,25 3,1
	Твердый вал ($HRC > 50$): 1000 10 000	8,8 6,7	10,6 5,3

Для всех типов металлофторопластовых подшипников при малой скорости ($< 0,01$ м/с) и нормальной температуре ($t < 40^\circ\text{C}$) $[pv] = 14$ кгс/см². При нормальной скорости и высокой температуре (t до 200°C) $[pv] = 1,4$ кгс/см².

Ориентировочные значения $[pv]$ приведены в табл. 7.

Сопряжение с валом может быть принято по посадке $\frac{A_3}{D}$, а при значительных расстояниях между опорами — по $\frac{A_3}{X}$ и $\frac{A_3}{III}$. Шейки вала шлифуются до параметра шероховатости $Ra = 0,32 \div 0,63$ мкм и закаляются. При конструировании подшипникового узла необходимо обеспечивать теплоотвод, так как теплопроводность антифрикционной ленты в 1,5 раза ниже теплопроводности плотной бронзы.

Антегмит АТМ-1 — антифрикционный, химически стойкий мягкий самосмазывающийся теплопроводный материал, предназначенный для подшипников при небольших динамических нагрузках. Ввиду хрупкости графитопласта его запрессовывают в металлический корпус (трубу или втулку) и затем растачивают.

При работе с водой $[p] \leq 110$ кгс/см²; $v \leq 1$ м/с. При смазке маслом $[p] \leq 50$ кгс/см². Без смазки подшипники из АТМ-1 работают нормально с установившимся тепловым режимом до $p = 10$ кгс/см² при $v \leq 1$ м/с. С дальнейшим повышением давления сопряженные детали перегреваются, повышается износ, но заедания не происходит. Коэффициент трения при работе без смазки 0,06—0,12; относительный зазор $\psi = 0,0025 \div 0,003$.

Для температур до 160°C (при более высоких температурах пластографит не применяют) надежное крепление графитопласта в корпусе обеспечивают прессовой посадкой.

Графитопласт АТМ-2 — антифрикционный высоконаполненный литевой материал на основе поликапроамида, кокса и графита. Высокая прочность на сжатие в сочетании с высоким модулем упругости обеспечивает повышенную грузоподъемность этого материала и стойкость к ползучести. По сравнению с графитопластом АТМ-1 материал АТМ-2 обладает повышенной прочностью при изгибе и сжатии и значительно большей ударной вязкостью, но уступает ему по теплопроводности и теплоустойчивости. Хорошо перерабатывается на типовых литевых машинах.

Свойства графитопластов

	АТМ-1	АТМ-2
Плотность, г/см ³	1,8—1,85	1,38—1,4
Пористость, %, не более	13	—
Разрушающее напряжение, кгс/см ² :		
при растяжении	180—220	500—520
при статическом изгибе	250—500	1000—1270
при сжатии	1000—1200	1100—1280
Модуль упругости, кгс/см ² :		
при изгибе	—	7·10 ⁴
при сжатии	—	9·10 ⁴
Ударная вязкость, кгс·см/см ²	1,2—3	10—20
Относительное удлинение при разрыве, %	—	1,8—2
Твердость при заданной нагрузке, кгс/см ²	—	21—25
Водопоглощение, %:		
за 24 ч	—	0,25
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·°C)	25—35	0,7
Коэффициент температуропроводности, м ² /ч	—	1,0—10
Коэффициент линейного расширения, 1/°C	0,85·10 ⁻⁵	—
Коэффициент сухого трения	0,12	0,02—0,2
Температура плавления, °C	—	215—218
Усадка, %	—	0,9—1,1
Колебание усадки, %	—	0,1—0,2
Морозостойкость, °C	—	—60
Теплоустойчивость по Мартенсу, °C	—	66

Самосмазывающиеся материалы аман, тесан, эстеран (табл. 8) получены на основе термостойких полимеров и наполнителей и предназначены для работы в узлах сухого трения скольжения и качения. Эти материалы теплоустойчивы, морозостойки, виброустойчивы, износостойки, устойчиво работают в вакууме.

Хорошая обрабатываемость позволяет получать из них изделия сложной конфигурации. Аман приклеивают к металлам клеями эпоксидными, БФ-2 и др.

Самосмазывающиеся пластики аман, тесан, эстеран могут быть использованы в узлах трения скольжения в условиях:

недопустимости или нежелательности применения жидких смазок; недоступности поверхностей трения для периодического подвода к ним смазок; однократности срабатывания при минимальном коэффициенте трения после длительного неподвижного

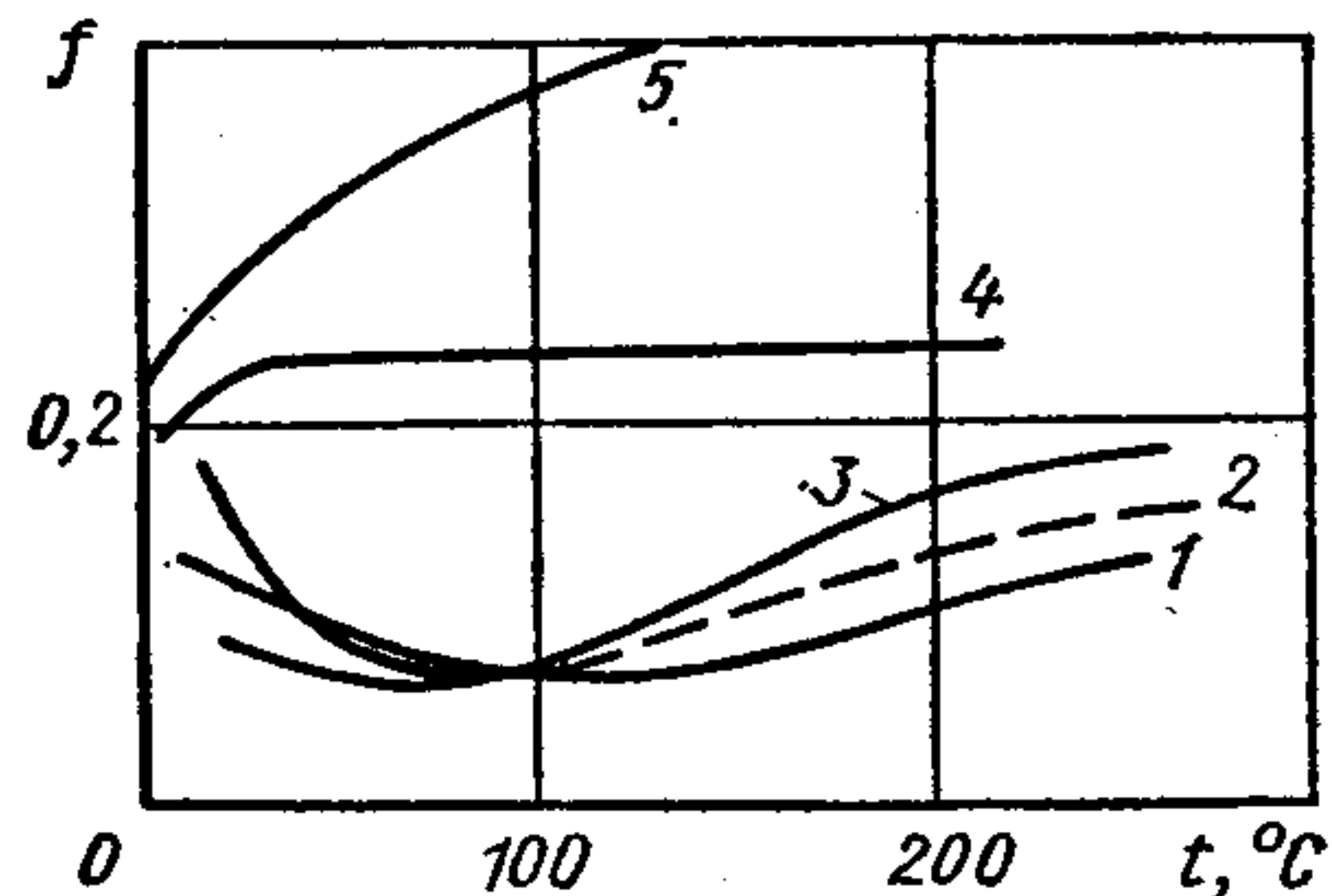
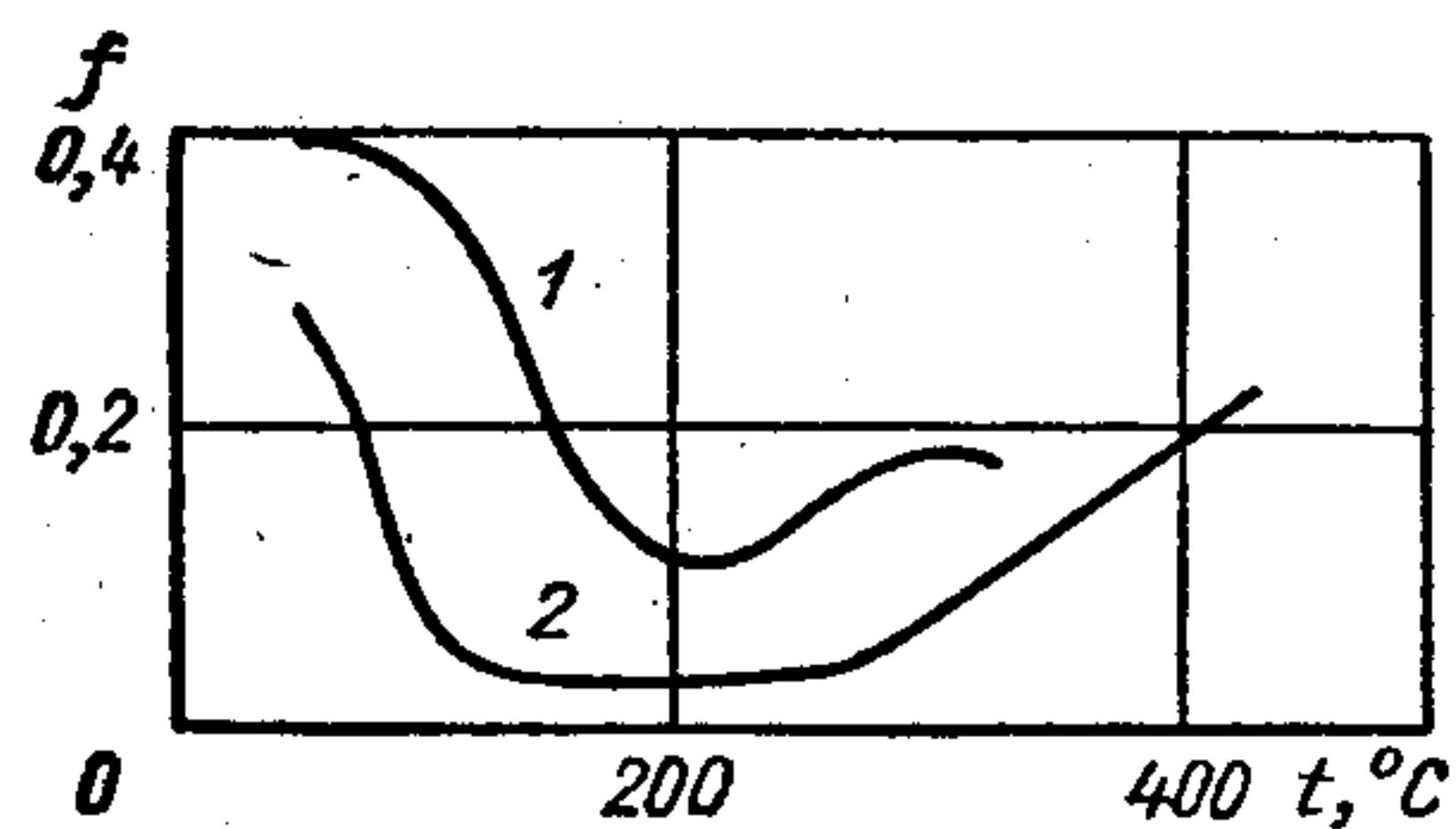


Рис. 18. Зависимость коэффициента трения от температуры:

а — материала АФ-3АМ; 1 — на воздухе; 2 — в вакууме 10^5 мм рт. ст. (торцовое трение скольжения; $p = 2$ кгс/см²; $v = 1$ м/с); б — материалов: 1 — тесан; 2 — эстеран; 3 — аман; 4 — фторопласт-4; 5 — текстолит с антифрикционными наполнителями (торцовое трение скольжения; $p = 2$ кгс/см²; $v = 2$ м/с; контртело — сталь, 2Х13)

контакта; воздействия ионизирующих излучений, вызывающего деструкцию масел; высокого вакуума, когда утрачивается смазывающая способность обычных смазок; высоких температур, вызывающих окисление и разложение обычных смазок (до 300 °С), а кратковременно — до 450 °С, а также низких температур (до -150 °С).

8. Основные физико-механические свойства самосмазывающихся пластиков

Параметры	АФ-3АМ	Аман-24	Аман-4	Тесан-6	Тесан-30	Эстеран-1	Эстеран-21
Плотность, г/см ³	2,1	3,2	3,2	3,1	3,1	3,6	3,7
Ударная вязкость, кгс·см/см ²	—	2,0	—	2,0	2,0	1,5	3,0
НВ	27—30	27—29	27—29	28—30	28—30	25	20—23
Коэффициент трения	0,12	0,08	Не выше 0,1	0,06	0,12	0,05	0,08
Разрушающее напряжение при сжатии, кгс/см ²	340	900	900	1000	1000	800	800
Максимально допустимая рабочая температура, °С	—	250	—	300	300	220	200

В качестве материала контртела рекомендуются твердые стали с HRC 30—40, с поверхностями, обработанными до параметра шероховатости $Ra = 0,16 \div 0,63$ мкм. Самосмазывающийся материал АФ-3АМ (табл. 8) изготавливают на основе фенолформальдегидной смолы. Наполнители — асбест и дисульфид молибдена. На рис. 18 показана фрикционная теплостойкость ряда самосмазывающихся материалов.

Графитопласты АФГ-80ВС, АФГМ представляют собой композиции фторопласта, наполненного искусственным графитом; последние два материала содержат дополнительно дисульфид молибдена.

В табл. 9 приведены характеристики некоторых марок графитопластов. Марка 7В-2А рекомендуется для изготовления вкладышей радиальных и упорных подшипников скольжения, работающих в потоке жидкости при высоких скорости и давлении. При работе в воде в паре со сталью 12Х18Н10Т этот материал имеет коэффициент трения: при нагрузке 5 кгс/см² — 0,004 и при 15 кгс/см² — 0,0025.

9. Физико-механические характеристики графитопластовых антифрикционных материалов

Параметры	7В-2А		АФГМ		АФГ-80ВС	
	ЦМТУ № 01-51-69	Статистические	ЦМТУ № 01-45-69	Статистические	ЦМТУ № 01-46-69	Статистические
Плотность, г/см ³	1,9—2,0	1,9—2,0	$\geq 2,1$	2,1—2,3	$\geq 2,0$	2,05—2,15
Водопоглощение, %	$\leq 0,1$	0—0,1	$\leq 0,02$	0—0,02	$\leq 0,05$	0—0,05
Разрушающее напряжение, кгс/см ² : при сжатии при изгибе	≥ 350 —	350—380 200—300	≥ 80 —	150—160 100—150	≥ 100 —	110—190 —
Твердость при заданной нагрузке, кгс/мм ²	8—14	8,5—12,9	≥ 6	6,7—14,3	≥ 6	6,0—9,5
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·°С), при 20°С	$\geq 7,0$	7—15	—	1,0—1,5	—	0,5—1,0
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^{-5}$, 1/°С (20—200°С)	$< 2,5$	1,5—2,5	—	4,0—7,0	—	8,0—13,0
Модуль упругости при сжатии $E \cdot 10^{-5}$, кгс/см ²	—	0,09—0,12	—	0,07—0,10	—	0,06—0,09
Допустимая рабочая температура, °С	—	250	—	180	—	200
Гибкость	—	Плохая	—	Хорошая	—	Очень хорошая
Допустимое давление, кгс/см ²	10—5					
Предельно допустимая линейная скорость, м/с	До 5 (для материала 7В-2А в условиях гидродинамического трения до 30 м/с)					
Коэффициент трения при работе на воздухе	0,08—0,1					
Износ за 100 ч работы, мкм	20—50					

Материалы 7В-2А, АФГМ и АФГ-80ВС применяют в паре с чугунами, сталями, а также при работе по хромовому покрытию.

Антифрикционные характеристики материалов значительно изменяются в зависимости от условий эксплуатации: давления, скорости скольжения, температуры, состава рабочей среды и материала контртела. Поэтому точная величина износа и коэффициент трения могут быть определены только опытным путем.

Самосмазывающийся материал ПВФК представляет собой высоконаполненный пресс-порошок на основе поливинилфурфурала, из которого путем прессования и формования получают изделия, обладающие высокими прочностными, теплофизическими и антифрикционными свойствами. В жидком виде материал может быть использован для нанесения антифрикционных покрытий.

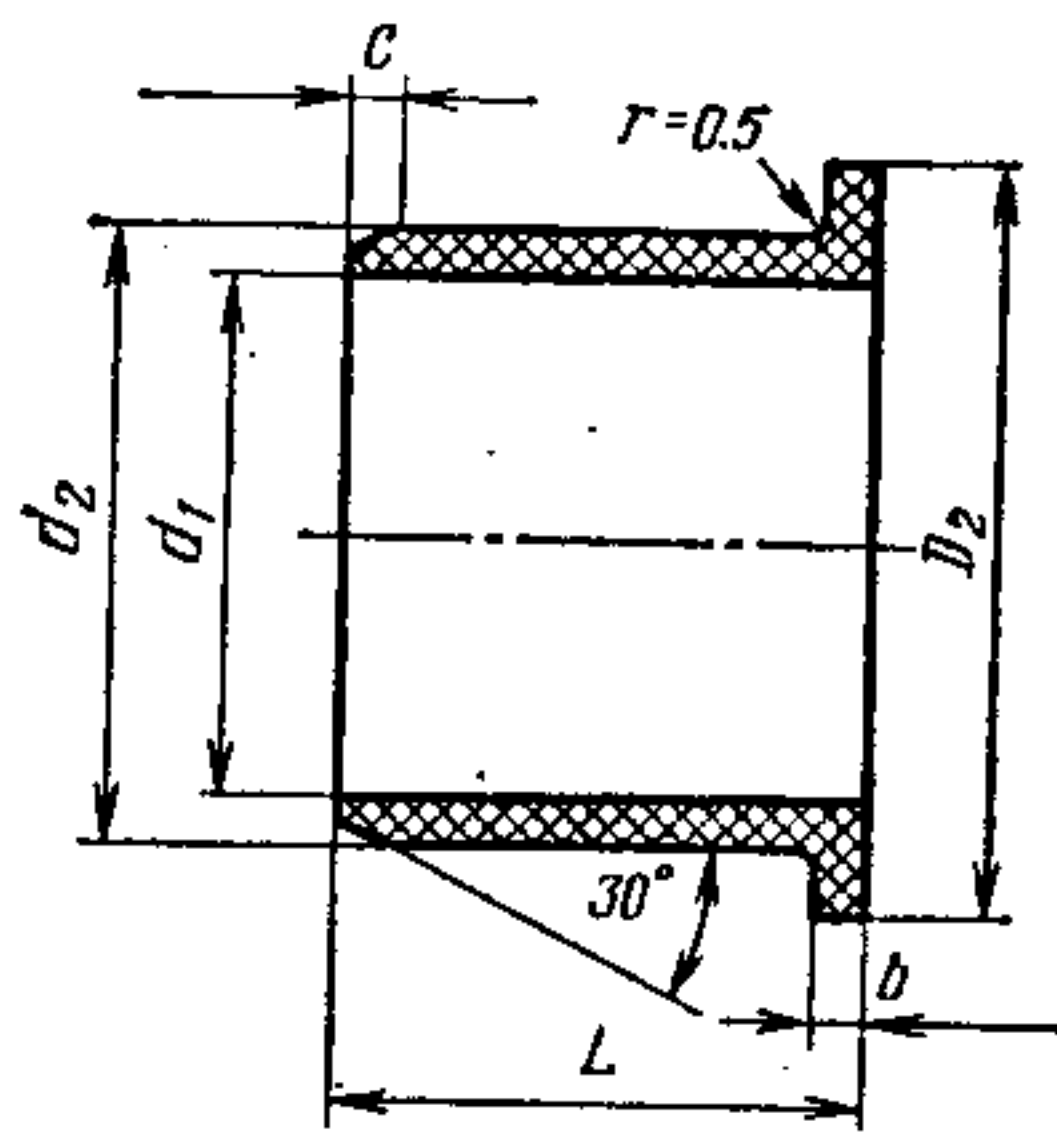
Получают ПВФК методом горячего прессования при температуре 160—240 °С и давлении прессования 1400—1800 кгс/см².

Основные физико-механические свойства ПВФК

Плотность, г/см ³	2,4—2,8
Твердость при заданной нагрузке, кгс/мм ²	20—22
Разрушающее напряжение при сжатии, кгс/см ²	1000—1200
Коэффициент линейного расширения, 1/°С	$1,85 \cdot 10^{-5}$
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·°С)	0,9
Допускаемая температура, °С	250

Материал ПВФК устойчив ко многим органическим растворителям, обеспечивает работоспособность узлов трения без смазки при температурах до 250 °С, $v \leq 25$ м/с (при малых нагрузках).

10. Основные размеры втулок из термопластов, мм [34]



Номинальный диаметр вала	d_1				d_2			L	D_2	b	c
	СФД		АТМ-2		Номинальный	Предельное отклонение					
	Номинальный	Предельное отклонение	Номинальный	Предельное отклонение		СФД	АТМ-2				
10 12	9,60 11,60	± 0,05	10,27 12,27	± 0,02	11,20 13,20	± 0,05	± 0,02	10 12	16 18	1,0	1,0
14 15 16	13,70 14,70 15,70		14,38 15,38 16,38		15,30 17,30 18,30			14 20 22			
18	17,80		18,50		20,40			25			
20 22	19,80 21,80	± 0,07	20,52 22,52	± 0,03	22,40 24,40	± 0,07	± 0,03	18 28	28 30	1,5	1,5
25 28	24,80 28,0		25,63 28,73		28,50 31,60			22 32 35			
30	30,0		30,73		33,60			28 40			
32 35	32,0 35,0	± 0,10	32,75 35,86	± 0,04	35,60 38,70	± 0,10	± 0,04	28 45	45	2,5	2,5
40 45 50	40,0 45,0 50,0		40,95 45,95 50,95		43,80 48,80 53,80			35 40 45	50 55 60		

11. Значения $[pv]$, кгс·м/(см²·с), для подшипников из материалов СФД и АТМ-2

Рабочий диаметр подшипника, мм	При периодической смазке		При разовой смазке	Рабочий диаметр подшипника, мм	При периодической смазке		При разовой смазке
	АТМ-2	СФД	АТМ-2		АТМ-2	СФД	АТМ-2
15	24	30	18	30	12	15	10
	32	48	24		18	24	14
20	18	20	14	40	10	14	8
	25	32	20		14	20	12
25	15	18	12				
	22	28	18				

Примечание. В числителе указана величина $[pv]$ подшипника с зазором, соответствующим посадке L/X , а в знаменателе — с зазором, соответствующим посадке $Ш/X_3$.

Конструкция втулки из материалов СФД и АТМ-2 и основные размеры приведены в табл. 10. Отверстие стальной обоймы выполняется по третьему классу точности A_3 ; шероховатость его поверхности в пределах $Ra = 1,25 \div 5$ мкм (по ГОСТ 2789—73). В подшипнике из АТМ-2 выполнять смазочные отверстия и канавки нецелесообразно. Значения $[pv]$ для подшипников даны в табл. 11.

Необходимый натяг между корпусом и втулкой из полиамидов и полиформальдегида около 5 мкм/мм, из фторопласта — 7 мкм/мм, из терморепактивных пластмасс — 3 мкм/мм.

Композиционные самосмазывающиеся материалы на основе полимеров

Как правило, пластмассы обладают относительно невысокой прочностью (примерно в 10 раз меньше, чем стали), их модуль упругости и теплопроводность примерно в 100 раз меньше, чем у стали, а коэффициент линейного расширения примерно в 10 раз выше. Эти свойства могут быть улучшены правильным подбором наполнителей и армирующих волокон, указанных в табл. 12.

12. Композиционные материалы на основе пластмасс

Термопласты	Терморепактивные смолы	Наполнители и армирующие волокна		
		для повышения механических свойств	для снижения трения	для повышения теплофизических свойств
Полиэтилен	Фенопласты	Асбест	Графит	Бронза
Полиформальдегид	Полиэфир	Стекловолокна	Дисульфид молибдена	Серебро
Полиамиды	Эпоксидные смолы	Угольные, текстильные волокна	Фторопласт (порошок и волокна)	Уголь или графит
	Кремнийорганические смолы	Металлы и их окиси, слюда	—	—
Фторопласт	—	—	Графит, дисульфид молибдена	—

Наполнители в виде твердых смазок, частицы которых могут переноситься на поверхность контртела, способствуют образованию смазочной пленки и снижению трения.

При трении полимерных композиций с углеродными наполнителями образующиеся пленки чувствительны к попадающим на поверхности трения жидкостям. При попадании воды в случае трения нержавеющей стали по эпоксидной смоле, наполненной угольными волокнами, скорость изнашивания может возрастать в десятки и даже сотни раз, что объясняется оголением поверхности металла.

В ряде случаев на антифрикционные свойства композиции влияет химическая природа полимера. Коэффициент трения и износостойкость мало меняются в этих случаях и тогда, когда вариацией количества наполнителя удается существенно изменить численные значения механических свойств композиции. Так, увеличение количества дисперсного наполнителя фторопласта с 15 до 30% существенно меняет механические показатели композиции, но относительно мало влияет на ее износостойкость.

Следует отметить разную эффективность применения стекловолокна в качестве наполнителя. Так, при наполнении полиформальдегида стекловолокном повышается скорость изнашивания; наполнение стекловолокном совместно с фторопластом полиамида-68 и поликарбоната снижает коэффициент трения и скорость изнашивания этих материалов.

Добавка 2—5% дисульфида молибдена к полиамиду незначительно влияет на коэффициент трения, однако повышает износостойкость.

В табл. 13 приведены зависимости износа фторопласта-4 от вида и процентного содержания наполнителя, а в табл. 14 — изменение физико-механических свойств от рода и процентного содержания наполнителя.

13. Влияние количества наполнителя на износ

Наполнители фторопласта	Износ композиций, мг, при количестве наполнителя, %			Наполнители фторопласта	Износ композиций, мг, при количестве наполнителя, %		
	15	25	35		15	25	35
Сернокислый барий	28,0	—	24,2	Графит коллоидный	15,0	14,2	—
Тальк	21,0	20,6	20,2	Кокс молотый	17,0	14,2	13,8
Сажа	17,0	17,0	—	Дисульфид молибдена	16,6	14,1	13,4
Оксид алюминия безводная	18,1	—	17,0	Нитрид бора	14,0	13,0	12,1

14. Физико-механические свойства полимеров в зависимости от рода и количества наполнителей

Полимеры и наполнители	Плотность, г/см ³	Влагопоглощение за 24 ч, %	Коэффициент трения по стали
Поликарбонат:			
22% фторопласта-4	1,33	0,14	0,15
15% фторопласта-4, 30% стекловолокна	1,55	0,06	0,2
Полиформальдегид:			
22% фторопласта-4	1,5	0,25	0,15
15% фторопласта-4, 30% стекловолокна	1,75	0,2	0,28
Полиамид:			
44% фторопласта-4	1,43	0,55	0,18
15% фторопласта-4, 30% стекловолокна	1,49	0,5	0,26
15% графита	1,51	0,32	0,1—0,3
15% MoS ₂	1,59	0,32	0,1—0,3

Самосмазывающиеся стеклонаполненные термопласты

Наполнение термопластов стекловолокном способствует повышению теплостойкости и прочности, снижению коэффициента линейного расширения и усадки отливок.

Модификация термопластов фторопластом-4 повышает износостойкость и грузоподъемность, снижает коэффициент трения. Наполнение стекловолокном (~30% по массе), модифицированным 15% политетрафторэтилена (ПТФЭ), повышает сопротивляемость ползучести и модуль упругости, однако снижает износостойкость и грузоподъемность подшипников при низких скоростях скольжения. Влияние содержания стекловолокна на значения $[pv]$ для различных термопластов показано в табл. 15.

При работе подшипников без смазки в коррозионно-активной среде на основе комбинированного материала следует наносить слой защитного никелевого или хромоникелевого гальванопокрытия толщиной примерно 15 мкм. Диаметр отверстия под подшипник должен быть соответственно увеличен. Цапфу изготавливают из нержавеющей стали и сталей с твердым хромовым покрытием толщиной не менее 0,015 мм или электролитически оксидированного алюминия толщиной не менее 0,025 мм. Использование этих материалов позволяет удвоить (по сравнению с обычной сталью) срок службы вращающихся частей. Допустимая шероховатость поверх-

15. Значения $[pv]$ для различных термопластов в зависимости от содержания стекловолокна и ПТФЭ

Основа композиции	Стекловолокно, % по массе	ПТФЭ, % по массе	$[pv]$, $\frac{\text{кгс}\cdot\text{м}}{\text{см}^2\cdot\text{с}}$, при v , м/с		
			0,05	0,5	5
Поликарбонат	—	—	0,3	0,2	—
			9,7	10,7	4,6
Сополимер стирола с акрилонитрилом	30	15	6,2	3,5	3,5
Полиформальдегид	—	20	1,4	1,2	—
			> 14,2	4,4	2,0
Полипропилен	—	—	4,4	4,3	2,8
			5,0	—	2,7
Полиуретан	30	15	6,2	5,5	2,0
Найлон 6/6	—	—	—	7,1	4,6
			1,1	0,9	—

ности $Ra = 1,25 \div 2,5$ мкм. При высоких температурах диаметр цапфы уменьшается на 0,008 мм на каждые 100 °С выше комнатной температуры.

Величина хода продольных направляющих, работающих без смазки, не должна превышать ширину подшипника более чем в 2,5 раза.

Толщина подложки, мм	0,8	1,2	1,6	2,0
Толщина антифрикционного слоя, мм	0,2	0,3	0,4	0,8

Твердые смазочные покрытия с полимерными пленкообразователями для узлов трения снижают коэффициент трения и износ деталей узлов трения. Их наносят на металлическую поверхность в виде суспензии, состоящей из антифрикционного компонента (дисульфид молибдена, графит, дисульфид вольфрама и др.) в растворе пленкообразователя, с последующим отверждением при повышенных температурах.

Назначение пленкообразователя — увеличить адгезию твердой смазки к металлической поверхности и связать отдельные частицы смазки в сплошную пленку. В качестве пленкообразователей используют мочевиноформальдегидные, эпокси-дные, кремнийорганические и другие смолы.

Соотношение смазки к связующему примерно 1 : 1.

Максимально допустимая температура для связующего (пленкообразователя) лимитирует максимальную температуру пленок (табл. 16).

16. Максимальные температуры пленок

Твердые смазки		Связующее		Предварительная обработка
вид	t_{max} , °С	вид	t_{max} , °С	
Графит	500	Алкиды	95	Фосфатирование (стали) Пескоструйная Травление
Дисульфид молибдена	350	Акрилаты	65	
Дисульфид вольфрама	400	Целлюлоза	65	

Коэффициент трения зависит от условий работы и технологии нанесения покрытий. Пленка дисульфида молибдена толщиной около 5 мкм при высоких нагрузках может иметь $f = 0,03$. При снижении нагрузки, увеличении толщины пленки и поверхности контакта $f = 0,15 \div 0,2$. Коэффициент трения покрытий может увеличиваться при высокой влажности.

Расчет подшипников скольжения, работающих при несовершенной смазке

В этом случае расчет выполняют как поверочный, так как размеры подшипников выбирают конструктивно — в соответствии с размерами вала и оптимальным для данного типа опор отношением l/d . Прочность вкладыша (или антифрикционного слоя) при статической нагрузке зависит от величины давления. Так как между валом и подшипником имеется зазор, то действующая на опору нагрузка P воспринимается лишь частью поверхности, ограниченной углом контакта φ_0 (рис. 19).

В точках A и B давление будет минимальным, а в точке C — максимальным. Давление в точке C значительно больше среднего давления, подсчитываемого по формуле

$$p_{\text{ср}} = \frac{P}{Ld},$$

где L и d — соответственно ширина и диаметр подшипника.

Допускаемое давление $p_{\text{срmax}}$ на подшипник не должно вызывать остаточных деформаций.

Величина смещения вала a (рис. 20) при приложении к нему нагрузки может быть определена по формуле

$$a = \frac{b(1 - \cos \varphi_0)}{\cos \varphi_0},$$

где $b = \frac{d_{\text{п}} - d_{\text{в}}}{2}$ — радиальный зазор; $\cos \varphi'_0 = \frac{\sigma_{\text{к}}}{\sigma_{\text{к}} + \sigma_{\text{max}}}$ (здесь $d_{\text{п}}$ — диаметр подшипника; $d_{\text{в}}$ — диаметр вала; $\sigma_{\text{к}} = \frac{bE}{\delta}$; E — модуль упругости; $\delta \approx (0,03 \div 0,06)d$ — толщина втулки; $\sigma_{\text{max}} \approx 0,8\sigma_{\text{T}}$).

Допускаемое среднее давление на подшипник при статическом нагружении

$$p_{\text{ср}} = \sigma_{\text{max}} \left(\frac{\varphi'_0}{2} + \frac{\sin 2\varphi'_0}{4} \right) - \sigma_{\text{к}} \left(\sin \varphi'_0 - \frac{\varphi'_0}{2} - \frac{\sin 2\varphi'_0}{4} \right).$$

Из уравнения следует, что чем больше величина b , т. е. чем меньше угол контакта, тем больше отношение $\sigma_{\text{max}}/p_{\text{ср}}$.

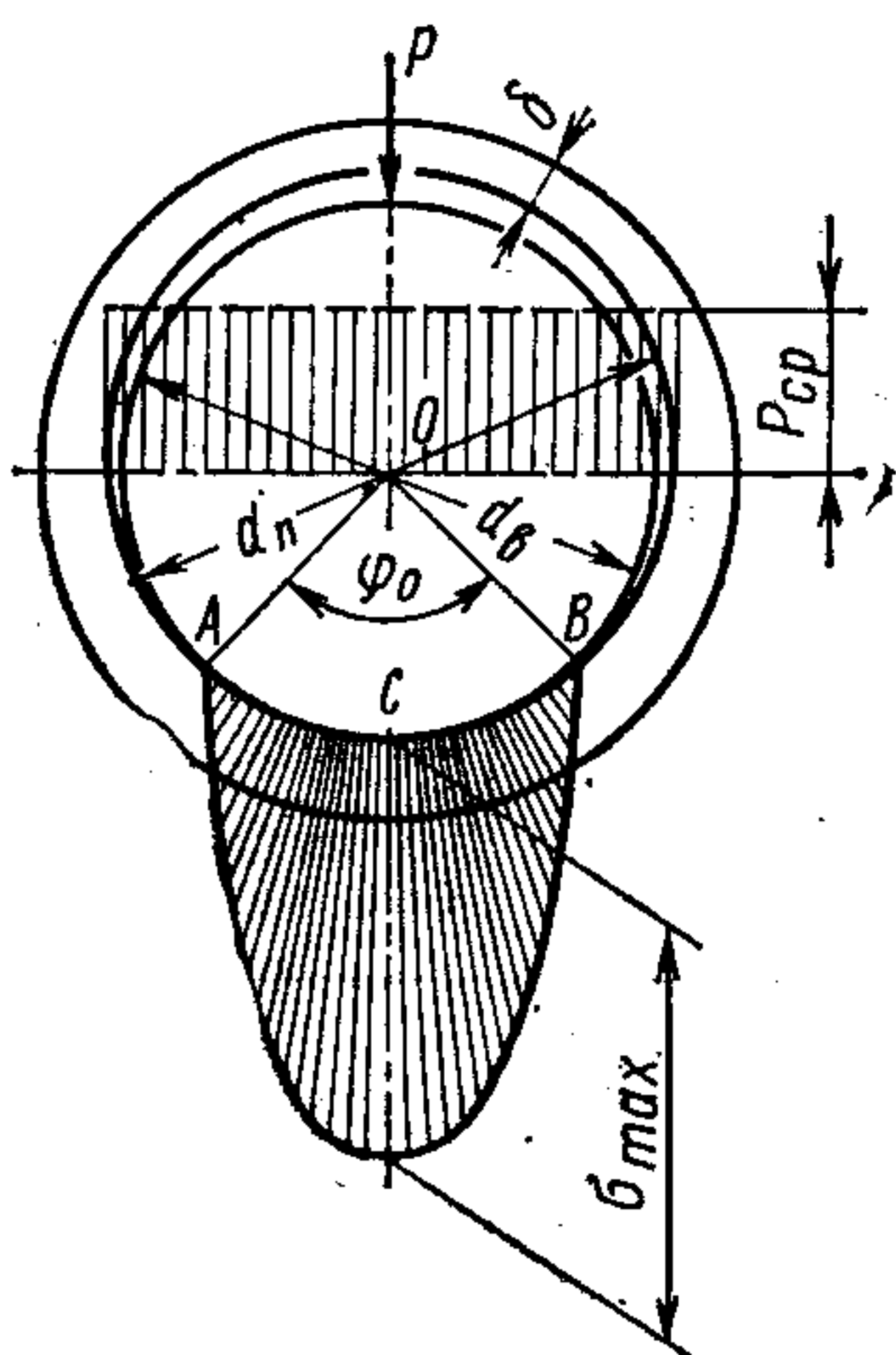
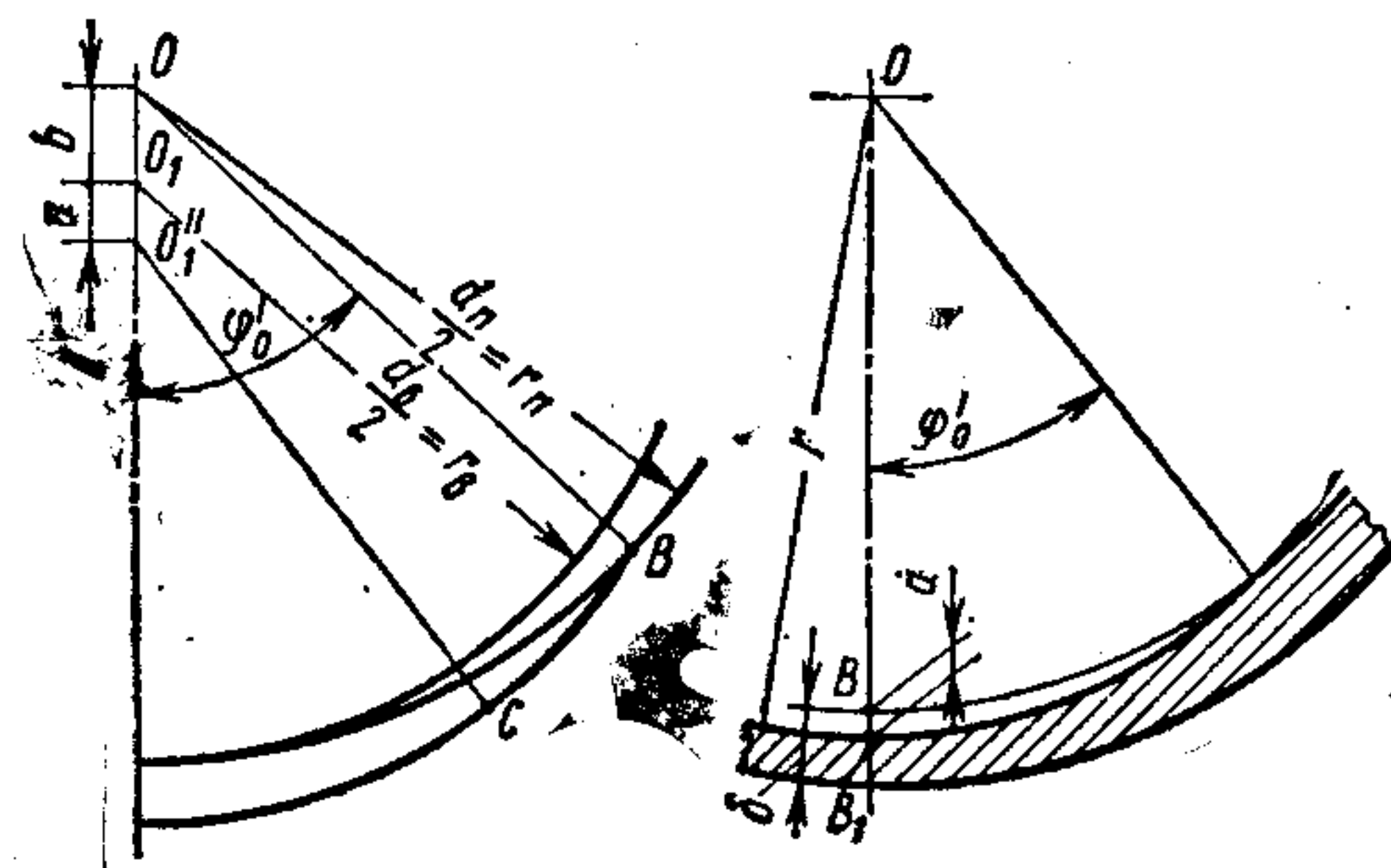


Рис. 19. Распределение давления в подшипнике при отсутствии скольжения

Рис. 20. Схемы для определения деформации и давления



Температура подшипника зависит от количества тепла Q , возникающего при трении скольжения, и величины теплоотдачи в окружающее пространство через вал $Q_{\text{в}}$ и корпус $Q_{\text{к}}$.

Тепловыделение от преодоления силы трения (в ккал/с) определяют из уравнения

$$Q = \frac{Pvf}{427},$$

где P — радиальная нагрузка на подшипник, кгс; v — скорость скольжения, м/с.

Если считать коэффициент трения постоянным, то тепловыделение на единицу поверхности подшипника можно оценить произведением pv . Однако коэффициент трения меняется в зависимости от скорости и нагрузки. Таким образом, произведение pv не отражает физической сущности процесса, происходящего в подшипнике, и им можно пользоваться только как приближенным критерием, сравнивая его с опытными значениями $[pv]$, колеблющимися в довольно широких пределах. Произвольно изменять значения p и v , даже не выходя за пределы допускаемого значения их произведения, нельзя.

При $v > 1$ м/с, $p_{\text{ср}} > 30 \div 40$ кгс/см² и отсутствии циркуляционной смазки следует провести тепловой расчет. Такой расчет необходим вследствие большой чувствительности пластмасс к перегреву.

При установившемся режиме уравнение теплового баланса

$$Q = Q_{\text{в}} + Q_{\text{к}}.$$

Теплоотвод через вал происходит в обе стороны от подшипника (рис. 21). Количество отведенного тепла в каждую сторону зависит от конструктивных особенностей подшипникового узла и длины вала:

$$Q_{\text{в}} = kA(t_{\text{в}} - t_0),$$

где $k = 1,1 \div 2$ — коэффициент, учитывающий погрешности при определении A ; A — суммарный коэффициент теплопередачи вала, ккал/ч·°С; $A = A_1 + A_2$ — сумма коэффициентов теплопередачи обеих сторон вала; $t_{\text{в}}$ — температура вала; t_0 — температура окружающей среды.

Данные для определения коэффициентов теплопередачи приведены в работе [18].

При известных Q и A температура вала

$$t_{\text{в}} = t_0 + \frac{Q}{kA};$$

она не должна превышать $[t]$; здесь t_0 — температура окружающей среды. Затем полученное значение сравнивают с допускаемой $[t]$ для данной пластмассы. В случае $t_{\text{в}} \leq [t]$ расчет закончен. При $t_{\text{в}} > [t]$ изменяют размеры или материал вкладыша, улучшают условия теплообмена и повторяют расчет [1—3, 7, 18 и др.].

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

В подшипниках качения пластмассы применяют в основном для изготовления сепараторов и только в отдельных случаях для изготовления колец или тел качения.

Весьма ограниченное использование пластмасс для изготовления тел качения (шариков, роликов) объясняется значительной их деформацией, в 8—10 раз и более превышающей деформацию стальных тел качения. В то же время при увеличении деформации увеличивается площадь контакта, а значит, и нагрузочная способность. Однако грузоподъемность шариков из полиформальдегида на порядок меньше грузоподъемности стальных шариков.

Подшипники с телами качения из пластмасс применяют при небольших по величине, но ударных по характеру нагрузках при окружной скорости $v < 2$ м/с; точность изготовления пластмассовых тел качения допускается в 4—5 раз ниже, чем для металлических тел качения.

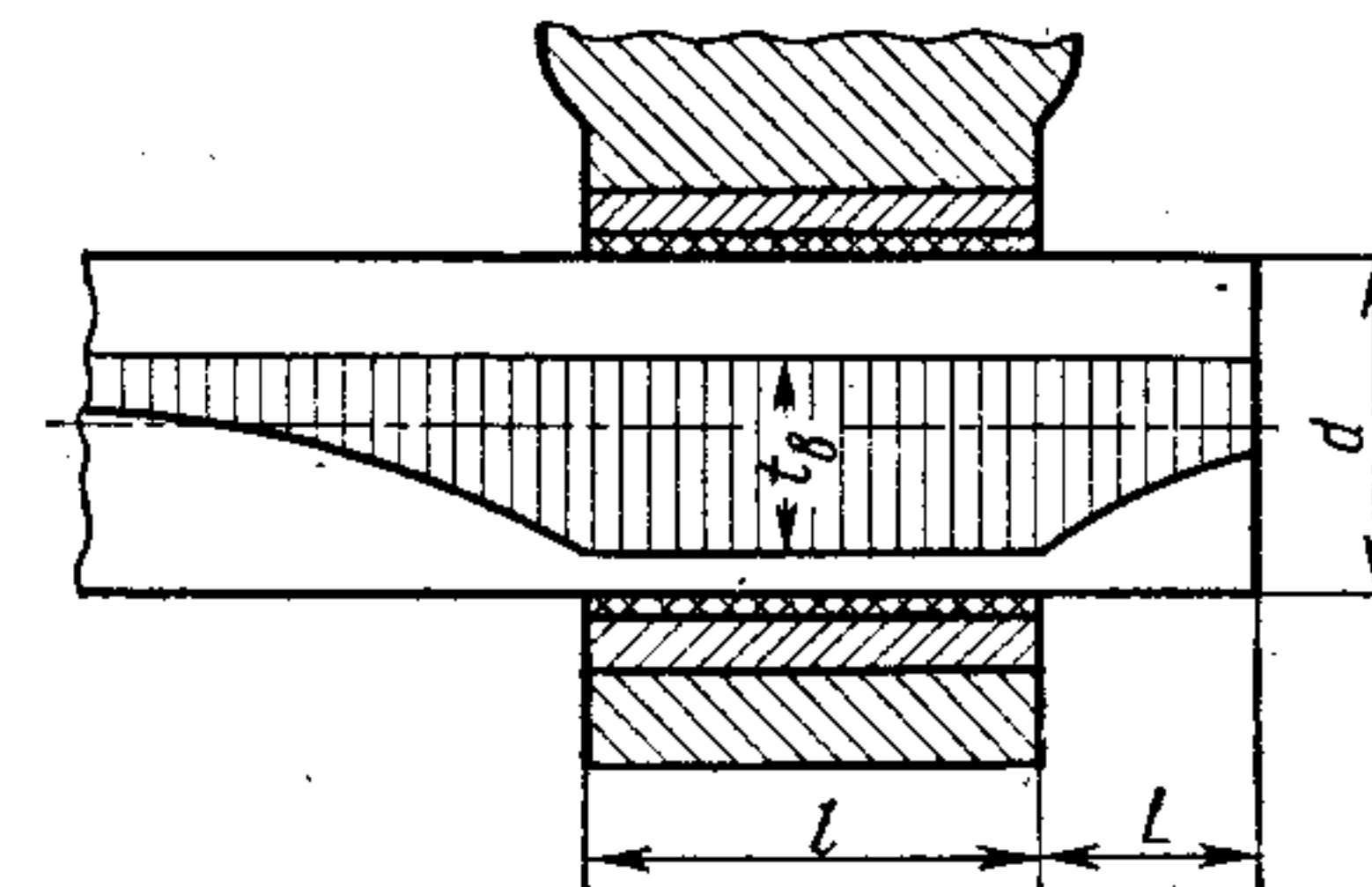


Рис. 21. Схема теплоотвода через вал

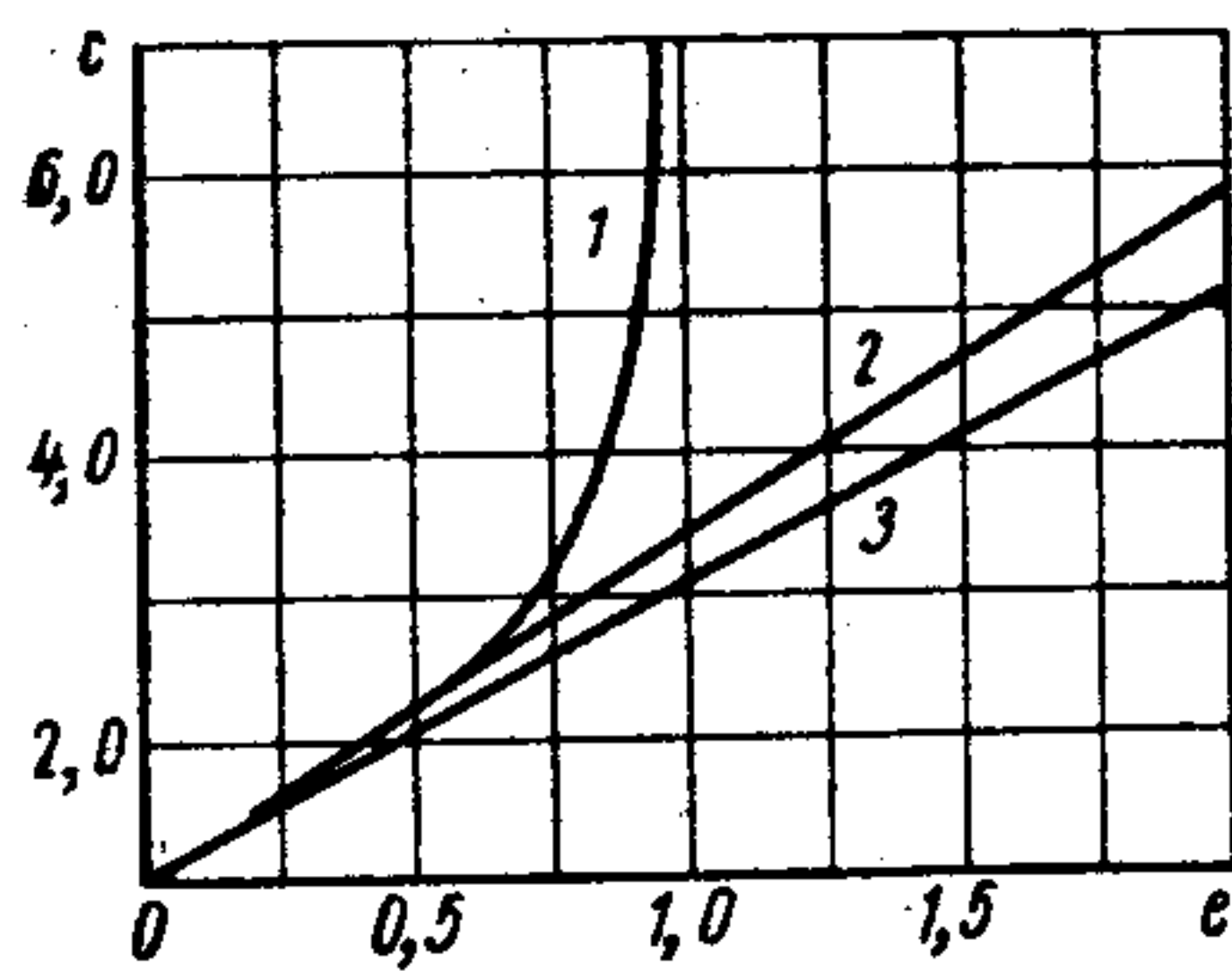


Рис. 22. Зависимость коэффициента c от величины относительного эксцентриситета e для подшипников:

1 — шариковых однорядных; 2 и 3 — соответственно шариковых и роликовых двухрядных

Рис. 23. Влияние разноразмерности шариков Δ на распределение нагрузки при разных радиусах желоба ($r = 13,3$ мм — сплошные линии; $r = 12,83$ мм — штриховые линии); материал шариков:

1 — полиформальдегид; 2 — полиамид; 3 — поликарбонат; 4 — меловолокнит

Удельная нагрузка на наиболее нагруженный шарик (p кгс/см²) может быть ориентировочно подсчитана по формуле [37]

$$p = q \frac{R}{d_{ш}^2 z \cos \beta} + c \frac{k_1 A}{d_{ш}^2 z \sin \beta} \leq k,$$

где q — коэффициент распределения радиальной нагрузки; R и A — соответственно радиальная и осевая нагрузки на подшипник, кгс; β — угол контакта; $d_{ш}$ — диаметр шарика, см; z — количество шариков; c — коэффициент, учитывающий эксцентриситет приложения осевой нагрузки; он может быть определен (рис. 22) в зависимости от величины относительного эксцентриситета $e = l/r$ (здесь l и r — соответственно расстояние между осью подшипника и линией действия осевой нагрузки на подшипник и центром шарика); k_1 — коэффициент неравномерности распределения нагрузки из-за разноразмерности шариков; он может быть определен по рис. 23.

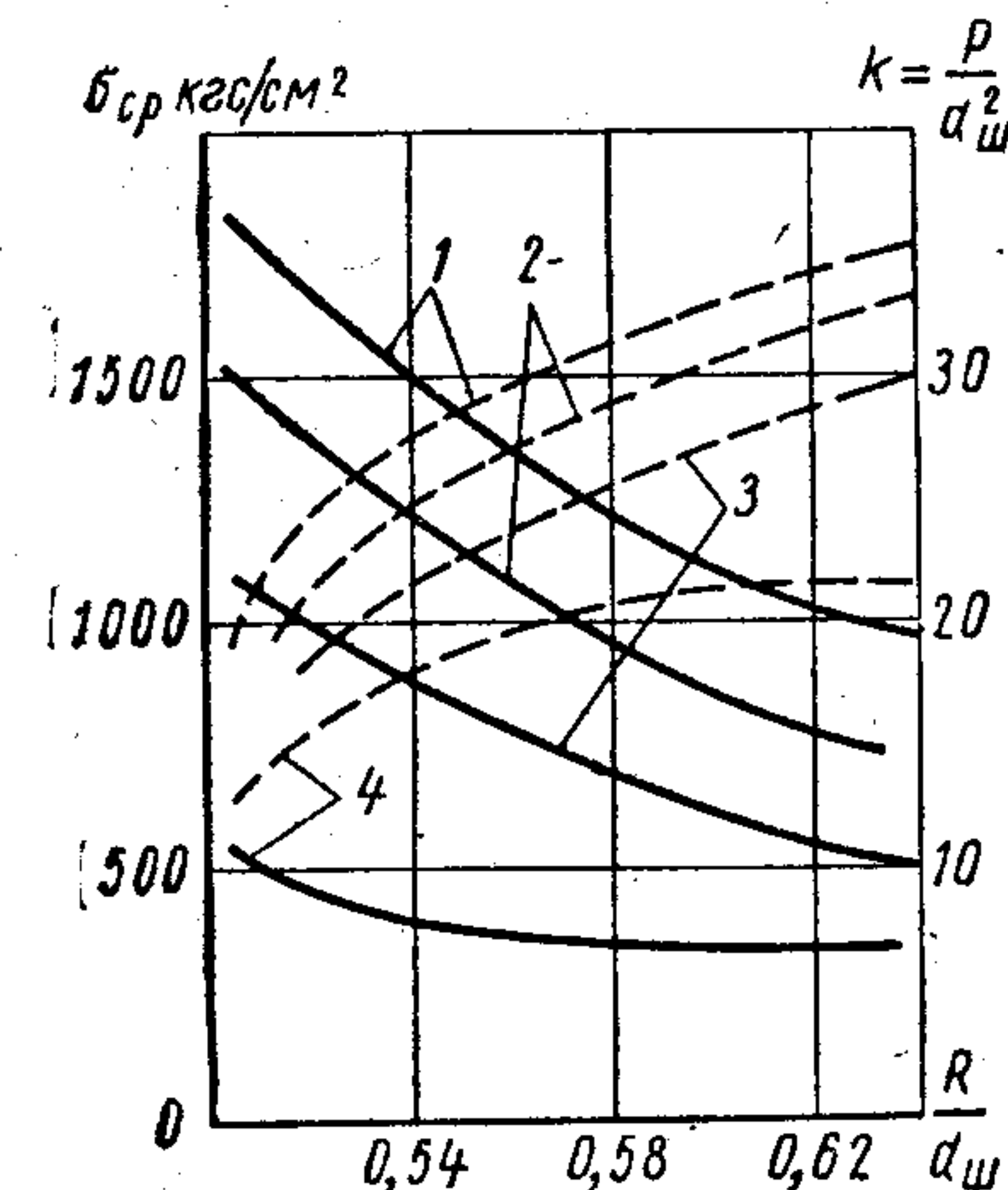
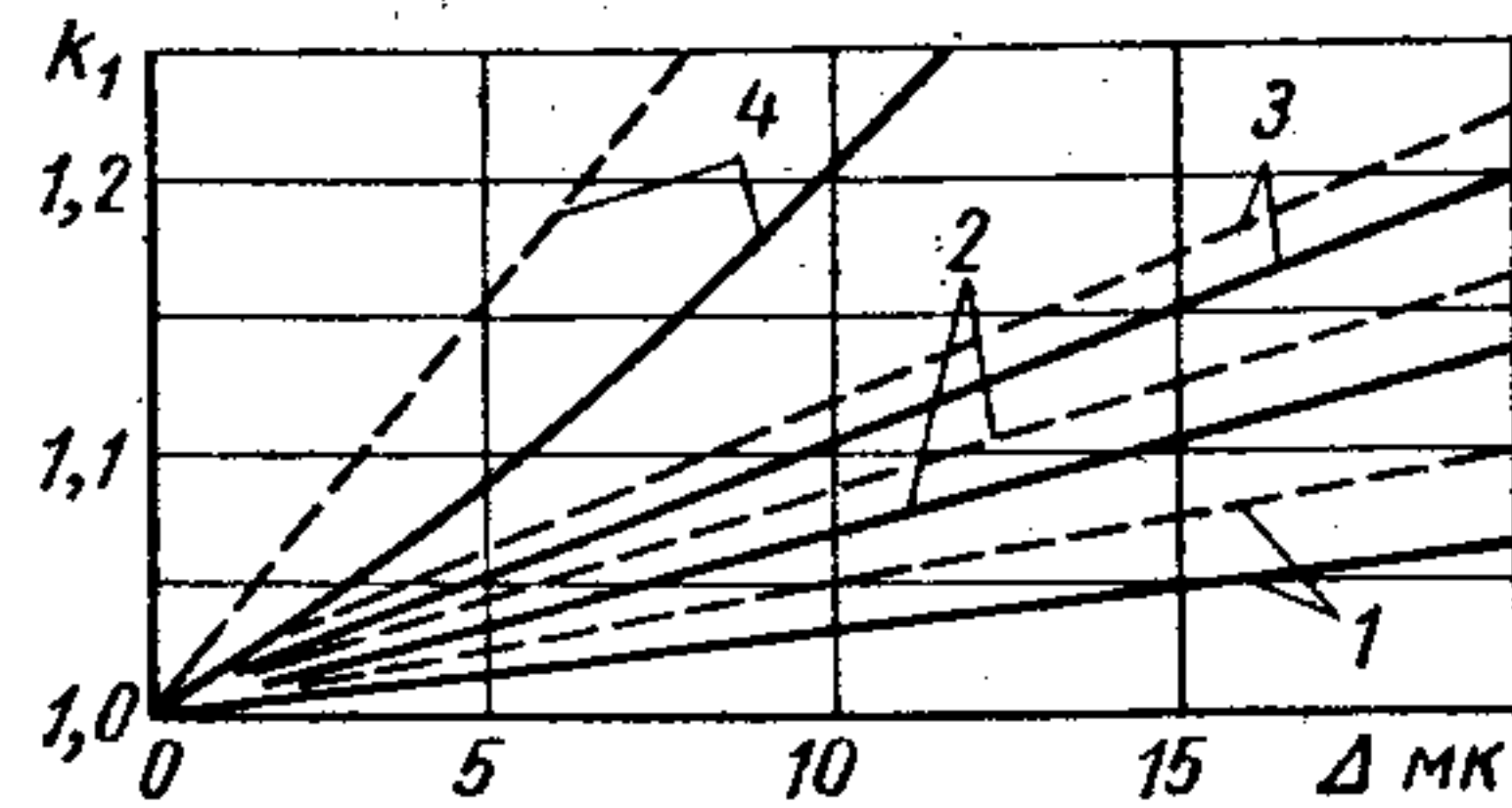


Рис. 24. Допускаемые нагрузочные параметры (штриховые линии) для расчета опор с пластмассовыми шариками и коэффициент грузоподъемности (сплошные линии) для шариков:

1 — из полиформальдегида; 2 — из полиамида; 3 — из поликарбоната; 4 — из меловолокнита



Грузоподъемность шариков из различных пластмасс оценивают не по допускаемым напряжениям, а по допускаемому коэффициенту грузоподъемности k (рис. 24), не зависящему от модуля упругости материала.

Для расчета долговечности подшипников качения с деталями из пластмасс еще нет необходимых экспериментальных данных.

Кольца подшипников с шариками или роликами из пластмасс можно изготавливать из легких металлов (например, из глубоко анодированного дюралюминия).

В большинстве случаев более целесообразна конструкция подшипников с пластмассовыми кольцами и металлическими телами качения.

Долговечность подшипников качения возрастает при уменьшении отношения радиуса желоба кольца $r_{ж}$ к диаметру шарика $d_{ш}$ до 0,515. Это дает возможность уменьшить скольжение шарика по желобу кольца, а следовательно, и потери на трение.

Испытания упорных шарикоподшипников с кольцами из меламина, эпоксидной смолы, нейлона 6 и 11, а также фторопла-

ста показали, что коэффициент трения этих колец $f = 0,006 \div 0,049$. В 3—4 раза меньший коэффициент трения имеют подшипники с кольцами из полиацетата.

Долговечность подшипников с пластмассовыми кольцами N (число оборотов) определяют по формулам.

$$N = aP^{-m}; \quad N = bn^{-1};$$

здесь a , b , m , f — коэффициенты, зависящие от типа пластмасс; P — нагрузка, кгс; n — частота вращения подшипника, об/мин.

Для колец из полиформальдегида, меламина, формальдегидной смолы и нейлона $m = 4,8 \div 17,0$, что в 1,6—5,8 раза больше, чем для подшипников со стальными кольцами.

Для полиформальдегида $n = 6,7$, меламиноформальдегидной смолы $n = 1,3$.

Исследования шарикоподшипников с кольцами из полиацеталевой смолы показывают, что их грузоподъемность составляет 2,5—5% грузоподъемности подшипников из закаленной стали. При малых скоростях скольжения (< 1 м/с) наиболее опасна для пластмассовых подшипников статическая нагрузка.

В табл. 17 приведены допустимые удельные нагрузки (статические) для пластмассы ($E = 27\,500$ кгс/см²) и стали ($E = 2\,100\,000$ кгс/см²) для различных контактных пар (условие статического нагружения термопластического материала с помощью стального шарика следующее: внедрение шарика в поверхность на величину $d_{ш} \cdot 10^{-4}$, время выдержки 5 мин, измерение отпечатка через 60 мин после снятия нагрузки, чтобы исключить влияние ползучести материала).

7. $[p]$ в зависимости от формы контакта

Контактные пары	Допускаемая удельная нагрузка, кгс/мм ²	
	Пластмасса	Сталь
Шарик с плоскостью	0,05	1,3
Шарик с дорожкой качения	0,3	6,2
Ролик с плоскостью	0,8	10

Применение подшипников качения из пластмасс ограничено физико-механическими характеристиками пластмасс: температура не более 50 °С; $p \leq 0,15$ кгс/мм² при грузоподъемности 2,5—5% грузоподъемности стальных подшипников.

Вследствие размерной нестабильности и невысокой теплопроводности необходим повышенный зазор в пластмассовом подшипнике (обычно более 1% от среднего диаметра подшипника). В ряде случаев, например у подшипников из термопласта со стеклянными шариками, зазор может быть меньше.

Для изготовления сепараторов подшипников качения используют текстолит, волокнит (рис. 25), полиамиды с различными наполнителями, полиформальдегид, АТМ-2. Для увеличения прочности применяют сепараторы, армированные металлом (рис. 26).

Пластмассовые сепараторы уменьшают величину инерционных нагрузок в подшипниках, дают возможность использовать упругие свойства пластмасс при монтаже тел качения. Сепараторы, изготовленные из самосмазывающегося материала пластмассы, служат источником твердой смазки.

В качестве самосмазывающегося материала может быть применен аман; его можно использовать для сепаратора подшипников, работающих без жидкой смазки при нормальной и повышенной температурах, а также для некоторых высокооборотных подшипников. Сепараторы из амана должны быть более массивны, чем обычные.

Для увеличения ударной прочности по наружному диаметру такого сепаратора устанавливают тонкий (менее 1 мм) металлический обод. Для сепараторов подшипников, работающих в вакууме, пригоден аман и различные композиции, например фторопласт-4 в сочетании со стекловолокном (сепараторы из этого материала обеспечивали в вакууме ресурс работы подшипников при $n = 8000$ об/мин примерно до 4000 ч), фторопласт-4 с бронзой, эпоксидная смола в сочетании с дисульфидом молибдена.

Для повышения долговечности сепараторов подшипников целесообразно применять вставки-протекторы. На рис. 27 показан однорядный шарикоподшипник

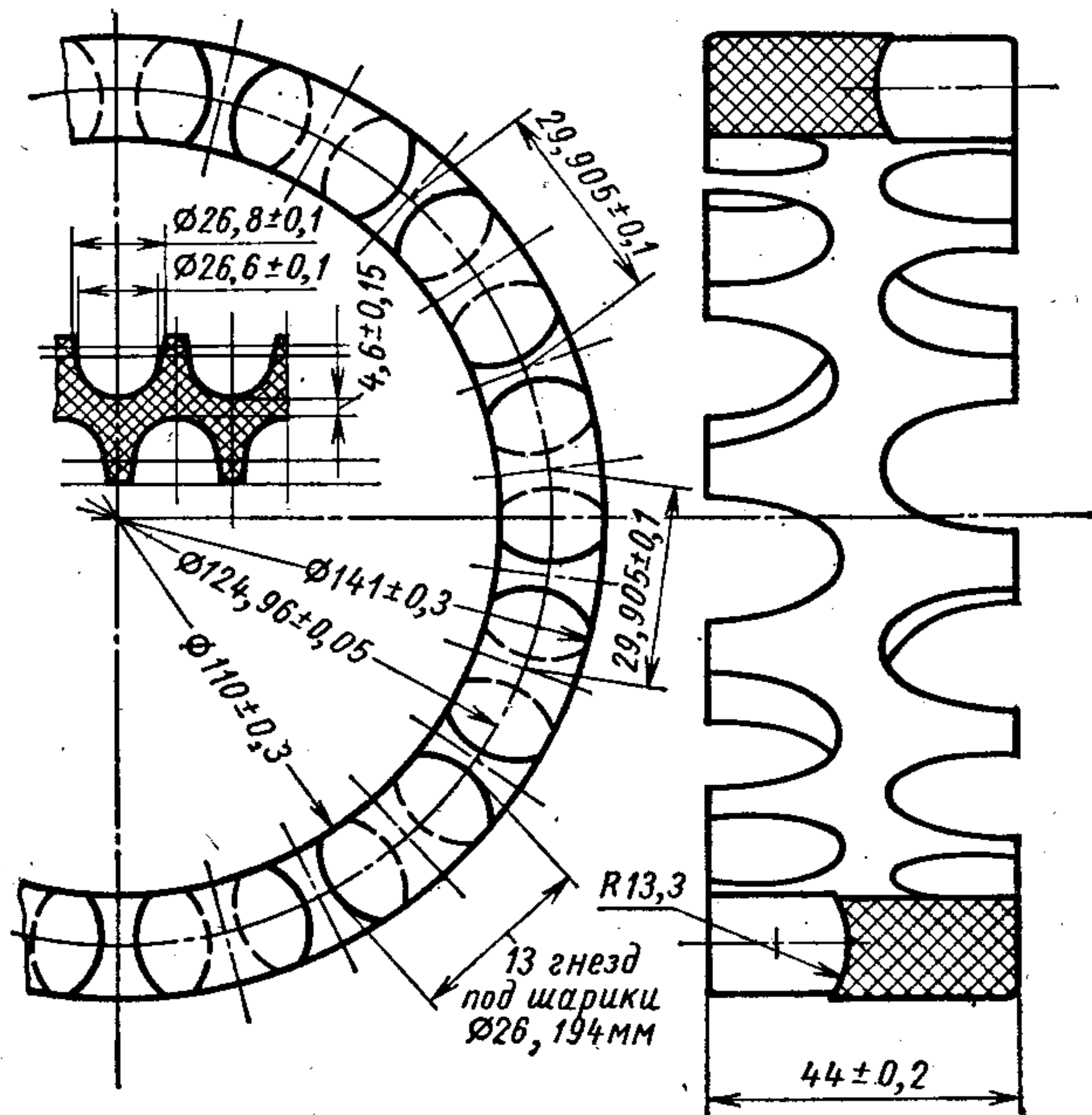


Рис. 25. Сепаратор двухрядного роликоподшипника из волокнита

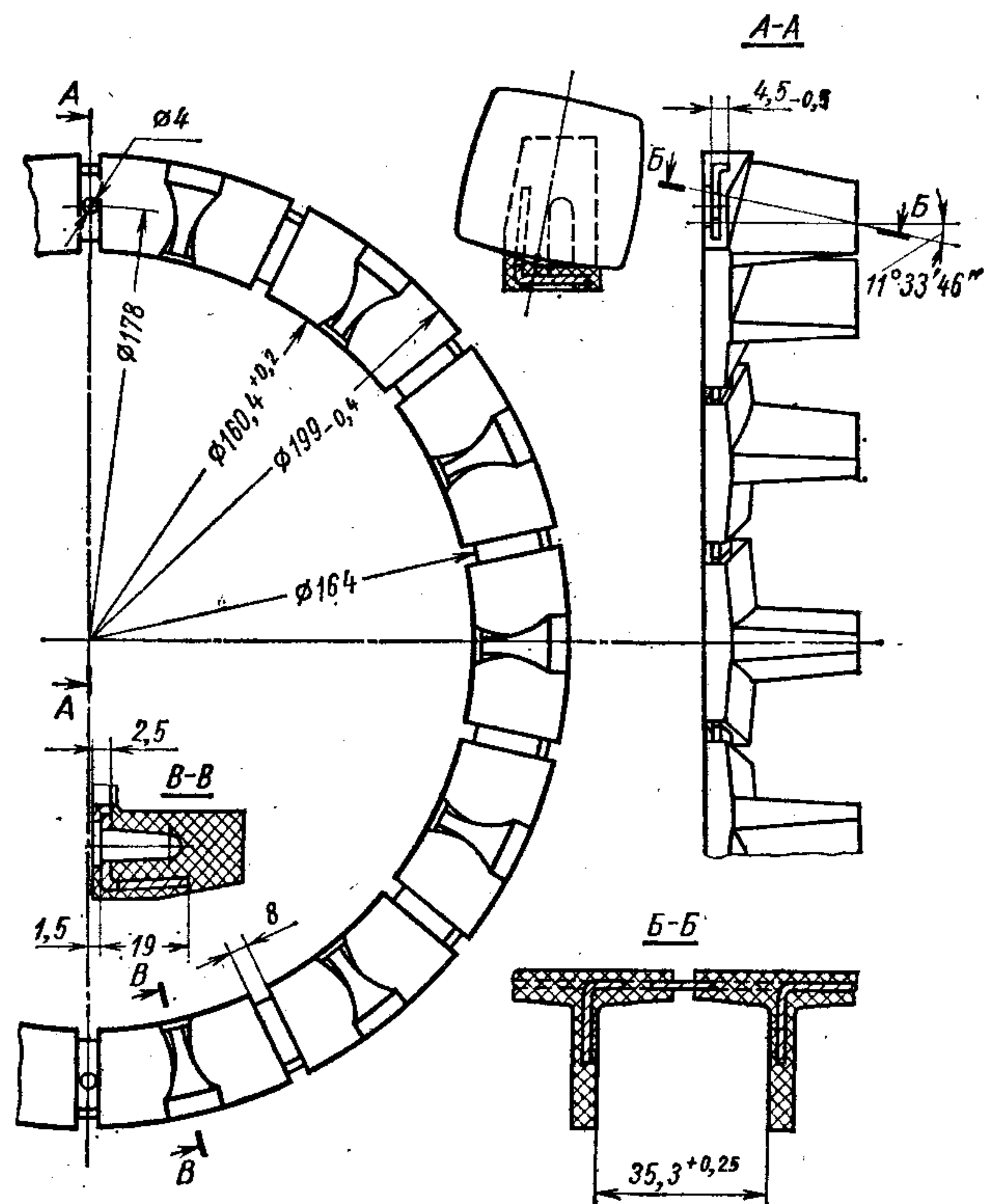


Рис. 26. Капроновый сепаратор двухрядного сферического роликоподшипника, армированный металлическим кольцом (сталь 10)

с сепаратором из полиамида, на буртик внутреннего кольца которого напрессована вставка также из полиамида шириной 3 мм (общая ширина буртика 4,25 мм). Применение вставки из самосмазывающегося материала в несколько раз повышает долговечность сепаратора.

Хорошие показатели имеют сепараторы из фторопласта, армированного стекловолокном с дисульфидом молибдена или углеродными волокнами с дисульфидом молибдена.

Механизм действия самосмазывающихся сепараторов основан на переносе их материала на тела качения. Опоры с сепараторами на основе фторопласта показали при $t = 280^\circ$ меньшее изнашивание шариков и сепараторов, чем при более низкой температуре 200°C .

При армировании стекловолокном полиамида на 25—30% по массе увеличивается его прочность и температуростойкость. При изготовлении сепараторов для скоростных подшипников используют высокопористый материал, пропитанный маслом. Однако наличие пор снижает прочность.

Термопластичные материалы с наполнителями из стекловолокна, дисульфида молибдена или графита, полученные спеканием, позволяют изготавливать сепараторы, работающие при температуре до 260°C . Однако такие сепараторы нуждаются в дополнительной механической обработке.

Износ нейлона 6/6 с 30% углеродных волокон в 4 раза меньше износа того же нейлона с 30% стекловолокна и лишь в 10 раз меньше, чем неармированного.

Фирмой «Хьюз Эйркрафт» (США) изготавливаются сепараторы из уретана, обладающие высокой износостойкостью. Подшипники с такими сепараторами используются в авиации и автомобилях. По данным фирмы, эти сепараторы хорошо удерживают смазку (до 97%) при длительной эксплуатации подшипника. В табл. 18 приведены данные по применяемым за рубежом пластмассам для сепараторов [66].

18. Пластмассы, применяемые для изготовления сепараторов

Материал	Рабочая температура, $^\circ\text{C}$	Способ получения	Вид сепаратора	Направляющие элементы	
Реактопласт	Фенопласт, армированный тканью	80, кратковременная до 110	Точение, сверление	Массивный цельный или составной с заклепками	Тела качения бортики
Термопласт	Полиамид 6,6	80, кратковременная до 110	Литье под давлением	Защелкивающийся	Шарики
	Полиамид 6,6; армированный стекловолокном	100, кратковременная до 140	То же	Массивный цельный	Тела качения, бортики

Для крепления в корпусе подшипников качения часто применяют закладные крышки текстолита и др., их можно легко и устойчиво закрепить в разъемном корпусе.

НАПРАВЛЯЮЩИЕ ИЗ ПЛАСТМАСС

Материалами для направляющих служат текстолит марок ПТ и Б, капрон, кордолокнит. Применение пластмасс предотвращает заедание трущихся поверхностей. Однако малый модуль упругости, склонность к разбуханию, малые теплопроводность и прочность ограничивают их применение.

Накладки из пластмасс в связи с их незначительной прочностью, в частности на изгиб, прикрепляют к металлическим выступам стола, суппорта, ползуна. Тол-

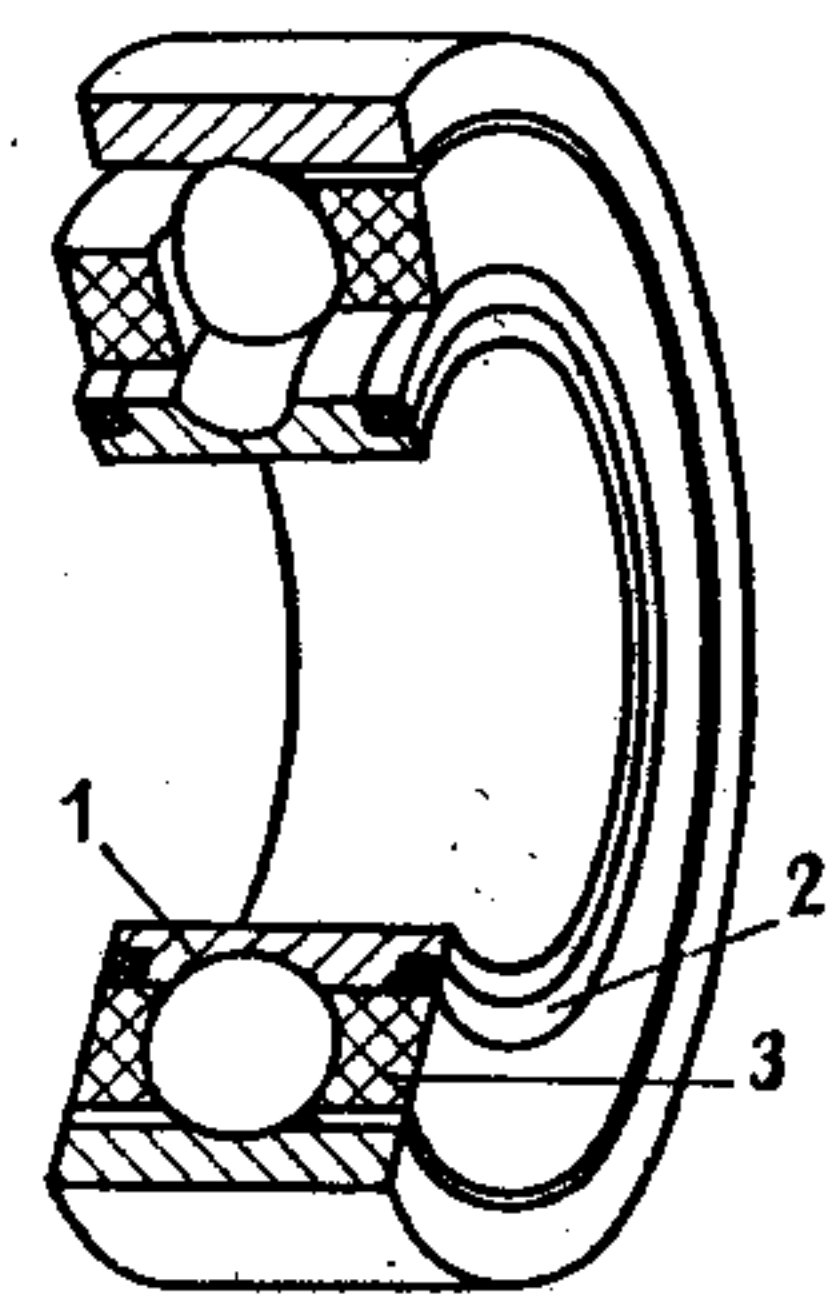


Рис. 27. Шарикоподшипник с сепаратором и вставкой из полиамида: 1 — внутреннее кольцо подшипника; 2 — вставка; 3 — сепаратор

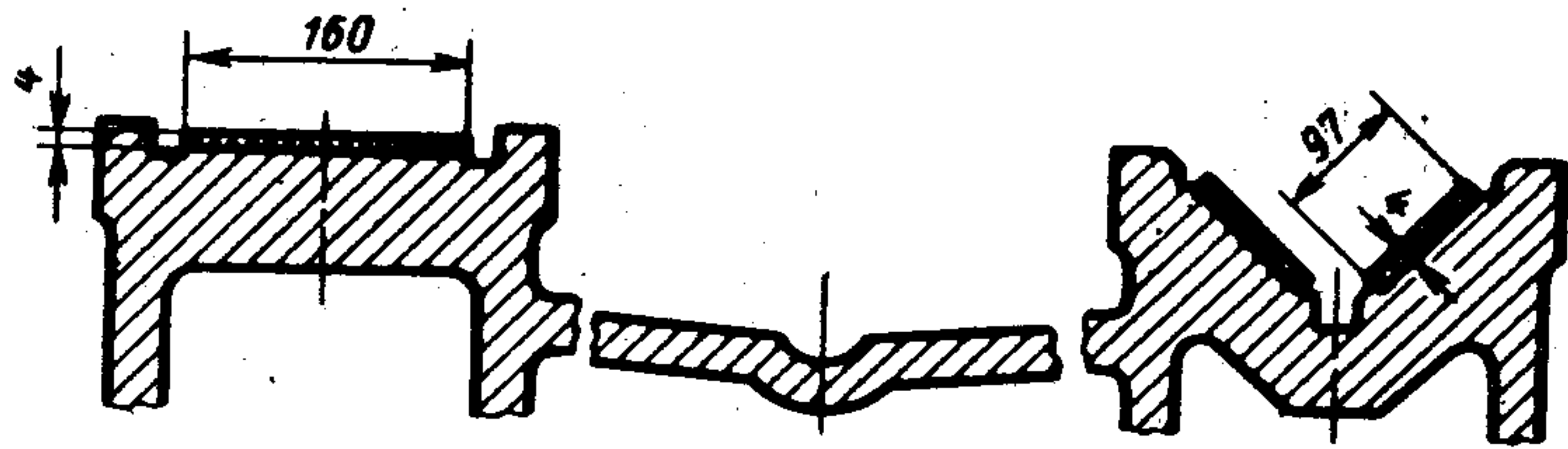


Рис. 28. Направляющие из пластмассы, приклеенные к столу строгального станка

Толщина направляющих обычно не превышает 8—12 мм; в станках средних размеров 5—8 мм, а при их приклеивании к станине в легких станках толщина направляющих 2—4 мм. Ширина направляющих равна ширине граней стола (станины).

Текстолитовые планки в сочетании с чугуном применяют, например, для направляющих тяжелых станков, где относительно небольшая жесткость подвижных узлов приводит к значительной неравномерности распределения давления на направляющих и к опасности заедания.

Направляющие к станине в тяжелых станках и оборудовании крепят винтами (из латуни или оцинкованными стальными) и предохранительными шпильками.

При относительно небольших скоростях передвижения деталей по направляющим (например, направляющие токарных, фрезерных, сверлильных станков) последние приклеивают к станине (рис. 28). Применение клеевого соединения дает возможность уменьшить толщину направляющих.

Для тяжелых станков и оборудования при небольших скоростях скольжения давление на пластмассовых направляющих $p_{\max} \leq 10 \text{ кгс/см}^2$, при больших скоростях $p_{\max} \leq 4 \text{ кгс/см}^2$.

В легких станках и оборудовании при небольших скоростях скольжения $p \leq 20 \div 25 \text{ кгс/см}^2$, при больших скоростях $p_{\max} \leq 8 \div 10 \text{ кгс/см}^2$.

Для шлифовальных станков $p_{\max} \leq 0,5 \div 0,8 \text{ кгс/см}^2$.

При подсчете величины p_{\max} задают преодолеваемые силы и моменты, обусловленные технологическим процессом, приложенные к подвижной детали; неизвестными являются величины реакции и место их приложения к сопряженной поверхности, силы трения и движущая сила.

После определения сил реакции и точек их приложения по длине направляющей находят эпюру распределения давления по номинальной длине сопряженных поверхностей, а также максимальное давление на направляющие p_{\max} [3].

Величины p_{\max} в зависимости от эпюры распределения давления на направляющих определяют по формулам:

при прямоугольной эпюре давления (рис. 29, а)

$$p_{\max} = p = \text{const}; \quad p = \frac{P}{bL};$$

при трапециoidalной эпюре давления (рис. 29, б)

$$p_{\max} = p \left(1 + \frac{6\varepsilon}{b} \right);$$

при треугольной эпюре $\varepsilon = b/L$ (рис. 29, в)

$$p_{\max} = 2p;$$

в случае двузначной эпюры давления (рис. 29, г)

$$p_{\max} = \frac{4}{3} p \frac{1}{1 - 2 \frac{\varepsilon}{b}},$$

где N — нормальное усилие, действующее на направляющую; b — ширина направляющей; L — длина пластмассовой направляющей; ε — расстояние между центром давления и центром направляющей.

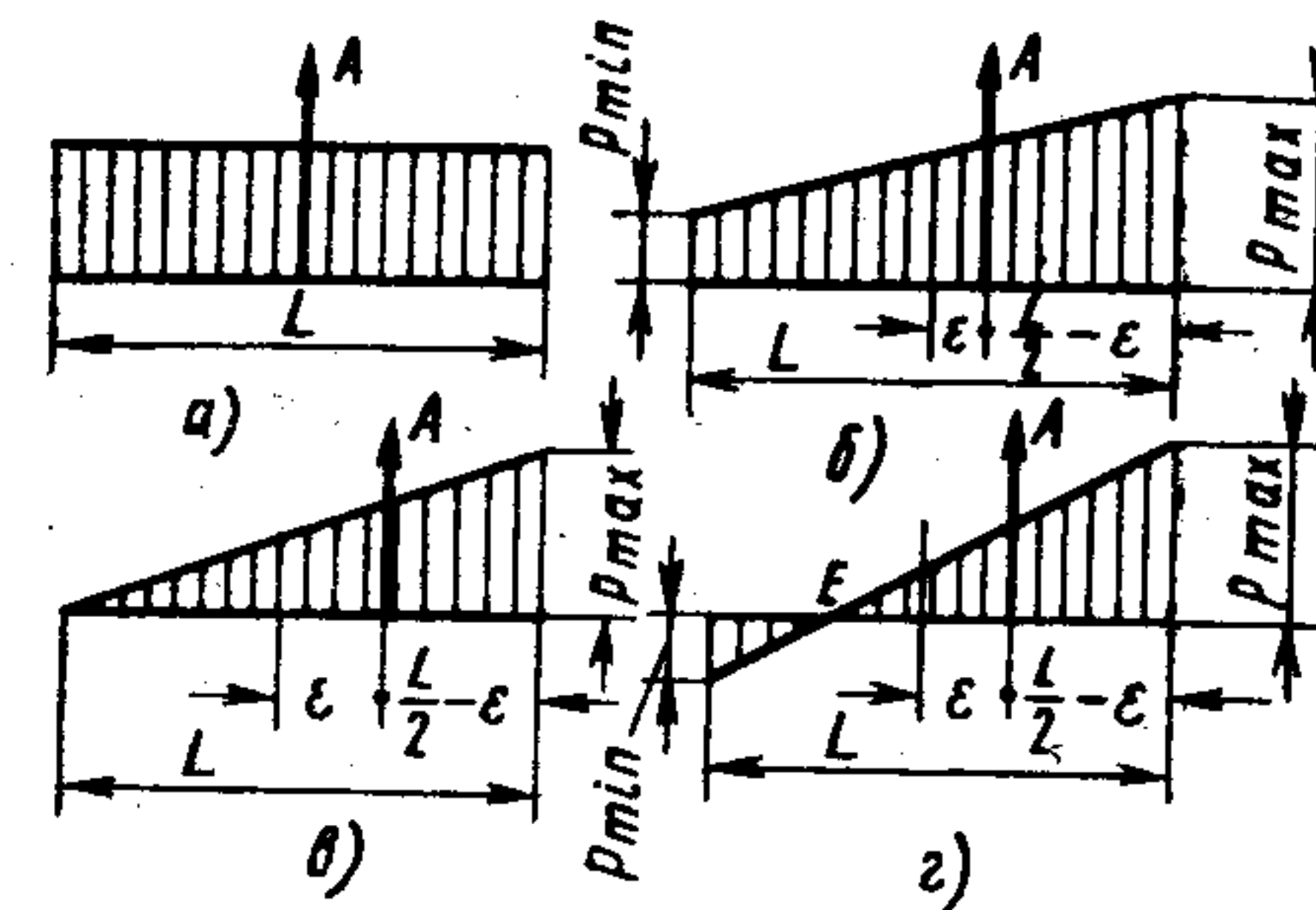


Рис. 29. Эпюры давлений на направляющих

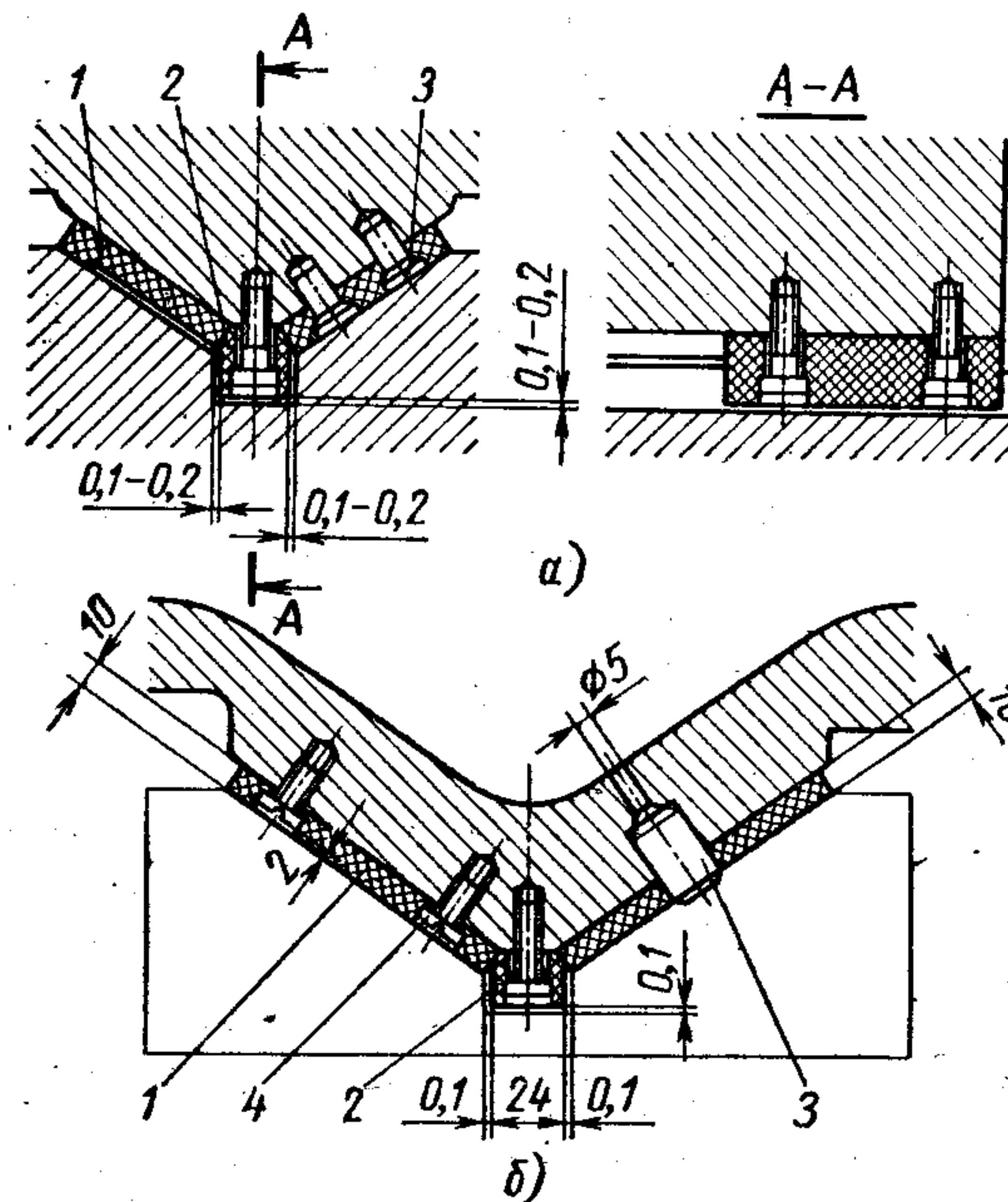


Рис. 30. Крепление пластмассовых направляющих продольно-строгального станка:

а — фиксация текстолитовыми шпильками; б — крепление латунными винтами и фиксация шпильками; 1 — текстолитовая направляющая; 2 — пластмассовая концевая пластина; 3 — текстолитовые шпильки; 4 — латунный винт

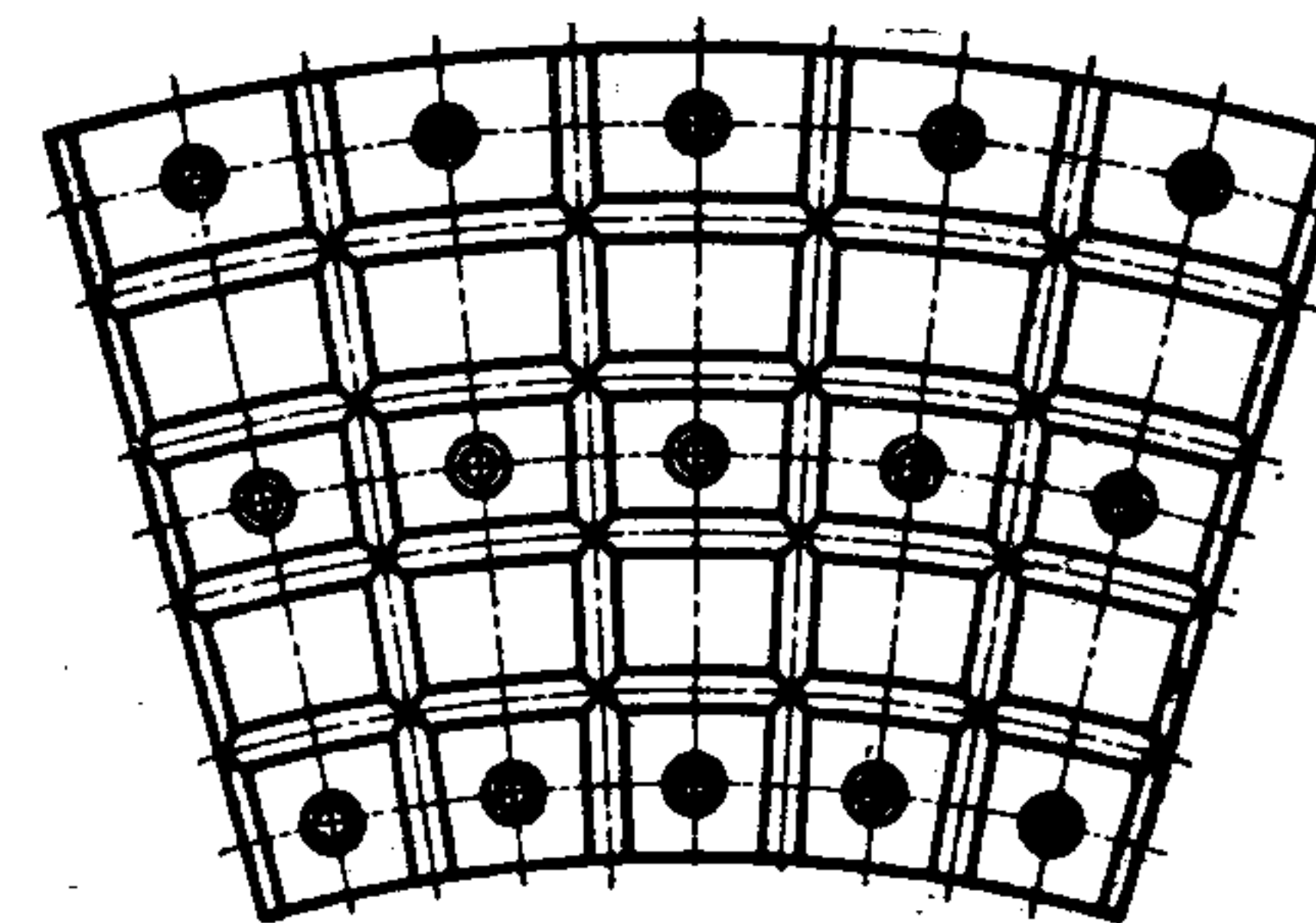


Рис. 31. Схема расположения смазочных канавок в направляющей карусельного станка

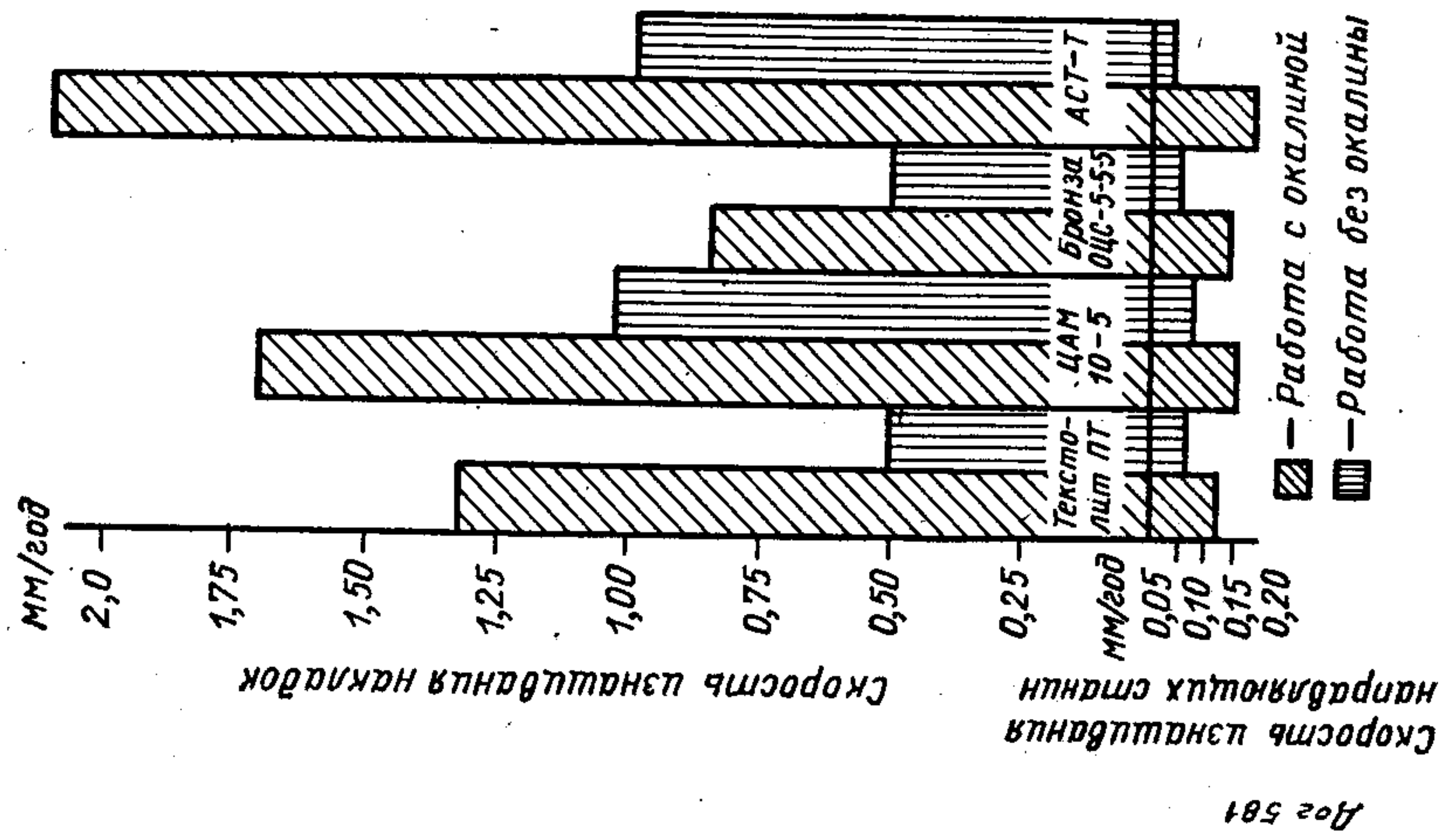


Рис. 33. Влияние материала накладок каретки на скорость изнашивания направляющих

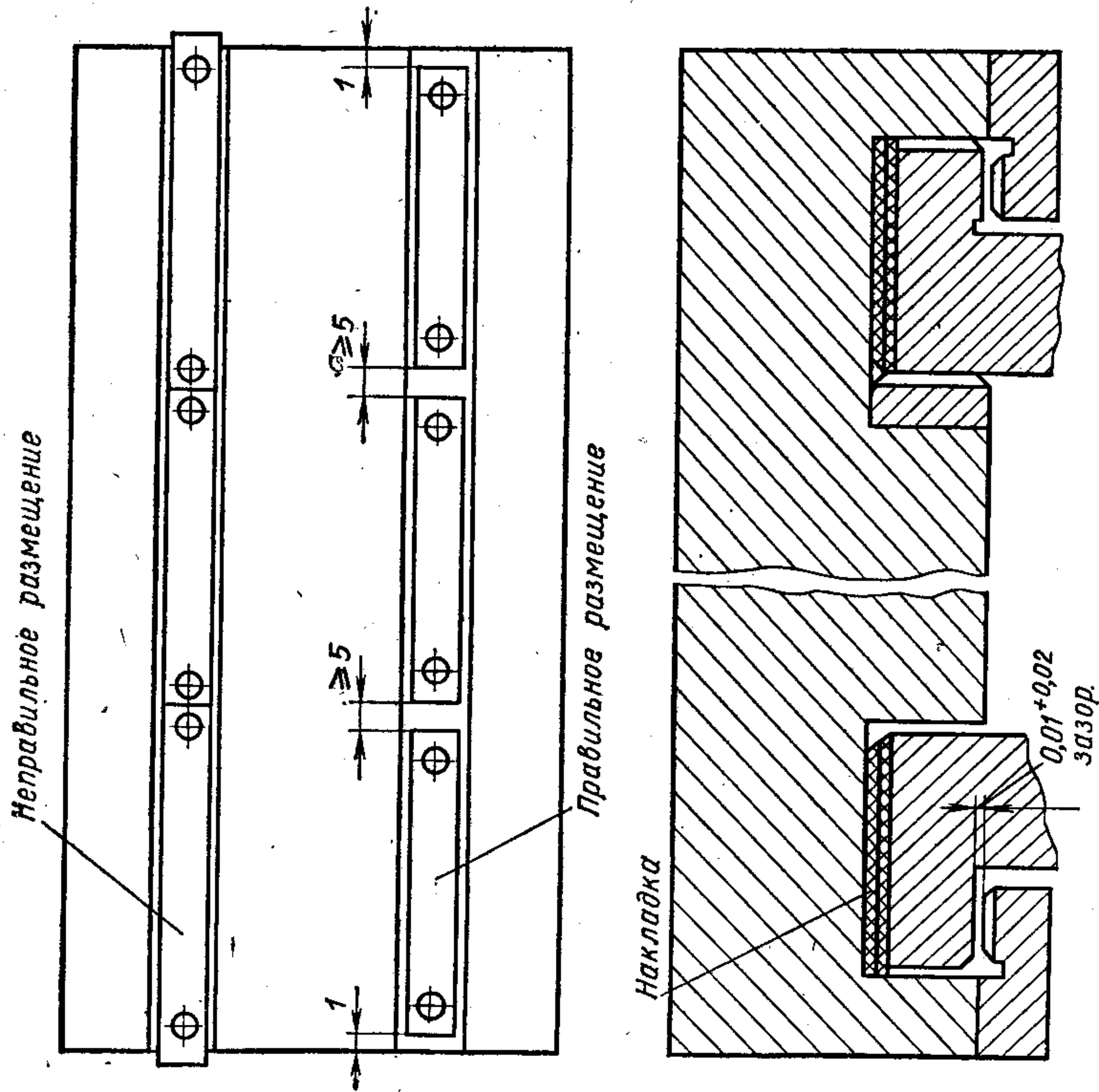


Рис. 32. Схема размещения и монтажа накладок

Во всех случаях должно быть соблюдено условие

$$P_{\text{max}} \leq (0,25 \div 0,30) H,$$

где H — твердость пластмассовых направляющих, кгс/мм².

Примеры установки пластмассовых направляющих на продольно-строгальном и карусельном станках показаны на рис. 30. Текстолитовые кольцевые сегменты крепят к станине стальными оцинкованными винтами, головки которых утоплены на глубину до 4—5 мм; отверстия закрыты текстолитовыми пробками толщиной 4 мм.

В местах стыка сегментов расположены смазочные канавки.

В карусельных станках выделяется значительное количество тепла, отвод которого от направляющих затруднен вследствие замкнутой конструкции последних. Отвод тепла улучшается выполнением на поверхности направляющей системы смазочных канавок (рис. 31).

Направляющие из листового спрелфлона применяют для облицовки плоских и призматических станочных направляющих, прижимных планок, направляющих шпонок; сопряженная деталь — из чугуна. Коэффициент трения покоя $f \approx 0,1 \div 0,2$; кинетический коэффициент трения $f \approx 0,08 \div 0,15$. При скорости скольжения до 1 м/мин $p_{\text{max}} = 25 \div 30$ кгс/см².

Облицовочный материал приклеивают эпоксидной смолой к облицовываемой поверхности и закрепляют пластмассовыми винтами. Требования к облицовываемым поверхностям: непараллельность не более 0,03 мм, неперпендикулярность не более 0,03 мм. Размещение и монтаж накладок показаны на рис. 32.

Рис. 33 иллюстрирует влияние материала накладок каретки на скорость изнашивания направляющих станин [45].

Направляющие из пластмасс применяют также в гибочных и правильных прессах, формовочных машинах, в поршневых двигателях [3].

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРЕДАЧ ДВИЖЕНИЯ

РЕМЕННЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Передачи ремнями из пластмасс (в большинстве случаев из полиамидов) применяют в широком диапазоне мощностей (от нескольких ватт до 1500 кВт). По сравнению с прорезиненными, хлопчатобумажными и др. ремни из пластмасс обладают большей нагрузочной способностью, их можно применять в агрессивных средах и при больших окружных скоростях (порядка 80—100 м/с). Однако с возрастанием скорости возникает воздушная прослойка между ремнем и шкивом. Для выхода воздуха в обод шкива делают отверстия.

Диапазон передаточных чисел ременных передач: открытые от 1/5 до 5, перекрестные от 1/6 до 6; с направляющими и нажимными роликами от 1/4 до 4; следует учитывать, что установка роликов снижает долговечность ремней.

При расчете плоскоременной передачи задаются толщиной пластмассового ремня, мм:

$$\delta \leq 0,025D_{\min} \text{ при } v \leq 30 \text{ м/с;}$$

$$\delta \leq 0,02D_{\min} \text{ при } v > 30 \text{ м/с.}$$

Затем определяют ширину b , мм:

$$b \geq \frac{N}{N_0 c_1 c_2 c_3 c_4},$$

где N — передаваемая мощность, кВт; N_0 — допускаемая удельная мощность, кВт/мм, при оптимальных условиях (напряжение от предварительного натяжения $\gamma_0 = 0,18 \text{ кгс/мм}^2$; $v = 10 \text{ м/с}$; работа спокойная, без ударов); значения N_0 даны в табл. 1 в зависимости от v и δ .

1. Значения N_0

Толщина ремня δ , мм	N_0 , кВт/мм, при v , м/с						
	1	5	10	15	20	25	30
2	0,007	0,02	0,07	0,09	0,11	0,13	0,14
3	0,009	0,05	0,10	0,13	0,16	0,18	0,19
4	0,012	0,07	0,13	0,17	0,21	0,25	0,26
5	0,018	0,09	0,16	0,21	0,26	0,29	0,30

c_1 — коэффициент, учитывающий влияние угла обхвата α на малом шкиве; $c_1 = 1 - 0,003(180^\circ - \alpha^\circ)$; c_2 — скоростной коэффициент, учитывающий влияние центробежной силы, уменьшающей сцепление ремня со шкивом; $c_2 = 1,04 - 0,0004v^2$; c_3 — коэффициент режима работы (табл. 2). При реверсивном частом пуске, повышенной влажности среды и наличии натяжного ролика величину c_3 необходимо умень-

шать на 0,1 по сравнению с величинами, приведенными в табл. 2; c_4 — коэффициент, зависящий от угла наклона линии центров к горизонту (табл. 3).

2. Коэффициент режима c_3 при односменной работе и передаче от электродвигателей постоянного тока, переменного тока, асинхронных с короткозамкнутым ротором

Характер нагрузки	Машины, приводимые в движение	c_3
Пусковая нагрузка до 120% нормальной. Рабочая нагрузка почти постоянная	Вентиляторы и воздуходувки, компрессоры, центробежные насосы, станки токарные, шлифовальные, сверлильные, ленточные транспортеры	1
Пусковая нагрузка до 150% нормальной. Небольшое колебание рабочей нагрузки	Станки фрезерные и револьверные. Поршневые компрессоры и насосы. Пластинчатые транспортеры	0,9
Пусковая нагрузка до 200%. Рабочая нагрузка со значительными колебаниями	Реверсивные приводы: станки строгальные, заточные, долбежные, станки ткацкие и прядильные. Прессы винтовые и эксцентрикные, скребковые транспортеры, элеваторы	0,8
Пусковая нагрузка до 300%. Рабочая нагрузка неравномерная или ударная	Молоты, дробилки, шаровые мельницы, подъемные экскаваторы, ножицы	0,7

Примечание. При работе в две или три смены значения c_3 следует снижать соответственно на 0,1 или 0,2.

3. Значения коэффициента c_4 для плоскоременных передач

Передачи	c_4 при угле наклона передачи к горизонту		
	0—60°	60—80°	80—90°
Натяжные и открытые	1,0	0,9	0,8
Перекрестные	0,9	0,8	0,7
Полуперекрестная и угловые передачи с направляющими роликами	0,8	0,7	0,6

Диаметр меньшего шкива (мм) выбирают конструктивно или по формуле

$$D_1 = (1130 \div 1000) \sqrt[3]{\frac{N}{n_{\max}}},$$

где N — передаваемая мощность, кВт; n_{\max} — частота вращения меньшего шкива об/мин.

Диаметр большего шкива

$$D_2 = \frac{D_1 n_1}{n_2} (1 - \xi),$$

где ξ — коэффициент скольжения $\xi = 0,01 \div 0,02$.

Вычисленные значения D_1 и D_2 следует округлить по ГОСТ 17383—73 (рекомендуется D_1 округлять в большую сторону, а D_2 — в меньшую), затем уточнить передаточное число i и частоту вращения n_2 .

Межосевое расстояние $A = (1,5 \div 2) (D_1 + D_2)$.

Рассчитанный ремень рекомендуется проверить на прочность.

Наибольшие напряжения σ_{\max} возникают в сечении ведущей ветви ремня при набегании ее на малый шкив:

$$\sigma_{\max} = \sigma_0 + \frac{k}{2} + \sigma_3 + \sigma_4,$$

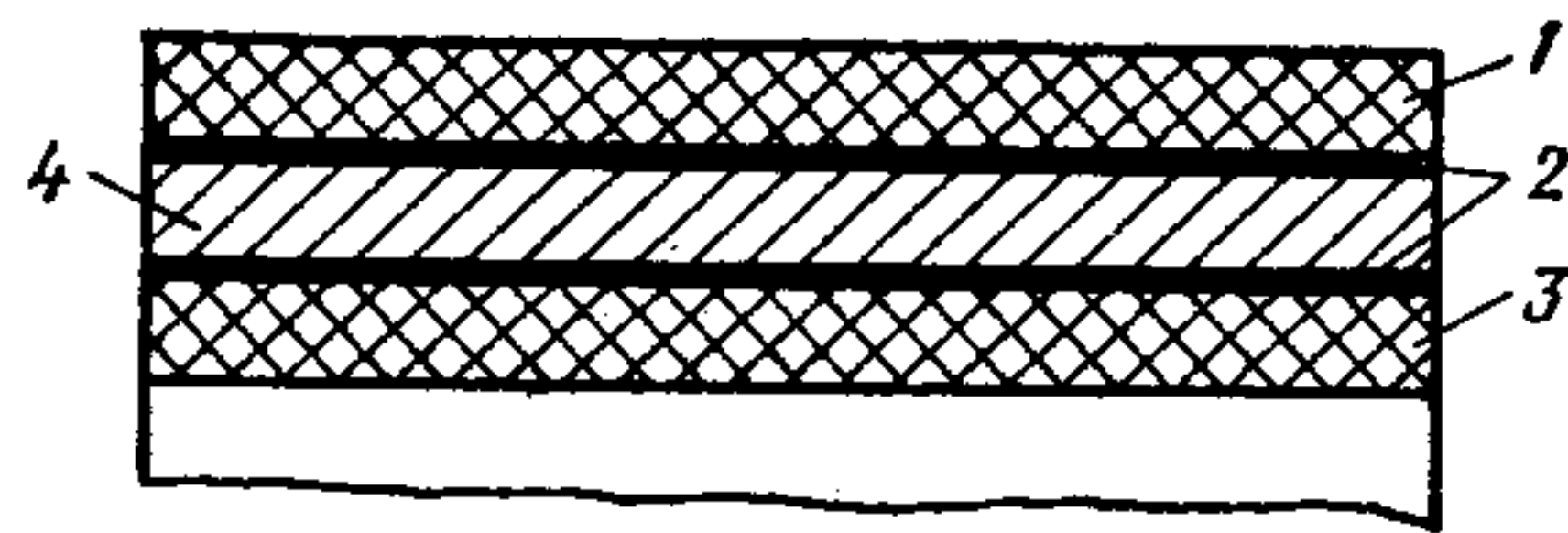


Рис. 1. Плоский ремень:

1 — слой из эластомера; 2 — слой из полиамидной ткани; 3 — слой из другого эластомера 4 — полиамид

где σ_0 — напряжение в ремне от натяжения S_0 в состоянии покоя или при холостом ходе, кгс/см²;

$$\sigma_0 = \frac{S_0}{F}; S_0 = \frac{S_1 + S_2}{2};$$

натяжение ведущей и ведомой ветвей ремня соответственно

$$S_1 = S_0 + \frac{P}{2} \text{ и } S_2 = S_0 - \frac{P}{2};$$

$P = S_1 - S_2$ — расчетное окружное усилие, кгс.

Напряжения в ветвях ремня при работе, кгс/см²

$$\sigma_1 = \frac{S_1}{F}; \sigma_2 = \frac{S_2}{F}.$$

Полезное напряжение, кгс/см²

$$k = \frac{P}{F} = \frac{102N}{vF}; k = \sigma_1 - \sigma_2.$$

Напряжение в ремне от центробежных сил, кгс/см²

$$\sigma_3 = \frac{\gamma v^2}{10g} \approx \frac{v^2}{100},$$

где γ — объемный вес ремня ($\gamma \approx 0,9 \div 1,2$ кгс/см³); $g = 9,8$ м/с².

Напряжение в ремне от изгиба, кгс/см²,

$$\sigma_4 \approx E \frac{\delta}{D},$$

где E — модуль упругости ремня, кгс/см².

Бесконечные ремни, тканые из синтетических волокон с фрикционными покрытиями. Плоские ремни (рис. 1) состоят из ленты полиамида, двух внутренних слоев полиамидной ткани и наружных слоев эластомера, обладающего высоким коэффициентом трения, а также электропроводимостью, что исключает накопление в нем электростатического заряда.

Для ремней шириной 10—30 мм применяют просвечивающие или полотняное переплетение, покрытое пленкой из полиамида С-6 с нитрильным каучуком СКН-40, а для ремней шириной 40—100 мм применяют саржу (более плотную ткань с утком в два слоя) и покрытие капритовым латексом.

Ремни приводные плоские бесконечные из синтетических материалов выпускаются по ТУ 17-1245-74.

Длина, мм: 250; 260; 280; 300; 320; 340; 350; 380; 400; 420; 450; 480; 500; 530; 560; 600; 630; 670; 710; 750; 800; 850; 900; 950; 1000; 1100; 1120; 1180; 1250; 1320; 1400; 1500; 1600; 1700; 1800; 1900; 2000; 2120; 2240; 2360; 2500; 2650; 2800; 3000; 3150; 3350.

Ширина, мм: 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 80; 100.

Для ремней просвечивающего переплетения $v_{\max} = 75$ м/с, а для ремней из двухуточной саржи $v_{\max} = 50$ м/с.

Рекомендуемые отношения $\frac{D_{\min}}{\delta} = 100 \div 150$, наименьшее предельное — 50.

За рубежом применяют ремни «Экстремультус» из нескольких слоев полиамидных лент с обкладкой на рабочей стороне хромовой кожей, а на нерабочей — прорезиненной тканью. Ремни изготавливают шириной от 12 до 1200 мм, толщина несущего слоя от 0,5 до 6,6 мм. Такие ремни допускают скорости до 60 м/с и мощности до 3000 кВт, с передаточным числом до 20.

Передачи с зубчатыми пластмассовыми ремнями могут работать в большом диапазоне скоростей.

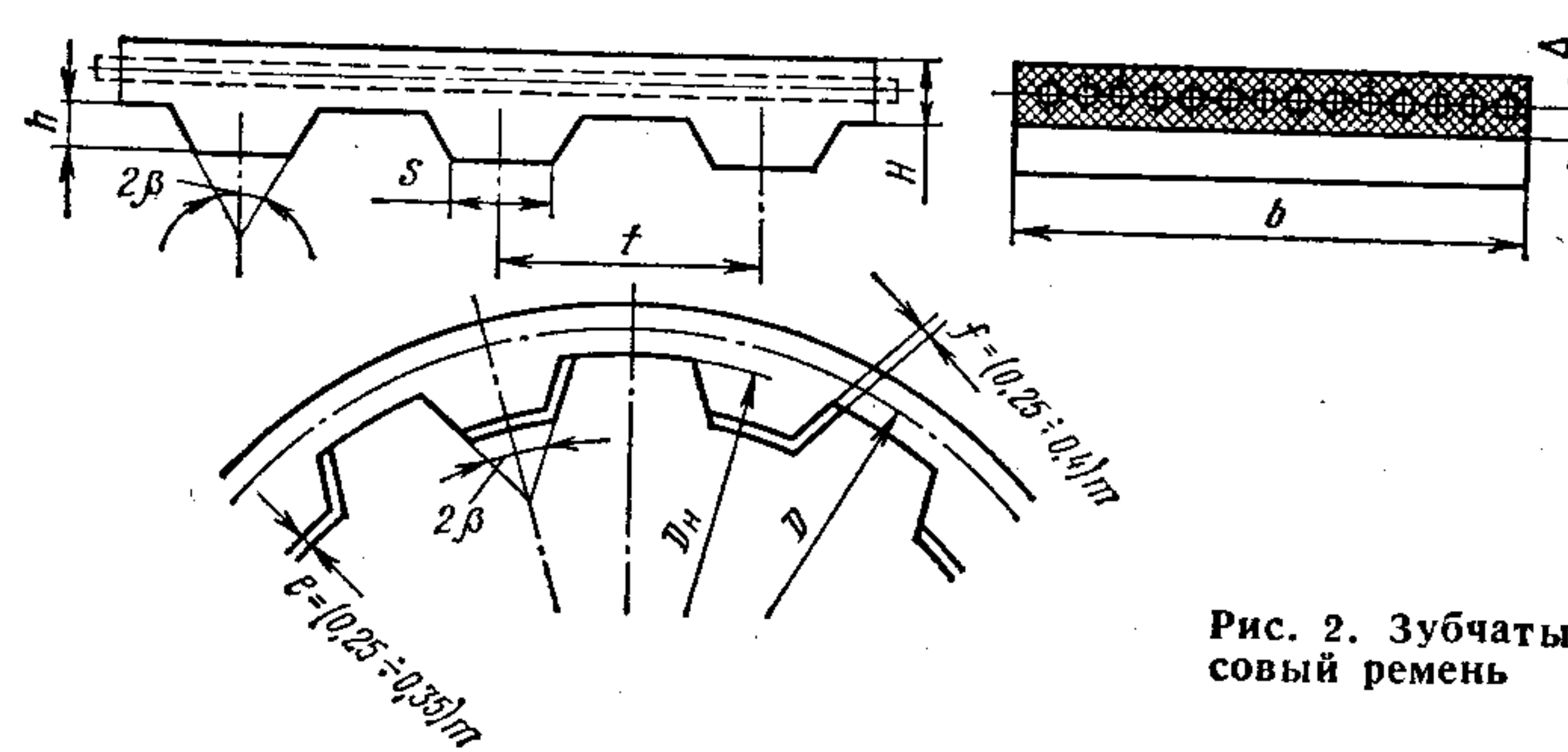


Рис. 2. Зубчатый пластмассовый ремень

Зубчатые ремни изготавливают плоскими бесконечными. Выступы на внутренней поверхности входят в зацепление с зубьями шкивов. Преимущества таких передач: отсутствие скольжения, высокий КПД (0,92—0,98), возможность больших передаточных чисел, малые габариты.

Ремни изготавливают из наирита или из полиуретанового каучука марки СКУ-7 (при изготовлении ремня литьем). Несущим элементом служит трос, изготовленный из стали или из стеклопластика.

Основной параметр передачи (рис. 2) — модуль $m = \frac{t}{\pi}$, где t — шаг ремня.

Форма зубьев трапецеидальная, высота зубьев $h = 0,6m$; наименьшая толщина $s = m$; угол $2\beta = 50^\circ$; расчетная длина ремня $L = \pi m z_p$, где z_p — число зубьев ремня. Толщина ремня по впадинам $H = m + 1$ мм. Рекомендуемые (нормаль ОН 6-07-5-63) модули зубчатых ремней 2, 3, 4, 5, 7, 10 мм.

Число зубьев ремней: 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 125, 140, 160; число зубьев меньшего шкива при модуле 2—5 мм 16—20; при модуле 7—10 мм — 20—26; большие значения — при больших скоростях. Число зубьев меньшего шкива, находящихся в зацеплении, в соответствии с углом обхвата должно быть не меньше 6.

Ширина b зубчатых ремней, мм:

m	b
2	8, 10, 12, 15, 16
3	12, 15, 16, 20, 25
4	20, 25, 32, 40
5	25, 32, 40, 50
7, 10	50, 63, 80

Применяют передаточные числа до 12, но не более 20. Рекомендуемые скорости:

m , мм	2	3	4	5—10
v , м/с	25	30	35	40

Максимальная скорость до 80 м/с. Модуль ремня определяется в зависимости от мощности передачи:

N , кВт	До 0,4	0,4—3	3—5,5	5,5—10	10—22	22 и более
m , мм	2; 3	3; 4	4; 5	4; 5; 7	5; 7	7; 10

Диаметры делительных окружностей шкивов: $D_1 = m z_1$; $D_2 = m z_2$. Допускаемое удельное окружное усилие на ремне (кгс/см)

$$p = p_0 C_p C_u C_{\text{ш}},$$

где p_0 находят в зависимости от m :

m , мм	2	3	4*	4**	5	7	10
p_0 , кгс/см	5	10	15	25	35	45	60

* Ремень с диаметром троса 0,4 мм.
** Ремень с диаметром троса 0,75 мм.

C_p — коэффициент, учитывающий перегрузки:

Пиковая перегрузка в % от номинальной нагрузки	150	150—250	250—400
C_p при работе в одну смену	0,6—0,75	0,55—0,7	0,5—0,65

При двухсменной работе C_p понижают на 0,05; при трехсменной — на 0,1.
 C_u — коэффициент, зависящий от передаточного числа u :

$u = \frac{n_1}{n_2}$	1—0,8	0,8—0,6	0,6—0,4	0,4—0,3	0,3 и менее
C_u	1,0	0,95	0,9	0,85	0,8

C_H — коэффициент, учитывающий наличие натяжных или направляющих роликов: $C_H = 0,9$ — при одном ролике; $C_H = 0,8$ — при двух.
 $C_{ш}$ — коэффициент ширины ремня:

b , мм	10	16	25	40	63	100
$C_{ш}$	0,8	0,9	1,0	10,5	1,1	1,2

Значения мощности, допускаемой для передач зубчатым ремнем, даны на рис. 3.

Параметры шкивов плоскоремennых передач. Материал шкивов выбирают в зависимости от скорости ремня. При $v \leq 25$ м/с применяют шкивы из чугуна СЧ 12-28; при $v = 25 \div 30$ м/с — из чугуна СЧ 15-32; при $v = 30 \div 35$ м/с — из чугуна СЧ 18-36 и СЧ 21-40. Для быстроходных ремennых передач применяют шкивы из легированной стали или дюралюминия.

Ширина обода шкива, мм

$$B = 1,1b + (10 \div 15),$$

где b — ширина ремня.

Толщина обода шкива у края, мм

$$\delta_0 = 0,001D + 3,$$

где D — диаметр шкива.

Диаметр ступицы

$$d_1 = (1,8 \div 2,0) d,$$

где d — диаметр вала.

Длина ступицы

$$L = (1,2 \div 1,5) d.$$

Число спиц шкива

$$z_c = (0,14 \div 0,16) \sqrt{D};$$

при $z_c < 3$ шкив выполняют дисковой конструкции (без спиц).

4. Параметры шкивов зубчатых ремennых передач

Шаг, мм	Частота вращения, об/мин	Диаметр шкива, мм	Число зубьев	Шаг, мм	Частота вращения, об/мин	Диаметр шкива, мм	Число зубьев
5	3700	25	20	20	1750	180	26
	1750	30	18		1000	170	24
	1000	25	16		850	155	22
10	3500	65	22	30	1750	250	26
	1750	60	20		1000	240	24
	1000	55	18		850	220	22
15	3500	100	24				
	1750	90	22				
	1000	80	20				

оси эллипса сечения спицы:

$$a = 0,5h; h \geq \sqrt{\frac{75PD}{2z_c [\sigma_{пз}]}}$$

где P — окружное усилие, определяемое по величине передаваемого вращающего момента (основные размеры шкивов см. ГОСТ 17383—73).

Параметры шкивов зубчатых ремennых передач приведены в табл. 4.

Меньший шкив делают с фланцем.

При $\frac{D_2}{D_1} < 3$ и $A > 8D_1$ при передаче тремя шкивами фланцы выполняют на двух шкивах.

Для изготовления плоских бесконечных ремней на синтетической основе используют мешковые ткани.

Ткань полотняного переплетения выработывают из капрона или лавсана и хлопчатобумажной пряжи, а ткань просвечивающегося переплетения — из кордного капрона или лавсана в основе и утке. Такие ремни могут быть применены для приводов металлорежущих станков и других машин при окружной скорости $v \leq 75$ м/с, температуре воздуха 50°C и относительной влажности воздуха до 95%.

При $v \leq 50$ м/с используют ремни из просвечивающейся ткани. При $v = 50 \div 75$ м/с применяют ремни из полотняной ткани.

Толщина ремня не более 1 мм.

Ширина ремня, мм — 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60.

Удельное окружное усилие, передаваемое 1 см ширины ремня, при начальном натяжении $\sigma_0 = 75$ кгс/см², угле обхвата 180° и спокойной односменной работе составляет:

Диаметр шкива, мм	50	100	150
Удельное окружное усилие, кгс/см ²	1,7	3,5	5,0

Внутренние длины ремней приведены в табл. 5.

5. Внутренние длины ремней, мм

Внутренние длины ремней	Допускаемые отклонения (±)
250, (260), 280, (300), 320, (340), 350, (380), 400, (420), 450, (480), 500, 530, 560, (600), 630, (670), 710, (750), 800, (850), 900, (950)	20
1000, (1060), 1120, (1180), 1250, (1320), 1400	
1500, 1600, (1700), 1800, (1900), 2000	
2120, (2240), (2360), 2500, (2650), 2800, (3000), 3150, (3350)	
3550, (3750), 4000	

Примечание. Величины, заключенные в скобки, следует использовать только при крайней необходимости.

КЛИНОРЕМЕННЫЕ ПЕРЕДАЧИ СО ШКИВАМИ ИЗ ПЛАСТМАСС

В работах [4, 12, 27, 41, 43] показана большая экономия от применения пластмассовых шкивов (из волокнита, пресс-порошка, из древопластика и текстолитовой крошки). Примеры выполнения шкивов показаны на рис. 4.

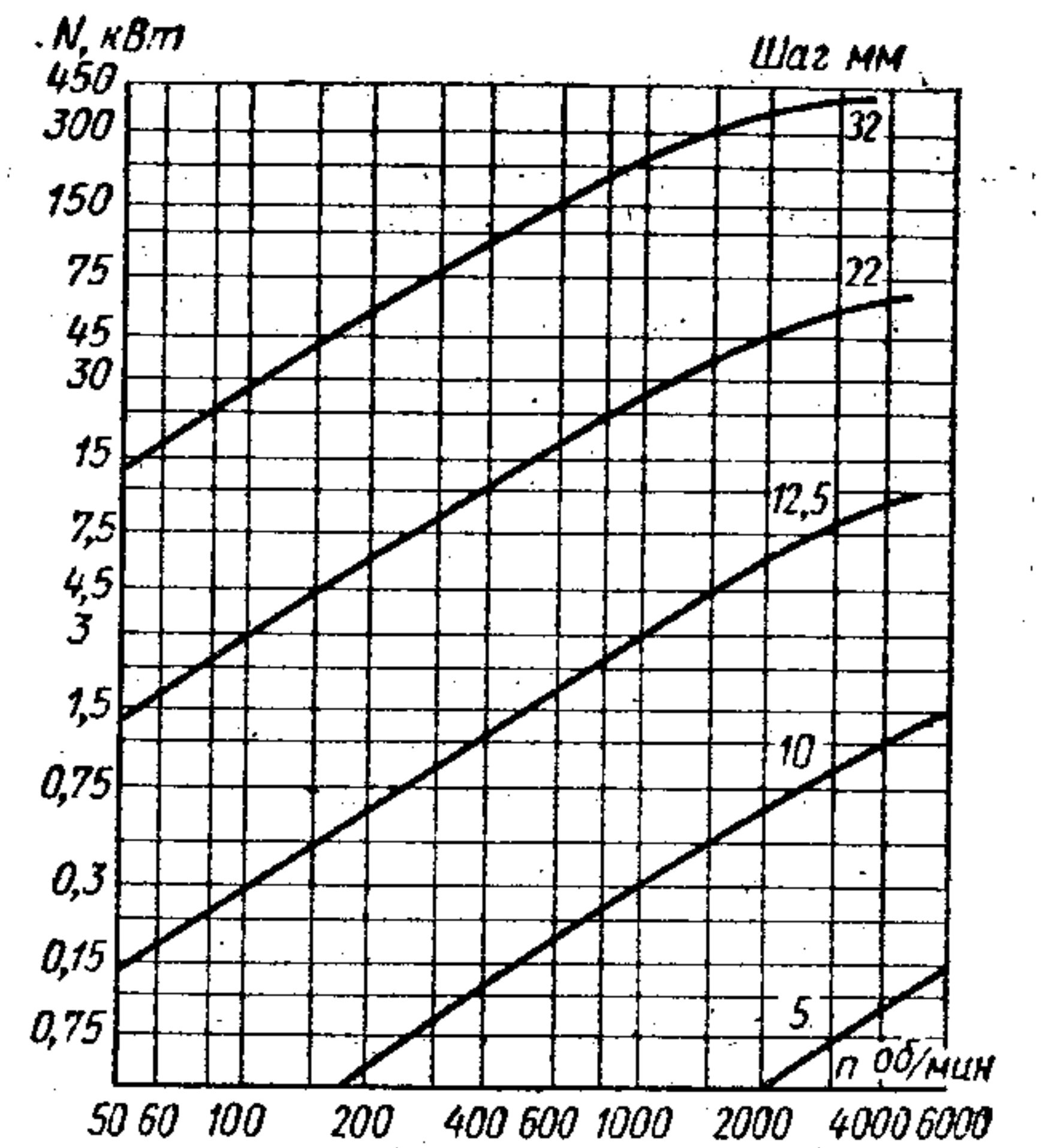


Рис. 3. Зависимость расчетной мощности, передаваемой зубчатым ремнем, от угловой скорости меньшего шкива и шага

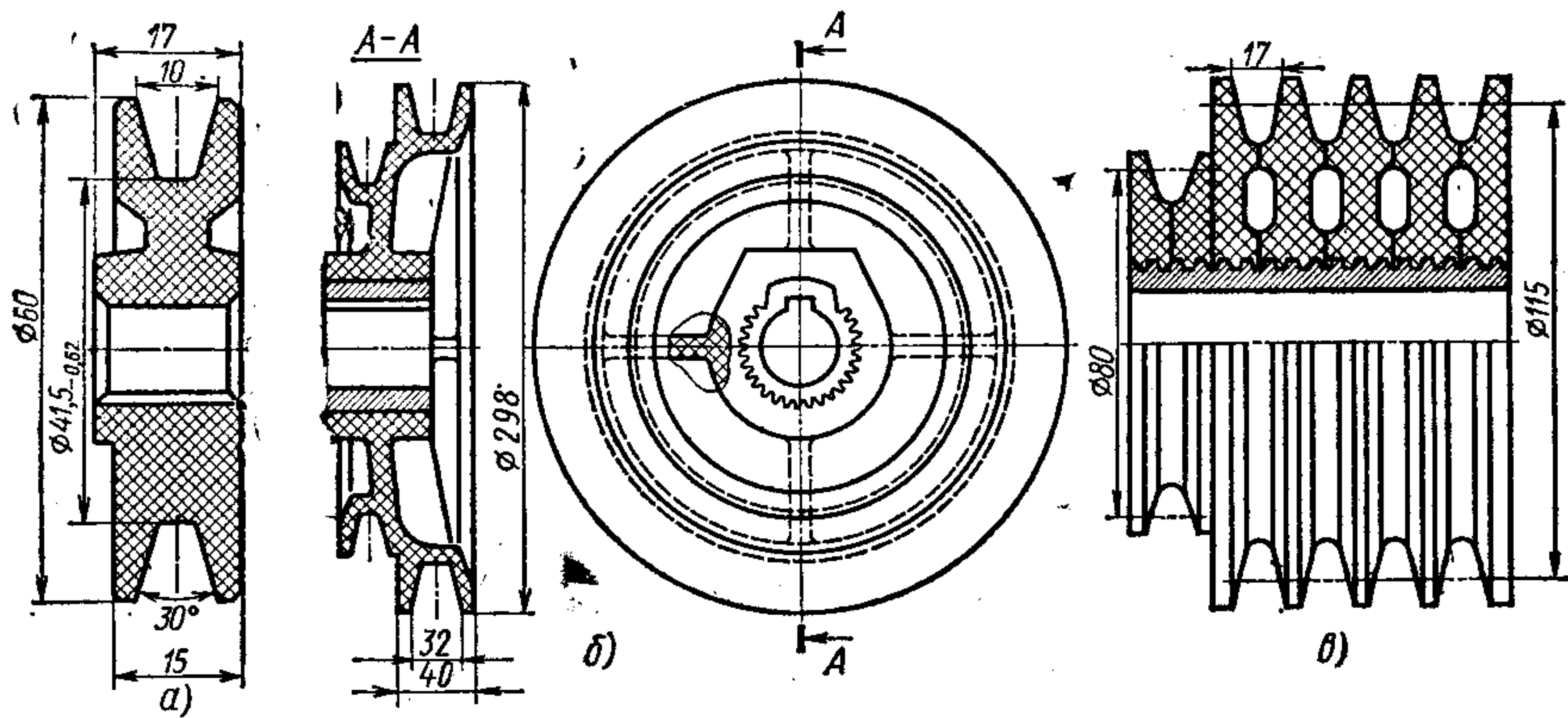


Рис. 4. Варианты выполнения пластмассовых шкивов: а — из пресс-порошка; б — с металлической ступицей; в — клееная конструкция

Наибольшая допустимая скорость ремня $v \approx 35$ м/с.

Испытания передач со шкивами из капрона и органического стекла показали высокое значение коэффициентов трения, объясняющееся размягчением капрона от нагрева и образованием задира на поверхности канавок; поэтому нецелесообразно изготавливать шкивы из таких материалов.

Кривые скольжения в передачах с волокнистыми и чугунными шкивами примерно одинаковы.

В связи с этим клиноременные передачи со шкивами из пластмасс перечисленных выше марок можно рассчитывать по методике, принятой для клиноременных передач с металлическими шкивами.

Число ремней $z = \frac{P}{[k]F}$, где P — расчетное окружное усилие, кгс; F — площадь поперечного сечения ремня, см².

Допускаемое полезное напряжение, кгс/см²

$$[k] = k_0 c_1 c_2 c_3,$$

где k_0 — оптимальное полезное напряжение при $v = 10$ м/с, $\alpha = 180^\circ$ и спокойной работе; c_1 — коэффициент, учитывающий влияние угла обхвата; c_2 — скоростной

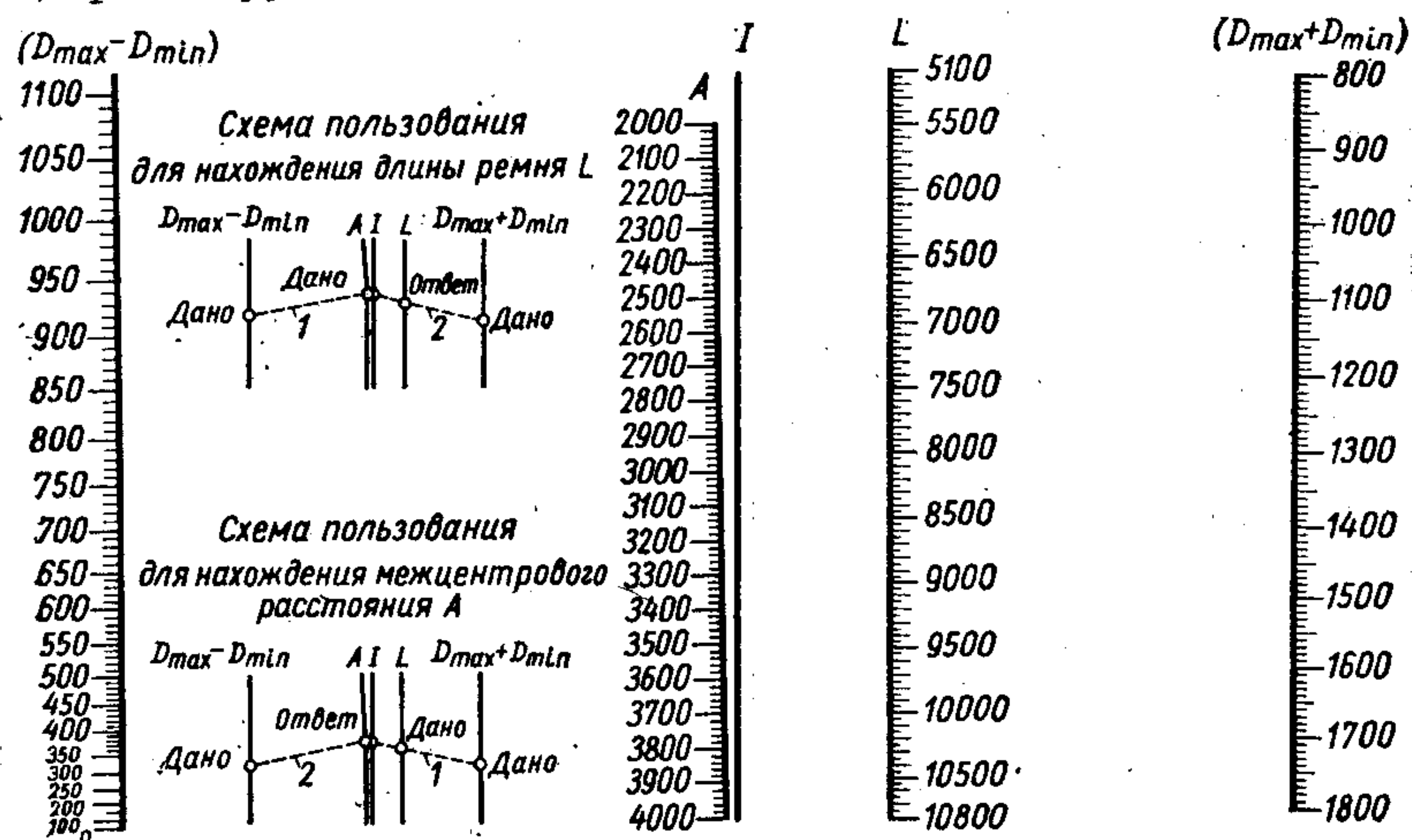


Рис. 5. Номограмма для определения межосевого расстояния

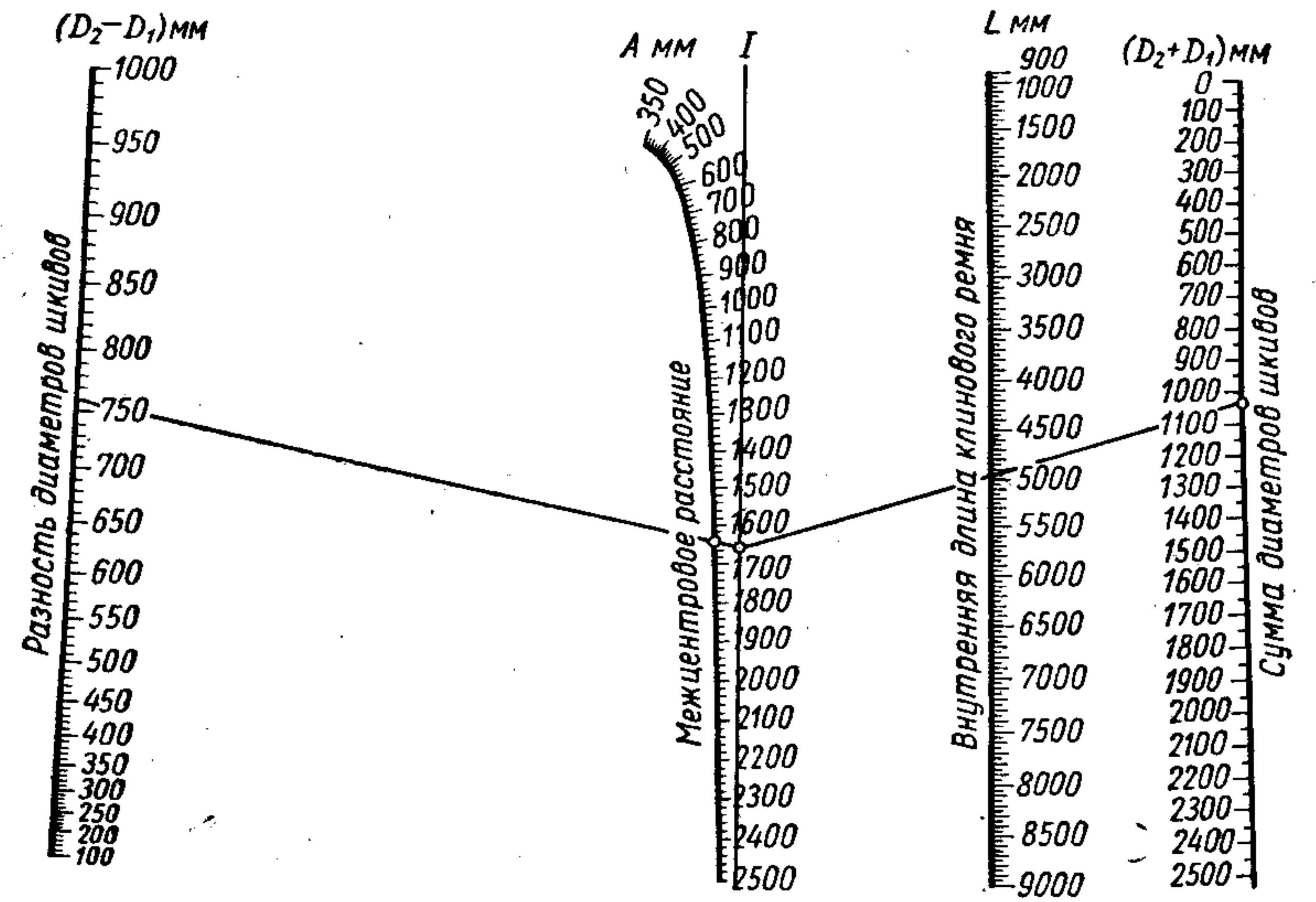


Рис. 6. Номограмма для определения межцентрового расстояния и длины ремня

коэффициент; c_3 — коэффициент режима и длительности работы.

$$k_0 = a - \omega \frac{\delta}{D};$$

значения a , ω и k_0 такие же, как и для клиноременных передач с металлическими шкивами.

При расчете клиноременной передачи по заданному межцентровому расстоянию после выбора профиля ремня вычисляют необходимую длину ремня и округляют до ближайшего стандартного размера.

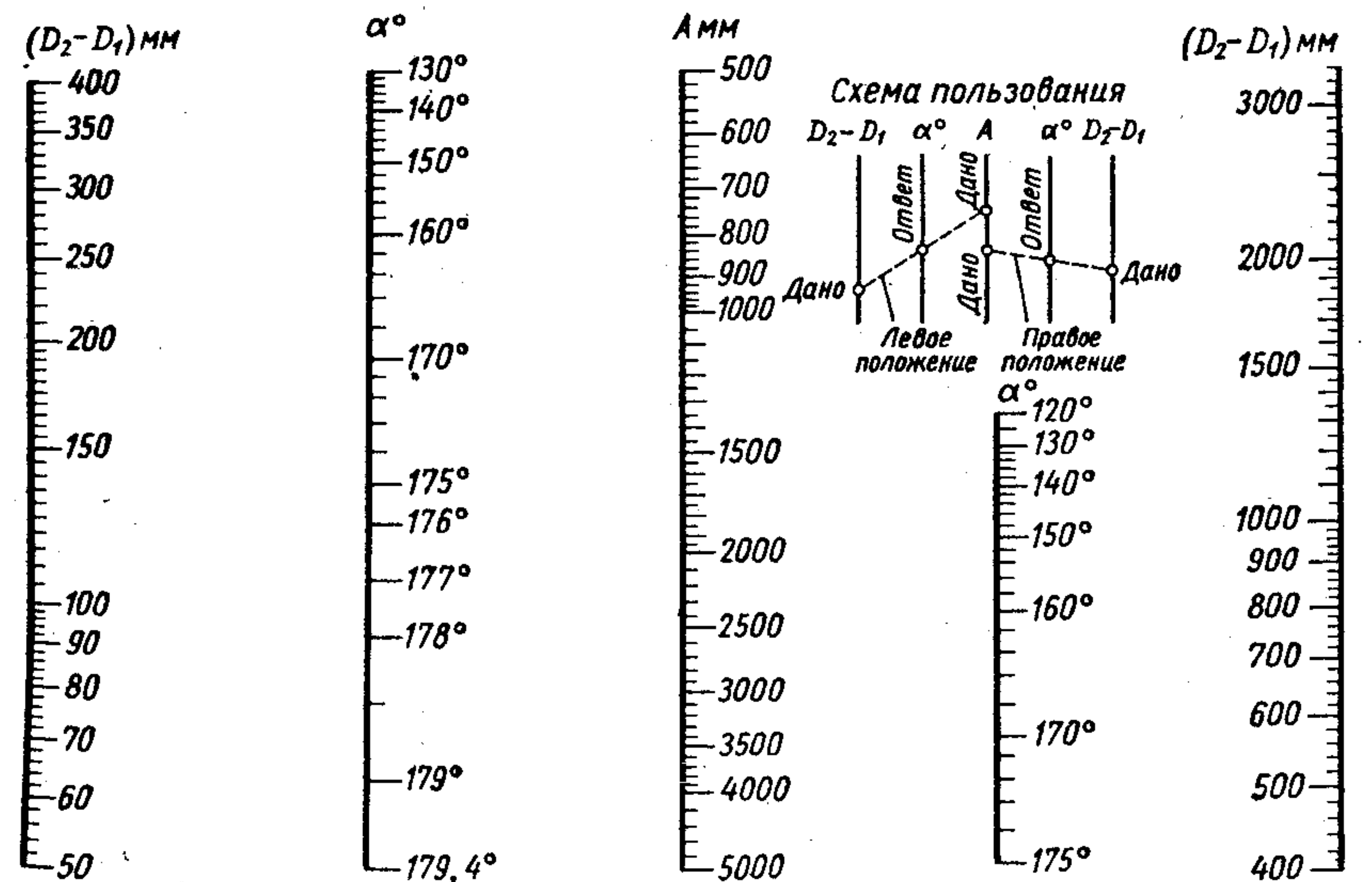


Рис. 7. Номограмма для определения угла обхвата в клиноременных передачах

Рис. 8. Звездочка из пластмассы

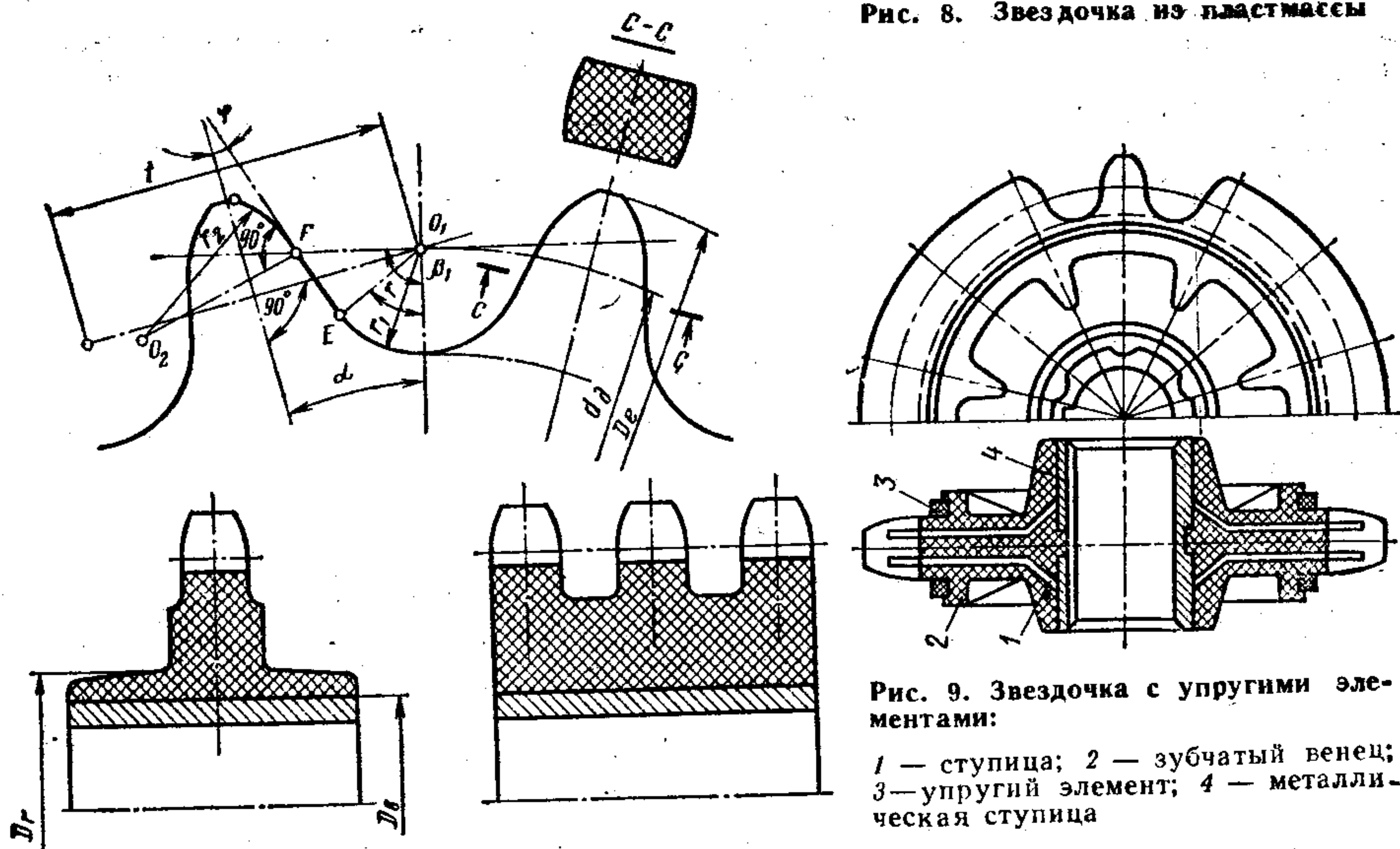


Рис. 9. Звездочка с упругими элементами:

1 — ступица; 2 — зубчатый венец; 3 — упругий элемент; 4 — металлическая ступица

После этого окончательно определяют межцентровое расстояние

$$A = \frac{2L_{ст} - \pi(D_б + D_м) + \sqrt{[2L_{ст} - \pi(D_б + D_м)]^2 - 8(D_б - D_м)^2}}{8}$$

где $L_{ст}$ — стандартная длина ремня; $D_б$ и $D_м$ — соответственно диаметры большого и малого шкивов.

Межцентровое расстояние можно также выбирать по рис. 5 или по эмпирической формуле

$$A = A_1 + \frac{L_{ст} - L_p}{2}$$

где A_1 — заданное межцентровое расстояние; L_p — расчетная длина ремня;

$$L_p = 2l + \Delta_1 + \frac{\Delta_2}{l}$$

здесь

$$\Delta_1 = \pi \frac{D_б + D_м}{2}; \quad \Delta_2 = \left(\frac{D_б - D_м}{2} \right)^2$$

При выборе минимального межосевого расстояния принимают $A_{min} = 0,55(D_1 + D_2) + h$, где h — толщина ремня.

Угол обхвата малого шкива α_1 (по ф-ле $\alpha_1 = 180^\circ - 60 \frac{D_2 - D_1}{A}$) должен быть не менее 120° , а при огибании трех шкивов $\geq 70^\circ$. $A_{max} = D_1 + D_2$. В предварительных расчетах принимают $A = (0,8 \div 1) D_2$.

Погрешность в определении межцентрового расстояния по первой формуле по сравнению со второй составляет в среднем 0,5—1,5%.

Межцентровое расстояние и длину ремня можно определить по рис. 6.

Углы обхвата можно определять по рис. 7 или по формуле

$$\alpha = 180^\circ - \frac{D_2 - D_1}{A} 60^\circ$$

Подробнее о ременных передачах см. работы. [4, 12, 16, 27, 41, 43].

Звездочки цепного привода. Использование полимерных звездочек снижает действие ударной нагрузки на цепь. Полимерные и металлополимерные звездочки обладают высокой износостойкостью.

На рис. 8 показана конструкция зубчатого венца звездочки со сферической формой рабочей поверхности. По сравнению со стандартным вариантом контактная и изгибная прочность зуба звездочки увеличилась на 10—15%.

Основные размеры зубчатого венца металлополимерных звездочек:

$$\text{диаметр делительной окружности } d_d = \frac{t}{\sin 180^\circ/z};$$

$$\text{» окружности выступов } D_t = t(0,5k + \text{ctg } 180^\circ/z);$$

$$\text{радиус впадин, мм } r_1 = 0,5025D + 0,05;$$

$$\text{» головки зуба, мм } r_2 = 1,25D \cos \varphi;$$

здесь D — диаметр ролика;

$$\text{прямой участок профиля зуба } EF = 0,5D \text{ tg } (\alpha + \varphi);$$

$$\text{толщина полимерного венца звездочки } D_2 - D_b > 1,5t;$$

$$\text{диаметр металлической ступицы } D_{вс} = D_b + 3m_n.$$

Увеличение несущей способности полимерного зубчатого венца и повышение усталостной прочности цепи достигается также введением в полимерную звездочку упругого элемента — колец из маслостойкой резины (рис. 9) [52].

МУФТЫ, ТОРМОЗА, ФРИКЦИОННЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Пластмассы (текстолит, полиформальдегид, полиамид) применяют для изготовления вкладышей втулочных муфт, дисков кулачковых, зубчатых и других муфт.

Соединительная муфта с пластмассовыми вкладышами, применяемая в прокатных станах, показана на рис. 10. Четыре вкладыша 2 установлены в канавках металлической втулки 4. Для восприятия возможных перекосов валов 1 внутренняя поверхность вкладышей выполнена сферической. Вкладыши в продольном направлении фиксируются кольцами 3, 5, 6. Для упрочнения могут быть применены металлические клинья 7.

Осевое и угловое смещения соединяемых валов допускают муфты, показанные на рис. 11. На соединяемых валах 1 и 2 выфрезерованы четыре канавки, в которые заходят пластмассовые вкладыши 3 (из полиамида или текстолита), привинченные к втулке 4.

Конструкция пластмассовых муфт с зубчатым эвольвентным зацеплением практически такая же, как и металлических. Число зубьев выбирают от 40 до 80, угол зацепления $\alpha = 20^\circ$.

Преимущество пластмассовых муфт — более равномерное распределение усилий по зубьям, возможность работы без смазки, обеспечение электрической изоляции соединяемых валов.

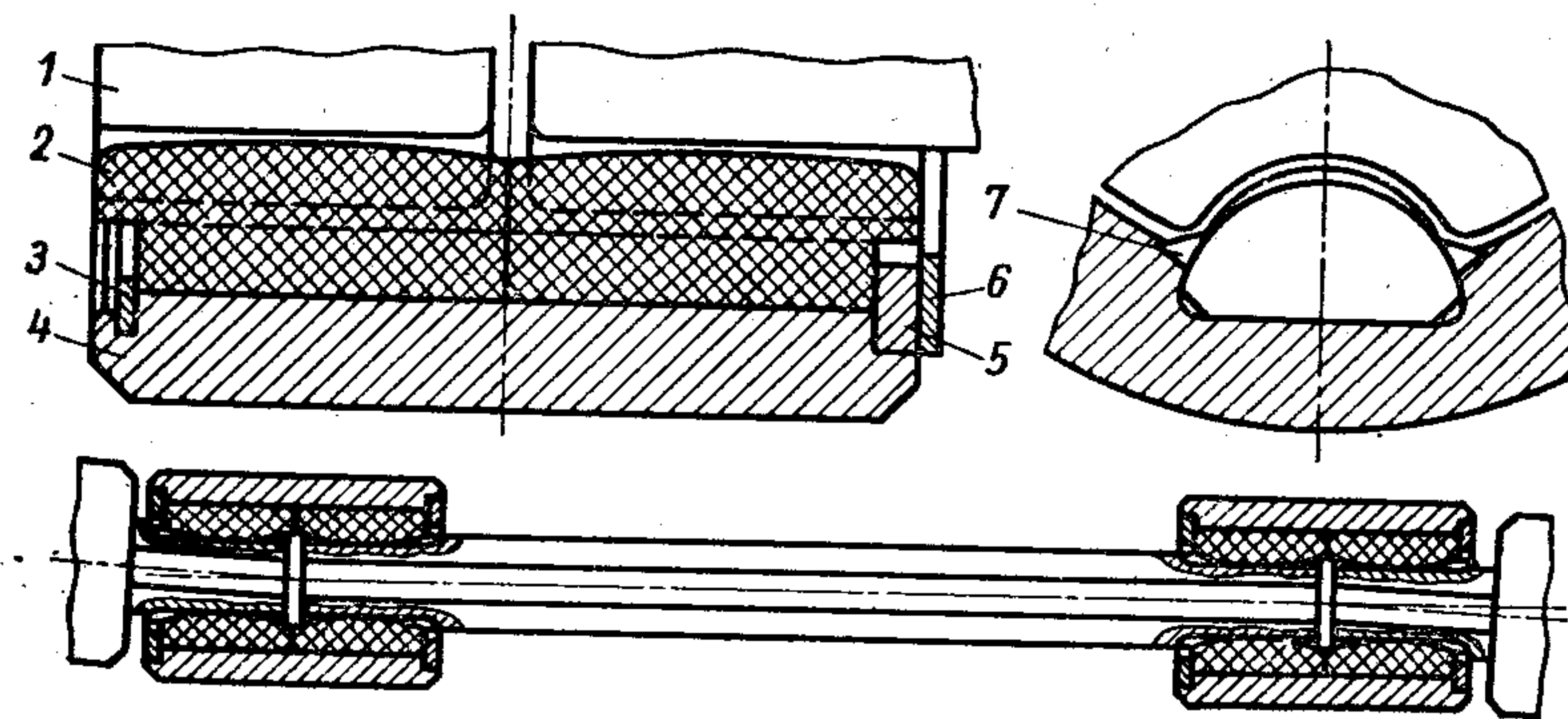


Рис. 10. Муфта с вкладышами из пластмасс

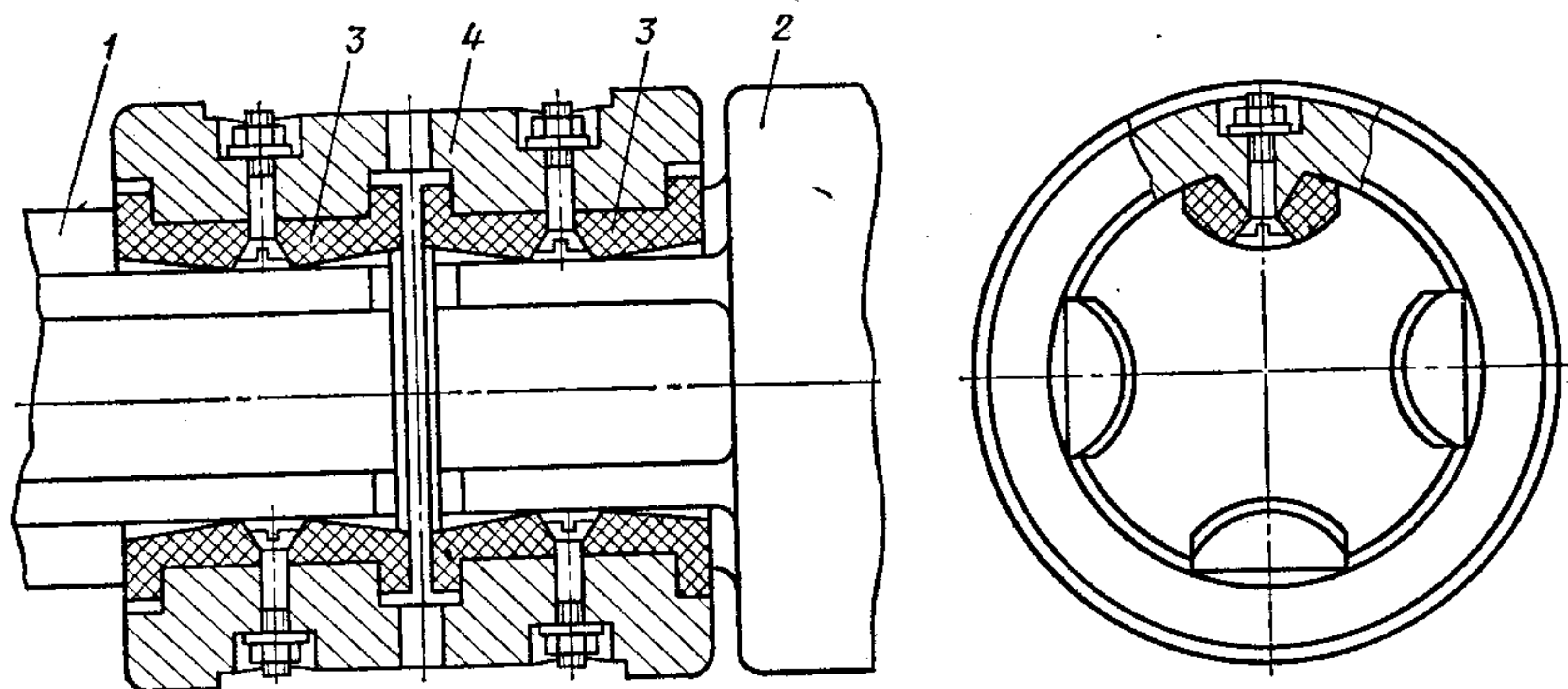


Рис. 11. Компенсирующая муфта

На рис. 12 полумуфты 1, 2 и зубчатая соединительная втулка 5 выполнены из полиамида. В полумуфтах установлены стальные вкладыши 4 с резьбой для стопорных винтов 3.

Применяют также зубчатые муфты, у которых соединительная втулка из пластмассы, а полумуфты из стали. Максимальное отклонение валов в обеих конструкциях $1,5^\circ$. Максимальное смещение валов: радиальное $\pm 0,7$ мм; осевое ± 1 мм. Максимальная частота вращения $n = 5000$ об/мин.

Кулачковая муфта, в которую монтируются пластмассовые вставки (текстолит, полиформальдегид), показана на рис. 13. В правой полумуфте, по концам прорезей, монтируются восемь текстолитовых вставок, в которые упираются кулачки левой полумуфты. Такие компенсирующие вставки увеличивают долговечность муфты, снижают шумность.

Муфта с плавающим текстолитовым вкладышем показана на рис. 14; в табл. 6 приведены параметры муфт для диаметров валов от 15 до 75 мм. Вкладыши из текстолита понижают трение в муфте и придают ей электроизолирующие свойства. На рис. 14 отдельно показаны варианты вкладышей с закрытой полостью, которую используют как резервуар для смазки.

Фрикционные накладки муфт и тормозов. Фрикционные материалы из-за относительно невысоких механических свойств наносят на стальной элемент, передающий и воспринимающий нагрузку. Контртело, образующее с накладкой фрикционную пару, обычно изготавливают из стали. Накладки состоят из асбеста, металлических наполнителей со связующими полимерами (резина, органические смолы).

В многодисковых муфтах стальные диски чередуются с дисками, несущими фрикционные накладки.

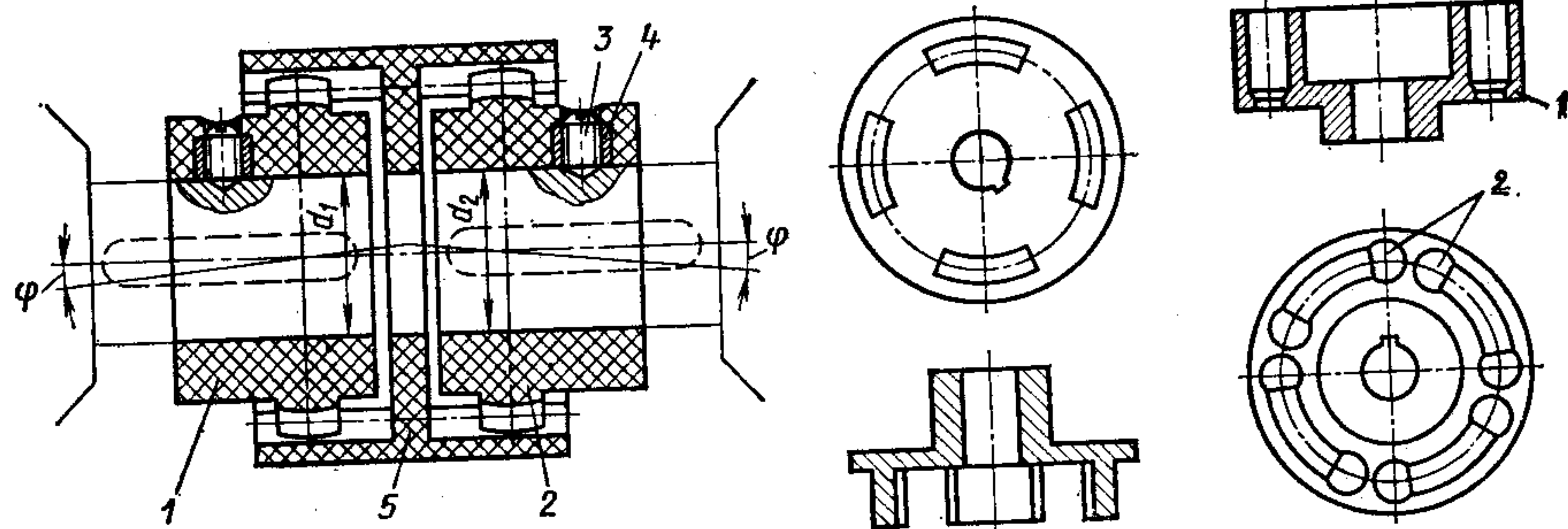


Рис. 12. Зубчатая муфта

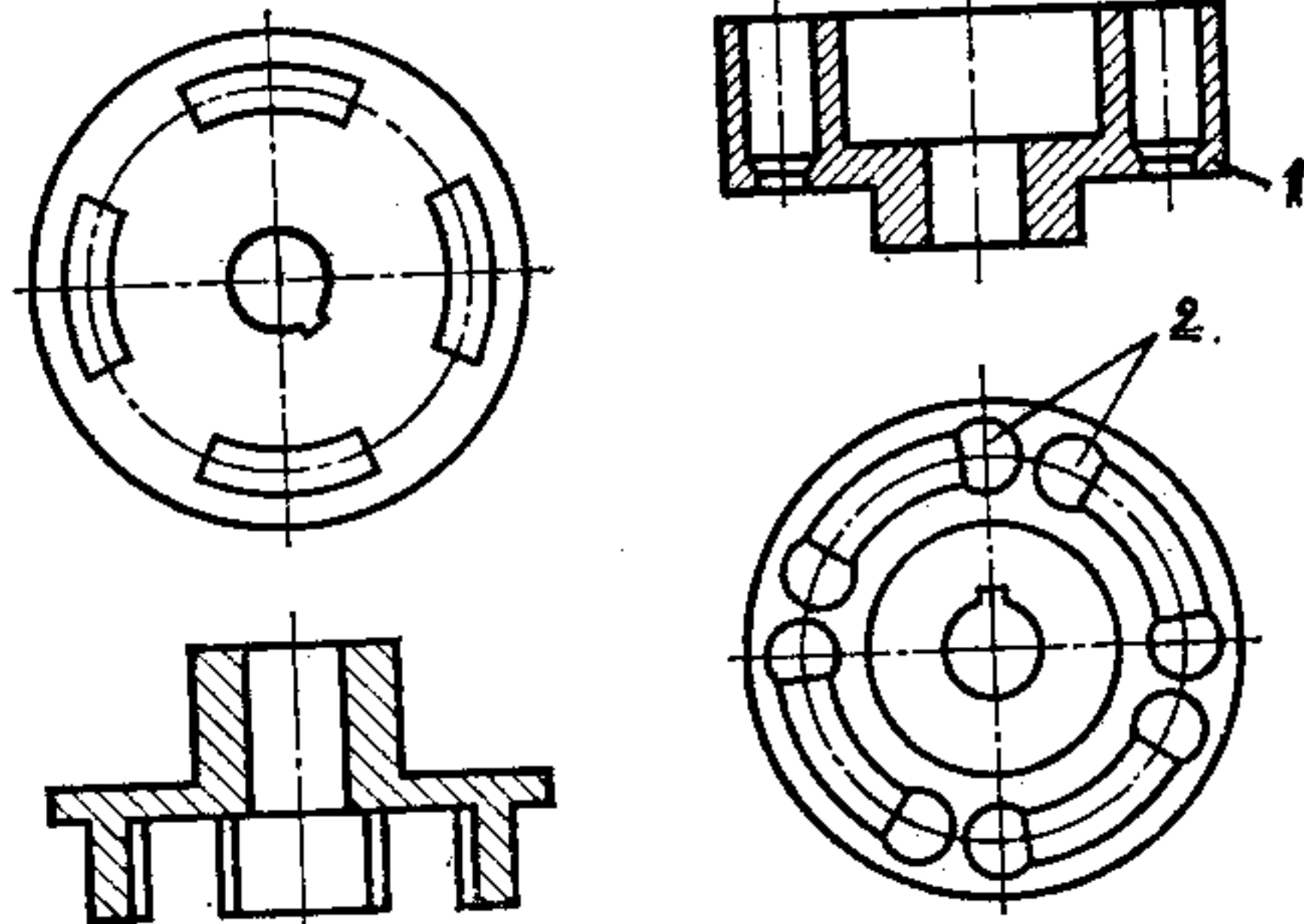


Рис. 13. Кулачковая муфта 1 с текстолитовыми вставками 2

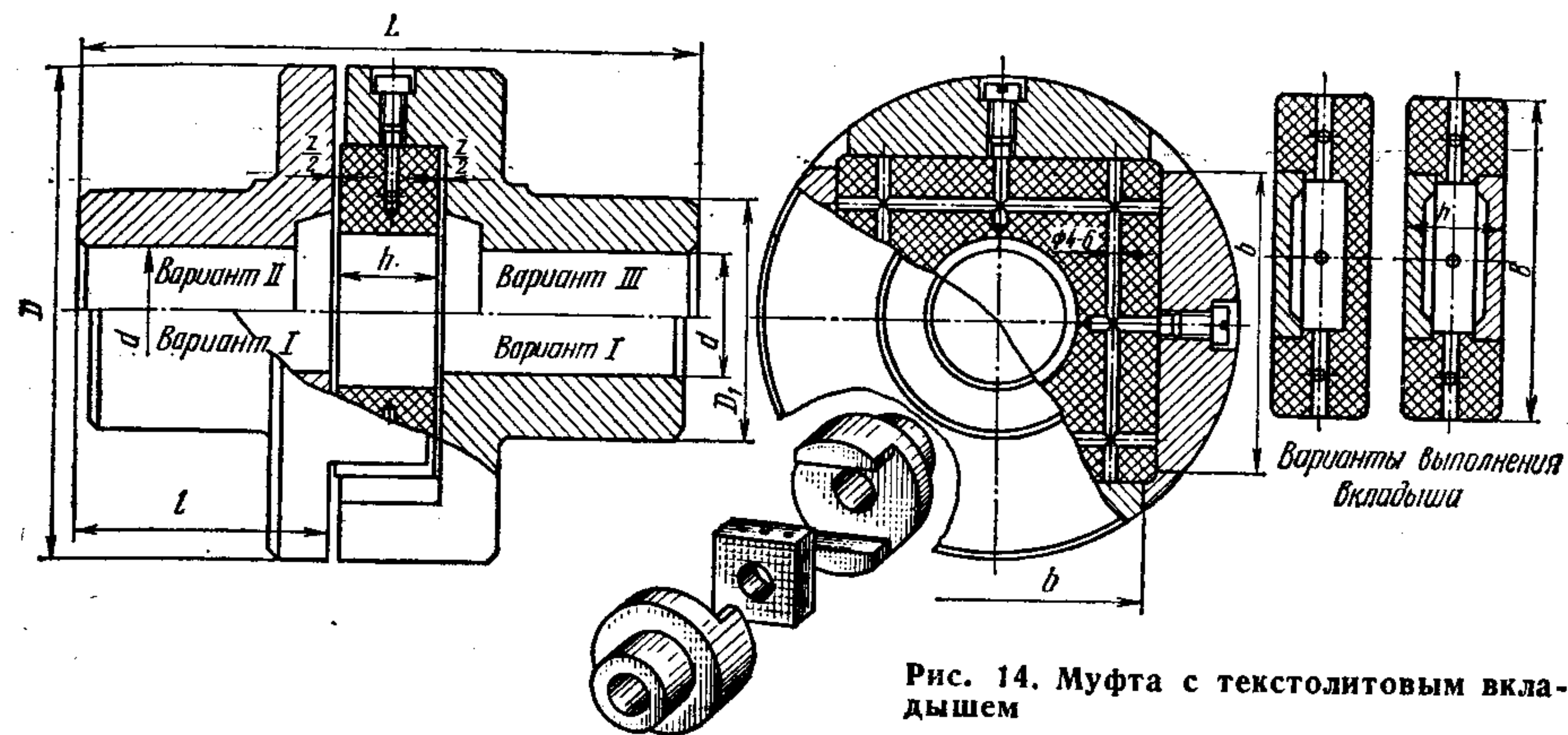


Рис. 14. Муфта с текстолитовым вкладышем

По конструктивному исполнению накладки могут иметь металлический провололочный каркас (при большой нагрузке) либо каркас из асбестовых нитей и др.

6. Параметры муфт со скользящим вкладышем (см. рис. 14)

Размеры, мм

M , кгс·м	n_{\max} , об/мин	d	D	D_1	L	l	z	h	b	B
1,7	8200	15—20	70	—	84	30	1	20	35	—
7,9	5700	25—28	100	60	124	50			55	60
21	4700	30—35	120	75	149	60	2	25	65	70
32	3800	40—45	150	90	184	75		—	—	80
67	3200	50—55	180	110	224	90		40	90	100
90	2600	60—65	220	130	254	100		—	—	120
170	2200	70—75	250	150	274	110	50	130	140	

В тормозах в качестве связующих материалов применяют синтетический каучук (СКС, СКБ, СКД), фенолоформальдегидную смолу, полиамиды. Наполнителями служат асбест, барит, окись цинка, сажа ламповая, железный сурик.

В процессе торможения поверхностный слой композиционных колодок нагревается до $250\text{--}300^\circ\text{C}$ и более. В холодных климатических зонах колодки подвергаются воздействию температуры до -55°C .

Температура внешней среды влияет на механические свойства, износостойкость, коэффициент трения композиций. Так, предел прочности при срезе $\sigma_{в\text{ср}}$ каучуковых материалов в интервале $-50^\circ\text{--}0^\circ\text{C}$ снижается (от $325\text{--}475$ до $225\text{--}350$ кгс/см²), между 0 и 100°C располагается зона стабильных значений $\sigma_{в\text{ср}}$, а в диапазоне $100\text{--}150^\circ\text{C}$ предел прочности снижается до $100\text{--}200$ кгс/см².

Твердость композиций асбокаучуковой группы при возрастании температуры от -50 до 0°C снижается на $25\text{--}30\%$, а при дальнейшем повышении t до 250° практически не меняется.

Механические и фрикционные свойства полимерных композиций и их зависимость от температуры в основном определяются типом связующего материала.

Фрикционные накладки на связующем материале из фенолоформальдегидной смолы могут работать при $t \leq 600 \div 800^\circ\text{C}$. При введении в состав композиций сажи и графита коэффициент трения снижается, а при введении барита и железного сурика — повышается. Асбест и сажа повышают износостойкость каучуковых композиций и вызывают меньший износ стального контртела, а окись цинка и барит — снижают.

Применение наполнителей средней твердости (ZnO , BaSO_4 , Fe_2O_3 и др.) мало влияет на степень снижения коэффициентов трения при попадании влаги. При тре-

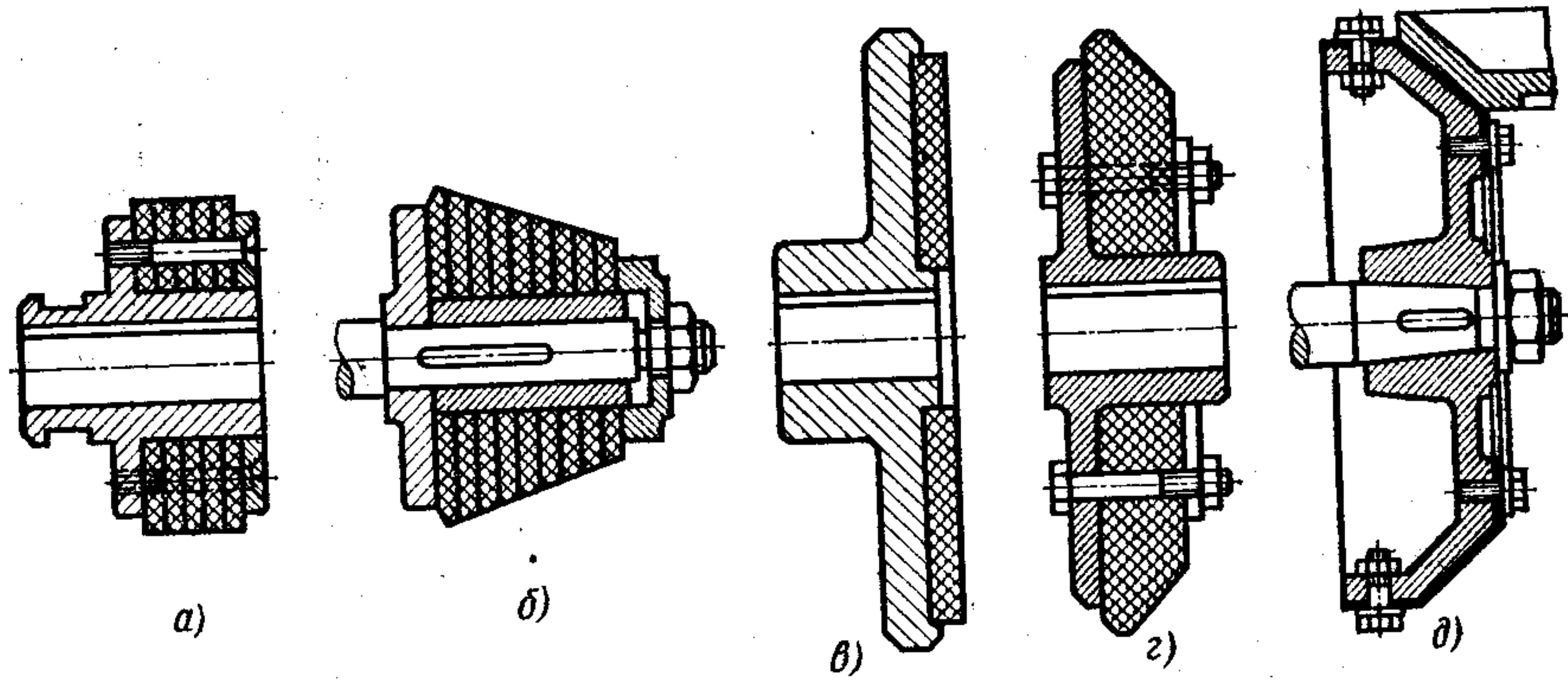


Рис. 15. Фрикционная муфта с венцами из пластмасс: а — цилиндрическая муфта с венцом из текстолитовых дисков; б — конусная муфта с венцом из текстолитовых дисков; в — фрикционный диск с пластмассовой облицовкой; г — конусное колесо с пластмассовой облицовкой

нии по стали наименьшая температура возникает при использовании каучукового связующего. Однако композиции на каучуковом связующем менее теплостойки, чем на смоляном и смешанном связующих. В то же время при температуре 300—400 °С и нагрузках на контакте 3—12 кгс/см² такие композиции более износостойки (чем на термореактивном и смешанном связующих), меньше также износ колесной стали по этим композициям.

Рабочие температуры каучуковых материалов не должны превышать 300—400 °С, смоляных 850—950 °С, материалов на смешанном связующем 400—450 °С.

Повышение твердости фрикционных композиций вызывает повышение температуры контакта. При использовании колодок из композиций на смешанном связующем возникает более напряженный тепловой режим, чем при каучуковой композиции.

Совместное использование в связующем термореактивных и термопластичных смол повышает их износостойкость и снижает износ контртела.

В процессе трения при определенной температуре на трущейся поверхности образуется так называемый рабочий слой, который по сравнению с исходным материалом имеет больший коэффициент трения и менее зависит от колебаний температуры.

Рабочий слой асбокаучуковых композиций в 1,25—2 раза менее износостоек, чем исходный материал, вызывает интенсивный нагрев и значительный износ контртела.

Наименьший износ стального тела вызывает асбест, сажа. В состав композиций вводят 30—40% по массе металлических порошков для стабилизации коэффициента трения при попадании влаги на контактные поверхности и около 20% сажи для уменьшения склонности колодок к наволакиванию металла.

Тормозные накладки и облицовки из пластмасс крепят к металлическим дискам так же, как и другие фрикционные материалы, винтами, заклепками с потайными головками или при помощи клеев на эпоксидной основе. Фрикционные накладки можно также запрессовывать в расточку дисковой муфты.

Колодки, которые могут быть выполнены из композиций на основе термореактивных смол любой формы (в виде кольца, сектора) взаимодействуют лишь с частью рабочей поверхности диска; $p_{\text{так}}$ обычно устанавливается экспериментально с учетом материала колодки, температуры и других факторов.

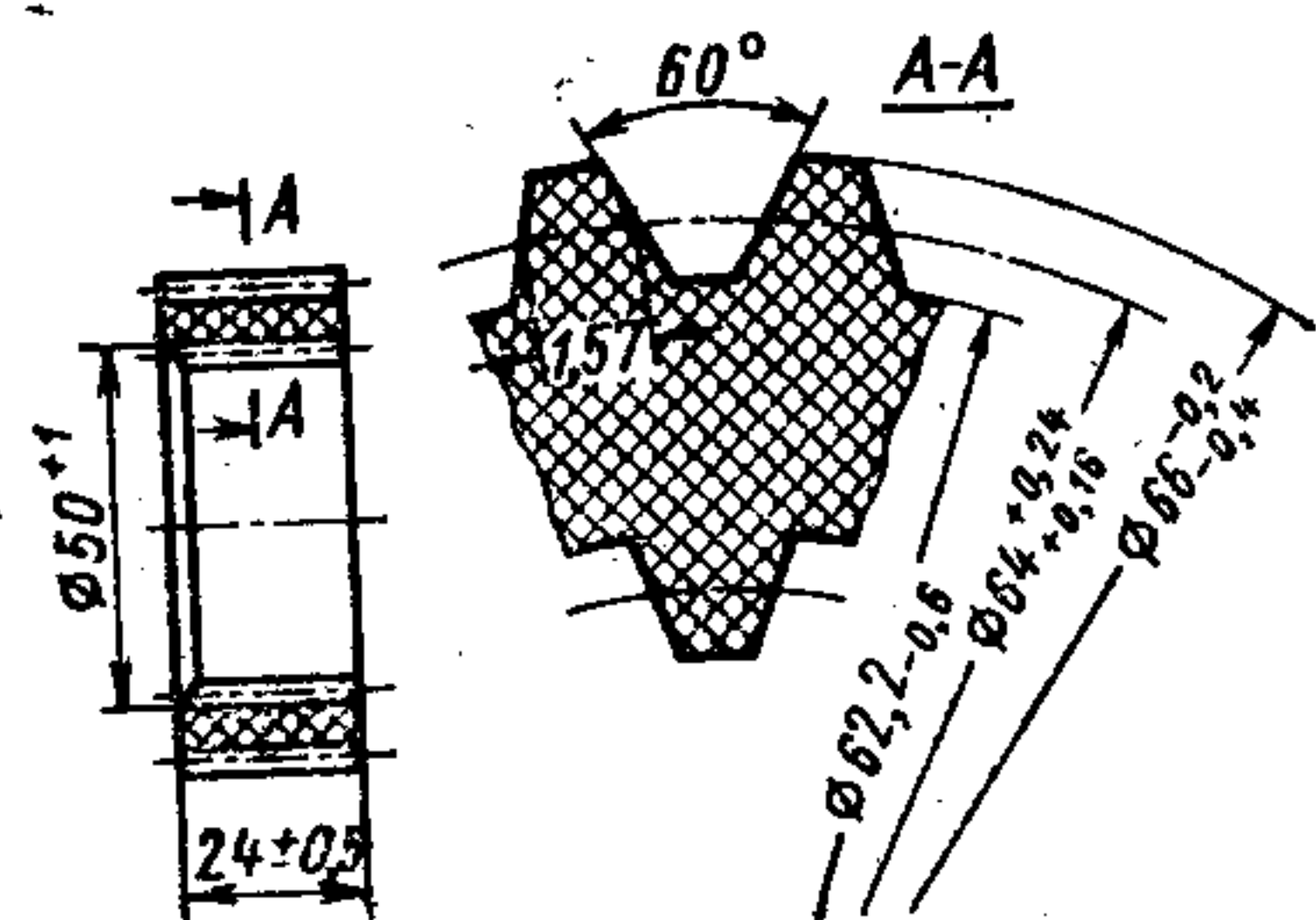


Рис. 16. Шлицевая соединительная муфта из текстолита

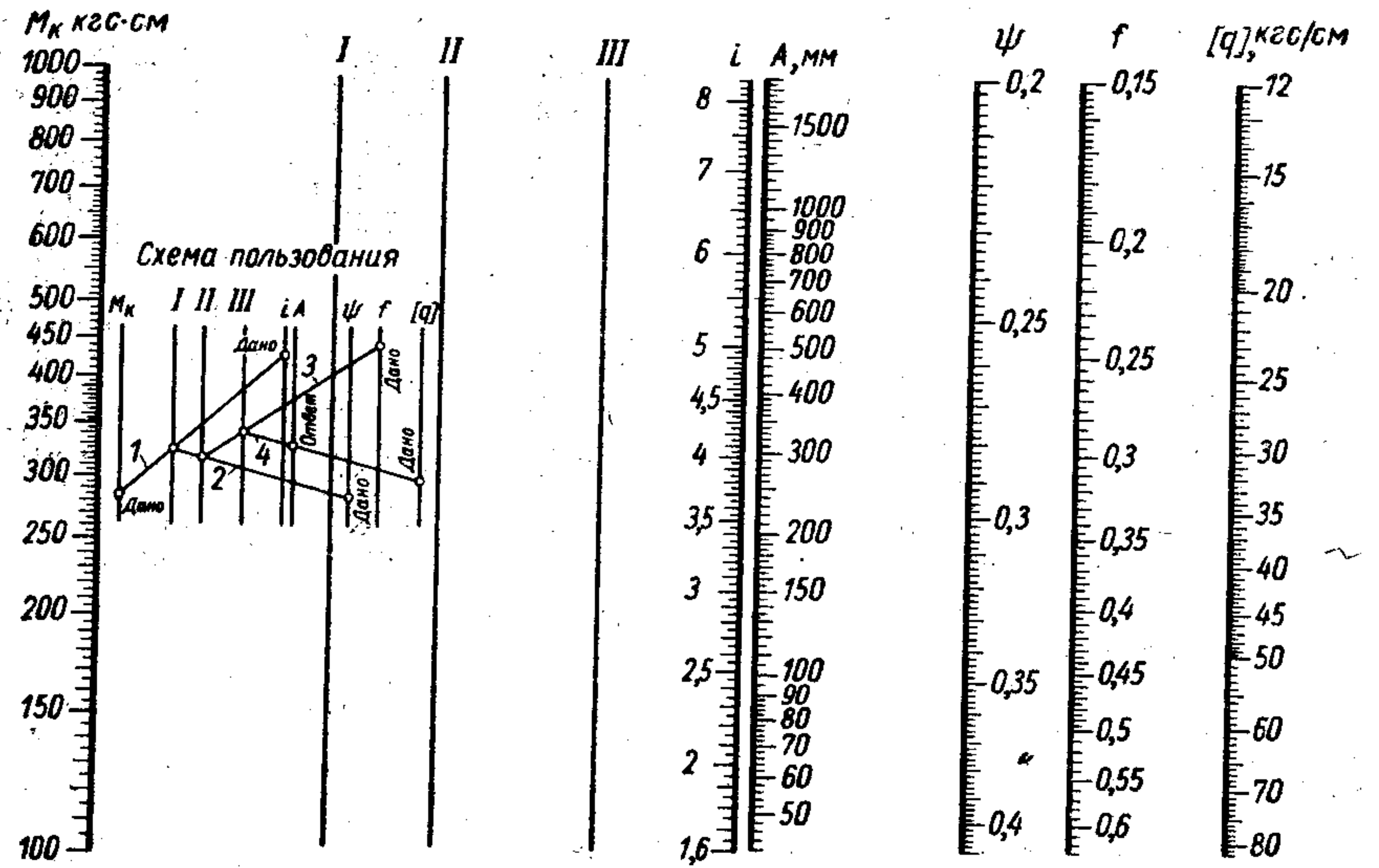


Рис. 17. Номограмма для определения межцентрового расстояния во фрикционных передачах

На рис. 15 показаны фрикционные муфты с венцами из пластмасс, а на рис. 16 — шлицевая соединительная муфта, изготовленная из текстолита ПТК.

В табл. 7 приведены средние значения f и $[p]$, кгс/см², для фрикционных муфт.

7. Коэффициент трения f и допускаемое среднее давление $[p]$, кгс/см²; для фрикционных муфт *

Материал трущихся элементов		f	$[p]$
Со смазкой	Сталь по стали (закаленные)	0,06 — 0,08	6 — 8
	Чугун по чугуну или закаленной стали	0,08 — 0,10	6 — 8
	Текстолит по стали	0,12 — 0,15	4 — 6
Без смазки	Асбестовые обкладки по стали	0,30	2 — 3
	Металлокерамика по закаленной стали	0,40	3 — 4
	Ретинакс по закаленной стали или чугуну	0,30	10 — 15

*) Подробнее по подбору фрикционных материалов см. работу [51].

Примечание. Меньшие значения для дисковых муфт, большие — для конусных и колодочных.

Для фрикционных передач с цилиндрическими пластмассовыми колесами межосевое расстояние

$$A = \sqrt{\frac{\beta M (i + 1)}{\psi f [q]}}$$

где $\beta \approx 1,2 \div 1,6$ — коэффициент запаса сцепления; M — вращающий момент на ведущем валу; $\psi = \frac{b}{A} \approx 0,2 \div 0,4$ — коэффициент ширины колеса; f — коэффициент трения; $[q]$ — допускаемая нагрузка на единицу длины контактной линии.

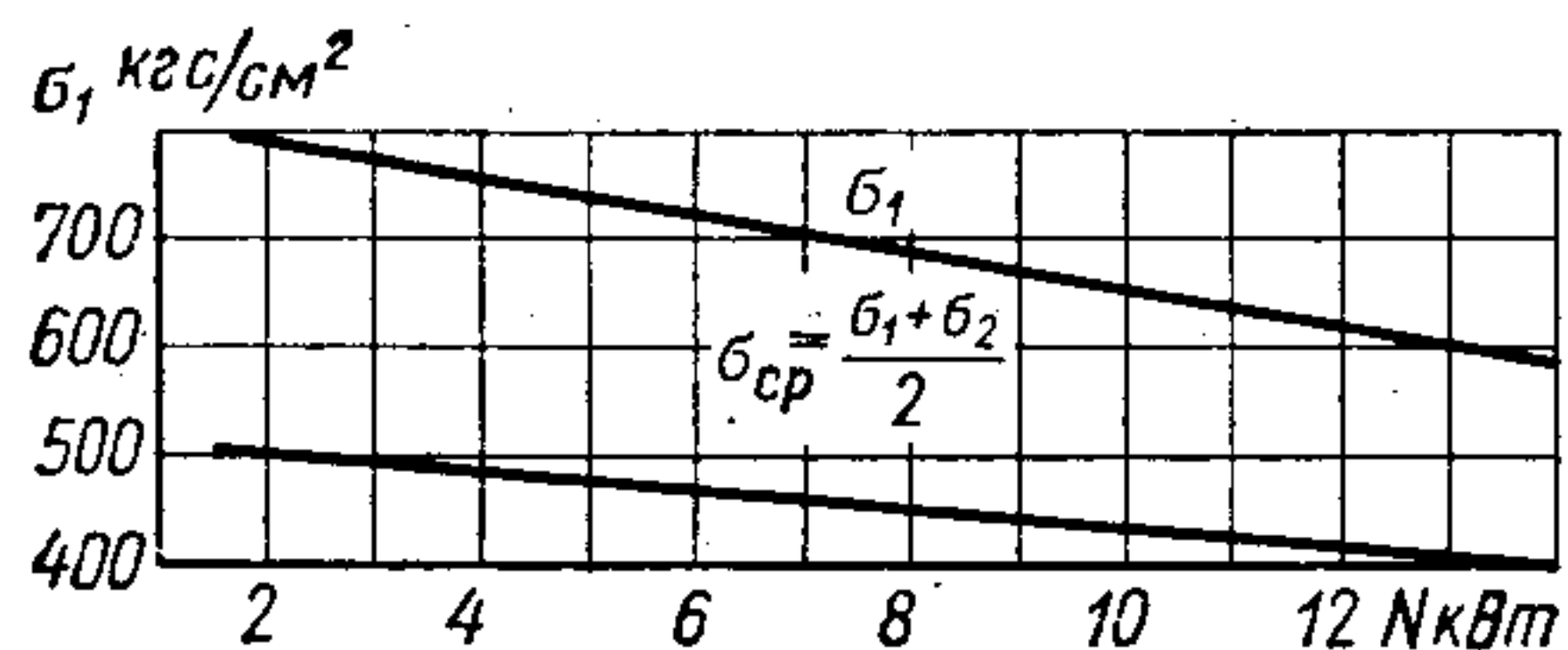
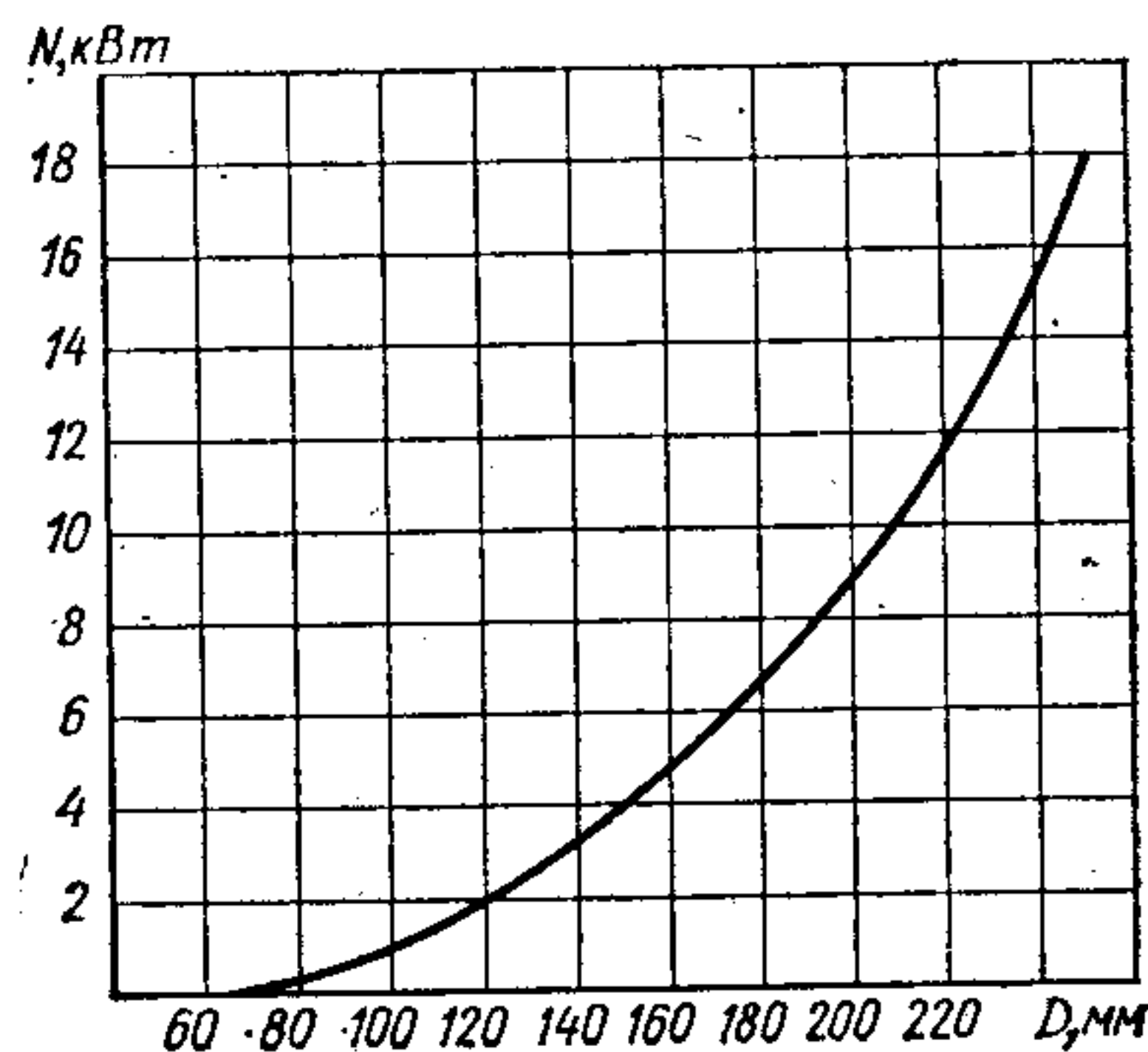


Рис. 18. Допускаемые напряжения для текстолитовых роликов

Рис. 19. Зависимость расчетного диаметра текстолитовых роликов от мощности, передаваемой вариатором



По приведенной формуле построена номограмма (рис. 17) при $\beta = 1,4$. Методика расчета муфт с пластмассовыми накладками такая же, что и для муфт с металлическими накладками.

Размеры пластмассовых вкладышей компенсирующих муфт и кулачков могут быть приближенно определены обычным методом с учетом допускаемых напряжений для применяемой пластмассы (текстолит, капрон). Это же относится и к проектированию зубчатых муфт из капрона.

Из механических бесступенчатых передач наибольший КПД обеспечивает торoidalно-сферическая фрикционная передача со стальными или пластмассовыми роликами.

При применении роликов из пластмассы (обычно текстолита) сопряженные с ними стальные чашки изнашиваются незначительно; отпадает необходимость в легированных сталях, уменьшаются требования к точности и упрощается технология изготовления стальных чашек, облегчается управление вариатором.

К недостаткам текстолитовых роликов следует отнести ограничение передаваемой мощности (примерно до 10 кВт) и увеличение габаритов вариаторов.

Нагрузочная способность вариаторов с пластмассовыми роликами определяется контактной прочностью, износостойкостью и теплостойкостью роликов. Расчет их см. в работах [41, 43].

Допускаемые напряжения для текстолитовых роликов при частоте вращения входных валов вариаторов $n = 1000$ об/мин и расчетном коэффициенте сцепления $k = 0,25$ показаны на рис. 18. Кривая σ_1 соответствует наибольшим значениям нормальных напряжений по Герцу со стороны ведущей чашки при работе на максимальное замедление; кривая $\sigma_{ср}$ — средним значением нормальных напряжений со стороны ведущей и ведомой чашек также при работе на максимальное замедление. Зависимость расчетного диаметра текстолитовых роликов D от передаваемой вариатором мощности N , полученная экспериментально, показана на рис. 19.

Значения коэффициента трения f для вариаторов при трении текстолита по чугуну или стали при работе без смазки 0,2—0,25 (данные по коэффициентам трения и износостойкости фрикционных материалов см. работу [51]).

ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Зубчатые колеса из пластмасс обычно применяют, когда необходимо обеспечить снижение массы передачи, бесшумность при больших скоростях, высокие демпфирующие свойства, способность работать в агрессивных средах. Кроме того, такие зубчатые колеса частично компенсируют неточности изготовления и монтажа.

Недостаток таких зубчатых колес — значительно более низкая по сравнению с обычными металлическими несущая способность, низкая теплопроводность, разбухание при работе во влажной среде. Сопряженные зубчатые колеса могут быть изготовлены из одноименных и разноименных полимерных материалов (полимерные передачи); одно из колес может быть изготовлено из металла (металлополимерные передачи). Обычно сопряженные зубчатые колеса выполняют: одно из пластмассы,

второе из металла. В металлополимерных передачах улучшается теплоотвод, полнее используются прочностные свойства полимеров, снижаются потери на трение, уменьшается износ зубьев.

Зубчатые передачи, выполненные полностью из пластмасс, могут быть рекомендованы для коррозионной среды или для электроизоляции привода.

Материалом для зубчатых колес служат текстолиты марок ПТ и ПТК, древесно-слоистый пластик марки ДСП-Г, полиамиды (чаще других капрон и смола 68), полиформальдегид, поликарбонат и другие пластмассы.

Зубчатые колеса из полиамидов рекомендуется применять в закрытых передачах в условиях незначительного колебания влажности (особенно для поликапроамида). Полиформальдегид применяют для работы в условиях высоких циклических и ударных нагрузок, в химически активных и влажных средах. По нагрузочной способности полиформальдегид приближается к капрону, но износостойкость зубчатых колес из полиформальдегида ниже износостойкости колес из полиамидов.

Диапазон рабочих температур для полиамидов и полиформальдегида: длительно от -40 до $+80$, кратковременно до $+120^\circ\text{C}$, для текстолитовых зубчатых колес — от -40 до $+100$ длительно и до $+140^\circ\text{C}$ кратковременно.

Зубчатые колеса из поликарбоната выдерживают значительные перегрузки, удары и длительную статическую нагрузку в условиях повышенной влажности при рабочих температурах от -100 до $+100^\circ\text{C}$.

Фторопласты применяют для работы в агрессивных средах (со смазкой и без нее и в условиях вакуума). Рабочие температуры от -200 до $+200$, кратковременно — до $+250^\circ\text{C}$.

В ряде случаев применяют также самосмазывающиеся стеклонеполненные термoplastы. Наполнение термoplastов стекловолокном и фторопластом позволяет повысить теплостойкость, износостойкость, стабильность размеров, статическую и динамическую прочность, снизить коэффициент линейного расширения этих материалов.

Основой конструирования и расчета полимерных и металлополимерных передач являются методы, применяемые для металлических зубчатых передач. Эти методы корректируют с учетом специфики полимерных материалов.

Оценка прочности и долговечности зубчатых колес, выполненных из пластмасс, осложняется тем, что их прочность и другие физико-механические свойства зависят от многих факторов и меняются во времени. При высоких нагрузках значительные расхождения характеристик могут быть и между двумя зубчатыми колесами, работающими одинаковое время в равных условиях. Частично это может быть объяснено анизотропией свойств ДСП-Г, текстолита, различием в технологии изготовления различных партий деталей и др.

В настоящее время нет единой методики расчета и нет также одного мнения о том, что является главным при расчете зубчатых передач из пластмасс. По данным [52] износ рабочих поверхностей является одним из основных видов разрушения полимерных зубчатых колес.

Для ориентировочного определения нагрузочной способности зубчатых передач можно пользоваться номограммами (рис. 20), построенными для зубчатых колес из различных материалов. Посередине находится шкала величин удельной мощности N/b , кВт/мм, передаваемой 1 мм ширины b зубчатого венца, справа — шкала с величиной модулей m , мм, слева — шкала окружных скоростей v , м/с.

Передачи с зубчатыми колесами из ДСП-Г часто рассчитывают на износ рабочих поверхностей зубьев и прочность при изгибе, передачи из текстолита — на износ, прочность при изгибе и контактную прочность зубьев, передачи из капрона и других полиамидов — на прочность при изгибе. Однако в каждом отдельном случае конструктор определяет порядок расчета в зависимости от ответственности и режима работы передачи.

Номограмма для приближенного расчета зубчатых колес из текстолита приведена на рис. 21.

Пример. Дано: передаваемая мощность $N = 3,5$ кВт, частота вращения зубчатого колеса $n = 1400$ об/мин, число зубьев $z = 20$.
Решение. В правом верхнем квадранте по известным N и n находим на оси абсцисс T . В правом нижнем квадранте по известным T и z определяем модуль $m = 3,25$ мм и ширину венца $b = 32,5$ мм. В левом нижнем квадранте находим делительный диаметр $d = 65$ мм, а в левом верхнем — поправочный коэффициент $k_1 = 1,02$. Умножаем найденный модуль на поправочный коэффициент и округляем до ближайшего стандартного значения $m = 3,5$. Ширина венца $b = 10 m = 35$ мм.

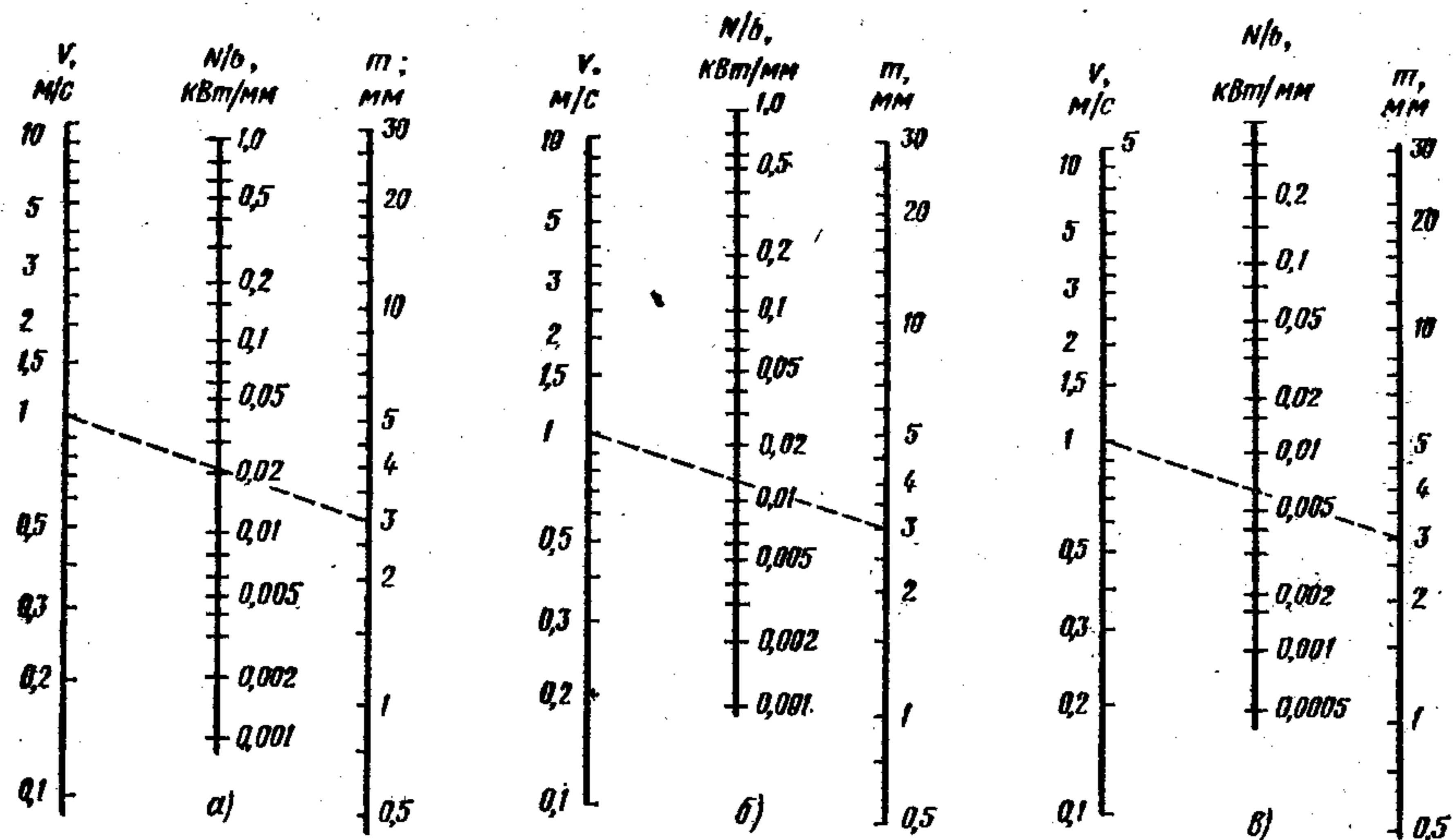


Рис. 20. Номограммы для ориентировочного определения нагрузочной способности пластмассовых зубчатых передач: а — из ДСП; б — из текстолита; в — из полиамида

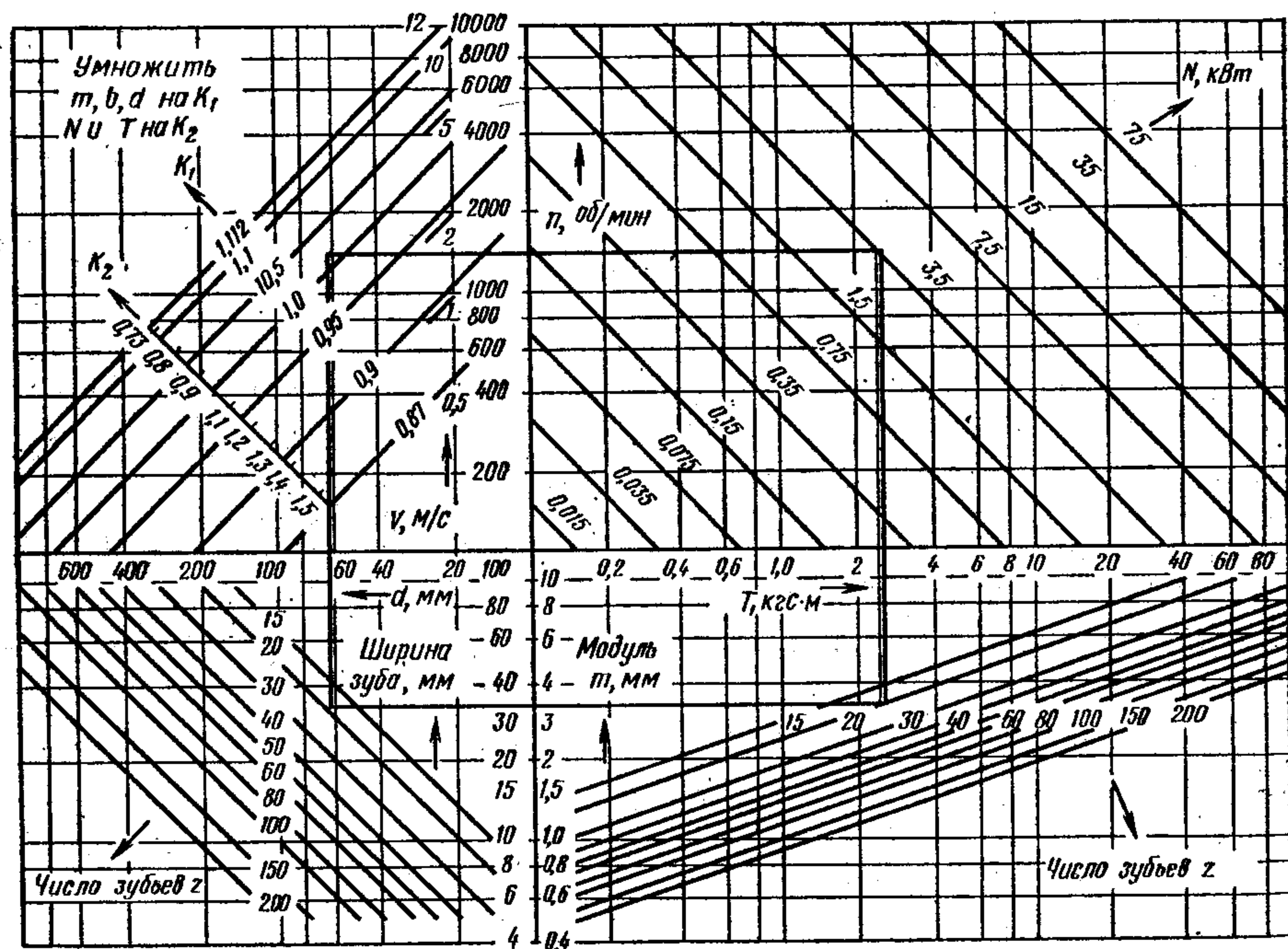


Рис. 21. Номограмма для приближенного расчета зубчатых колес из текстолита

Ориентировочно можно считать, что нагрузочная способность передачи из пластмасс в 3—4 раза меньше, чем зубчатой передачи той же конструкции и габаритов из улучшенной стали и в 5—7 раз — из закаленной стали. Целесообразно зубчатые колеса из пластмасс изготавливать с углом профиля исходного контура 20° и с укороченным зубом [52].

С помощью смещения удается несколько снизить напряжения, повысить контактную прочность, увеличить изгибную прочность за счет утолщения основания зубьев, повысить (в небольшой степени) стойкость к заеданию, износоустойчивость. Проверку долговечности передачи производят исходя из интенсивности износа зубьев:

$$\mu = \frac{\delta}{N_{ц}}$$

где δ — износ, в мкм (измеренный по нормали к профилю зуба) за время, соответствующее $N_{ц}$; $N_{ц}$ — количество миллионов циклов нагружения зуба за определенный промежуток времени.

Характеристики интенсивности износа зубьев из ДСП-Г следующие:

ρ , кгс/мм	4	3	2,5	2,0
μ	100—120	60	25—30	10

Долговечность передачи в часах может быть ориентировочно подсчитана по формуле

$$D = 1300 \frac{K_{изн} m d_{д1}}{K_{реж} K_v \mu v}$$

где $K_{изн}$ — коэффициент, которым определяется допускаемый износ зуба по его толщине; для модулей $m = 3 \div 5$ мм $K_{изн} \approx 0,15$; m — модуль, мм; d — делительный диаметр пластмассового колеса, мм; v — окружная скорость, м/с; μ — интенсивность износа, мкм/1 млн. циклов; $K_{реж}$ — коэффициент, учитывающий зависимость интенсивности износа от режима работы передачи; при трехсменной работе принимают $K_{реж} = 1$, при двухсменной $K_{реж} = 0,95$, при односменной $K_{реж} = 0,9$; K_v — коэффициент, зависящий от величины окружной скорости; ориентировочно K_v принимают:

v , м/с	1—2	3—4	5—6	7—9	10—12	13—15
K_v	0,3	0,5	0,75	1,0	1,3	1,6

Полученная величина долговечности — минимальная, так как при подсчете исходим из интенсивности износа, при которой обеспечена надежная работа передачи. Обычно практически возможна эксплуатация передачи и в течение более длительного времени.

При расчете зубчатых колес из текстолита следует учитывать возможное выкрашивание в результате действия контактных напряжений, возникающих в зоне соприкосновения двух поверхностей.

Эти напряжения изменяются в каждой точке рабочей поверхности зуба в процессе его движения по пульсирующему циклу — от нуля до максимума и опять до нуля. Контактные напряжения можно, с известными допущениями, определить из задачи Герца для случая сжатия двух цилиндров, соприкасающихся по общей образующей. Приближенность решения этой задачи объясняется тем, что пластмассы под нагрузкой не следуют точно закону Гука, и поэтому значения модуля упругости непостоянны. Различны также значения коэффициента Пуассона. Коэффициент Пуассона для текстолита и ДСП примерно равен 0,2, а для полиамидов 0,44.

В ряде случаев (в редукторах небольшой мощности) при скорости скольжения $v < 4$ м/с пластмассы можно применять и в червячных передачах для замены бронзы и других сплавов цветных металлов (рис. 22). КПД двухзаходных червячных редукторов с венцами из

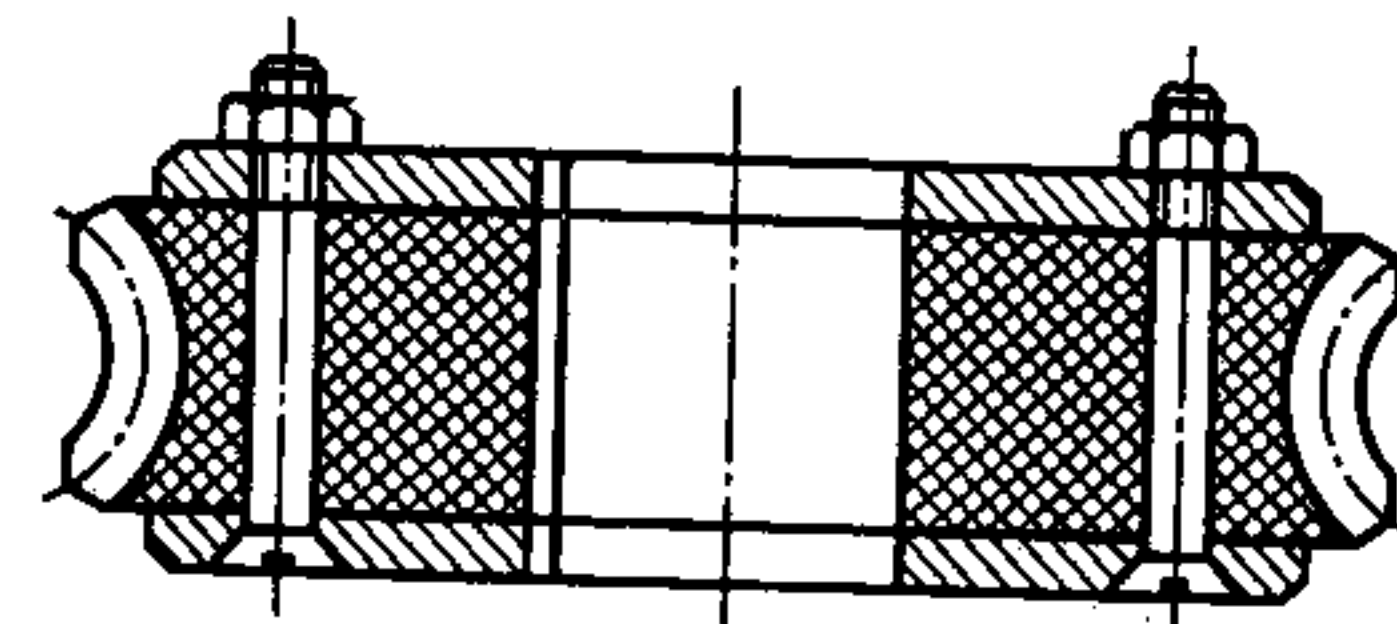


Рис. 22. Червячное колесо из ДСП-Г

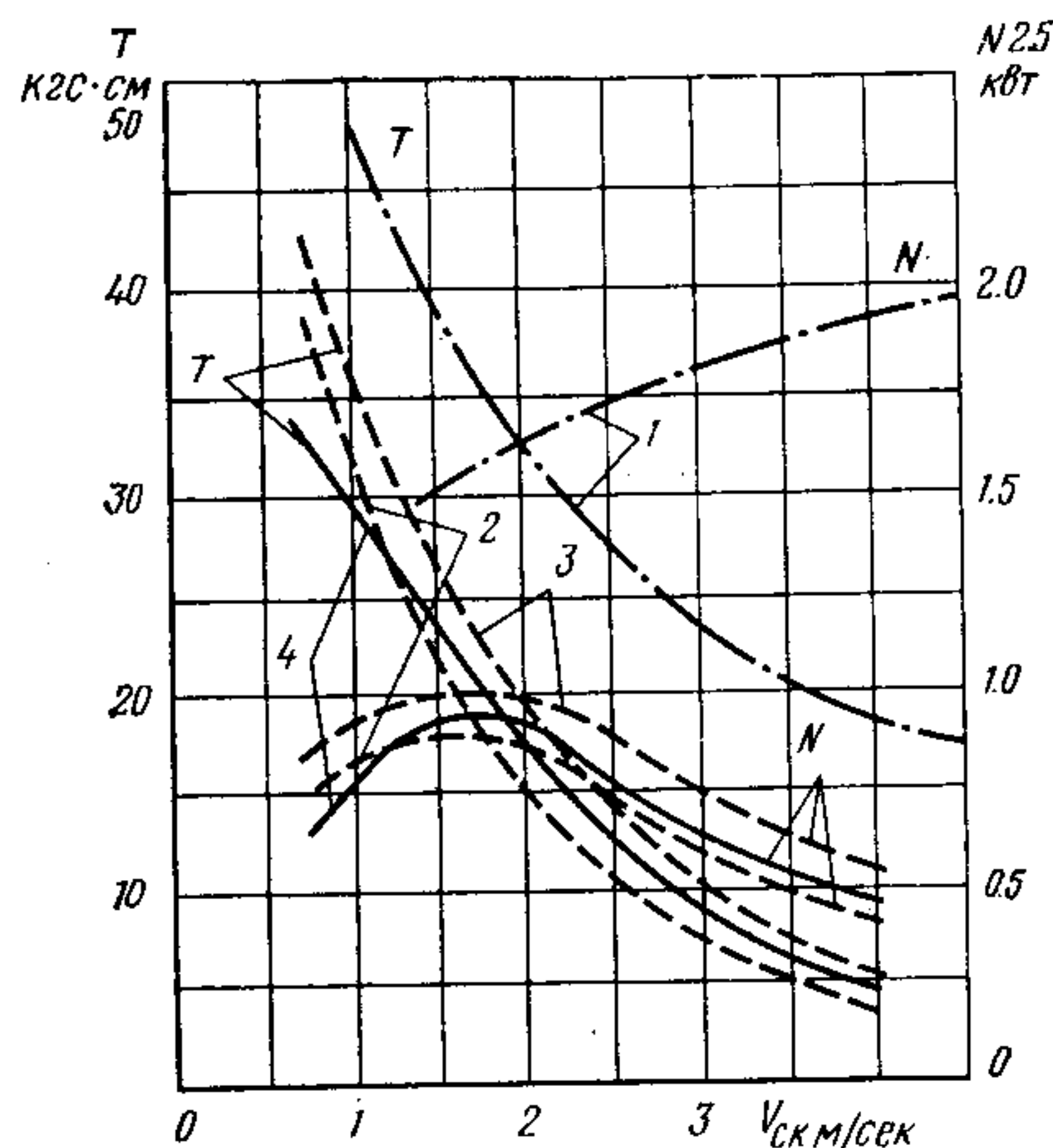


Рис. 23. Зависимость мощности от скорости скольжения:

1 — венцы из бронзы БрАЖ 9—4; 2 и 3 — венцы из ДСП-Г при температуре масла соответственно 62—64 и 72—74° С; 4 — венцы из прессованной древесины

Коэффициент нагрузки $K = K_1 K_2 K_3$, где коэффициент перегрузки

$$K_1 = \frac{T_{\max}}{T_{\text{ном}}};$$

здесь T_{\max} и $T_{\text{ном}}$ — соответственно максимальный и номинальный крутящие моменты.

Коэффициенты концентрации нагрузки K_2 и динамичности K_3 при хорошо проработанных зубьях и указанных скоростях скольжения могут быть приняты равными единице.

Допускаемые контактные напряжения ориентировочно принимают по табл. 8 (материал червяка — закаленная сталь HRC 50—60).

8. Допускаемые контактные напряжения в зависимости от скорости скольжения

Материал червячного колеса	[σ_k], кгс/мм ² , при v , м/с			
	0,75	1	1,5	2
ДСП-Г	13,0	12,0	10,0	8,0
БрАЖ-9-4	—	—	20,0	19,0

При конструировании металлополимерной передачи может быть использована избыточная прочность металлического зуба для усиления пластмассового зуба. Это увеличит несущую способность передачи.

Для получения равнопрочной передачи за счет утонения металлического зуба утолщается пластмассовый.

Соотношение толщин зубьев:

$$s_{\text{пл}} = s_{\text{м}} \sqrt{K_{\text{и}} \frac{l_{\text{м}}}{l_{\text{пл}}}},$$

где $s_{\text{пл}}$ и $s_{\text{м}}$ — длина дуги в опасном сечении соответственно для пластмассового и металлического зубьев; $K_{\text{и}} = \frac{[\sigma_{\text{и}}]_{\text{м}}}{[\sigma_{\text{и}}]_{\text{пл}}}$ — коэффициент, выражающий отношение

ДСП-Г незначительно отличается от КПД аналогичных редукторов с венцами из бронзы БрАЖ9-4.

Нагрузочная способность и допускаемые контактные напряжения для червячных передач с венцами из ДСП-Г и других пластиков нужно определить из условия ограничения температуры нагрева в зависимости от скорости скольжения

Максимальная мощность при непрерывном режиме длительной работы для венцов из ДСП-Г может быть достигнута при температуре масла не выше 70—75° С и скорости скольжения $v < 1,5 \div 1,7$ м/с.

Зубья венцов из ДСП-Г следует рассчитывать на контактную прочность с проверкой прочности зубьев при изгибе. Расчет можно проводить по формуле

$$a = \left(\frac{z_2}{q} + 1 \right)^3 \sqrt{\left(\frac{670}{z} [\sigma] \right)^2 \frac{kN}{n}},$$

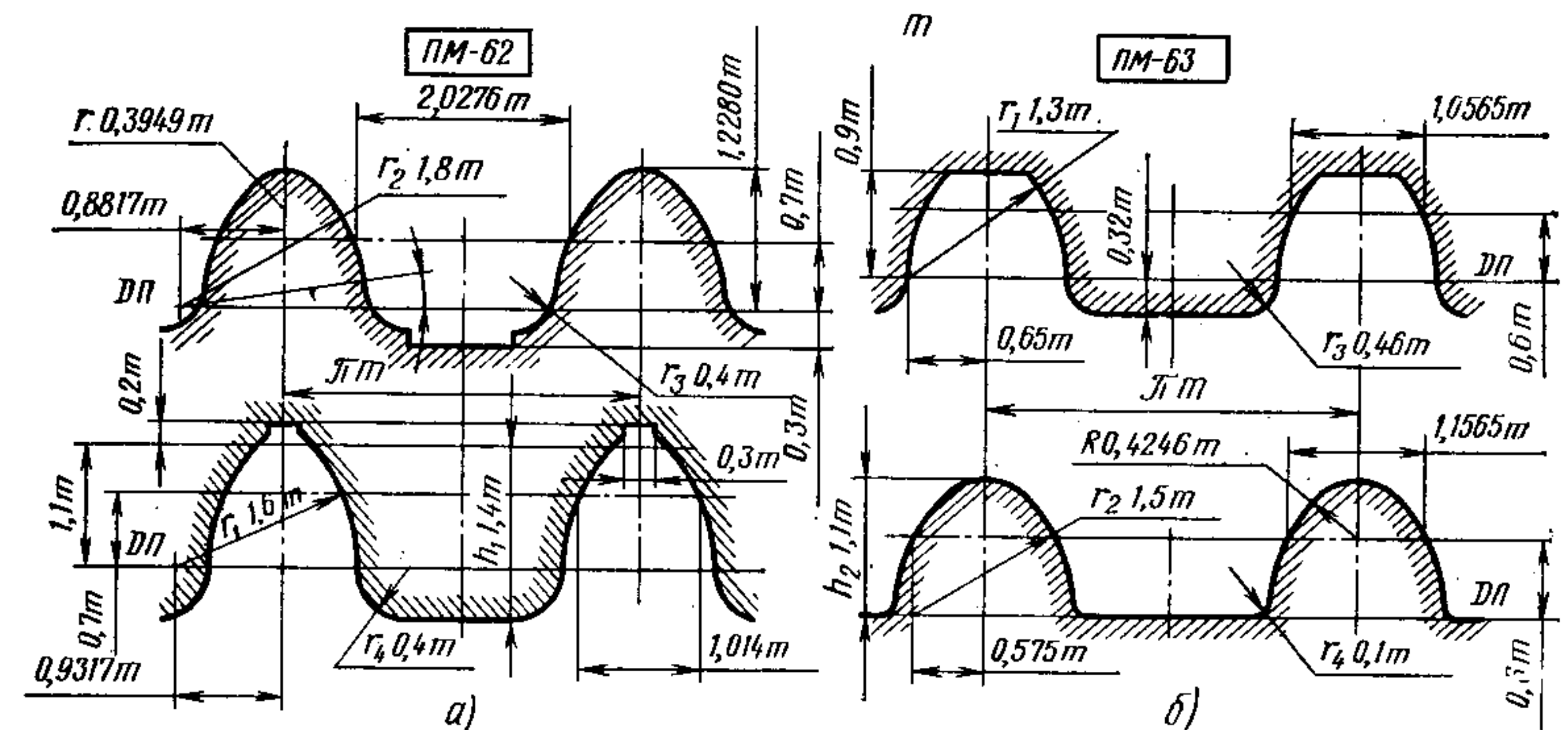
где q — коэффициент диаметра червяка. Значение мощности N принимают в зависимости от скорости скольжения (рис. 23).

допускаемых изгибных напряжений для металла и пластмассы; $l_{\text{м}}$ и $l_{\text{пл}}$ — плечо приложения изгибающей нагрузки соответственно для металлического и пластмассового зубьев.

Контактная прочность повышается при использовании принципа разнопрочности в передачах Новикова; изменяя размеры контактной площадки (пропорциональной углу наклона, высоте зуба и другим параметрам), можно значительно увеличить контактную прочность и нагрузочную способность.

Исходные контуры для металлополимерных зубчатых передач Новикова с одной линией зацепления приведены в табл. 9.

9. Геометрические параметры исходных контуров металлополимерных зубчатых передач Новикова *



Параметры	Исходный контур	
	ПМ-62	ПМ-63
Радиус кривизны выпуклого профиля r_1	1,6m	1,3m
Радиус кривизны вогнутого профиля r_2	1,8m	1,5m
Разность радиусов кривизны профилей Δr	0,2m	0,2m
Высота выпуклого зуба h_1	1,4m	1,22m
Высота вогнутого зуба h_2	1,228m	1,1m
Угол профиля в точке контакта α	25°56'40"	27°29'10"
Технологический угол δ	7°	4°33'45"
Отношение толщины выпуклого и вогнутого зубьев $\frac{s_1}{s_2}$	1,9996	1,8846
Радиус выкружки вогнутого зуба r_3	0,3949m	0,4246m
Радиальный зазор c	0,128m	0,2m
Боковой зазор j_n	0,1m	0,15m

Примечание. Исходный контур инструментальной рейки ПМ-62 применяют при сочетании материалов сталь — текстолит (или ДСП) при рабочей температуре до 60—80°С; исходный контур ПМ-63 — при сочетании материалов сталь (или чугун) — полиамид (или полиформальдегид).

* По данным Института металлополимерных соединений АН БССР.

Колебания размеров пластмассового зуба по высоте и толщине, возникающие в результате теплового воздействия и влажности среды, а также в результате прогиба зубьев, учитывают в зазорах зацепления. В связи с этим передача с пластмассовыми колесами обычно работает с завышенными зазорами, что несколько снижает ее динамические и прочностные характеристики.

Величину бокового зазора в полимерной зубчатой передаче можно определить по формуле

$$j_n = j_t + j_o,$$

1/26*

где j_t — составляющая бокового зазора, компенсирующая тепловые деформации; j_0 — составляющая бокового зазора, обеспечивающая предотвращение взаимного внедрения рабочих поверхностей сопряженных зубьев;

$$j_t = 0,5 [\alpha_1 (d_{a1} - d_{в1}) \Delta T + \alpha_2 (d_{a2} - d_{в2}) \Delta T] K_t,$$

где α_1 и α_2 — коэффициенты линейного расширения соответственно шестерни и колеса; d_{a1} и d_{a2} — диаметры окружности выступов соответственно шестерни и колеса; $d_{в1}$ и $d_{в2}$ — диаметр вала (или ступицы) соответственно шестерни или колеса, ограничивающий внутренний диаметр пластмассового венца; K_t — коэффициент, учитывающий размеры зубчатого венца и армировки; $K_t \approx 0,6 \div 0,8$.

Для эвольвентного зацепления j_0 может быть ориентировочно принято $(0,2 \div 0,25) m$, а для зацепления Новикова $(0,1 \div 0,2) m$.

Коэффициент торцового перекрытия должен быть $\varepsilon \geq 1,1 \div 1,2$.

Для мелко модульных зубчатых передач из полиамидов и полиформальдегида боковой зазор при комнатной температуре может быть ориентировочно принят равным:

Модуль m , мм	$\leq 0,79$	1,27	1,58
Боковой зазор, мм	0,051—0,102	0,076—0,127	0,102—0,152

При конструировании большие пластмассовые зубчатые колеса целесообразно выполнять составными — венец из пластмассы, а ступицу из металла. В этом случае лучше условия теплоотвода (венец насаживают на металлическую ступицу в горячем состоянии; окончательная обработка зубьев производится после посадки).

Толщина венца зависит от многих параметров, наиболее важными из которых являются модуль зубчатого колеса и его диаметр вершин. Ориентировочная толщина венца, мм

$$B_v = \frac{1}{2} (m \sqrt{d_a + 2}) - h,$$

где m — модуль зубчатого колеса; d_a — наружный диаметр колеса, мм; h — высота зуба, мм.

Зубчатые колеса из пластмасс крепят на валу шпонками, установочными винтами или при помощи шлицевого соединения, обеспечивающего большую точность и меньшие удельные давления на рабочих поверхностях шлицев.

Зубчатые колеса из пластмасс можно соединять с валом и при помощи натяга, однако следует учесть, что с течением времени происходит значительное снижение модуля упругости, предварительный натяг уменьшается.

Для увеличения прочности и стабильности размеров зубьев и пластмассового венца зубчатые колеса армируют (рис. 24).

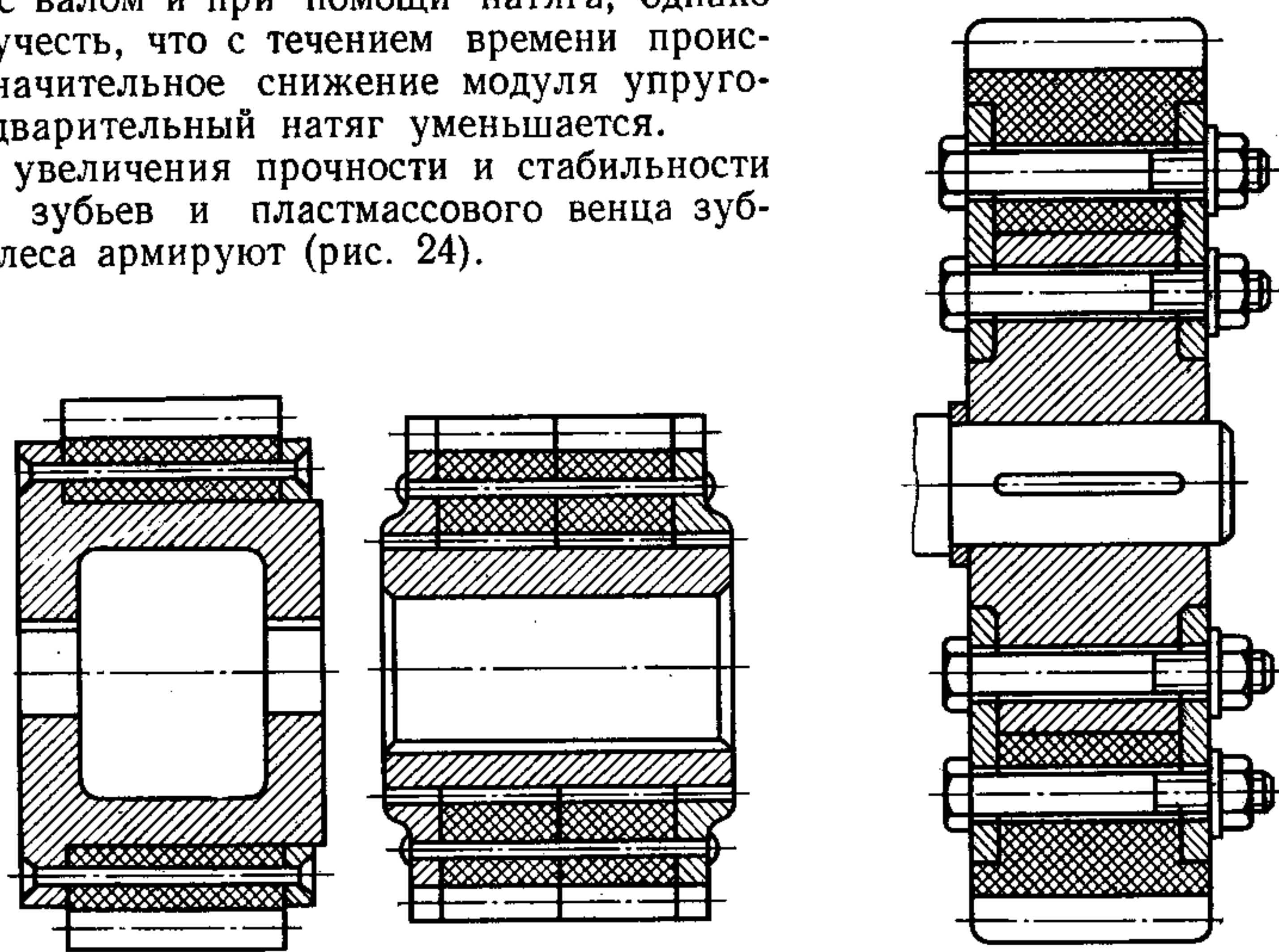


Рис. 24. Примеры армирования зубчатых колес из пластмасс

У цельнопластмассовых зубчатых колес диаметр ступицы обычно выполняют $d_{ст} \approx 1,5L$ (L — длина ступицы).

Пластмассы (полиамиды, полиуретан и др.) можно применять в зубчатых передачах в качестве демпфирующего элемента стальных зубчатых колес. В этом случае ступицу и зубчатый венец изготавливают из стали, а диск из пластмассы.

При серийном производстве зубчатые колеса обычно изготавливают литьем под давлением. Этим способом можно изготовить зубчатые колеса с модулем $m = 0,2$ мм. Минимальная толщина литой стенки 0,5—1,0 мм, максимальная толщина ~ 15 мм. Необходимо, чтобы толщина венца была меньше толщины перемычки (обода), а толщина перемычки меньше толщины ступицы, в этом случае материал последовательно застывает в венце, перемычке, ступице, и усадка может быть восполнена из литника. Литые зубчатые колеса должны иметь глухую перемычку. В зубчатых колесах со спицами может возникнуть дисбаланс вследствие неодинаковой плотности по периферии венца.

Непрерывное охлаждение зубчатых передач. В тяжело нагруженных зубчатых передачах возникает необходимость отвода значительной доли тепла трения, выделяющегося в зацеплении. В этих случаях обычный способ охлаждения (с помощью масляной ванны или форсунки), когда поверхности зубьев получают смазку один раз за оборот, недостаточен.

Более эффективен процесс непрерывного охлаждения маслом, подаваемым под давлением через канал внутри тела зубчатого колеса и специальные отверстия к основаниям зубьев. Непрерывное охлаждение возможно также при образовании в камере передачи масляного тумана. Смазка масляным туманом уменьшает также расход масла, стоимость ее более низкая. Применяют лубрикаторы, работающие от пульсирующего давления воздуха обеспечивающие подачу масла для распыливания при небольших расходах сжатого, воздуха и постоянном соотношении расходов масла и воздуха, при этом на рабочие поверхности попадают более холодные капли масла. Однако удельный расход смазки, подаваемой к основанию зуба, велик (в противном случае мала эффективность).

РАЗЪЕМНЫЕ И НЕРАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ПЛАСТМАСС

РЕЗЬБОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

В резьбовых соединениях возможны любые сочетания стали и пластмассы.

Винты из пластмасс для нагруженных соединений из-за малой прочности обычно не применяют.

Наиболее часто применяют стальной винт в сочетании с пластмассовой гайкой или другой деталью, имеющей внутреннюю резьбу. Пластмассовые резьбы получают прессованием или литьем под давлением. Изготавливать резьбу на деталях из пластмасс резанием целесообразно в деталях из листовых материалов и прутков, при выполнении ремонтных работ, в резьбах диаметром до 3 мм (для повышения точности). Целесообразно изготавливать резанием внутреннюю резьбу с применением метчиков. Силы трения в резьбовом соединении, в котором одна из деталей изготовлена из пластмассы, больше, чем в металлическом. Для снижения трения при завинчивании можно применять силиконовые и другие пластичные смазки.

Для изготовления резьбовых соединений в ряде случаев используют пластмассу, получаемую из прессуемых эпоксидных смол, армированных стекловолокном. Оптимальное содержание стекла при армировании нетканым стекловолокном и при комбинированном армировании (нетканое стекловолокно + ровничная стеклоткань) составляет 68—76%. На рис. 1 дана схема распределения нагрузок (в %) по виткам резьбы. Для болтов большая прочность достигается при одноосном армировании. При сложном нагружении целесообразнее армирование рубленой стеклотканью. Гайки имеют наибольшую прочность, если армирующие волокна расположены перпендикулярно оси резьбы).

Значительное влияние на прочность резьбового соединения оказывает высота гаек и профиль резьбы.

Прочность метрической резьбы примерно на 15—20% выше прочности упорной, полукруглой и трапецеидальной резьбы и приблизительно на 26—28% выше прочности прямоугольной резьбы. Однако увеличением радиуса профиля полукруглой резьбы и увеличением ширины основания витка профиля упорной резьбы можно повысить их нагрузочную способность до метрической и выше.

Полукруглые и упорные резьбы могут быть рекомендованы для накладных гаек, стяжек. Полукруглая резьба может быть также рекомендована для пластмассового винта и пластмассовой гайки. В корпусных деталях, которые условно можно рассматривать как гайки с большой толщиной стенок, целесообразно применять метрический профиль. Метрические (ГОСТ 11709—71 *) и упорные резьбы следует применять и при работе пластмассового винта на сжатие.

Расчет пластмассовых гаек. Специфика прочностного расчета резьбовых деталей, выполненных из терморезистивных пластмасс типа фенопластов, заключается в том, что в отличие от металлических деталей опасными напряжениями здесь являются не только напряжения от среза и изгиба витков, но и напряжение, возникающее в теле гайки.

Основой для расчета служит методика, приведенная в работах [21, 22, 43, 53]. Рассмотрим силы, действующие на витки гайки (рис. 2). Приложенную к винту осевую нагрузку Q разложим на две составляющие Q_{zi} и Q_{ri} .

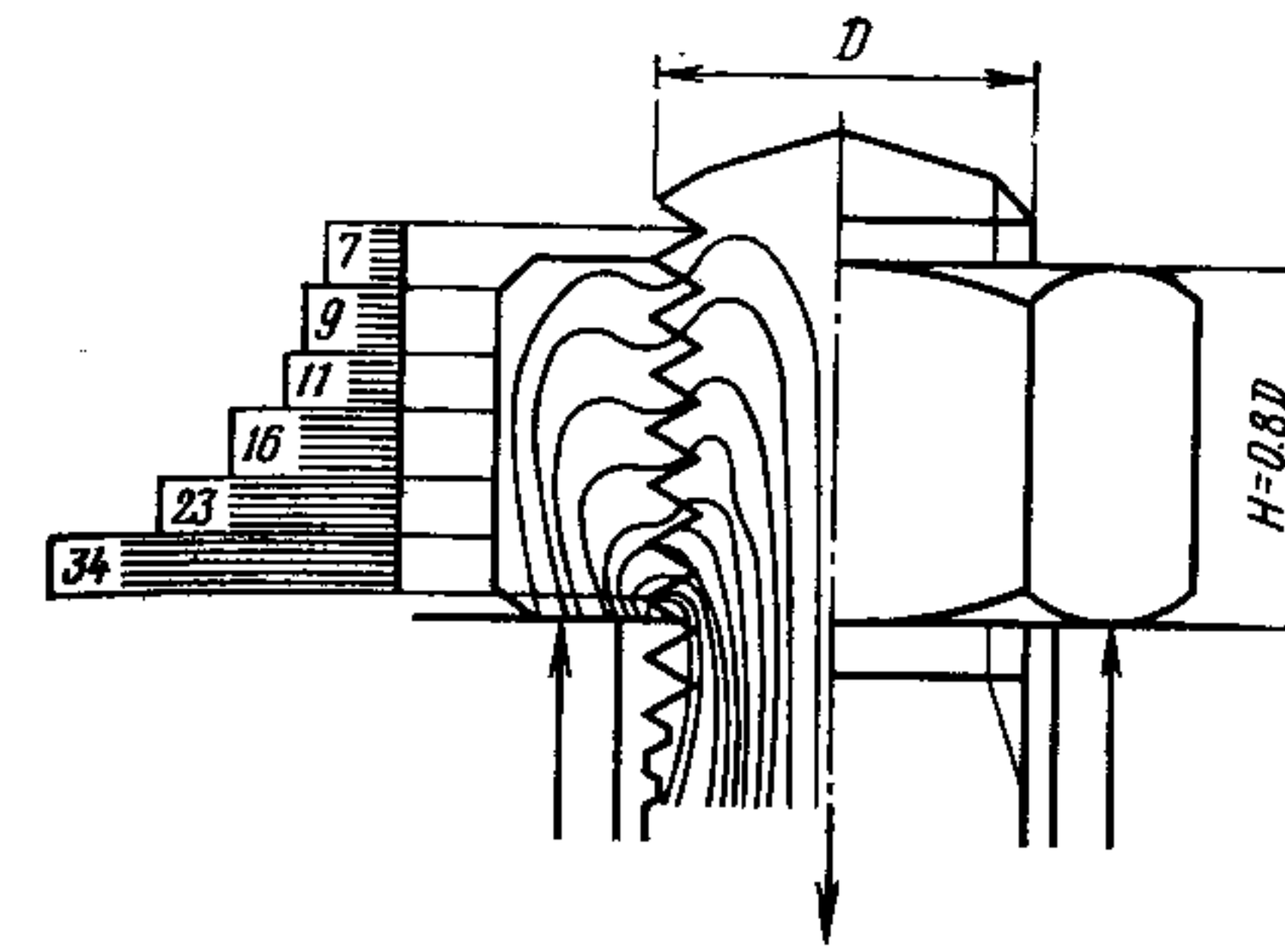


Рис. 1. Схема распределения нагрузок по виткам резьбы

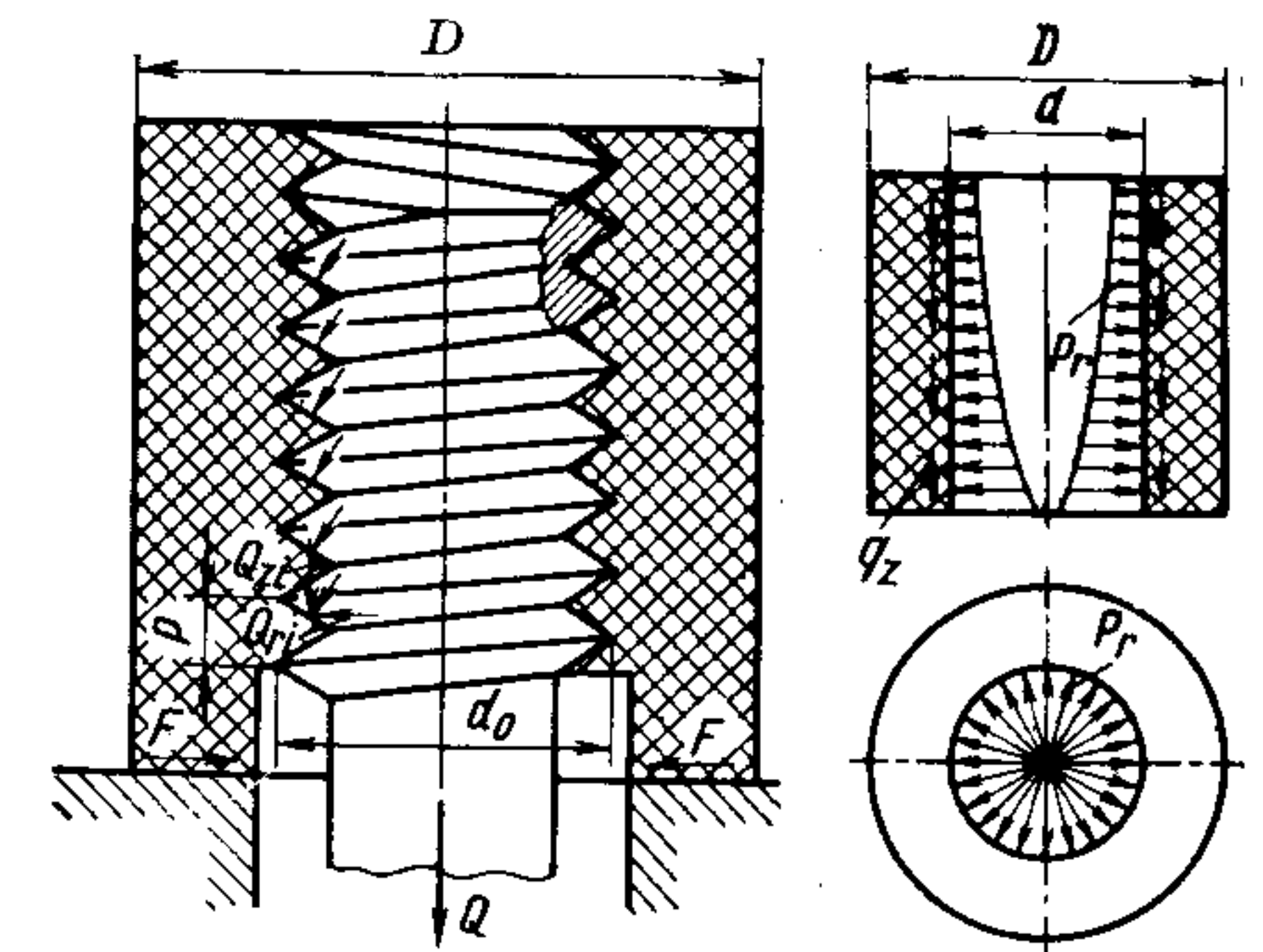


Рис. 2. Силы, действующие на витки гайки

Осевая нагрузка Q_{zi} воспринимается витками резьбы и распределяется по длине резьбы гайки в виде осевой нагрузки интенсивностью q_z .

Радиальная нагрузка Q_{ri} воспринимается витками резьбы и передается на стенку гайки в виде радиального давления p_r , вызывающего в стенке гайки распорные напряжения σ_θ и радиальные сжимающие напряжения σ_r (величины q_z и p_r переменны по длине свинчивания вследствие неравномерного распределения нагрузок по виткам).

Максимальное распорное напряжение определяют из соотношения

$$\sigma_\theta = p_r \frac{\beta^2 + 1}{\beta^2 - 1},$$

где $\beta = \frac{D}{d_0}$; D — наружный диаметр гайки (в случае шестигранной гайки $D = 0,91D_1$; здесь D_1 — диаметр окружности, описанной вокруг шестигранника); d_0 — внутренний диаметр резьбы гайки (может быть принят равным наружному диаметру резьбы болта d).

Оптимальное отношение $\frac{D}{d_0} = 1,75 \div 2$.

Тело гайки рассматриваем как трубу, нагруженную внутренним радиальным давлением p_r :

$$p_r = \frac{Q \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} - \rho \right)}{\pi d P c};$$

здесь Q — осевая нагрузка на гайку; α — угол профиля резьбы (для металлической резьбы $\alpha = 60^\circ$); ρ — угол трения; $\rho = \operatorname{arctg} f$; f — коэффициент трения ($f = 0,15 \div 0,2$ для пары стальной винт и гайка из терморезистивной пластмассы); d — диаметр резьбы; P — шаг резьбы; c — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения радиального давления, принимают равным:

Число витков гайки z	5—7	8—9	10—11	12—14
Коэффициент c	$z + 1$	$z + 0,5$	z	$z - 1$

Максимальное радиальное сжимающее напряжение

$$\sigma_r = \frac{Q_1 \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} - \rho \right)}{\pi d P},$$

где Q_1 — нагрузка на первый (со стороны приложения внешней нагрузки на болт) наиболее нагруженный виток гайки (срезающее усилие, направленное параллельно основанию витков); $Q_1 = iQ$; здесь i — коэффициент, показывающий долю нагрузки

Q , приходящуюся на первый виток (зависит от отношения $\frac{D}{d}$, числа витков z и материала гайки).

Для жестких терморезистивных пластмасс при $\frac{D}{d} = 1,75 \div 2$ $i \approx 0,21$; $z = 8 \div 12$. Тогда $Q_1 = 0,21Q$.

Максимальное осевое сжимающее напряжение

$$\sigma_z = \frac{4(Q - Q_1)}{\pi(D^2 - d^2)}$$

Напряжение среза, действующее в основании первого витка,

$$\tau_r = \frac{Q_1}{\pi db}$$

где b — высота основания витка.

Материал гайки в опасной точке находится в объемном, трехосном, напряженном состоянии.

Определим величины главных нормальных напряжений:

$$\sigma_1 = \sigma_0; \quad \sigma_2 = 0,5 \left[(\sigma_r + \sigma_z) + \sqrt{(\sigma_r - \sigma_z)^2 + 4\tau_r^2} \right];$$

$$\sigma_3 = 0,5 \left[(\sigma_r + \sigma_z) - \sqrt{(\sigma_r - \sigma_z)^2 + 4\tau_r^2} \right];$$

где σ_1 и σ_2 — растягивающие напряжения, σ_3 — сжимающее.

По формуле (с. 107) гл. 4 определяем величину эквивалентного напряжения при длительном статическом нагружении.

Если $\sigma_{\text{экв}}$ оказывается больше допустимого напряжения на разрыв, то увеличивают размеры гайки (болта и гайки) и вновь производят расчет.

При приближенном расчете малоответственных деталей достаточно выполнить условие $\sigma_1 \leq \sigma_{\text{вр}}$ или $\sigma_3 \leq \sigma_{\text{сж}}$, где $\sigma_{\text{вр}}$, $\sigma_{\text{сж}}$ — пределы прочности материала соответственно при растяжении и сжатии.

Ориентировочно определить диаметр резьбы и габариты гайки можно также по табл. 1 в зависимости от величины разрушающей нагрузки $Q_{\text{разр}}$. Диаметры и шаги резьб выбирают по ГОСТ 8724—58. Не рекомендуется применять для пластмассовых деталей шаги 0,5, 0,75 и 1 мм для диаметров соответственно свыше 16; 18 и 36 мм.

1. Значения расчетных разрушающих нагрузок $Q_{\text{разр}}$ для гаек из пластмасс с резьбами от М3 до М30

при оптимальных отношениях $\frac{D}{d} = 2$ и $z = 10 \div 12$

К-18-2, К-214-2, волокнит		АГ-4В		ФКПМ-15-Т	
Размер резьбы	$Q_{\text{разр}}$	Размер резьбы	$Q_{\text{разр}}$	Размер резьбы	$Q_{\text{разр}}$
М3—М4	200—300	М3—М4	250—500	М4—М5	150—200
М5—М6	400—600	М4—М6	500—750	М5—М6	200—300
М7—М8	700—1000	М6—М8	750—1250	М6—М7	300—450
М10	1000—1400	М8—М10	1250—1750	М7—М8	450—600
М12	1400—2000	М10—М12	1750—2500	М8—М9	600—750
М14	2000—2600	М12—М14	2500—3500	М9—М10	750—900
М16	2600—3200	М14—М16	3500—4500	М10—М12	900—1200
М18	3200—3800	М18	5500—6500	М12—М14	1200—1550
М20	3800—4500	М20	6500—8000	М14—М16	1550—1900
М22	4500—5500	М22	8000—9500	М18	2250
М24	5500—6500	М24	9000—11 000	М20	2750
М27	6500—8000	М27	11 000—14 000	М22	3250
М30	8000—9500	М30	14 000—16 500	М24	3800
				М27	4800

Основные размеры резьб с крупными и мелкими шагами берут по ГОСТ 9150—59. Классификация резьб по длинам свинчивания — по ГОСТ 16093—70.

Обозначение резьбы — по ГОСТ 8724—58, обозначение полей допусков болтов и гаек и посадок — по ГОСТ 16093—70*.

Число витков z обычно принимают равным 10—12.

Оптимальный шаг резьбы для термoplastических материалов (из условий прочности) $P = 2 \div 3$ мм.

Шаг резьбы P для терморезистивных материалов с порошкообразным наполнителем обычно выбирают равным 1,5 мм.

В нагруженных резьбовых соединениях, в которых болт изготовлен из пластмассы, а гайка из металла с шагом резьбы более 1,5 мм, для увеличения прочности желательно уменьшить высоту профиля резьбы болта за счет уменьшения наружного диаметра резьбы.

Стопорение резьбовых соединений. В соединениях, подвергающихся не слишком частой разборке, применяют для самоторможения самоконтрящиеся гайки (рис. 3) из полиамидов и других термопластов. Нарезка в гайке выполнена не по всей длине отверстия. Диаметр отверстия в той части его, где нет резьбы, равен внутреннему диаметру резьбы болта.

При навинчивании гайки на болт резьба последнего деформирует материал в ненарезанной части отверстия, в результате чего предотвращается самоотвинчивание. В гайке (изделии) должно быть нарезано не менее 3—4 ниток полной резьбы.

Самоотвинчивание гайки можно предотвратить и при помощи упругого пластмассового кольца, помещаемого в проточку гайки (рис. 4).

При навинчивании винт выдавливает в кольцо внутреннюю резьбу. Вследствие упругости кольца оно может быть использовано и при неоднократном свинчивании и развинчивании винта и гайки.

Преимущество этого способа — возможность стопорения гайки в любом положении по отношению к винту.

Фиксирование винтов может быть осуществлено пластмассовыми (полиамидными, полиформальдегидными) штифтами.

Для винтов М16 и больших размеров в тело винта ввинчивают или вкладывают пластмассовый штифт. Для винтов меньших размеров штифт устанавливают в соединяемую деталь. При ввинчивании пластмассовый штифт врезается в резьбу соединяемого материала или в винт и последний фиксируется действием сил трения (рис. 5). Длина штифта должна быть такой, чтобы после монтажа он доходил до среднего диаметра резьбы.

Для надежности фиксации применяют также пластмассовый уплотнительный вкладыш толщиной примерно 0,3 мм, его устанавливают между винтом и соединя-

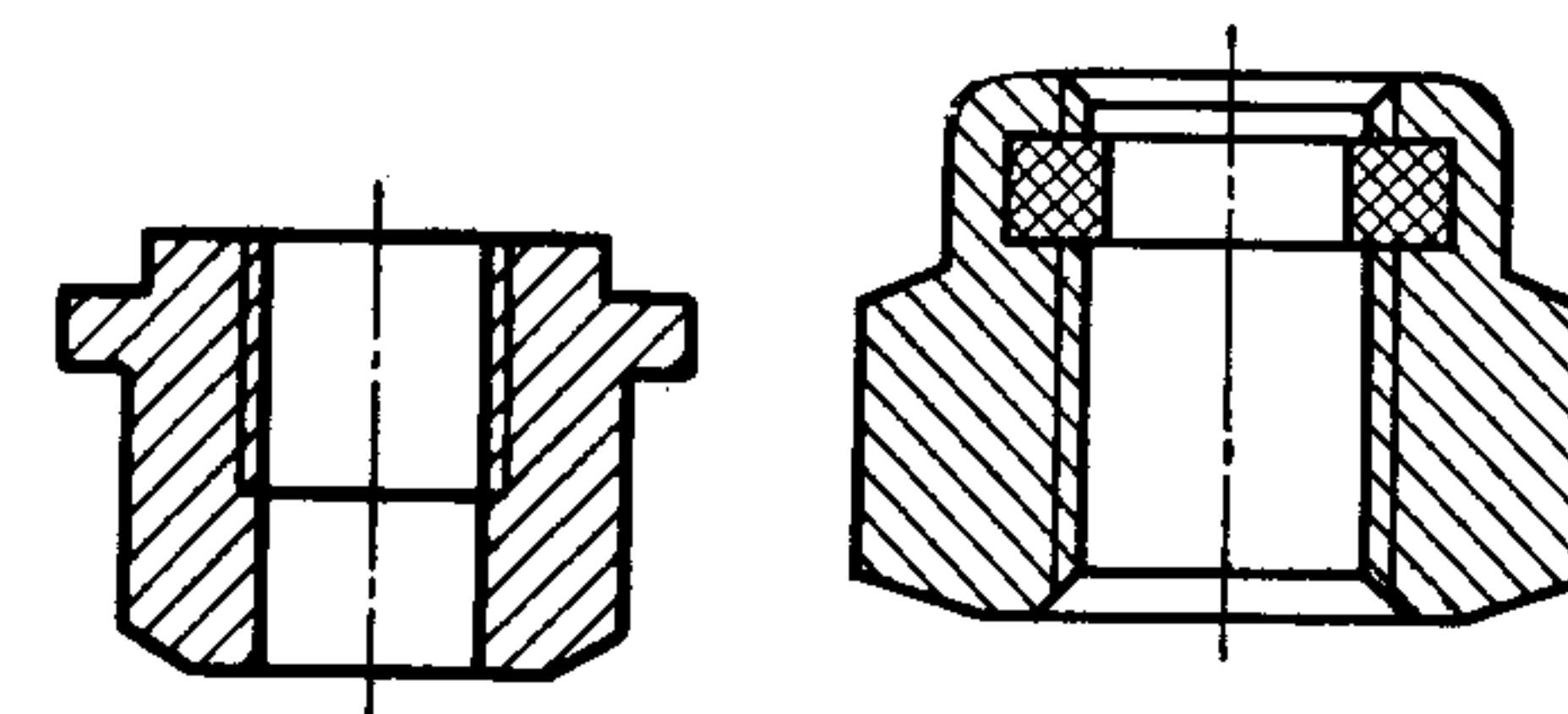


Рис. 3. Самоконтрящаяся пластмассовая гайка

Рис. 4. Стопорение резьбового соединения при помощи пластмассового кольца

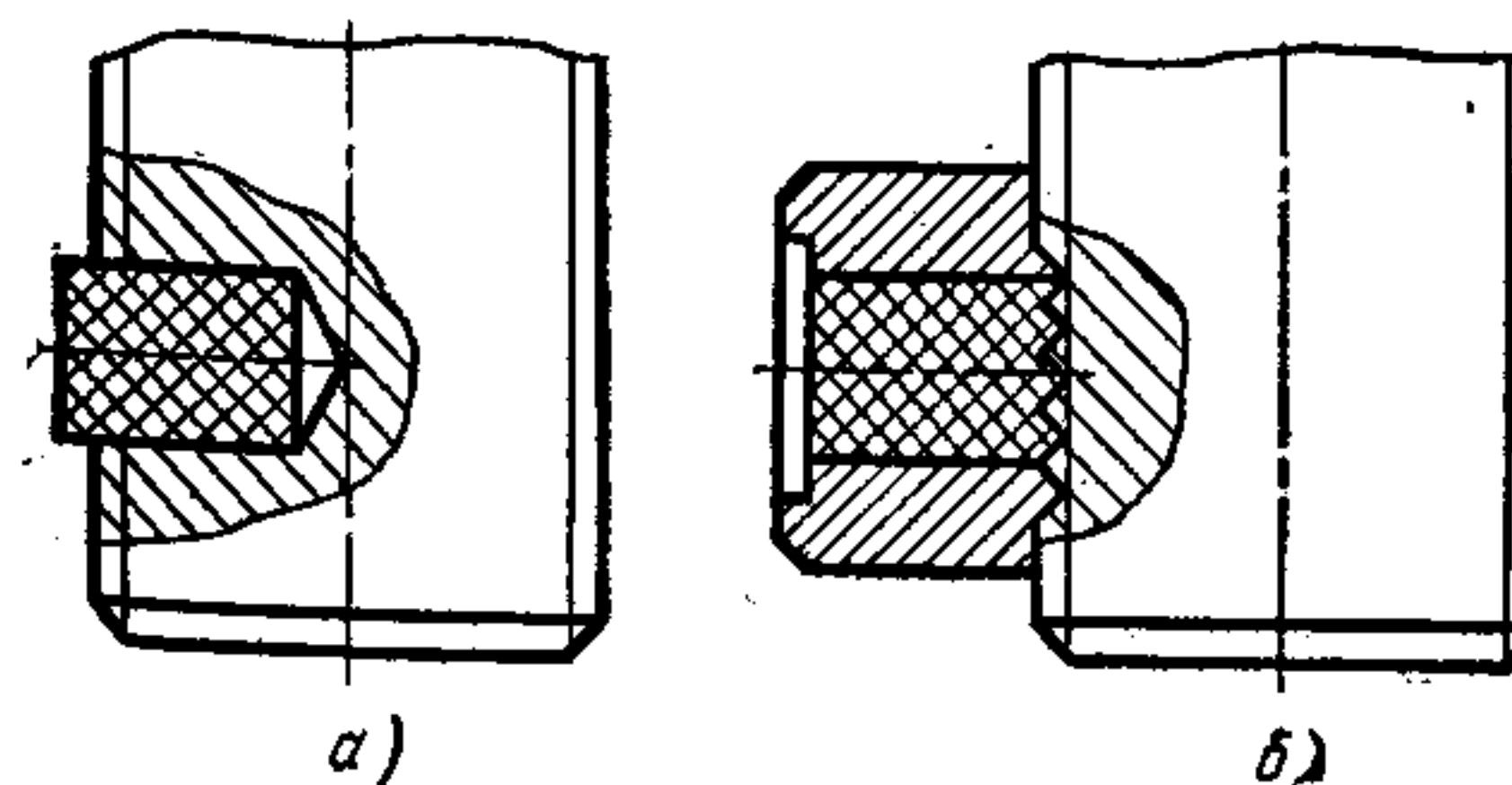


Рис. 5. Фиксирование винта: а — штифт в винте; б — штифт в соединяемой детали

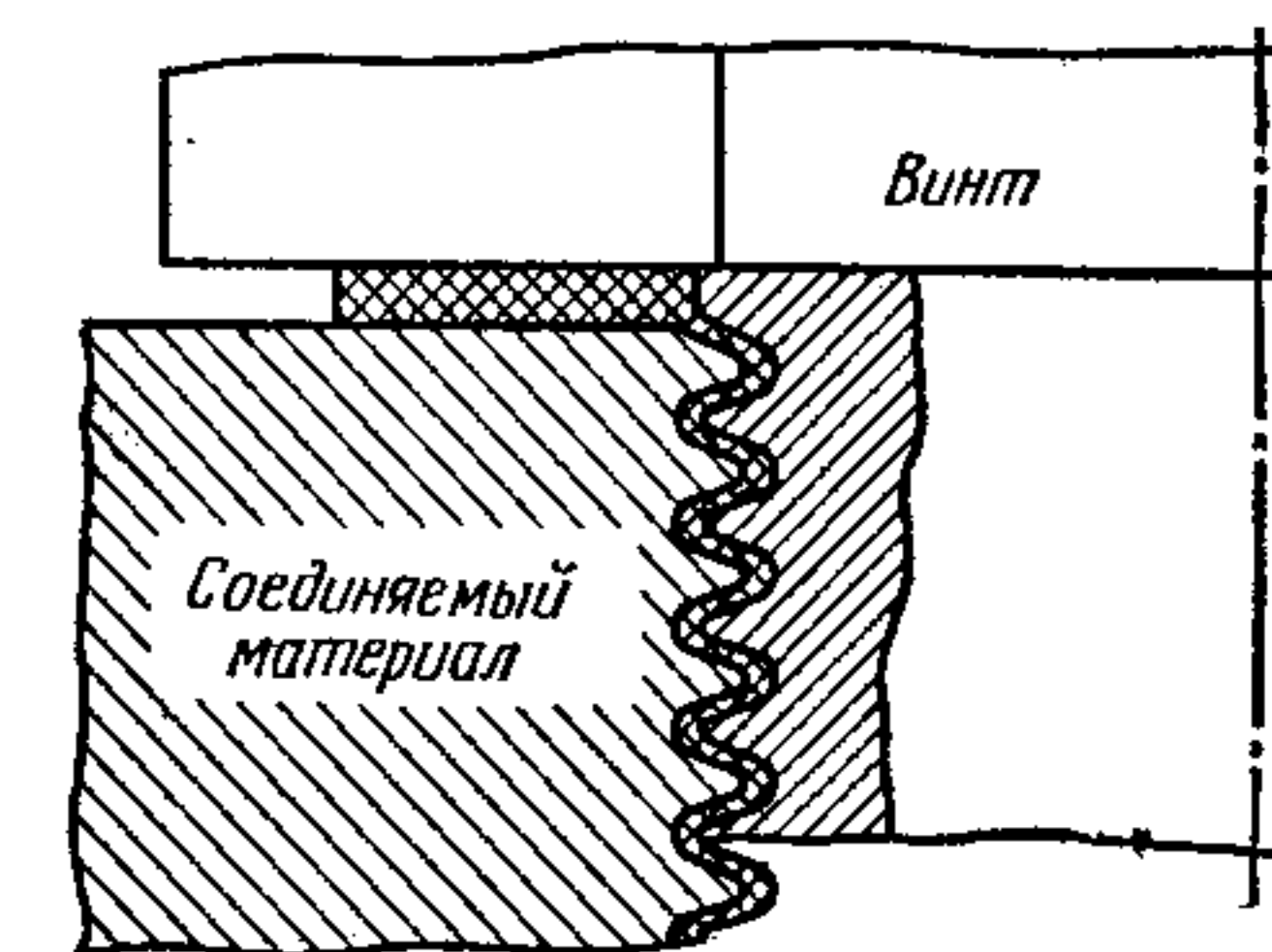


Рис. 6. Фиксирование нарезным вкладышем

мым материалом (рис. 6). Резьба нарезается специальным метчиком с соответственно увеличенным диаметром.

Момент, необходимый для завинчивания гайки, колеблется от 60 до 80 кгс·см, статический момент, необходимый для отвинчивания, колеблется в пределах 51—74 кгс·см. При вибрациях или больших нагрузках необходимо через определенные промежутки времени заменять кольцо.

Момент, необходимый для отвинчивания гайки, уменьшается по мере увеличения числа отвинчиваний.

Для крепления высоконагруженных деталей применяют конструкции с металлическими вставками, закрепляемые в пластмассовой детали при отливке или запрессовываемые в пластмассовую деталь. В последнем случае необходимо правильно выбрать натяг: повышенный натяг может привести к появлению трещин в детали, а малый — не обеспечить требуемой прочности соединения и предотвратить появление концентраторов напряжения (недопустимы вставки с накаткой на поверхности, желательны вставки круглой формы).

Вставки из бронзы, алюминия, нержавеющей стали могут закрепляться также при помощи ультразвука. Прочность соединения обеспечивается созданием трения в зоне контакта шероховатых поверхностей вставки с термопластом. Нагрев при трении приводит к плавлению пластмассы. Преимущество способа — низкое остаточное напряжение [21, 32, 53].

БОЛТОВЫЕ И ЗАКЛЕПОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Изделия из полимерных материалов можно соединять при помощи болтов, а также металлическими или пластмассовыми заклепками. Этими способами в основном соединяют листы из стеклопластиков, слоистых пластиков и других материалов, которые нельзя соединять сваркой.

Заклепки применяют для крепления фрикционных или антифрикционных накладок, направляющих, соединения элементов небольших конструкций и приборов. Они могут быть применены для соединения элементов корпуса, для крепления пластмассового фланца вентилятора к торцу стального вала, для соединения продольных швов различных емкостей и в других случаях.

Типы болтовых и заклепочных соединений: внахлестку, внахлестку с изгибом соединяемых краев до совпадения плоскостей деталей, встык с одной или двумя прокладками.

Нарушение соединения может произойти в результате среза волокон по периметру головки болта, смятия материала под головкой болта, поэтому при расчете соединений следует в первую очередь исходить из прочности соединяемых изделий.

Отношение диаметра отверстия в листе d_1 к толщине листа S рекомендуется принимать равным 1,2—1,3 для соединяемых листов толщиной менее 2,5 мм и равным единице для листов толщиной более 2,5 мм каждый.

Расстояние от края листа до центра отверстия должно быть $\geq (2,5 + 3) d_1$. Шаг расположения болтов $\geq (3 + 5) d_1$. При многорядном соединении больший шаг применяют для наружных рядов, а меньший — для внутренних.

При соединении пластмассовых деталей металлическими заклепками для уменьшения нагрузки, возникающей при клепке, целесообразно использовать не сплошные.

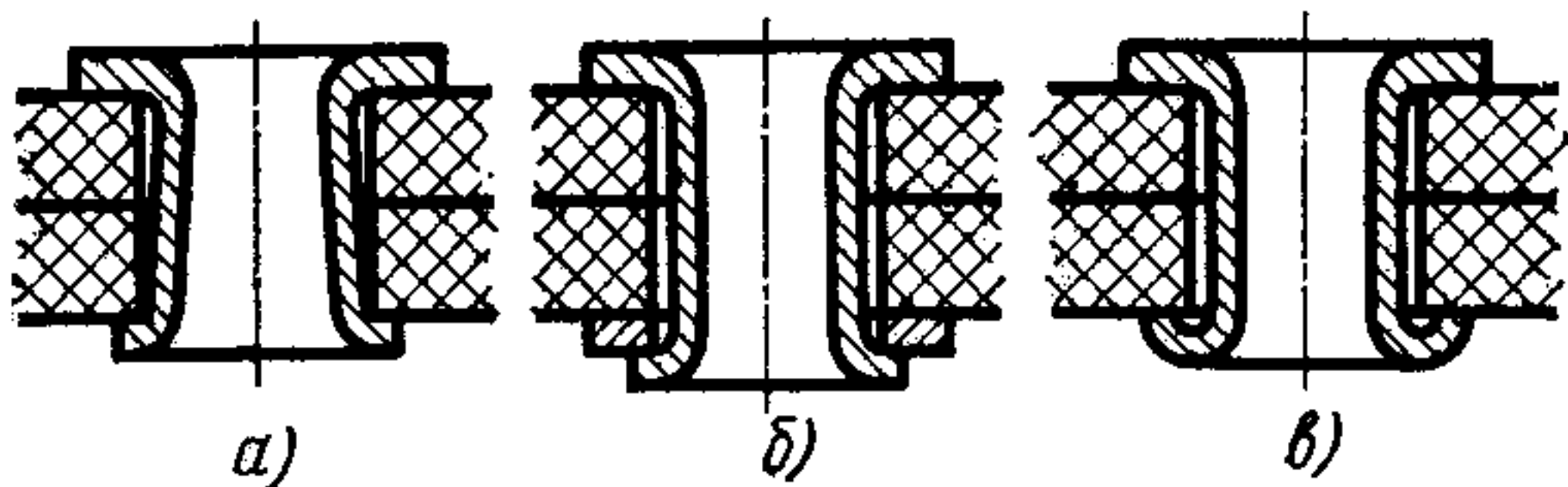


Рис. 7. Полые заклепки для соединения пластмассовых изделий:

а — с плоской головкой; б — с плоской головкой и шайбой; в — со скругленной головкой

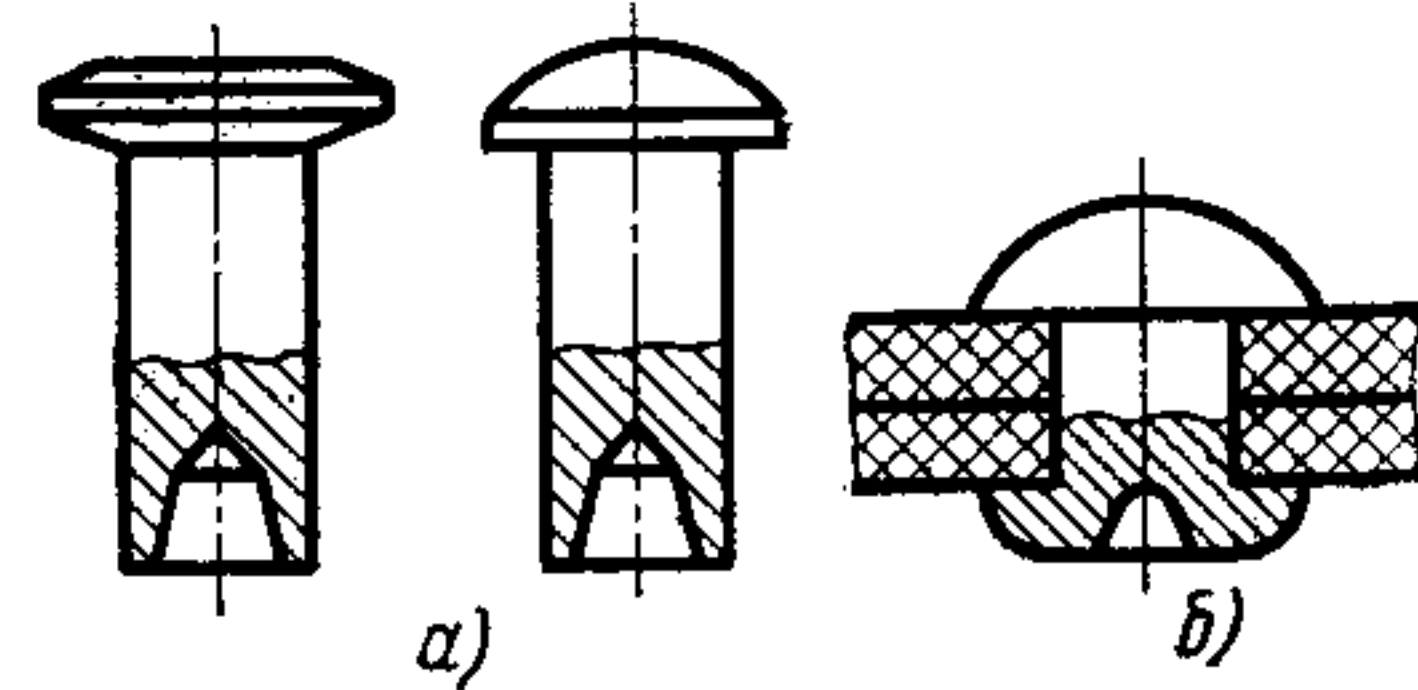


Рис. 8. Заклепки с неглубоким сверлением:

а — перед клепкой; б — после клепки

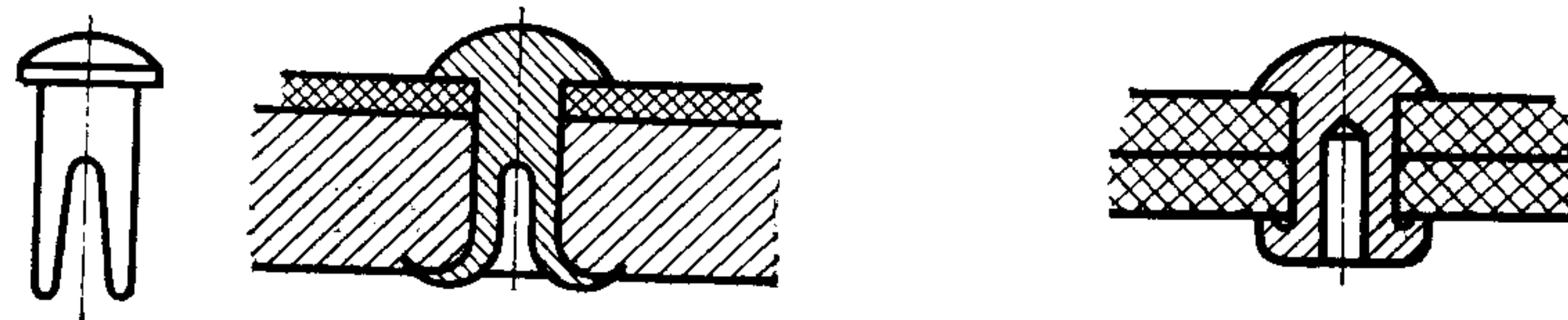


Рис. 9. Заклепка разрезная

Рис. 10. Заклепка сверленая

а полые заклепки (рис. 7). Материалом для заклепок служат алюминий, латунь, медь, а также мягкая сталь.

Диаметры головки или шайбы (подкладываемой под головку заклепки) должны быть тем больше, чем ниже предел прочности на сжатие пластмассы.

Прочность заклепок с неглубоким сверлением (рис. 8) такая же, как и сплошных заклепок.

Заклепки разрезные (рис. 9) и сверленные (рис. 10) можно применять без предварительного сверления отверстия, но в этом случае они обеспечивают меньшую прочность соединения.

При соединении листов различной толщины выступающие головки заклепок должны находиться на стороне более тонкого листа, а при соединении заклепками с потайными головками головки располагают на стороне листов большей толщины.

При недостаточной прочности полимерных материалов (например, некоторых пластмасс без наполнителя, с порошковым или коротковолокнистым наполнителем) их соединяют пластмассовыми заклепками или в крайнем случае алюминиевыми. Пластмассовые заклепки применяют и при необходимости одноразового разъема (заклепки можно извлечь или срубить без повреждений соединяемых изделий).

Заклепки изготовляют из винипласта, полиамидов, полиформальдегида и других пластмасс. Целесообразно применять заклепки с головками, обеспечивающими большую прижимную силу после расклепки (рис. 11).

Заклепки небольших диаметров можно изготовить вытяжкой нагретого до температуры 130°С винипластового стержня и разрезкой его после охлаждения на куски необходимой длины. Заклепки больших диаметров изготовляют таким же способом из трубки.

Для крепления различных табличек, облицовок из пластмасс можно применять заклепки двух типов: с пружинящими лапками и пустотелые с забиваемым наполнителем — штифтом (рис. 12).

Соединение металлическими заклепками применяют при футеровке больших резервуаров пластмассами для скрепления пластмассовых листов с металлом. Заклепки резервуара должны обеспечивать возможность температурного расширения пластмассы, которой футерован резервуар. В ряде случаев применяют клепаные соединения с помощью составных, трубчатых, разрезных заклепок.

Изделия из стеклопластиков можно соединять пластмассовыми заклепками, а также полыми или сплошными заклепками из мягких металлов. Толщина изделий

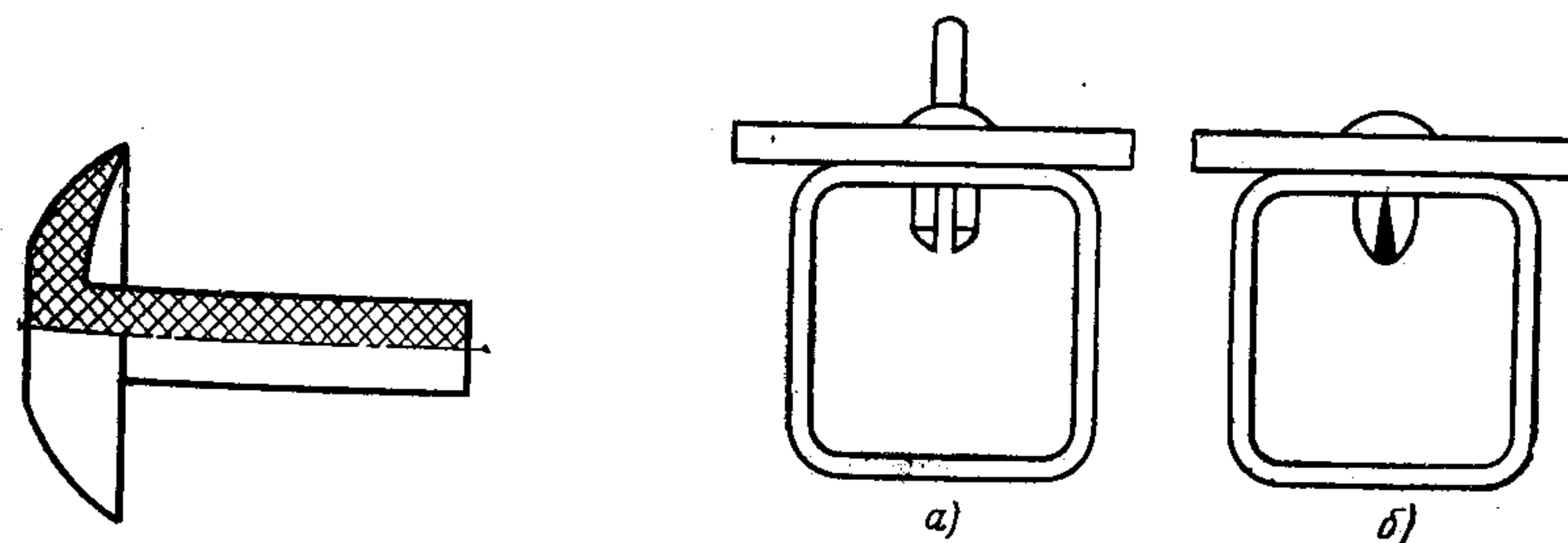


Рис. 11. Заклепка, обеспечивающая большую силу прижатия

Рис. 12. Заклепка:

а — с пружинящими лапками; б — с забиваемым наполнителем — штифтом

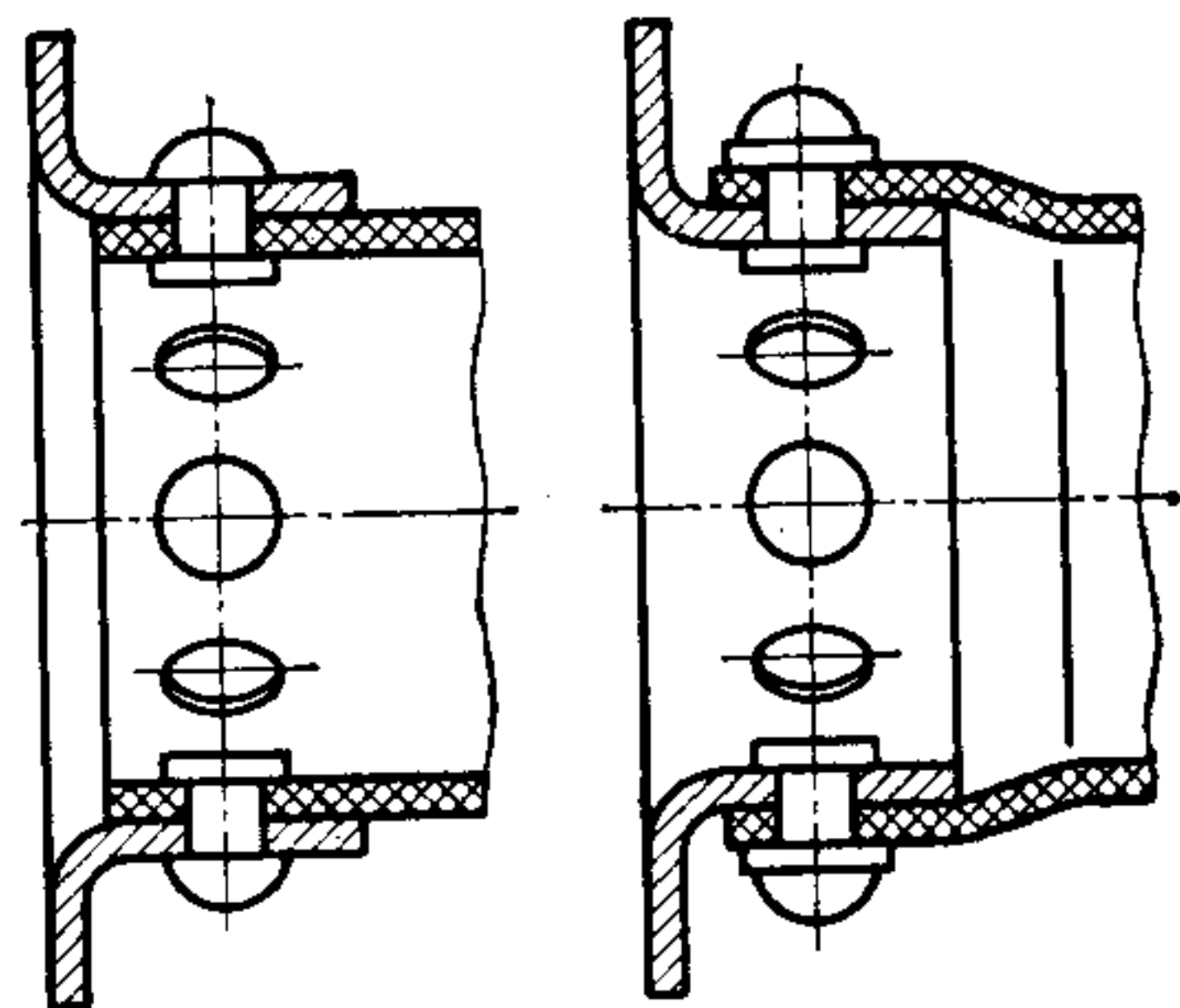


Рис. 13. Соединение трубы из стеклопластика с металлическим фланцем

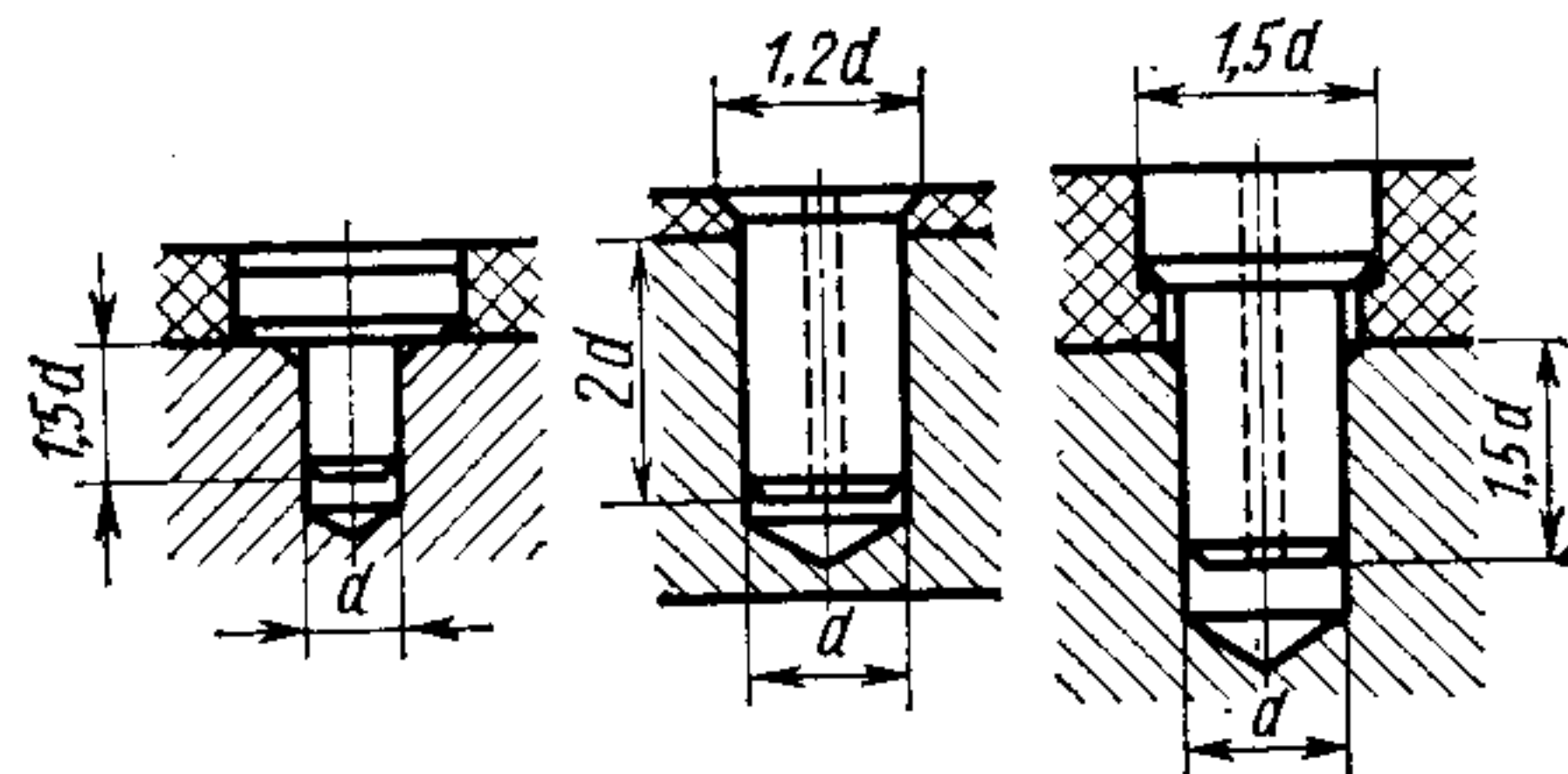


Рис. 14. Соединение штифтами пластмассы и металла

из стеклопластиков, соединяемых металлическими заклепками с плоскими или выпуклыми головками (в мм) приведена ниже:

Диаметр заклепки	2,5	6	10
Толщина изделия, не менее	2	3,5	5

Соединения следует конструировать так, чтобы заклепки работали на срез, а не на растяжение.

Заклепочное соединение трубы из стеклопластика с металлическим фланцем показано на рис. 13.

Соединения с помощью штифтов. Детали из пластмасс можно соединять штифтами, изготовленными из пластмасс или металлов. Такие соединения применяют при отсутствии больших нагрузок. Пластмассовые (из текстолита, полиамида и др.) штифты обычно устанавливают по скользящей посадке. Металлические штифты монтируют по тугой или, лучше, глухой посадкам.

Просверленные под штифт отверстия должны иметь шероховатость поверхности $Ra = 0,32 \div 1,25$ мкм. Варианты штифтового соединения пластмассового листа с металлической деталью показаны на рис. 14.

Прессовое и замковое соединения. На рис. 15 показано прессовое соединение, состоящее из полого утолщения на одной детали и цилиндрического пальца — на другой. Расчетными размерами являются внутренний и наружный диаметры втулки и диаметр пальца. Длина пальца (длина контакта втулки и пальца или другой размер соединения) определяется исходя из требуемой прочности соединения.

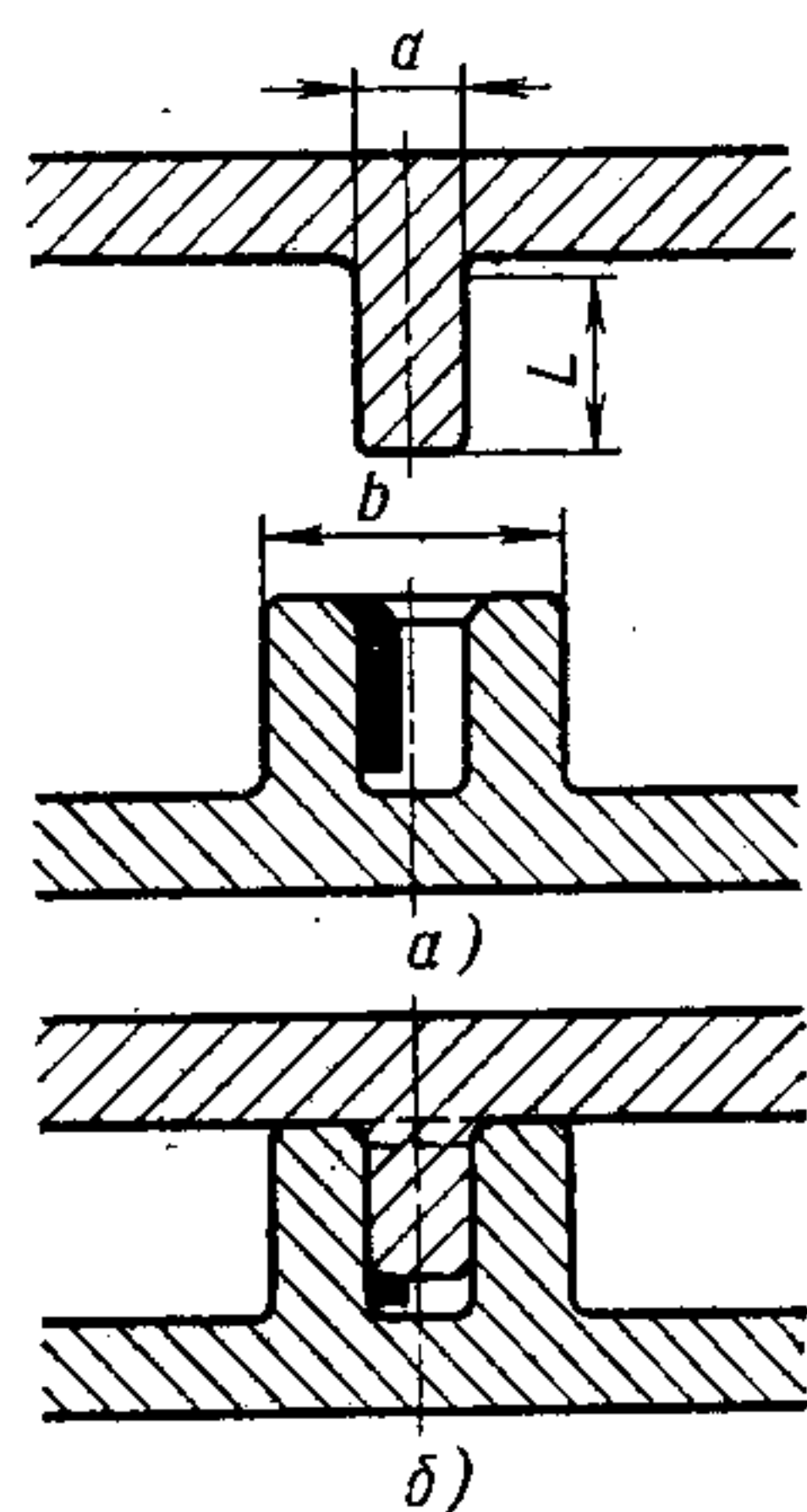


Рис. 15. Прессовое соединение:
а — до сборки; б — после сборки

При расчете прессовой посадки при сборке деталей из пластмасс или металлов необходимо учитывать различие в модулях применяемых материалов и использовать известные формулы по сопротивлению материалов.

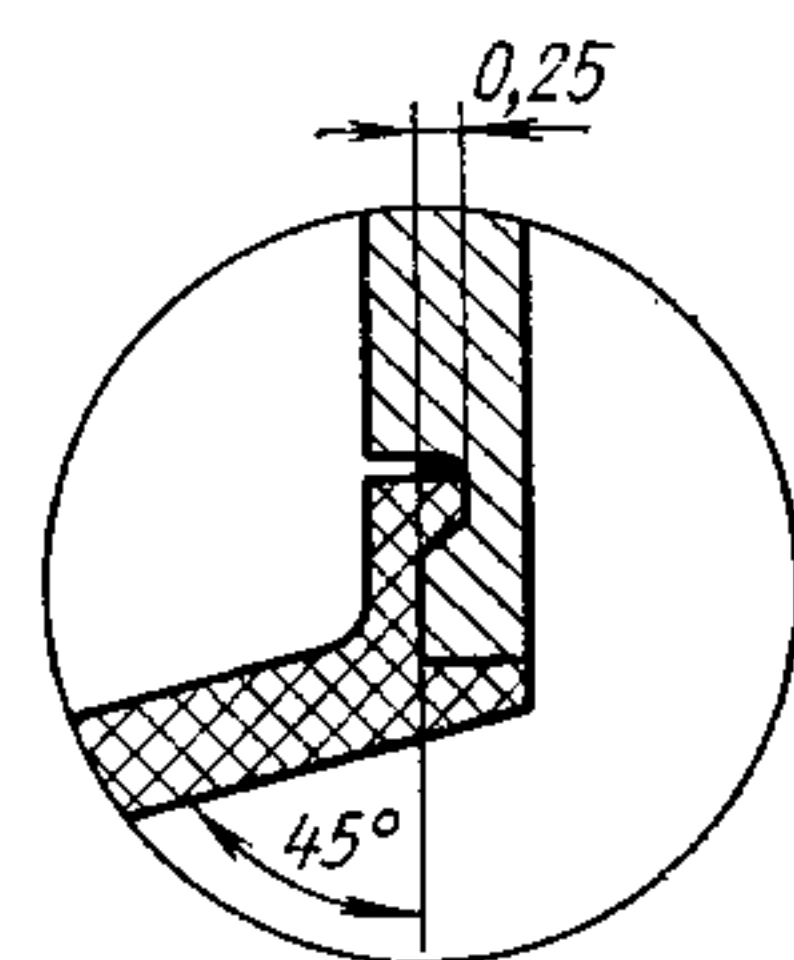


Рис. 16. Замковое соединение

При выборе допускаемого напряжения назначают небольшие коэффициенты запаса (1,5—3), так как после сборки рабочее напряжение быстро снизится вследствие релаксации.

При замковом соединении сопряженные детали (не обязательно цилиндрической формы) удерживаются не за счет сил трения (для сборки замкового соединения требуется зазор между деталями и возможность их перемещения), а с помощью выступа и поднутрения отлитых в соединяемых деталях. Основные размеры могут быть рассчитаны как в случае прессовой посадки (разница в том, что удерживающая сила не уменьшается из-за релаксации), однако прочность такого соединения зависит не от величины натяга, а определяется сопротивлением материала сдвигу.

Замковые соединения используют, например, для присоединения крышек и кожухов, а также других деталей, которые легко нагружены или будут демонтированы при использовании (рис. 16).

СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Сваркой соединяют только термопластические материалы, в основном пленки и листы.

Изделия из реактопластов не свариваются, так как при нагреве при формовании они переходят в неплавкое, нерастворимое состояние, которое необратимо.

По сравнению со склеиванием и клепкой преимуществом сварки является большая прочность соединения (50—100% прочности основного материала), высокая производительность и меньшая трудоемкость.

При сварке пластмассу нагревают в месте контакта до температуры вязкотекучего состояния. Свариваемые элементы нагревают от посторонних источников тепла (нагревательных элементов, газовых теплоносителей, экструдированной присадки), или при помощи энергии, ультразвуковых колебаний, трения, нейтронного облучения.

Сварка нагревательными элементами (контактная) заключается в подогреве свариваемого соединения до определенной температуры, выдержке и охлаждении под давлением. Этот метод обеспечивает высокую прочность соединения. Им пользуются для стыковых соединений пленок со швами большой длины.

Сварку тонких листов, приварку накладок толщиной до 5 мм к изделию большей толщины можно производить при помощи паяльника (рис. 17). Расположенный между свариваемыми плоскостями листов 1 и 2 нагретый паяльник 3 перемещается по мере размягчения кромок линии вдоль сварки. Прижим листа 1 осуществляется роликом 4. При сварке паяльником заготовок разной или большой толщины вследствие усадки при охлаждении часто возникают деформации сваренной заготовки.

Пленочные материалы сваривают также при помощи горячего прессования, нагретой лентой, горячим «лезвием».

При горячем прессовании (рис. 18) свариваемые поверхности пластмассового изделия 1 зажимают нагретыми рабочими поверхностями пресса 2. Нагрев осуществляется электронагревателем 3. После достижения заданной температуры свариваемые поверхности выдерживаются под давлением. Охлаждение производится водой, пропускаемой по каналу 4.

Пресс для стыковой сварки позволяет осуществлять большие давления, всестороннее сжатие размягченной зоны и локальный разогрев.

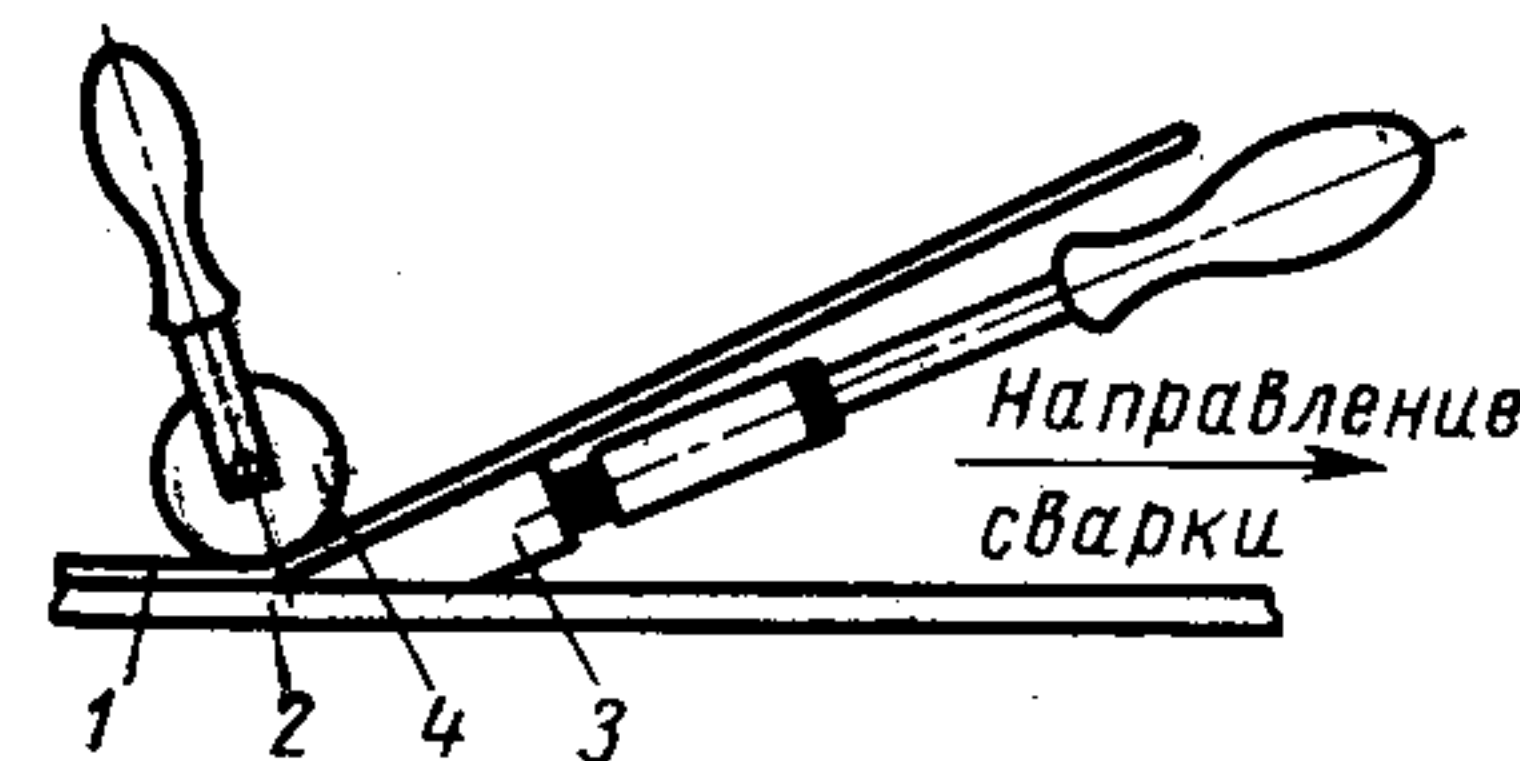


Рис. 17. Сварка пластмасс паяльником

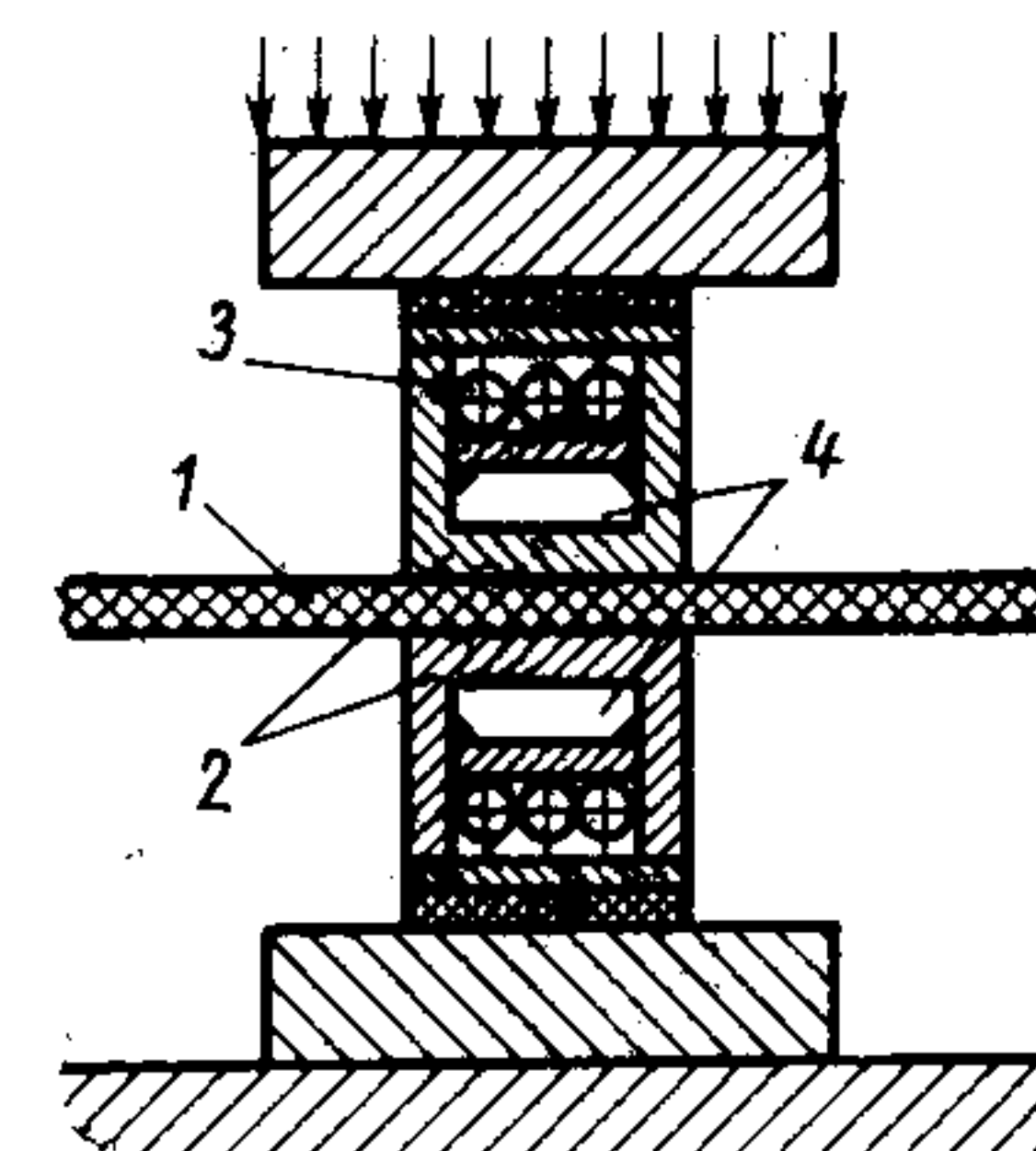


Рис. 18. Сварка горячим прессованием

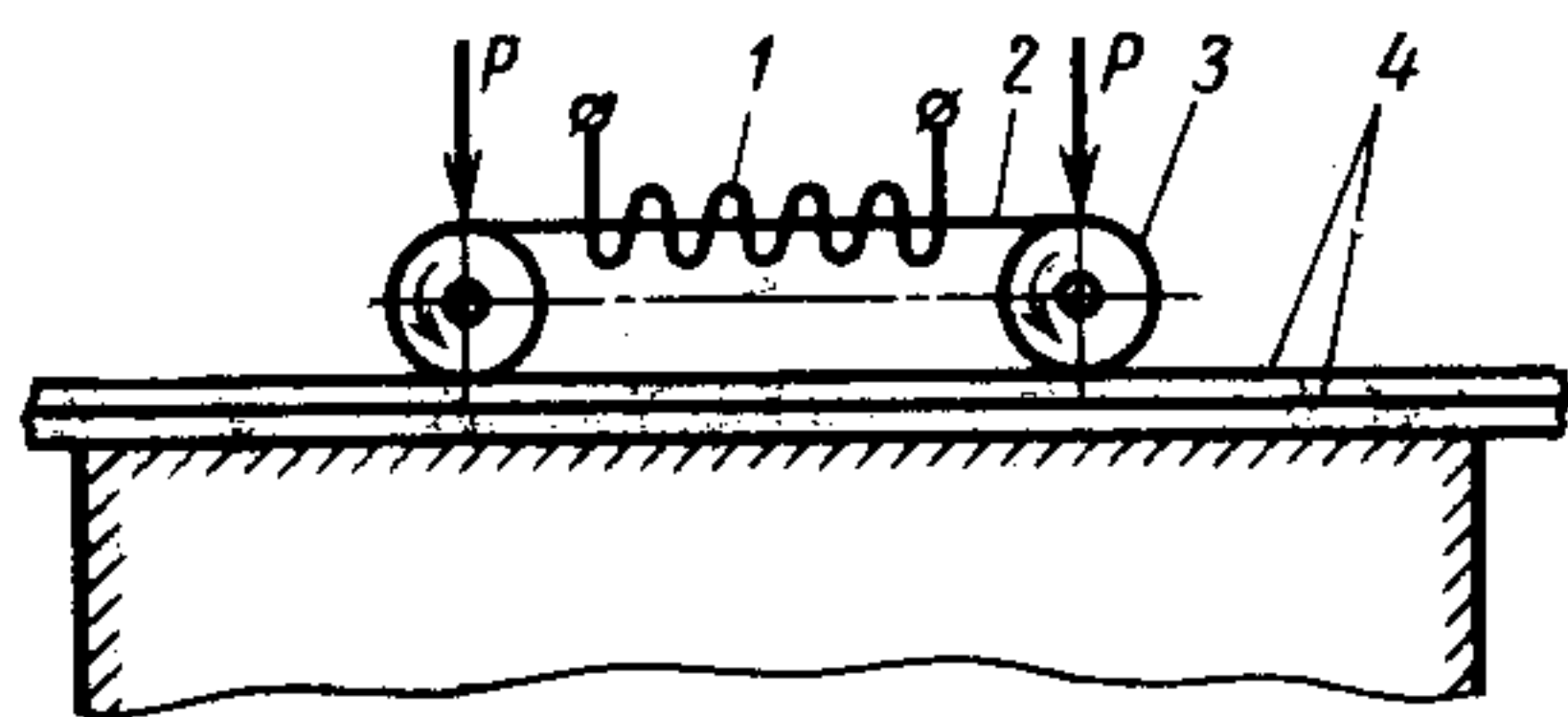


Рис. 19. Сварка нагретой лентой

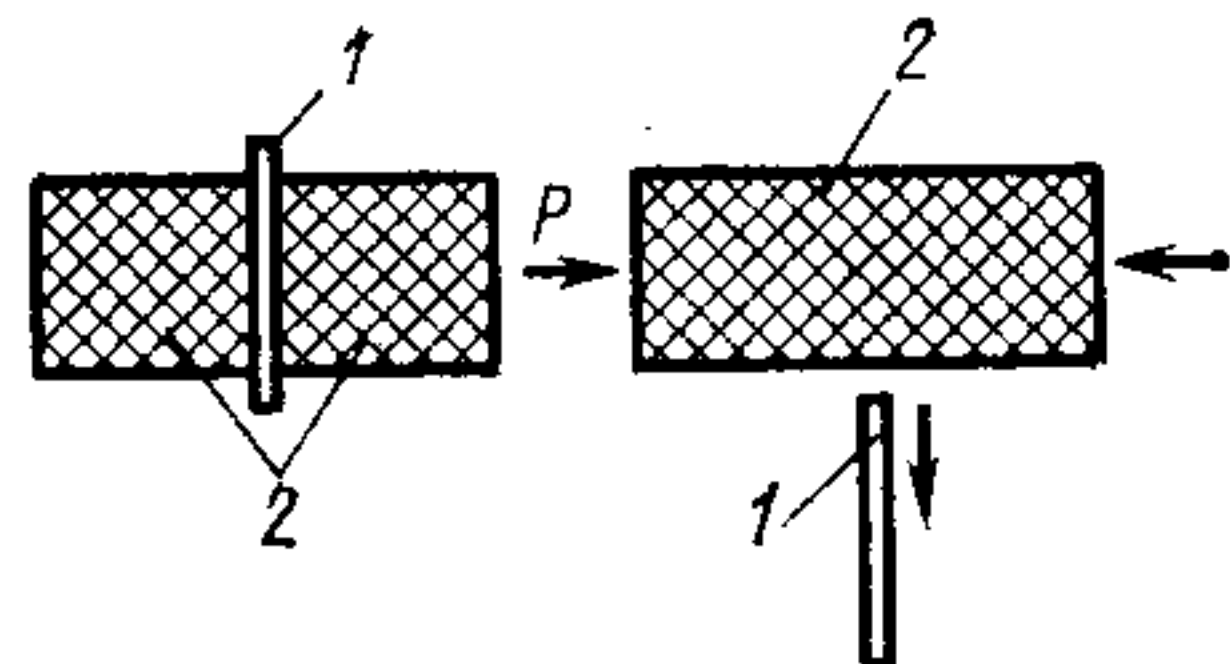


Рис. 20. Сварка горячим «лезвием»: а — в начале сварки; б — сваренные пластмассы

Сварка нагретой лентой показана на рис. 19. Нагретая электронагревателем 1 лента 2 перемещается роликом 3 по свариваемым внахлестку планкам 4.

При сварке горячим «лезвием» (рис. 20) нагретую металлическую пластину 1 помещают между свариваемыми поверхностями 2 и после их размягчения быстро удаляют, после чего поверхности сдавливают.

Нагревательными элементами можно сваривать пластмассы, которые не свариваются ТВЧ (фторопласт-4, полистирол, полиэтилен).

Сварку экструдированной присадкой применяют для соединения листов и пленок. При этом к месту сварки подают горячую присадку, находящуюся в вязкотекучем состоянии. Присадка расплавляет кромки пластмассы и сваривается с ними.

Сварка газовыми теплоносителями — наиболее распространенный метод. В этом случае изделия нагревают подогретыми газами (воздухом, азотом, аргоном) или продуктами сгорания горючих газов (ацетилена, водорода и др.). Применяют беспрутковую (рис. 21) и прутковую сварку (рис. 22). Беспрутковая сварка — производительный метод, ее обычно применяют для соединения пленок внахлестку. Беспрутковый метод позволяет вести сварку со скоростью до 12—20 м/ч. При этом прочность соединений составляет 80—90% от прочности основного материала.

Подготовка кромок при сварке стыковых соединений показана на рис. 23. При толщине листов $S < 2$ мм разделку кромок не производят, и провар обеспечивается зазором в стыке размером до 1,5 мм.

V-образная разделка кромок может быть применена при толщинах 2—8 мм; при $S = 2 \div 6$ мм $\alpha = 55 \div 60^\circ$, при $S > 6$ мм $\alpha = 70 \div 90^\circ$. С увеличением α возрастает прочность соединения.

X-образная форма кромок более прочна и экономична, чем V-образная. Так, при V-образной разделке и $\alpha = 90^\circ$ прочность шва при растяжении составляет 250 кгс/см², а при X-образной разделке — 400 кгс/см².

Для сварки газовыми теплоносителями применяют подогрев газа электрическими нагревательными элементами или газовым пламенем.

При прутковой сварке прочность шва, кроме качества и способа подготовки кромок, зависит от диаметра прутка. Оптимальные диаметры присадочного прутка 2,5—3,5 мм.

Прочность шва составляет при диаметре 2,5 мм ~ 55%; при диаметре 3 мм ~ 65% и при диаметре 3,5 мм ~ 75% от прочности основного материала. При прутковой сварке винипласта шов имеет очень низкую ударную вязкость. Снижается также ударная вязкость основного материала вблизи шва.

Присадочные прутки изготовляют из того же материала, что и свариваемые изделия. Для снижения температуры размягчения в прутки добавляют пластификатор (~ 8,5%).

При сварке внахлестку прочность швов ниже прочности стыковых швов. Прочность стыковых соединений составляет: на срез и изгиб ~ 65%, на растяжение ~ 75%, на сжатие ~ 85% от прочности основного материала.

Недостаток сварки в струе горячего воздуха — малая производительность. Скорость укладки одного сварочного прутка при работе с электрической горелкой составляет ~ 12—15 м/ч, а газовой 15—20 м/ч.

При больших скоростях прутки и свариваемый материал не успевают нагреться до необходимой температуры. Для повышения скорости сварки повышают температуру газа, однако при этом необходимо следить, чтобы не происходило деструкции материала.

Применяемые температуры подогрева: при сварке полиметилметакрилата (органического стекла) воздух нагревают до 200—220° С; полиамиды сваривают в азоте, температура которого на 30—45% выше температуры плавления свариваемого материала. Полиэтилен сваривают в азоте, температура которого 200—220° С. Для винипласта, чтобы оптимальная температура горячего воздуха в месте сварки составляла 200—220° С, воздух в горелке нагревают до 230—270° С.

Диаметры отверстий сменных наконечников выбирают в зависимости от толщины листов, формы разделки кромок и диаметра прутков.

Для сварки листов винипласта толщиной 3—5 мм применяют наконечники с диаметрами отверстий 1,5—2,0 мм; для сварки листов толщиной 16—20 мм — наконечники с диаметром отверстия 3,5—4,0 мм. Диаметр отверстия наконечника горелки выбирают примерно равным диаметру сварочного прутка.

Сварка трением является высокопроизводительным и легко автоматизируемым процессом. При сварке трением механическая энергия преобразовывается в тепловую непосредственно на свариваемых поверхностях. Такая сварка может быть осуществлена на токарном или сверлильном станке. Детали, подлежащие сварке, располагают соосно — одна деталь вращается, а вторая закреплена неподвижно или они вращаются в разные стороны. Скорость вращения должна быть такой, чтобы в течение нескольких секунд трущиеся поверхности нагрелись до необходимой температуры (для винипласта 140—160° С). После этого вращение прекращают, детали сжимают осевым усилием (порядка нескольких кгс/см²) и естественно охлаждаются.

Вращению или вибрации можно подвергать лишь короткую вставку, помещаемую между свариваемыми деталями. В этом случае вращения деталей не требуется.

Сварные соединения имеют высокие механические свойства.

Недостатком этого способа является ограниченная форма сварного шва, так как хотя бы одна из деталей в свариваемом сечении должна иметь форму круга или кольца. Кроме того, в месте сварки происходит утолщение. При сварке трением влияние на прочность сварных швов оказывает форма соединения. Желательно, чтобы площадь соприкосновения свариваемых деталей была наибольшей, а разница в окружных скоростях краев соприкасающихся поверхностей наименьшей. Это легко достигается у тонкостенных труб. На рис. 24 показаны примеры разделки кромок при сварке трением тел вращения.

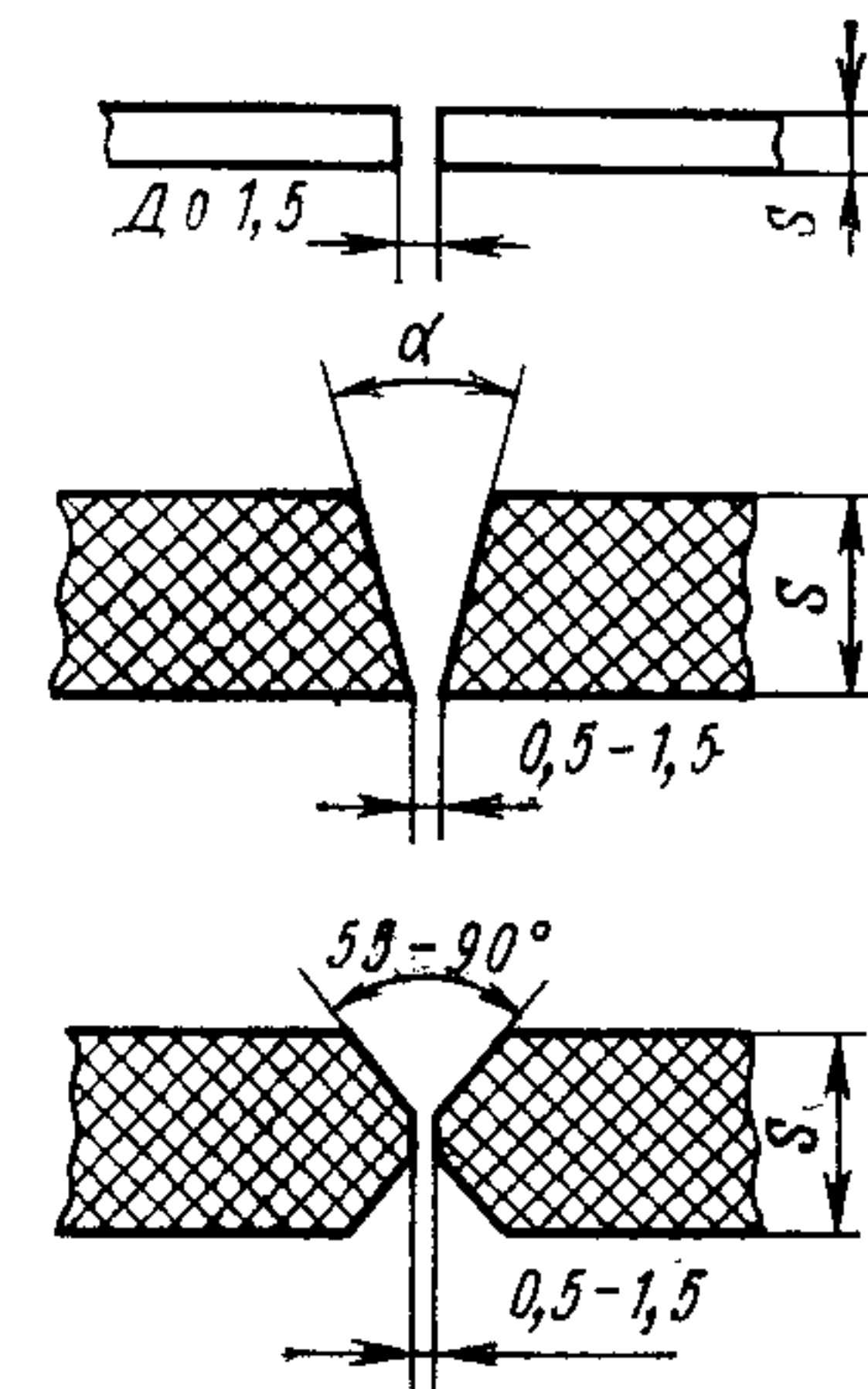


Рис. 23. Разделка кромок под сварку

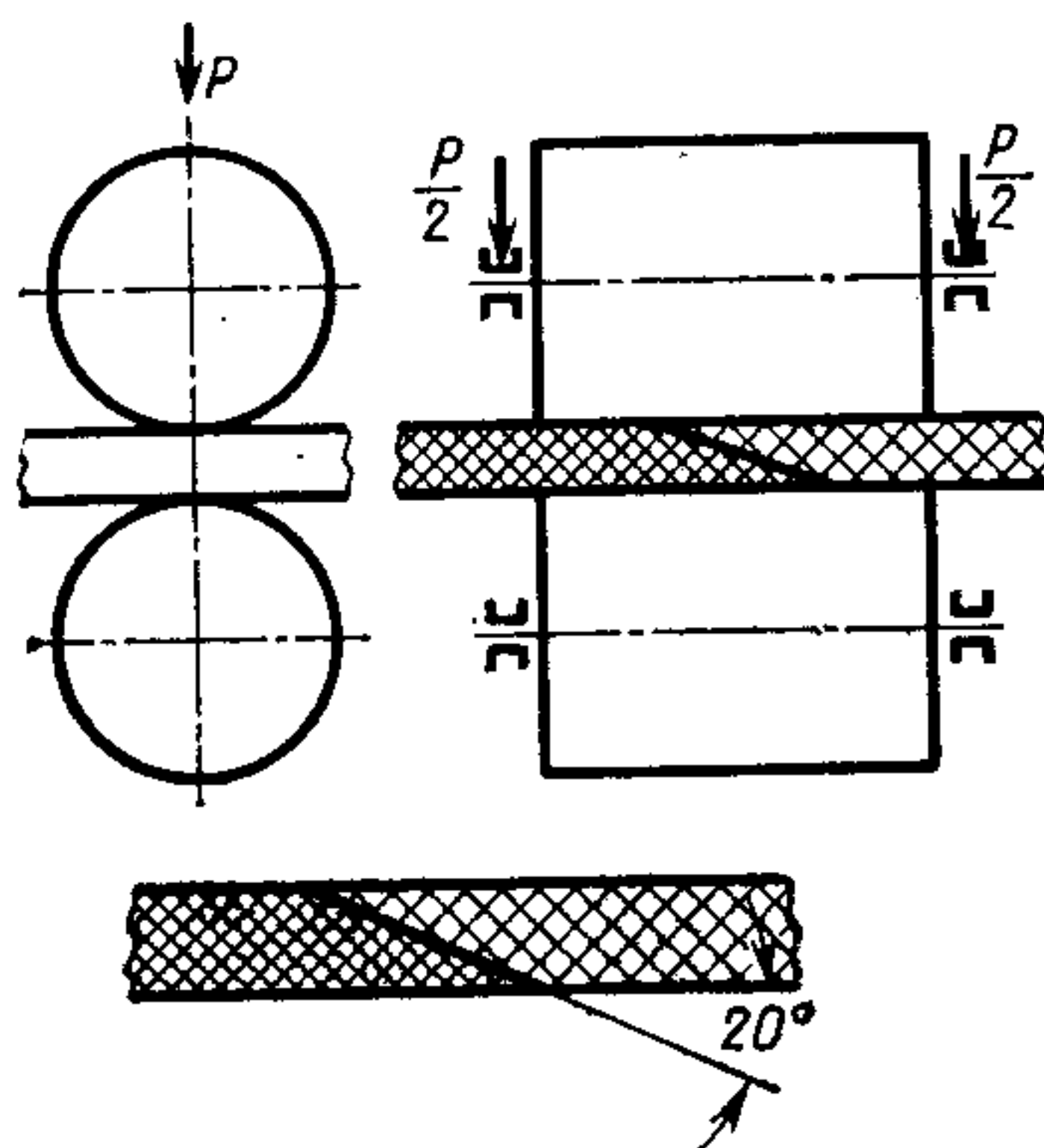


Рис. 21. Беспрутковая сварка листов и пленок

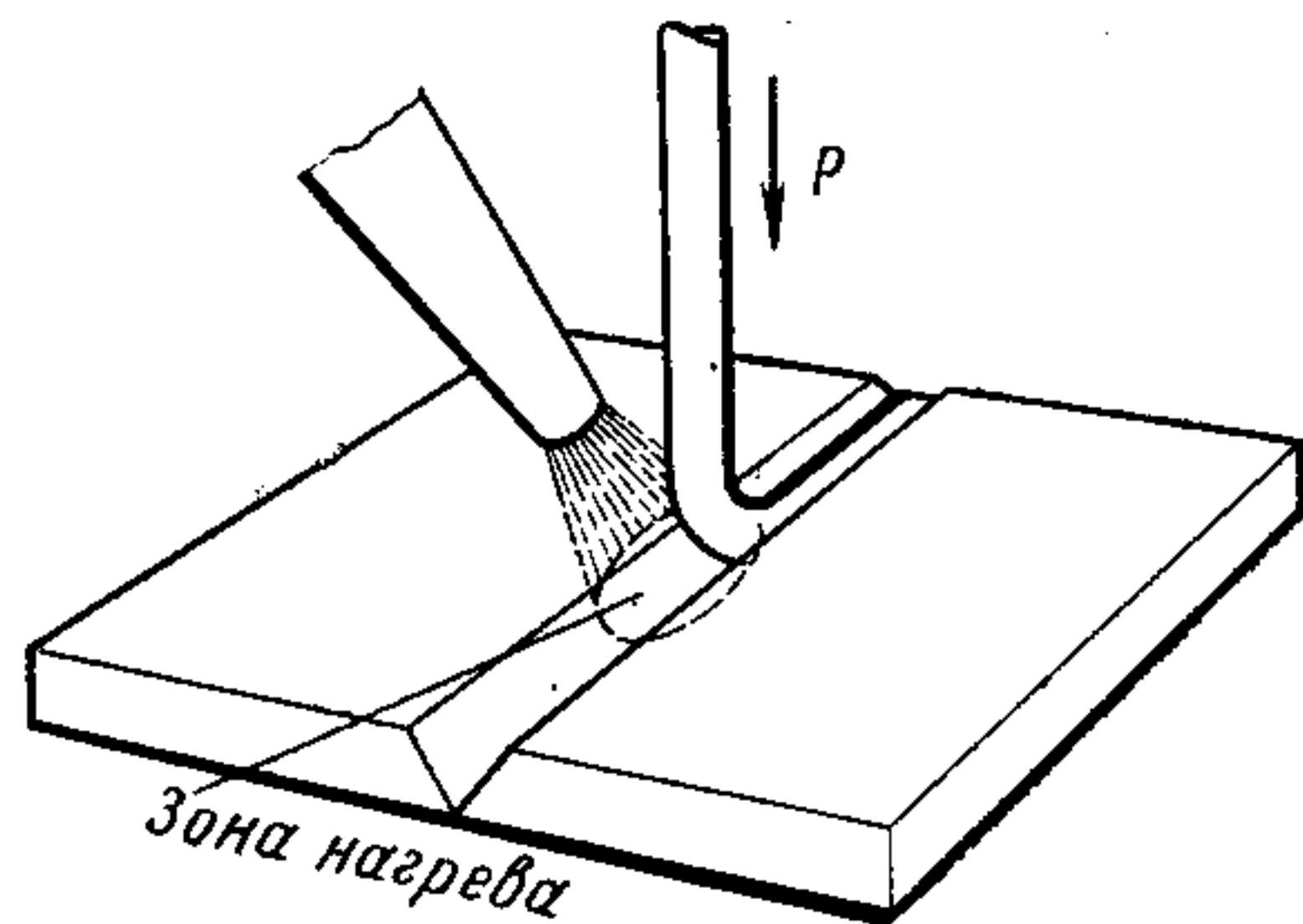


Рис. 22. Прутковая сварка

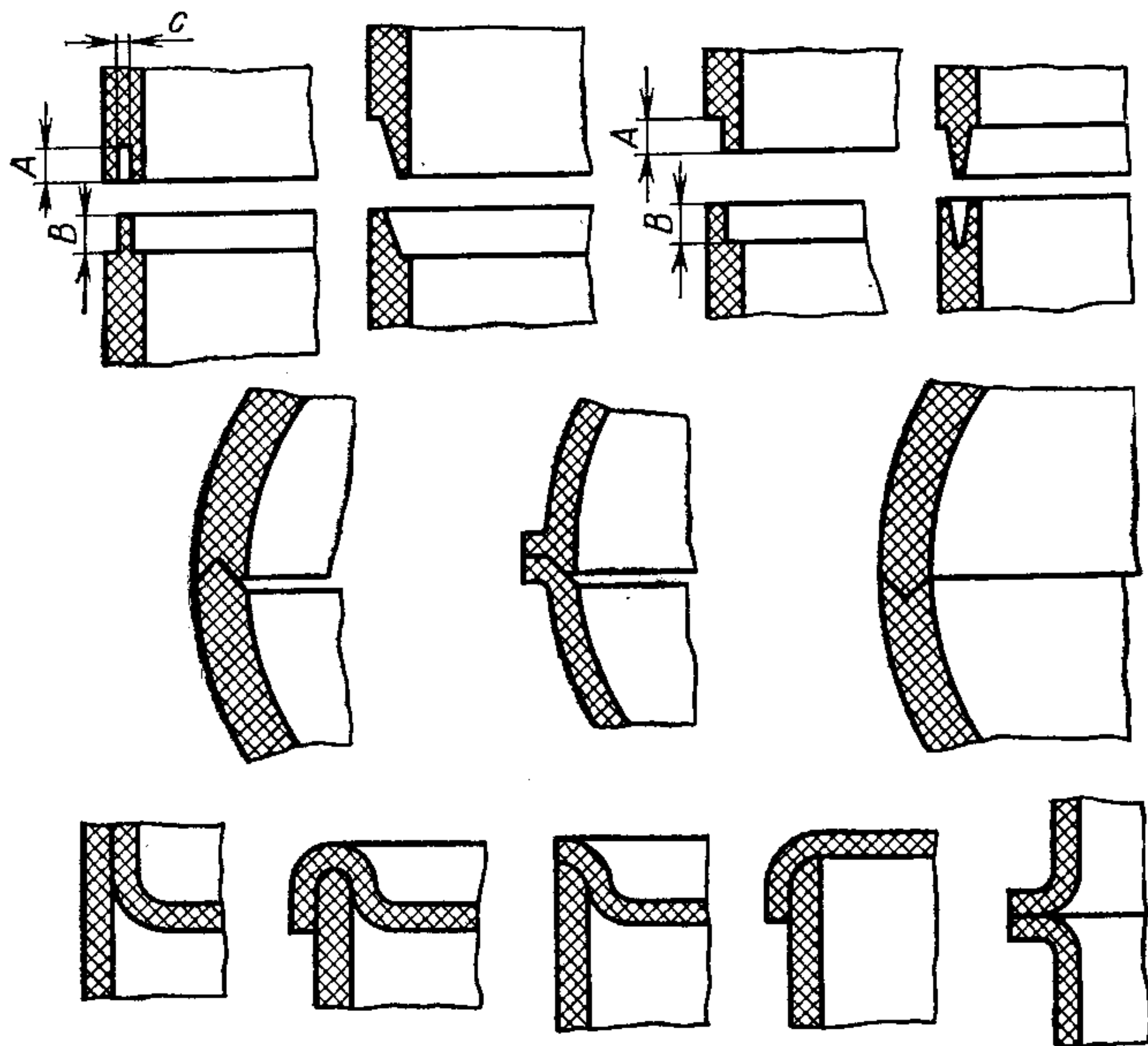


Рис. 24. Варианты разделки кромок при соединении деталей (типа тел вращения) сваркой трением

Сварка ТВЧ — высокопроизводительный процесс, обеспечивающий высокое качество соединений. Его широко используют для сварки тонкостенных изделий толщиной до 5 мм. Фторопласт-4, полиэтилен и некоторые другие пластмассы этим методом не сваривают.

Принцип сварки ТВЧ заключается в том, что под действием тока высокой частоты пластмассы могут быть нагреты до температуры вязкотекучего состояния. Сварка производится непосредственно под электродами, являющимися пластинами конденсатора, соединенного с источником ТВЧ. При этом давление, приложенное к электродам, обеспечивает необходимый контакт между свариваемыми поверхностями.

Применяют точечный, прессовый и роликовый методы сварки ТВЧ. Для этого используют шовные машины типа ЛГС-02 и МСТ-3М, сварочный пресс ЛГСП-04. Скорость подачи материала в этих машинах 0,5—4,5 м/мин.

2. Свойства сварных соединений из винипласта

Показатели	Сварка горячим воздухом		Сварка ТВЧ		
	Трубы S=3 мм	Листы S=0,25 мм	Трубы S=3 мм	Листы S=2,5 мм	Эластичный пластикат S=0,25 мм
Метод сварки	Вручную		Полуавтоматическая сварка		
Скорость сварки, м/ч	42	42	24	90	300—600
Ударная вязкость сварного шва в % по отношению к основному материалу	3,6—5,2	3,6—5,2	60—100	60—100	—
Разрушающее напряжение при растяжении, % от основного материала	30—50	30—50	80—100	80—100	100

Свойства сварных соединений, получаемых различными способами, приведены в табл. 2.

Сварка ультразвуком является односторонним процессом, т. е. при этом не требуется второй электрод и вторая свариваемая деталь может быть любой толщины.

Сварку производят без кромок и присадочного материала, различные виды загрязнений поверхности мало влияют на процесс сварки.

КЛЕЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Преимущество клеевых соединений заключается в том, что с помощью синтетических полимерных материалов можно склеивать разные пластмассы (реактопласты и термопласты) между собой, а также пластмассы с металлом, тканью, стеклом, деревом, керамикой и другими материалами. Кроме того, клеевые соединения обеспечивают хорошую герметичность и обладают относительно хорошей сопротивляемостью вибрационным нагрузкам. Их основной недостаток — невысокая прочность, особенно при повышенных температурах.

Пластмассы можно склеивать раствором или расплавом того же материала, который подлежит склеиванию; такой метод способствует устранению неоднородности клеевого шва.

Процесс получения клеевого соединения состоит из трех этапов: подготовки склеиваемых поверхностей (склеиваемые поверхности должны быть чистыми и сухими), нанесения клея и выдержки клеевого соединения под давлением.

Подготовка поверхности заключается в большинстве случаев в обезжиривании. Однако для соединения некоторых пластиков необходима их химическая обработка.

При соединении изделий следует предусмотреть определенный зазор между склеиваемыми поверхностями. Этот зазор может составлять 0,1—0,2 мм (толщина слоя клея 0,05—0,15 мм). Клеевые соединения должны быть такими, чтобы при нагрузке в клеевом слое возникали лишь напряжения сдвига.

Прочность клеевых соединений металла с пластмассами и пластмасс между собой в отдельных случаях достигает 300—400 кгс/см² и более.

Эпоксидные клеевые композиции. Такие композиции обладают высокой прочностью, технологичны. При использовании эпоксидных смол в клеевых композициях в их состав добавляют отвердители. Процесс отверждения происходит при формировании клеевого соединения. Режимы отверждения и свойства отвержденных композиций см. в работах [1, 3].

Кратковременно некоторые клеи на основе модифицированных эпоксидных соединений выдерживают температуры 350—400° С.

Длительная прочность эпоксидных клеев (отвержденных при нагревании) составляет 300—500 ч при напряжении (сдвиг) 100—180 кгс/см²; усталостная прочность при сдвиге эпоксидных клеевых соединений при $t = 20^\circ \text{C}$ и 10^7 циклах равна примерно 40—50 кгс/см².

Прочностные характеристики композиций, отвержденных без нагревания, значительно ниже характеристик композиций горячего отверждения.

В качестве отвердителей при склеивании без нагревания используют полиэтиленполиамин, гексаметилендиамин, а также низкомолекулярные полиамиды.

Обычно амины вводят в количестве 8—16 частей по массе на 100 частей по массе смолы в зависимости от типа взятого амина и молекулярного веса эпоксидной смолы. Перед отверждением смолу или композицию на ее основе вакуумируют при 25—30° С для удаления воздуха.

Конструктивные клеи на основе эпоксидных клеев обычно отверждаются при нагревании. Для клеев, отверждающихся при комнатной температуре*, повышение температуры отверждения уменьшает продолжительность процесса, увеличивает прочность и теплостойкость соединений. Влияние температуры отверждения на продолжительность и прочность композиции эпоксид + дибутилфталат (отвердитель полиэтиленполиамин) показано ниже:

Температура отверждения, °С	20	120
Продолжительность отверждения, ч	72	4
Разрушающее напряжение при сдвиге, кгс/см ² , при:		
−60 °С	50	47
+20 °С	60	138
+60 °С	8	58

* К ним относятся клеи Л-4, ВК-9, КЛН-1, ВК-16.

Прочность клеевого соединения возрастает с уменьшением его толщины. Например, для эпоксидной композиции, отвержденной дициандиамидом, при толщине пленки 0,40; 0,20 и 0,06 мм, предел прочности при сдвиге равен соответственно 262; 344 и 367 кгс/см².

Для клеевых эпоксидных композиций применяют наполнители волокнистые (асбест), порошкообразные (кварцевый порошок, двуокись титана, цемент, фарфоровая мука, белая сажа), металлы (алюминий, железо и др.), древесную муку, тканые материалы — ткани и сетки из стеклянного и синтетического волокон.

Введение наполнителей может увеличить не только прочность, но и теплоустойчивость клеевых соединений. В табл. 3—5 приводятся характеристики ряда клеев на основе эпоксидных смол.

3. Свойства эпоксидных клеев холодного отверждения

Марка клея	Разрушающее напряжение, кгс/см ²		Применение
	при сдвиге	при равномерном отрыве	
ВК-16	85—140	120—145	Склеивание алюминиевых сплавов, нержавеющей и анодированных сталей между собой и с неметаллическими материалами при <i>t</i> от -60 до +250°С Склеивание металлов в конструкциях несилового назначения Склеивание сталей, алюминиевых и титановых сплавов Склеивание металлов и конструкционных неметаллических материалов, клеесварные соединения
Л-4	60	145	
ВК-9	150	205	
КЛН-1	150	250	

4. Режимы склеивания эпоксидными клеями горячего отверждения (число наносимых слоев — 1)

Марка клея	Давление, кгс/см ²	Температура склеивания, °С	Продолжительность выдержки под давлением, ч
ВК-1	0,3—3,0	120—160	5—1
ВК-1М	0,5—1,0	200	3
ВК-1МС	0,5—1,0	120	3
ВК-32-ЭМ	0,3—3,0	155 ± 5	1

5. Свойства эпоксидных клеев горячего отверждения

Марка клея	Разрушающее напряжение, кгс/см ²		Применение
	при сдвиге	при равномерном отрыве	
ВК-1	150	740	Клеевое, клеесварное и клеерезьбовое соединение стали, титановых и алюминиевых сплавов Для клеевых соединений из стали, титановых и алюминиевых сплавов любой конфигурации Клеесварные соединения в изделиях из стали и алюминиевых, титановых сплавов Склеивание металлов и стеклопластиков Склеивание сталей, титана, керамики, стеклотекстолитов; рабочая температура до 300°С Склеивание металлов, древесных материалов, стеклопластиков, резин и других материалов
ВК-1М	170	240	
ВК-1МС	210	750	
ВК-32-ЭМ	150—250	500	
Т-111	150—200	—	
К-153	135	100	

6. Состав и свойства отечественных эпоксидных клеев, отверждаемых низкомолекулярными полиамидами

Марка клея	Эпоксидная смола	Состав клея		Максимальная рабочая температура, °С	Разрушающее напряжение при 20°С, кгс/см ²			Назначение
		Отвердитель	Пластификатор или модифицирующая добавка		при сдвиге	при равномерном отрыве	при сдвиге	
	Название	Количество ч. по массе на 100 ч. по массе смолы	Количество ч. по массе на 100 ч. по массе смолы					
Д-10	Низкомолекулярный полиамид Л-19	60—100	10—15	70—100	240	340	240	Склеивание черных и цветных металлов, ферритов, керамики, стекла, кожи, дерева, пластмасс и других материалов
К-300-61	Низкомолекулярный полиамид	—	—	300	125—150	—	125—150	Склеивание сталей, титановых сплавов, алюминиевых сплавов, асбесто- и стеклотекстолитов
К-400	Низкомолекулярный полиамид Л-20	40	60	Длительно 200, кратко-временно 400	200—320	—	200—320	Склеивание металлов и неметаллических материалов

7. Свойства отвержденных эпоксидно-каучуковых композиций *

Марка композиции	Состав композиции	Отвердители	Разрушающее напряжение, кгс/см ²		Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость при заданной нагрузке, кгс/мм ²	Тангенс угла диэлектрической проницаемости при 10 ⁶ Гц
			при статическом изгибе	при растяжении			
К-139	Эпоксидная смола Д-20, модифицированная полиэфиром МГФ-9 и карбоксилатным каучуком СКН-26 Эпоксидная смола + карбоксилосодержащий каучук СКН-26-1 (70 ч. по массе) + полиэфир МГФ-9 Эпоксидная смола + карбоксилосодержащий каучук СКН-26-1 (200 ч. по массе) + полиэфир МГФ-9	Полиамины, низкомолекулярные полиамиды **	500—600	400—600	4—8	16—18	4,5
К-147			200—300	200—300	8—12	8	5,0
К-134			—	50—70	30—40	—	—

* Удельное электрическое сопротивление 1 · 10¹³ Ом · см.

** Режимы отверждения: 1) 48 ч при 20°С; 2) 6 ч при 20°С, 2 ч при 80°С и 6 ч при 100°С; 3) 6 ч при 20°С, 10—8 ч при 60—80°С.

Токсичность эпоксидных смол определяется содержанием эпихлоргидрина, предельно допускаемая концентрация которого 1 мг/м³; предельно допустимая концентрация гексаметилендиамина 1 мг/м³. В табл. 6, 7 приведены состав и свойства эпоксидных клеев, отверждаемых низкомолекулярными полиамидами, и свойства отверждаемых эпоксидно-каучуковых композиций.

Полиуретановые клеи. К таким клеям относят клеи ПУ-2; ПУ-2М; ПУ-2Б; ВК-5 и ВК-11 (табл. 8, 9). Обладают высокой адгезией к большинству материалов. Применяют для склеивания металлов и неметаллических материалов при комнатной температуре и при нагревании.

8. Режимы склеивания (один слой) полиуретановыми клеями

Марка клея	Давление, кгс/см ²	Температура склеивания, °С	Продолжительность выдержки под давлением, ч
ПУ-2	0,5—5,0	110 ± 5 20	3—4 24
ВК-5	2,0	18—25	24

9. Прочность при неравномерном отрыве клеев ПУ-2 и ВК-5

Марка клея	Разрушающее напряжение, кгс/см ² , при температуре, °С		
	—60	20	60
ПУ-2	20	35	20
ВК-5	—	25	15

Кремнийорганические клеи. Отличаются высокой теплостойкостью до 1200° С. Применяют для склеивания теплостойких неметаллических материалов (стекловолоконистых, полисилоксановых и др.) и металлов.

Свойства соединений и режимы склеивания приведены в табл. 10 и 11.

10. Свойства клеевых соединений на кремнийорганических клеях

Марка клея	Разрушающее напряжение, кгс/см ²			Примечание
	при сдвиге	при равномерном отрыве	при неравномерном отрыве	
ВК-2 (МРТУ 6-05-1214—69)	90	220	8—9	Склеивание металлов и неметаллических материалов
ВК-8 (ТУ ХП 11—68)	155	215	13—15	
ВК-15 (ТУ 6-05-1456—71)	90	—	11	Склеивание стали, титана и теплостойких неметаллических материалов

11. Режимы склеивания стали клеями ВК-2, ВК-8, ВК-15

Марка клея	Давление, кгс/см ²	Температура склеивания, °С	Продолжительность выдержки под давлением, ч	Число наносимых слоев
ВК-2	8—15	200 ± 5	1	2
ВК-8	8—15	180 ± 5	3	2
ВК-15	1—3	150	2	1

Фенолоформальдегидные клеи. Применяют для склеивания металлов, пластмасс, древесины в различных конструкциях, в том числе силового назначения. Клеевые

соединения водостойки. Прочность склеивания на сдвиг древесины (ясень, дуб) и древесных пластиков не менее 130 кгс/см².

Недостаток — гидролизующее действие на целлюлозу древесины и другие материалы, приводящее к ускорению старения.

Отверждаются при нормальной температуре, а для ускорения склеивания — при повышенной.

При 16—30° С выдержка под давлением 3—5 ч, при 60—70° С — 1,5—2 ч.

Фенолполивинилацетальные клеи. Свойства их зависят от соотношения исходных компонентов. С повышением содержания фенольной смолы увеличивается теплостойкость и уменьшается эластичность клеевых соединений.

Клей БФ (спиртовые растворы фенолоформальдегидной смолы и поливинилбутираля) применяют для склеивания металлов и неметаллических материалов.

Режим склеивания БФ-2: температура 140—160°; выдержка 0,5—1,0 ч; давление от 2 до 5—10 кгс/см². Прочность при неравномерном отрыве при 20° ~ 28 кгс/см².

Склеивание реактопластов. Термореактивные пластмассы склеивают фенолоформальдегидными, полиэфирными, полиэпоксидными, полиуретановыми и другими клеями и клеевыми композициями.

Слоистые материалы на основе фенолоформальдегидных смол перед склейкой обрабатывают шкуркой для получения шероховатой поверхности.

Текстолиты, ДСП и их сочетания между собой и с различными пенопластами, а также с металлами склеивают клеем ВИАМ Б-3 (который наносят на подслой БФ-2) или другими фенолоформальдегидными клеевыми композициями.

Продолжительность выдержки при склеивании клеем ВИАМ Б-3 без нагревания термореактивных пластмасс приведена в табл. 12.

12. Минимальное время (ч) выдержки под давлением термореактивных пластмасс

Склеиваемые материалы	16—20 °С	20—30 °С
Текстолиты, ДСП с пенопластом	5	3—4
Текстолит и стеклотекстолит между собой	10	6—8
Текстолит или стеклотекстолит с ДСП	12	8—10

Необходимая продолжительность выдержки при склеивании термореактивных пластмасс с металлами при помощи клея ВИАМ Б-3 с подслоем БФ-2 приведена в табл. 13.

13. Время выдержки (ч) под давлением при склеивании термореактивных пластмасс с металлами

Склеиваемые материалы	16—20 °С	20—25 °С	25—30 °С
Стеклотекстолит или текстолит с металлами	30	16	10
ДСП с металлами	12	10	8

Для приклеивания стекловолоконистых теплоизоляционных материалов к сталям различных марок, к алюминиевым и титановым сплавам применяют фенольно-каучуковый клей ВК-32-2. Разрушающее напряжение при сдвиге $\tau \geq 27$ кгс/см² при $t = 20^\circ \text{C}$. Для склеивания теплоизоляционных и декоративных облицовочных материалов между собой и с металлами при $t = 60^\circ \text{C}$ применяют каучуковый клей 88Н. Разрушающее напряжение при сдвиге $\tau \geq 100$ кгс/см² при $t = 20^\circ \text{C}$.

Для склеивания стали, титана, алюминиевых сплавов и различных неметаллических материалов применяется карбинольный клей.

Склеивание термопластов. Непластифицированный поливинилхлорид можно склеивать клеями из раствора поливинилхлорида в органических растворителях — дихлорэтаноле, трихлорэтилене и других, резиновыми клеями и другими композициями на основе поливинилхлорида или каучуков.

Полиамидные пластмассы склеивают между собой фенольноспиртовым раствором данного полиамида. При склеивании их с другими материалами, например с металлами, применяют клей ПУ-2. Может быть использован также следующий способ. Поверхность полиамида предварительно оклеивают тканью при помощи фенольно-спиртового раствора так, чтобы ткань не имела сквозной пропитки. После просушки поверхности полиамид склеивают с другими материалами соответствующими клеями. Можно оклеить только металл, а затем приклеить фенольно-спиртовым раствором полиамид.

Поверхности перед склеиванием обрабатывают способами, принятыми в отдельности для металлов и пластиков.

Данные о влиянии способа подготовки поверхности стали 30ХГСА для соединений на клее БФ-2 приведены в табл. 14.

14. Прочность соединения стали 30ХГСА с пластмассами клеем БФ-2

Обработка поверхности	Разрушающее напряжение при сдвиге, кгс/см ² , при температуре, °С			Обработка поверхности	Разрушающее напряжение при сдвиге, кгс/см ² , при температуре, °С		
	-60	20	60		-60	20	60
Пескоструйная . . .	127	405	145	Фосфатирование . . .	72	110	93
Кадмирование	82	247	90	Шлифование	108	408	160
Цинкование	105	378	128	Полирование	81	346	163

При склеивании полиэтилена, который плохо склеивается, его поверхность предварительно обрабатывают при 60° С раствором синтетического каучука в четыреххлористом углероде, трихлорэтилене или в бензине. Для склеивания применяют резиновые клеи.

Склеивать полиэтилен и полипропилен (после предварительной обработки поверхности хромовой кислотой в течение 1 мин при 75° С) можно эпоксидно-полисульфидным клеем.

Для склеивания полиолефиновых пластмасс применяют также армирование тканью (бязь, миткаль и др.). Армируют свариванием ткани с полиэтиленом (полипропиленом) под давлением 1—1,5 кгс/см² при температуре, близкой к температуре их плавления. Полиэтилен (полипропилен), покрытый тканью с одной стороны, может быть получен с заводов-поставщиков.

Армированные полиэтилен и полипропилен можно склеивать между собой и с другими материалами любыми клеями, применяемыми для склеивания металлов и неметаллических материалов (с учетом их рабочих температур и других показателей).

Фторопласт-4 плохо поддается склеиванию. Склеивание фторопласта-4 возможно при предварительной специальной обработке склеиваемых поверхностей. Поверхность фторопласта-4 обрабатывают щелочными металлами (обычно натрием) в виде таких комплексов, как натрий — аммиак или натрий — нафталин. Для обработки 1 м² поверхности затрачивают 8 г натрия в растворе. Для приготовления раствора 10 г металлического натрия растворяют в 1000 г безводного жидкого аммиака, охлажденного до -40÷-45° С. В полученный раствор опускают на 1—5 с изделие из фторопласта-4, после чего изделие промывают водой. Изделие после этого склеивают любыми клеями, например эпоксидными или типа БФ. В последнем случае предел прочности при сдвиге 100—120 кгс/см².

Аммиачный раствор натрия опасен (самовозгорание и взрывы при попадании воды или воздействии влаги воздуха) и очень чувствителен к кислороду воздуха. Органическое стекло (полиметилметакрилат) склеивают клеями В31-Ф9, ПУ-2 (с рабочей температурой до 150° С) и клеем ВС-10ТМ с температурой до 210° С. Клей ПУ-2 склеивает органическое стекло с металлами, а клей ВС-10ТМ — теплоустойчивое полиакрилатное стекло. Этими клеями склеивают при давлении 1,5—2,0 кгс/см² и комнатной температуре, кроме клея ВС-10ТМ, которым склеивают при температуре 145° С. Прочность таких соединений при сдвиге приведена в табл. 15.

15. Прочность при сдвиге клеевых соединений органического стекла при температуре 20° С

Клей	Склеиваемые материалы	Прочность без дополнительного нагрева		Прочность после выдержки при температуре 60° С в течение 500 ч	
		кгс/см ²	кгс/см	кгс/см ²	кгс/см
В31-Ф9	СТ-1—СТ-1	295	—	354	—
	СТ-1—ЛКТ	—	141	—	114
ПУ-2	СТ-1—СТ-1	217	—	170	—
	СТ-1—ЛКТ	—	144	—	140
ВС-10ТМ	Э-2—ЛЛ	—	132*	—	170*

* Испытания при $t = 150$ °С

Клеи В31-Ф9, ВС-10ТМ снижают прочность склеенного органического стекла. Для склеивания органического стекла разработаны также герметики У-30М и У30-МЭС-10, применяемые до температуры 150° С, и «Виксинт» У-2-28 — до 200° С. Для быстрого склеивания металлов, пластмасс, стекла, резины и других материалов применяют клей «Циакрин». Клей не содержит растворителя. Склеивание производят при комнатной температуре, без введения катализаторов, при минимальном давлении и температуре от -60 до 100° С.

Для склеивания металлов в силовых конструкциях применяют клеи ВК-3, ВК-32-200, ВК-13, ВК-13М и другие, пригодные для длительной эксплуатации при повышенных температурах, а также высокотеплостойкие композиции, способные выдержать кратковременное воздействие температур, достигающих 1000° С и более (ВК-2, ВК-8, ВК-15, ВК-18, ВК-20).

Пределы прочности клеевых соединений при равномерном отрыве приведены в табл. 16.

16. Прочность клеевых соединений при равномерном отрыве в зависимости от температуры

Название клея	$\tau_{отр}$, кгс/см ² , при температуре, °С				
	-60	+20	+60	+200	+300
ВК-3	320—500	180—200	120—125*	—	—
ВК-32-200	300—500	125—170	—	45—70	15—25
ВК-13	390	184	—	72	44
ВК-13М	535	165	45	105	—
ВК-5	—	220—290	50—105	—	—
ВК-9	340	200	—	43**	—

* Испытано при 80° С.

** Испытано при 125° С.

Водостойкость таких клеящих материалов, как ВК-32-200 и ВК-3, незначительно снижается после 30-суточного пребывания в воде.

В условиях длительного воздействия высоких температур конструкционные клеи горячего отверждения типа ВК-3 ведут себя удовлетворительно: термостабильность таких клеев достигает 1000 ч при 200° С и 30 000 ч при 150° С.

Клеи на основе полиароматических полимеров (полибензимидазольные, полиамидные) являются термостабильными, термостойкими. Так, полибензимидазоль-

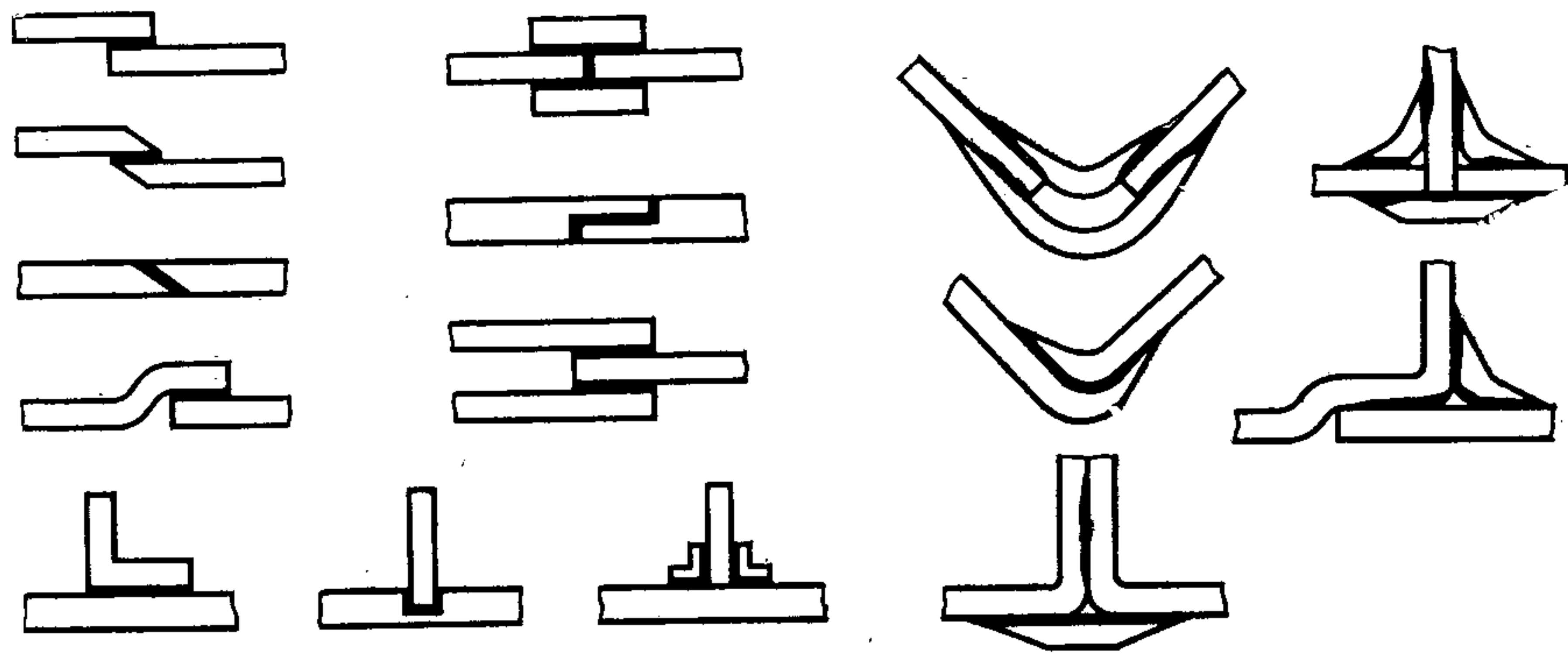


Рис. 25. Типы клеевых соединений

ные клеи имеют хорошую адгезию к нержавеющей стали, титану, бериллию и другим материалам, высокую стойкость к воздействию влаги, тропических условий, агрессивных сред, не снижают характеристик при криогенных температурах. В дополнение ко многим ценным свойствам, характерным для полибензимидазольных клеев, полиамидные клеи способны выдерживать длительное воздействие температуры 300° С и выше.

Клей ПБИ-1К в интервале температур 20—300° С позволяет получать высокие прочностные характеристики клеевых соединений, при этом теплостойкость клея составляет 500° С. При температуре 300° С клей по прочности превосходит многие теплостойкие клеи. Клей СП-6К при склеивании сплава САП позволяет получать клеевые соединения, равнопрочные в интервале температур 20—300° С, однако уровень прочности ниже, чем для клея ПБИ-1К.

Клеи ПБИ-1К и СП-6К можно применять как для закрытых клеевых соединений, так и для соединения обшивок с сотовым наполнителем. Соединения сотовой конструкции, выполненные клеем ПБИ-1К, способны выдерживать воздействие температур 300° С в течение 50 ч, стеклопластовые сотовые соединения, выполненные клеем СП-6К, работают 500—1000 ч при 300° С.

Полиароматические клеи можно использовать как в жидком виде, так и в виде армированных и неармированных пленок. Их можно применять при изготовлении теплостойких сотовых конструкций, для крепления металла к металлу. Недостатком полиароматических клеев является высокая температура отверждения (300° С для клея СП-6К и 320° С для клея ПБИ-1К) и высокое давление при склеивании (8—10 кгс/см² для клея ПБИ-1К и 2—3 кгс/см² для клея СП-6К).

Клеевые соединения различных типов показаны на рис. 25. Хорошей прочностью обладает соединение «в ус», соединение с двусторонней накладкой. Чаще других применяют соединение внахлестку. Наибольшей прочностью клеевые соединения обладают при равномерном отрыве, а также при работе на сдвиг. Прочность при неравномерном отрыве для большинства клеев не превышает 50 кгс/см.

Длину и ширину нахлестки выбирают с учетом толщины (поперечного сечения) склеиваемого материала. Если при нагружении разрушается материал, следует увеличить его толщину; иными словами, должна быть создана равнопрочность клеевого соединения и склеиваемого материала.

Нагрузочная способность клеевого соединения увеличивается с возрастанием длины наклейки.

Величина сдвигающей нагрузки при склеивании:
внахлестку

$$P_1 = lb [\tau];$$

«в ус»

$$P_1 = P \cos \alpha; \quad P_1 = ls [\tau].$$

Величина отрывающей нагрузки при вклейке:
внахлестку

$$P_2 = lb [\tau_{отр}];$$

«в ус»

$$P_2 = P \sin \alpha; \quad P_2 = ls [\tau_{отр}].$$

где l — длина шва; b — ширина шва; P — общая нагрузка на клеевое соединение; α — угол скоса кромок листов, градусы; s — толщина склеиваемых деталей.

Для увеличения прочности соединения можно выполнить комбинированным — при помощи заклепок и клея. В этом случае заклепки ставят по отвержденному клею, обладающему достаточной эластичностью (ВК-5, ВК-32-209, ПУ-С). Можно клепать и по неотвержденному клею с последующей его полимеризацией. Клеезаклепочное соединение применяют в конструкциях для крепления деталей из металлов и пластмассы; оно обладает высокой прочностью при неравномерном отрыве, более высокой прочностью и надежностью при длительной эксплуатации по сравнению с клеевыми [8, 24—26, 29, 46, 55].

УПЛОТНЕНИЯ

УПЛОТНЕНИЯ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Для уплотнения стыков фланцевых соединений крышек, арматуры трубопроводов и других деталей применяют сжимаемые прокладки в виде плоских колец (рис. 1) или колец круглого сечения.

При фланцевом соединении на поверхности изделия под прокладку выполняют концентричные канавки на расстоянии примерно 1 мм одна от другой, глубиной 0,3 мм, с углом профиля 90°. Поперечное сечение уплотнения должно быть примерно на 30% больше поперечного сечения канавок.

Усилие затяжки болтов (уплотняющее усилие)

$$p = p_k + p_v,$$

где p_k и p_v — соответственно контактное и внутреннее давления в соединении.

Для плоских прокладок принимают следующие величины отношения $a = p_k/p_v$; для плоских широких прокладок $a = 2 \div 4$; для прокладок, помещенных в широкой канавке, $a = 3 \div 6$; для прокладок, установленных в узких канавках, $a = 3 \div 8$.

В связи с тем, что по мере эксплуатации герметичность может уменьшаться, при отсутствии принудительного натяжения следует несколько повышать начальную величину p_k .

Самозатягивающиеся уплотнения, выполняемые в виде колец различного профиля (круглого, П-образного и др.), монтируют в соответствующие канавки с предварительным натягом. В результате деформации от натяга, а также от воздействия давления рабочей среды уплотнение деформируется, обеспечивая большую герметичность даже при отсутствии давления жидкости. Преимущество пластмассовых колец (особенно круглого сечения) — отсутствие острых углов, нарушающих масляную пленку при движении. Кроме того, при использовании таких колец допускается неточность в изготовлении уплотняющих поверхностей.

УПЛОТНЕНИЯ ДЛЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ

Уплотнения таких деталей могут быть с контактом и без контакта с трущейся поверхностью.

К уплотнениям без контакта относят щелевые, винтовые и лабиринтные уплотнения. В большинстве случаев детали лабиринтного уплотнения выполняют из металлов (стальные). Однако они могут быть (например, при необходимости уменьшения массы) изготовлены из пластмасс (волоконита, текстолита и др.). Лабиринтные уплотнения иногда применяют в комбинации с уплотнениями из мягких набивок.

Значительно чаще применяют пластмассы в контактных уплотнениях. Пластмассовые уплотнительные элементы хорошо работают при возвратно-поступательном движении. При вращательном они работают хуже из-за недостаточного отвода тепла и постоянного контакта поверхностей в зоне трения. Материалом для изготовления таких уплотнений (манжетных, торцовых, уплотнительных колец, набивок и др.) служат полиамиды, фторопласты, текстолит, полиизобутилен, ДСП,

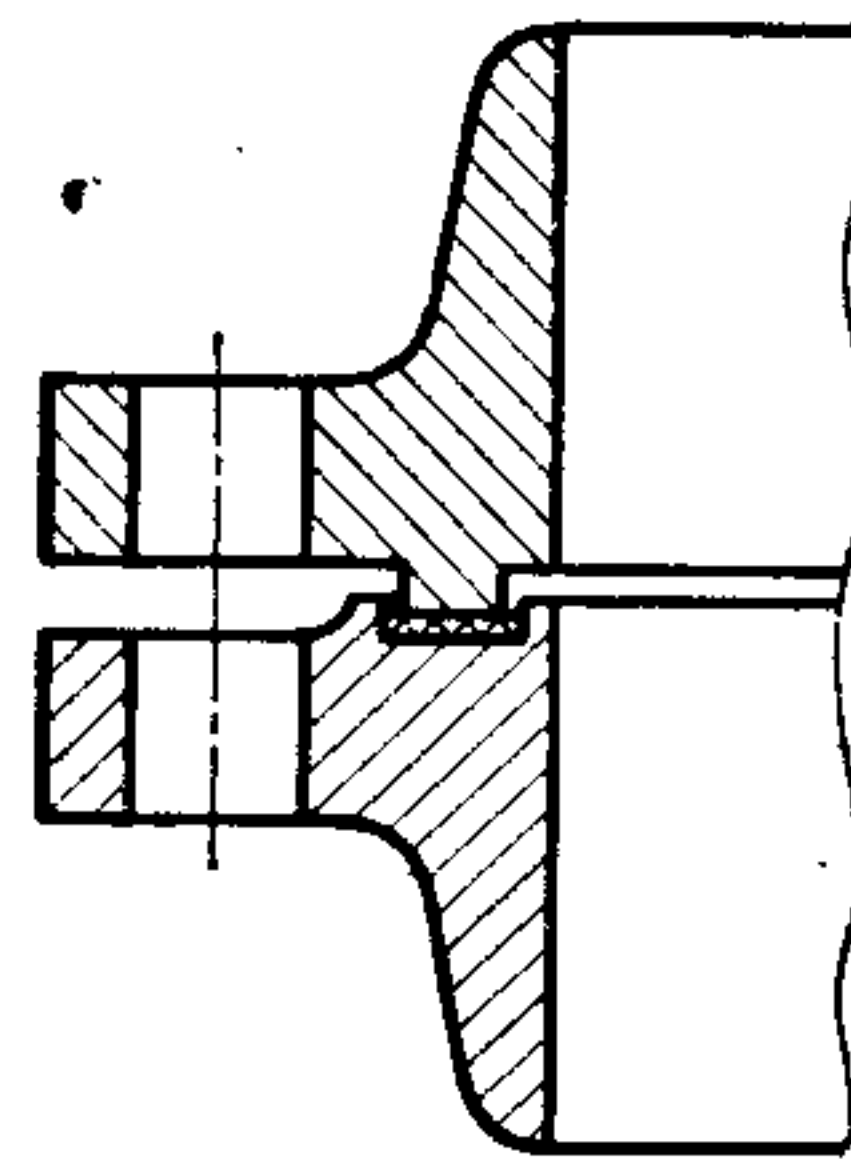


Рис. 1. Уплотнение плоскими кольцами

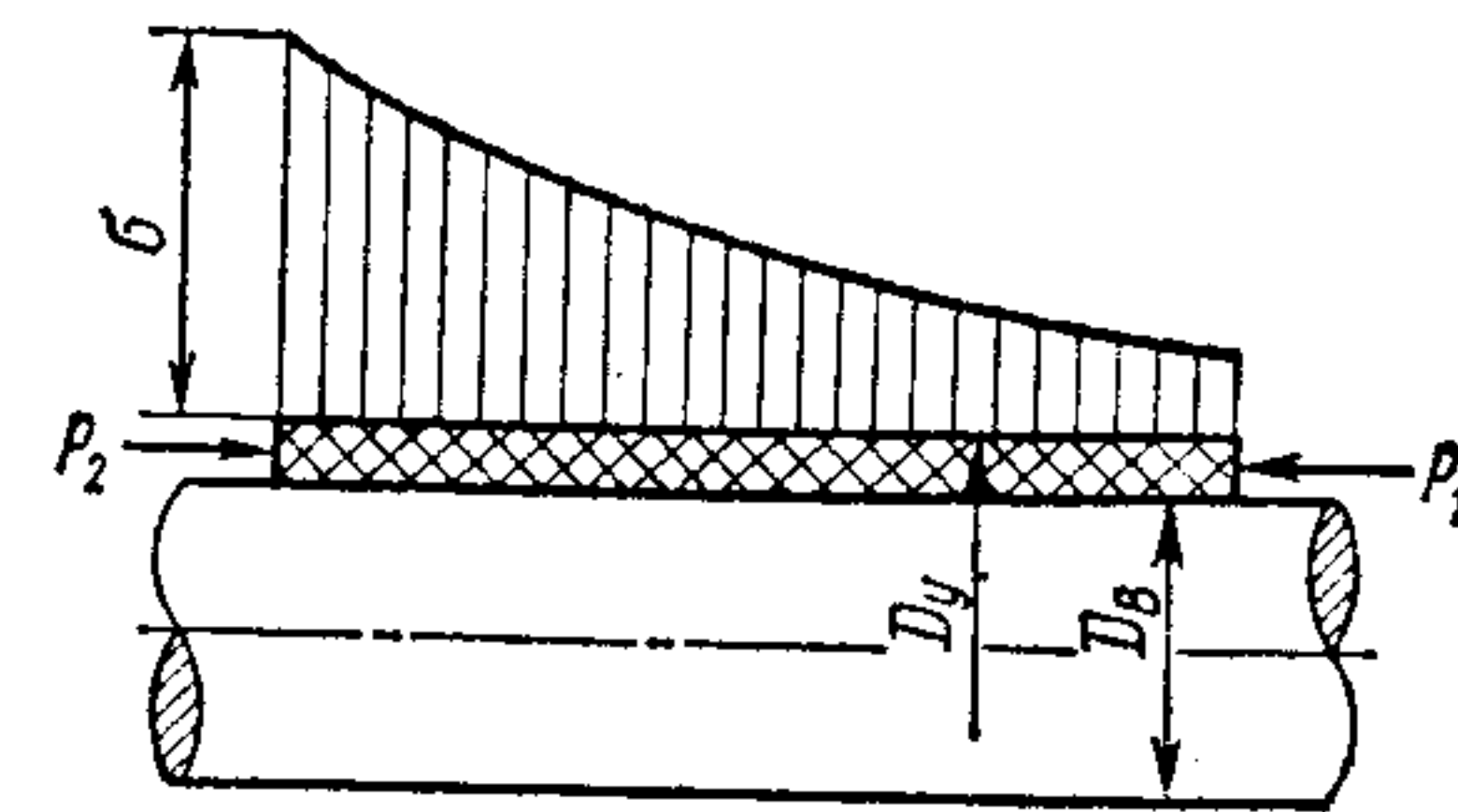


Рис. 2. Распределение радиального давления в уплотнении

полихлорвинил. Часто к этим материалам для улучшения антифрикционных свойств добавляют графит.

Конструкции уплотнений весьма разнообразны, их выбирают в зависимости от режимов работы, окружающей среды, требований к уплотнениям.

Особенно часто применяют волокнистые (мягкие) набивки и манжетные уплотнения. Волокнистые набивки по виду волокнистого основания могут быть хлопчатобумажные, капроновые, фторлоновые, асбестовые, смешанные. Они могут быть пропитаны маслами или синтетическими смолами. Мягкие набивки благодаря своей эластичности обеспечивают лучшую герметичность при эллипсовидной и недостаточно гладкой поверхности. К их недостаткам относится необходимость в регулярных подтяжках, замене или добавке колец.

При натяге такие набивки работают в неблагоприятных условиях. Для создания необходимого радиального давления (обеспечивающего герметичность) на уплотнение передается деформирующее осевое усилие. Радиальное давление неравномерно распределяется по длине уплотнения (рис. 2).

Наибольшую нагрузку несут уплотнительные кольца, расположенные ближе к нажимной втулке (фланцу).

Примерные размеры сечения сальника с мягкой набивкой (рис. 3)

$$s = (1,5 \div 2,5) \sqrt{d}.$$

Величину s следует подбирать из следующего ряда (в мм): 3, 4, 5, 6, 8, 10, 13, 16, 22, 25, 32, 35, 38, 42, 45, 50.

Длина сальника

$$l = (5 \div 8) s.$$

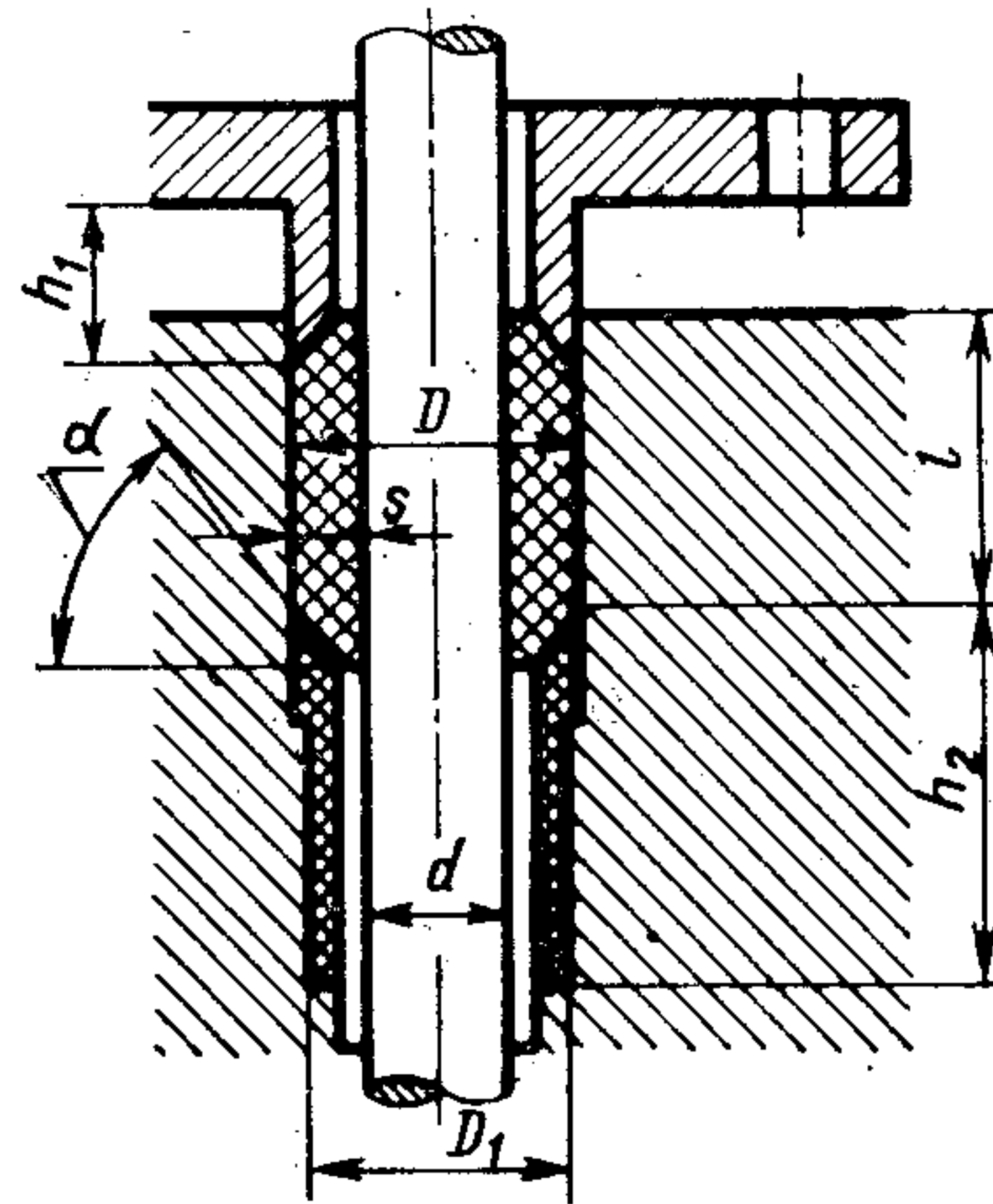


Рис. 3. Уплотнение с мягкой набивкой

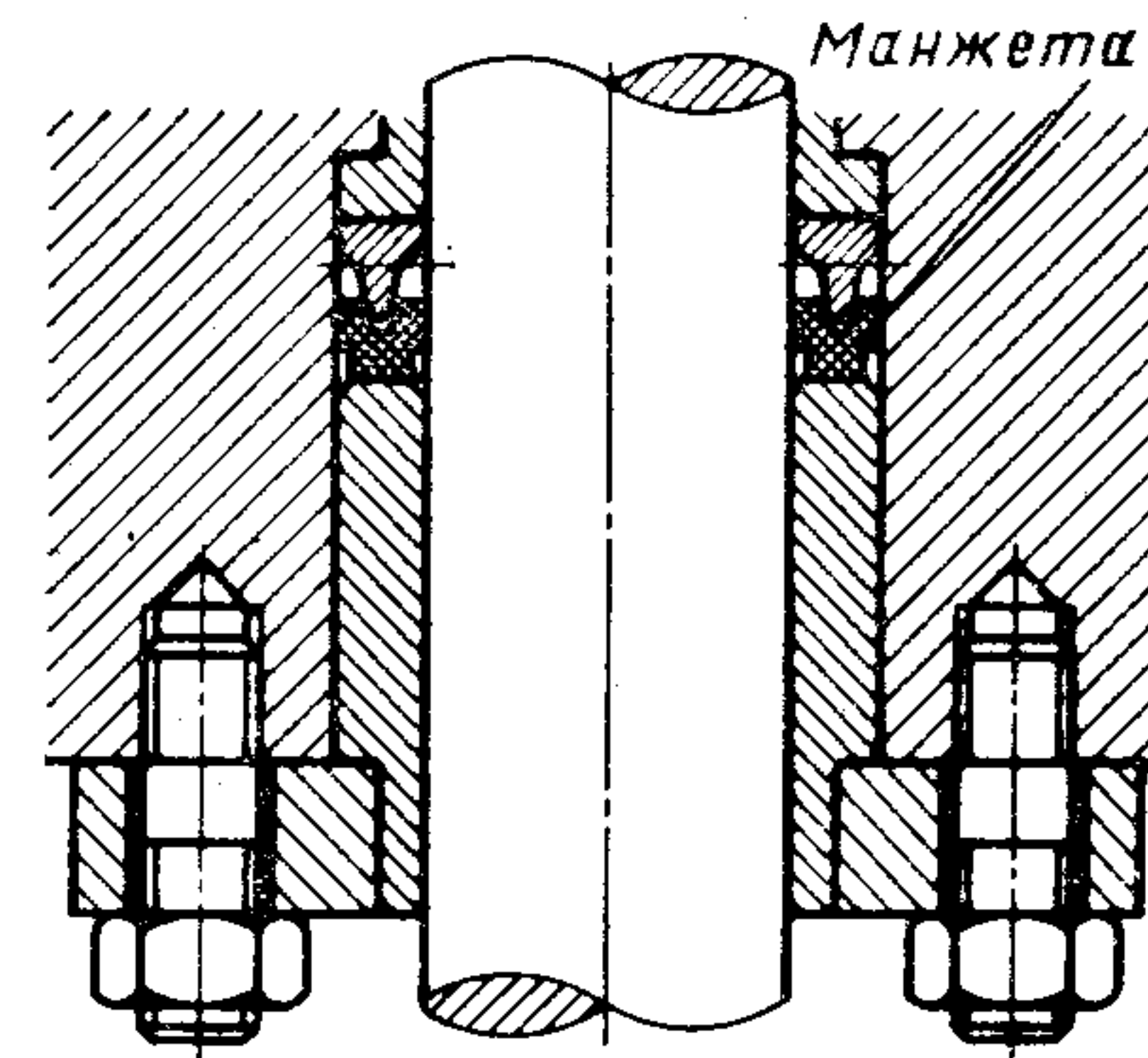
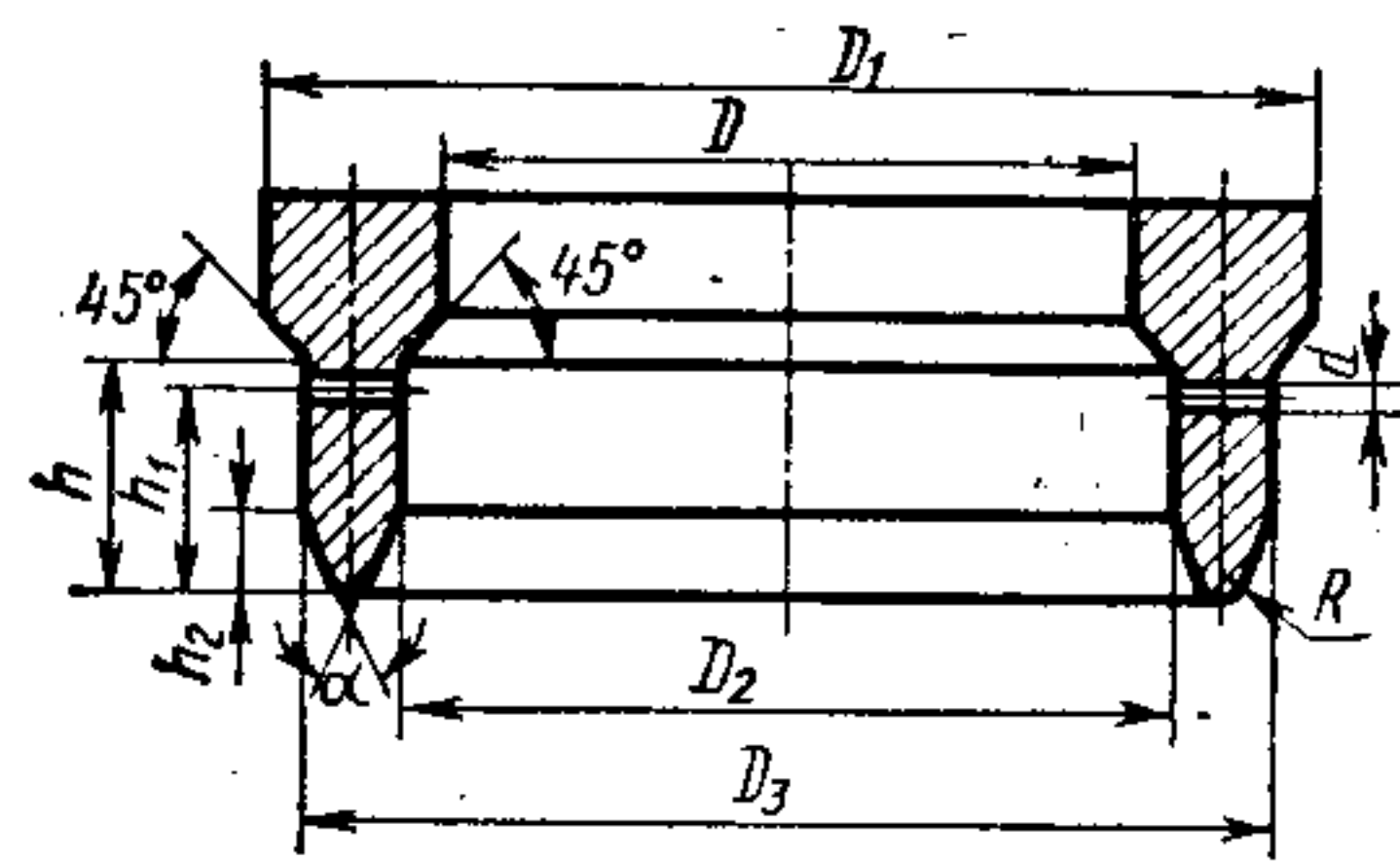


Рис. 4. Установка воротниковой манжеты с упорным кольцом

1. Размеры (в мм) упорных колец для манжеты с прямоугольным основанием



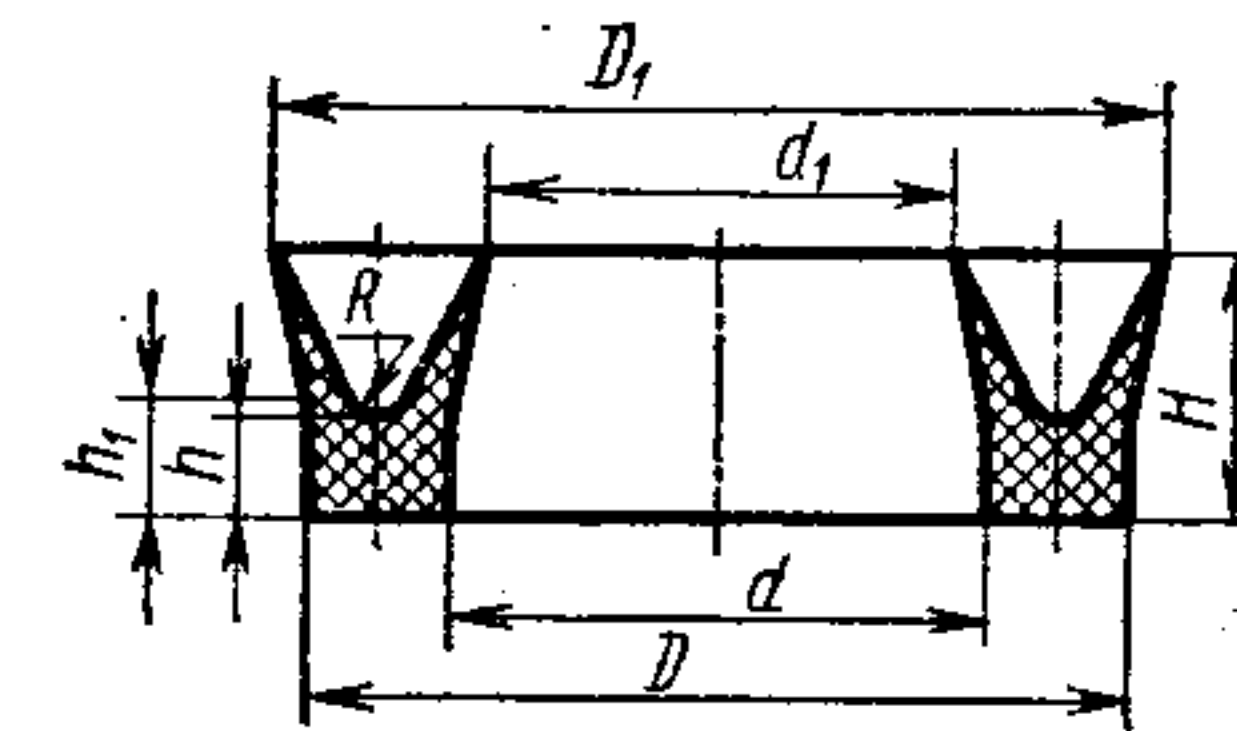
Манжета	D, допуск A ₃	D ₁ , допуск C ₃	D ₂	D ₃	d	h	h ₁	h ₂	R	α°
12×32	12	32	15	29	2	11	9	4,5	1,65	58
16×40	16	40	21	36						
20×40	20	40	23	37						
25×45	25	45	28	42						
32×52	32	52	36	48						
35×55	35	55	39	51	3	13	11	5	1,65	44
40×60	40	60	44	56						
45×65	45	65	49	61						
50×70	50	70	54	66						
60×80	60	80	64	76						
70×90	70	90	74	86						
75×95	75	95	79	91						
80×100	80	100	84	96						
85×105	85	105	89	101						
90×110	90	110	94	106						
100×120	100	120	104	116						
110×130	110	130	114	126						
120×140	120	140	124	136						
130×150	130	150	134	146						
140×160	140	160	144	156						
150×170	150	170	154	166						
160×180	160	180	164	176	4	16	13	7	2,5	33
170×200	170	200	174	196						
180×210	180	210	184	206						
190×220	190	220	194	216						
200×230	200	230	204	226						
220×250	220	250	224	246						
250×280	250	280	254	276	4	23	19	10	3,3	40
280×310	280	310	285	305						
320×350	320	350	325	345						
360×400	360	400	365	395						
400×440	400	440	405	435						
440×480	440	480	445	475	4	25	21	14	3,3	47
520×560	520	560	525	555						
540×580	540	580	545	575						
580×620	580	620	585	615						
620×660	620	660	625	655						
700×740	700	740	705	735	4	28	24	16	3,3	40
800×840	800	840	805	835						
900×940	900	940	905	935						
980×1020	980	1020	985	1015						

Для газов и агрессивных жидкостей длину сальника следует увеличивать для большей герметичности.

Размер цилиндрической части нажимного фланца (втулки)

$$h_1 = (0,4 \div 0,5) l.$$

2. Размеры (в мм) манжет с прямоугольным основанием



d	D	d ₁	D ₁	H	h ₁	h	R	d	D	d ₁	D ₁	H	h ₁	h	R
12	32	8	35	10	4	3	1,65	160	180	154	186	18	9	8	2,5
16	40	12	44												
18	32	14	36												
20	40	16	44												
24	40	20	44												
25	45	21	49	220	250	214	256								
32	52	28	56	14	6	5	1,65	250	280	244	286	25	11	10	3,5
35	55	31	59												
40	60	36	64												
45	65	41	69												
50	70	46	74												
60	80	56	84												
70	90	66	94												
75	95	71	99												
80	100	76	104												
85	105	81	109												
90	110	86	114												
100	120	96	124												
110	130	105	135												
120	140	115	145												
130	150	125	155												
140	160	135	165												
150	170	145	175												
				540	580	528	592	30	14	13	3,5				

Примечание. Допуски на размеры по ГОСТ 5152—62.

Размер грядбуксы плунжера

$$h_2 \leq \frac{25d}{\sqrt{d+10}}$$

(для вращающихся валов принимают несколько меньше).

Угол α обычно принимают в пределах 45—60°.

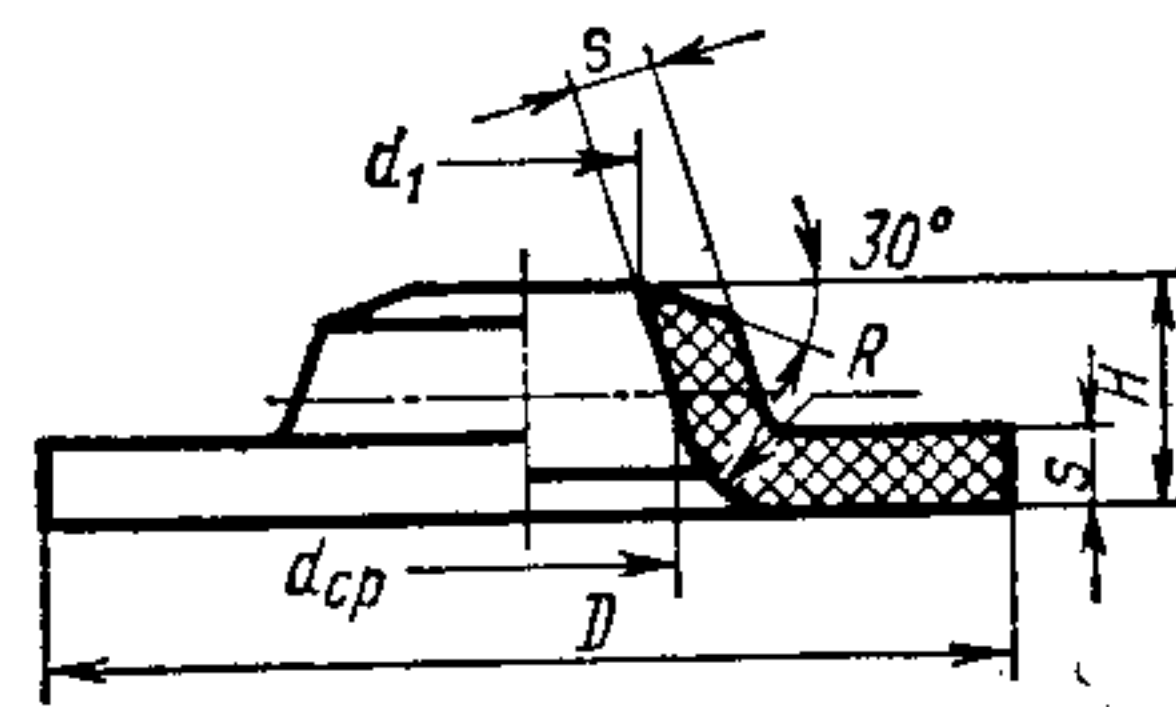
В условиях высоких давлений лучшими уплотнениями являются кольца манжетного типа.

При давлениях не более 100 кгс/см² и малых скоростях иногда применяют воротниковые манжеты с прямоугольным основанием, их обычно устанавливают с упорными кольцами (табл. 1), можно использовать и без колец (табл. 2). Материалом для изготовления манжет служит полихлорвинил или резиновые смеси. Пример установки воротниковой манжеты показан на рис. 4. Резиновые манжеты уменьшенного сечения для уплотнений цилиндров и штоков гидравлических устройств, работающих в среде минеральных масел и водных эмульсий, изготавливают в соответствии с ГОСТ 14896—74.

Более эффективны V-образные манжетные кольца с овальным основанием (рис. 5).

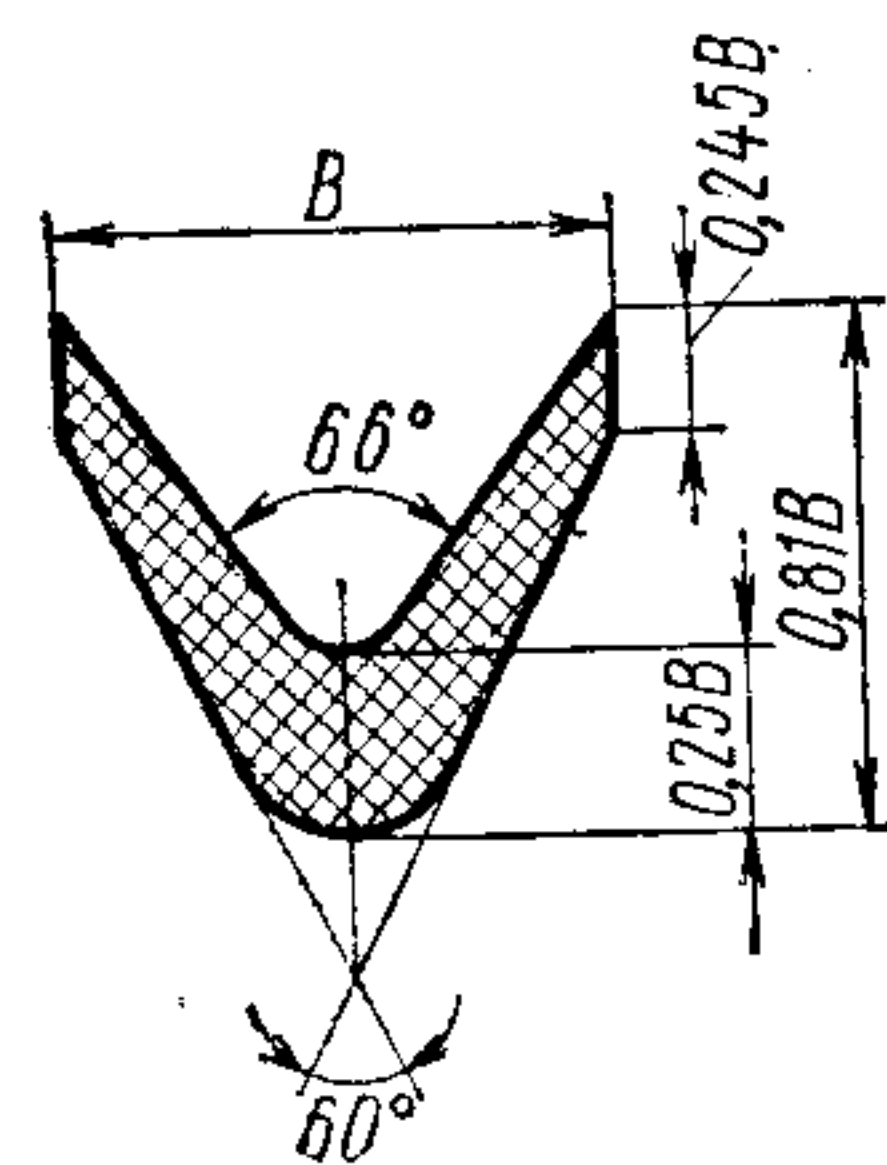
При возвратно-поступательном и вращательном движениях применяют угольковые манжетные кольца из фторопласта-4, полихлорвинила, резины (табл. 3), их применяют при небольших давлениях (до 30 кгс/см²). Такие манжеты часто устанавливают в сочетании с металлическими кольцами.

3. Размеры (в мм) угольковых манжетных колец



Диаметр штока, вала d_{cp}	D	d_1	H	s	R	Диаметр штока, вала d_{cp}	D	d_1	H	s	R
10	28	8	6			105	135	99	14	3,5	4,5
12	30	10			2,5	110	140	102			
14	32	11				120	155	112			
16	35	13	8			125	160	117			
18	38	15		2,5	3	130	165	122			
20	40	17				140	175	132	17	4	5
22	42	19				150	190	142			
25	45	21				160	200	152			
28	48	24				170	210	162			
30	50	26	10		3,5	180	220	172			
32	57	28				190	230	182			
35	60	30				200	240	192			
38	63	33			4	210	250	202			
40	65	35				220	260	212			
42	67	37	12			240	280	232			
45	70	40		3		250	290	242			
48	73	43				260	300	252			
50	75	45				280	320	272			
52	82	46				300	340	292			
55	85	49				320	370	311	20	5	5,5
60	90	54				340	390	331			
65	95	59				360	410	351			
70	100	64	14		4,5	380	430	371			
75	105	69				400	450	391			
80	110	75				420	470	411			
85	115	79		3,5		450	500	441			
90	120	84				480	530	471			
95	125	89				500	550	491			
100	130	94				650	710	640	25	6	6

Для установки непосредственно на плунжерах с возвратно-поступательным движением применяют также чашеобразные манжетные кольца из резины, пластмассы или из хлопчатобумажной прорезиненной ткани (рис. 6).



Для уплотнения вращающихся валов, работающих в минеральных маслах, воде, дизельном топливе при избыточном давлении до 0,5 кгс/см², скорости до 20 м/с и температуре в месте контакта манжеты с валом от -45 до +150° С, применяют резиновые армированные однокромочные манжеты (ГОСТ 8752-70*).

При вращающихся валах наиболее высокие требования по износостойкости и теплостойкости предъявляются к ма-

Рис. 5. V-образная манжета с овальным основанием

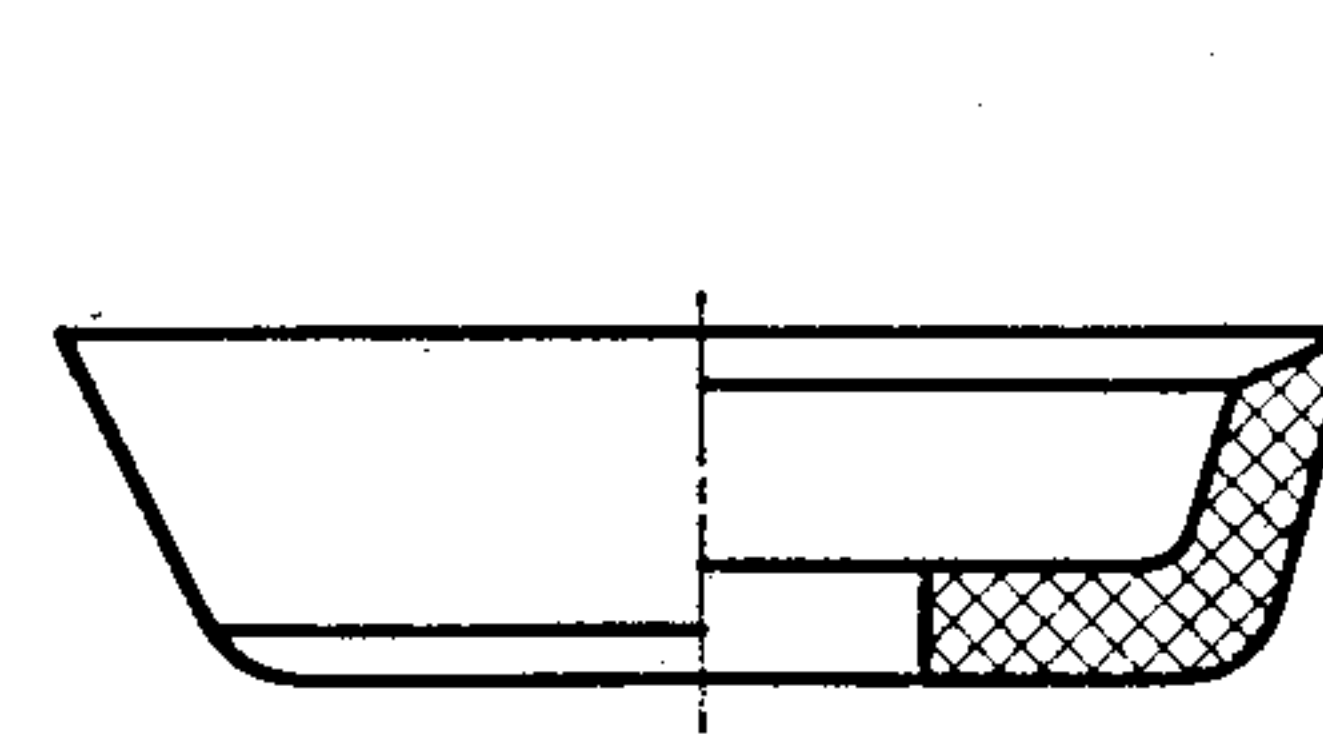


Рис. 6. Чашеобразная манжета

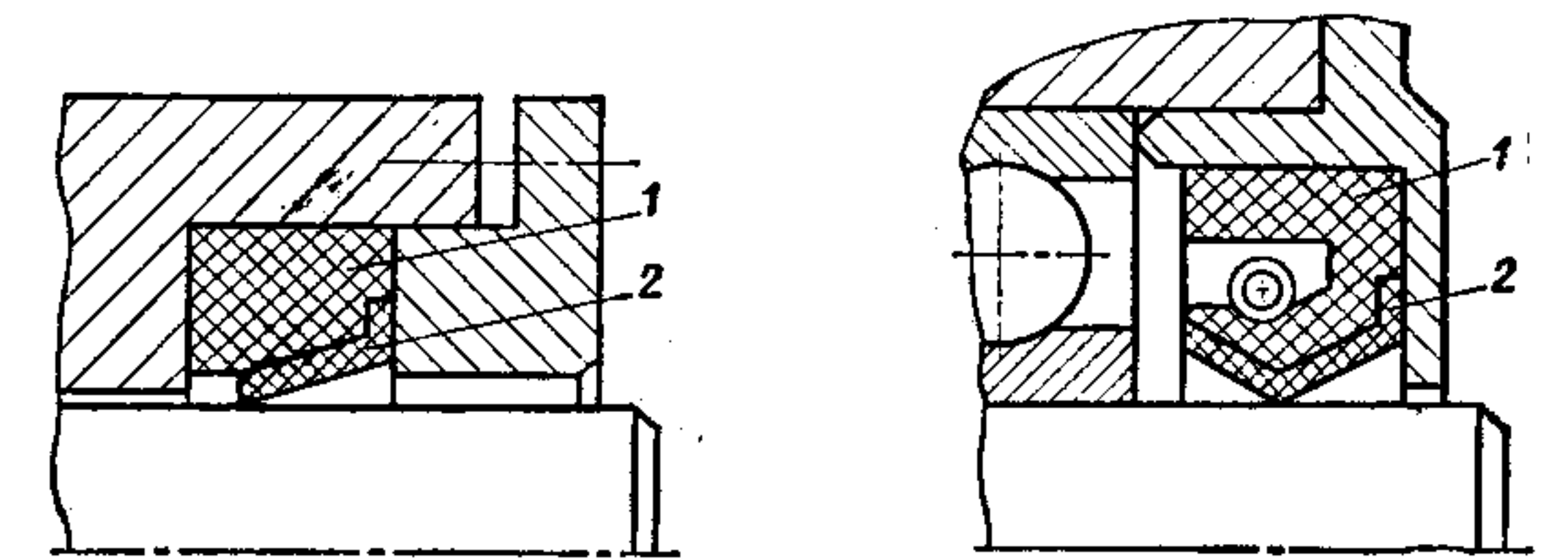


Рис. 7. Варианты уплотнения с пластмассовой рабочей кромкой:

1 — резиновое кольцо; 2 — пластмассовое кольцо (фторопласт-4, полиамид)

териалу уплотняющего пояса, находящегося в контакте с вращающимся валом. К материалу для корпуса требования менее высокие. Поэтому в ряде случаев, особенно при отсутствии смазки, целесообразно применять уплотнения, у которых материалы уплотняющего пояса и корпуса манжеты различны. Так, использование фторопласта-4 для уплотняющего пояса приводит к низкой прочности и жесткости уплотнения, если уплотнение изготовить целиком из этого материала. Манжетное уплотнение с пластмассовой рабочей кромкой показано на рис. 7. Соединение осуществляется при помощи натяга или клея.

Фторопласт-4 используют также в качестве наполнителя в слое уплотняющего пояса.

Допускаемые давления (в кгс/см²) (при $v \leq 15-30$ м/с) для радиальных манжетных уплотнений, работающих со смазкой:

Полиамиды	25—35
Фторопласт-4	10—30
Фторопласт-3	10—15
Текстолит (смазка водой)	100—120

Без подачи смазки давление не должно превышать 10—15 кгс/см², а скорость 5—10 м/с.

Уплотняющее устройство с манжетными кольцами из фторопласта показано на рис. 8. Конфигурация профиля дает возможность кольцу под влиянием пружины или другого вида зажима деформироваться, при этом герметичность узла улучшается.

Для получения ослабленного сечения в средней части профиля кольца могут быть рекомендованы следующие соотношения размеров:

$$D = 2,5d; \quad H = \frac{D-d}{2};$$

$$h = 0,3d; \quad \alpha = 90^\circ; \quad \alpha_1 = 80^\circ.$$

Фторопластовые уплотнения при давлении до 10 кгс/см² устанавливают из 3—4 колец; при давлении 10—60 кгс/см² из 4—6 колец; при давлении свыше 60 кгс/см² из 8—10 колец.

Усилия трения в манжетных уплотнениях определяют по формуле

$$F = f \pi d l p,$$

где f — коэффициент трения (при трении фторопласта-4 о сталь $f = 0,06 \div 0,08$); d — диаметр вала, см; l —

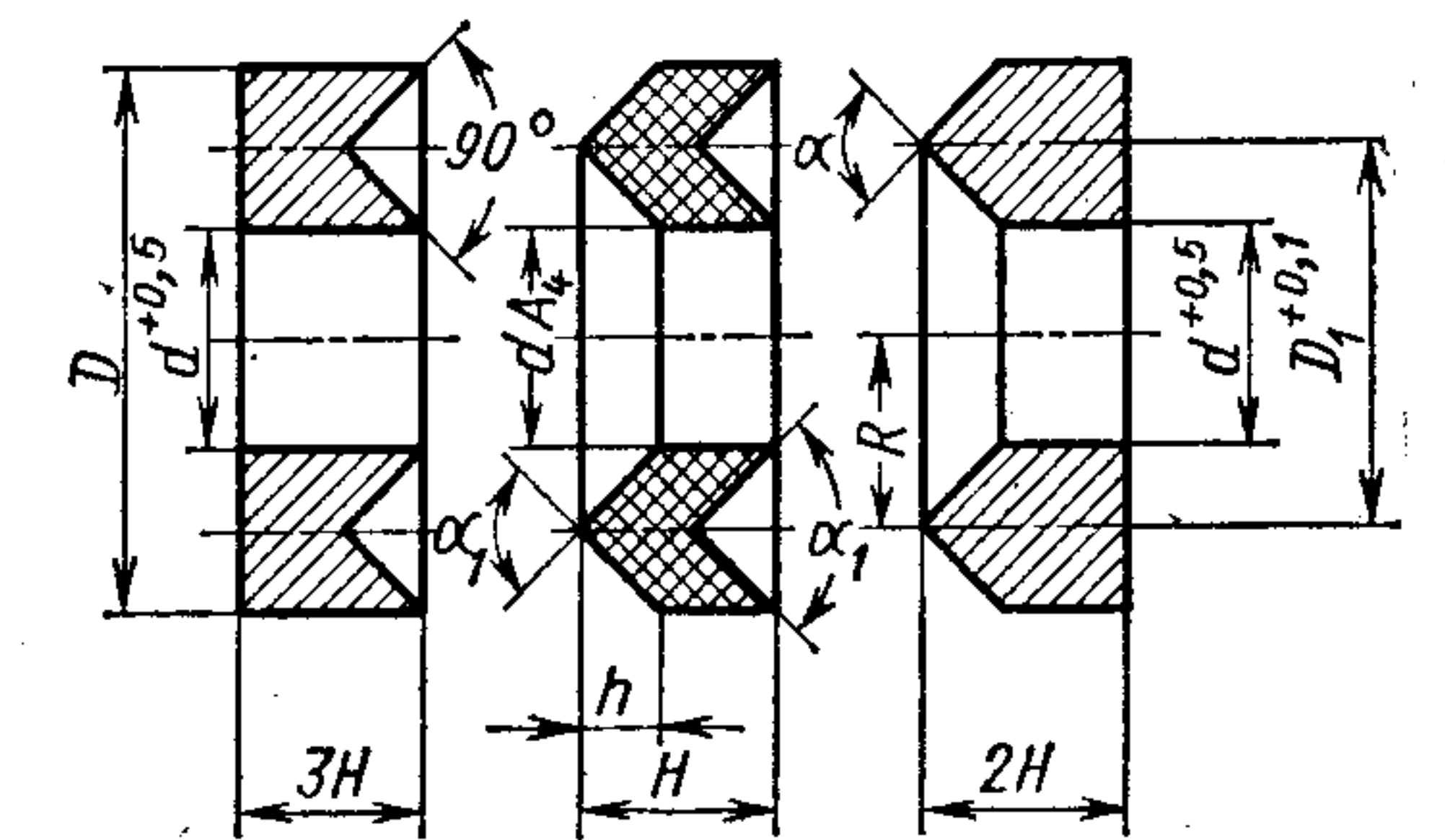
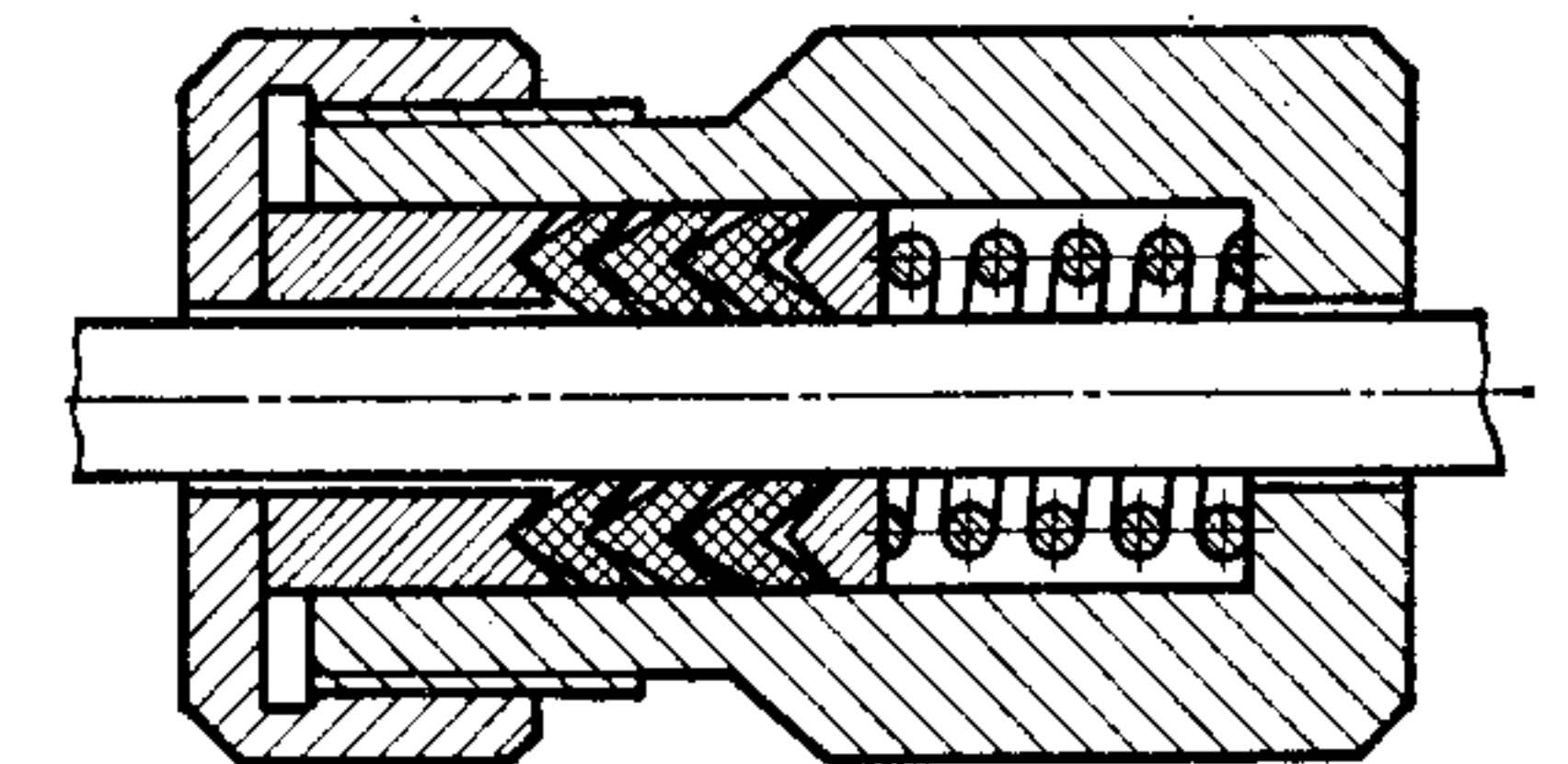


Рис. 8. Уплотняющее устройство с фторопластовыми манжетными кольцами

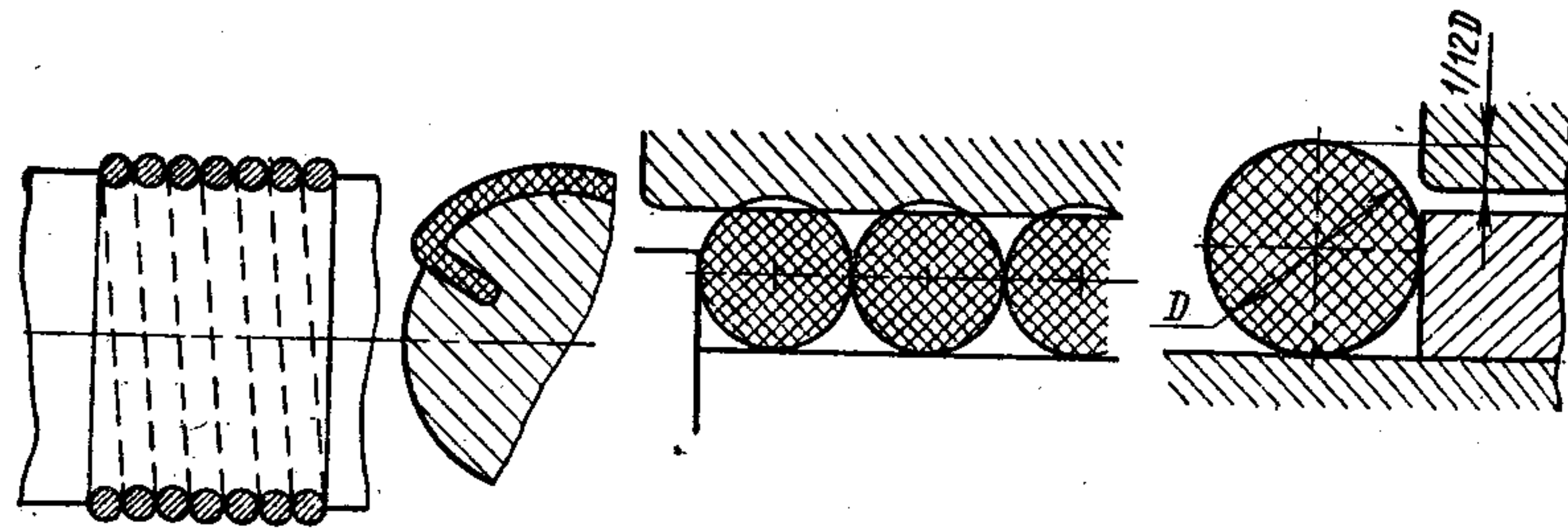


Рис. 9. Уплотнение из полиамидного шнура

длина уплотнения (трусейся кромки), см; p — давление рабочей среды (пружины), кгс/см².

Усилие трения покоя примерно на 15—25% выше усилия трения при малых скоростях скольжения. Из формулы следует, что для уменьшения трения размер трущихся кромок следует выбирать минимальным.

При уплотнении несколькими манжетными кольцами потери от трения уменьшаются пропорционально падению давления среды.

Манжетные кольца изготовляют из следующих полимеров: капрона, полиамида АК-7, полиамида-68, полихлорвинила, резины. Полихлорвиниловые кольца часто не обеспечивают необходимую герметичность, так как после непродолжительной эксплуатации теряют эластичность, становятся хрупкими. При повышении температуры до 60° С материал размягчается и при высоких давлениях рабочей среды вытекает в зазор.

Различные виды полиамидов и резина лучше работают в качестве материала манжет.

Для уплотнения цилиндров и штоков пневматических устройств, работающих при давлении от 0,05 до 10 кгс/см² со скоростью возвратно-поступательного движения до 1 м/с и температуре от -65 до +150° С, применяют резиновые манжеты (ГОСТ 6678—72*).

При использовании для уплотнения пластмасс вместо резины или кожи профиль уплотнения следует менять, так как резина в профиле почти одинаково эластична, жесткость пластмассы же (например, полиамида) зависит в значительной степени от толщины стенок. Уплотнительная способность полиамидной манжеты должна сохраняться и при частичной потере натяга из-за усадки материала манжеты. Натяг манжеты должен быть достаточен для компенсации усадки.

При медленных перемещениях вала больших и средних диаметров может быть использовано уплотнение из пластмассового (обычно полиамидного) шнура (проволоки) диаметром 3—5 мм. Начало и конец проволоки закреплены в отверстиях (рис. 9). Глубина выточки для укладки шнура на 0,2—0,3 мм меньше диаметра шнура, следовательно, натяг уплотнения достигает 0,4—0,6 мм. Вал с навитым пластмассовым шнуром устанавливают в уплотняемое отверстие.

Снижение температуры в уплотнениях можно получить за счет незначительных конструктивных изменений в манжетах. На рис. 10 показано уплотнение с волнообразной пленкой. Площадь трения в такой манжете увеличивается примерно на 2%, а площадь теплоотдачи вращающегося вала на 200%. Для снижения температуры в уплотнениях не следует устанавливать манжеты на полый вал, а также не следует устанавливать манжеты со слишком большим натягом.

Утечку рабочей жидкости через уплотнение ориентировочно можно рассчитать по формулам:

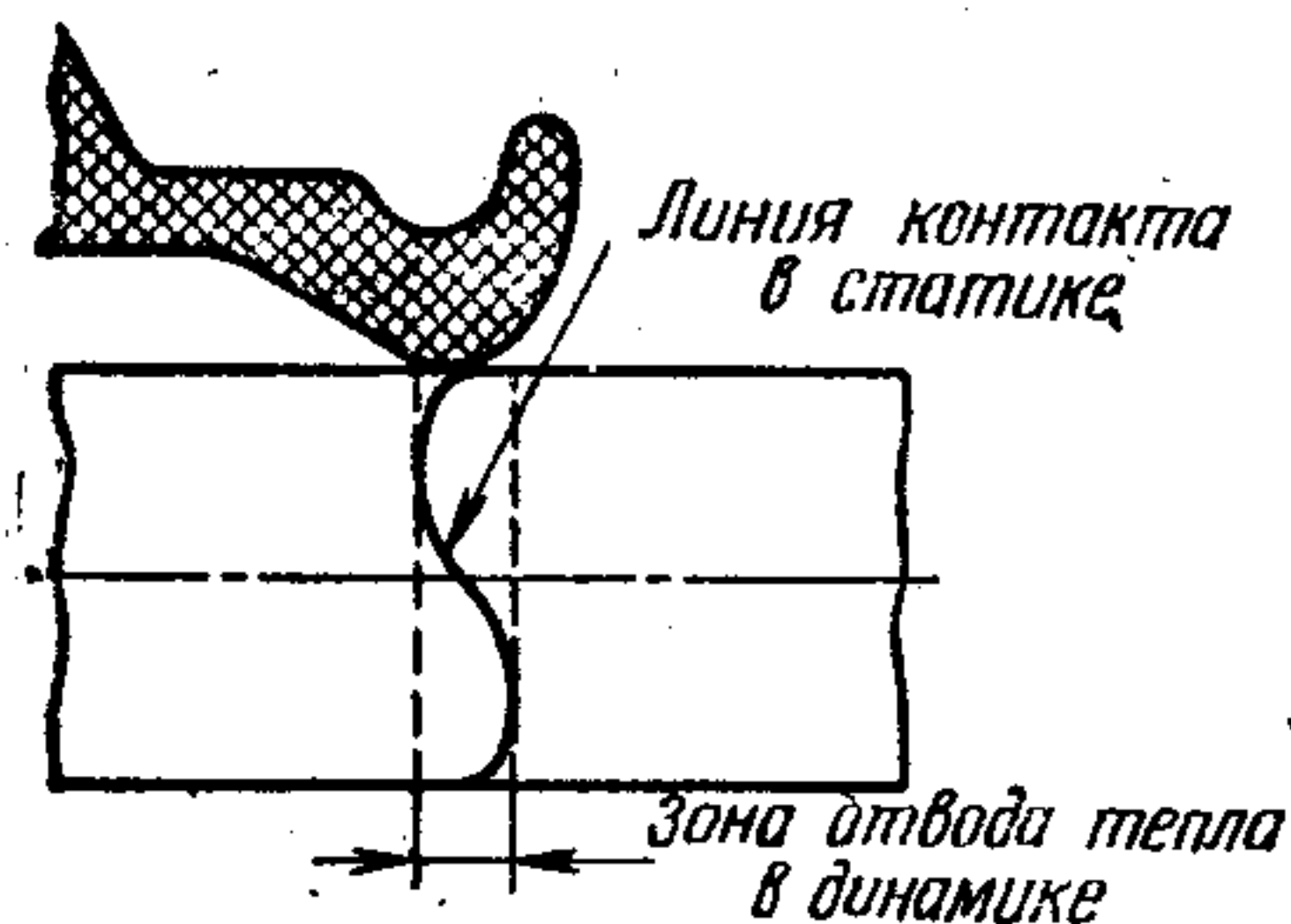


Рис. 10. Уплотнение с волнообразной пленкой

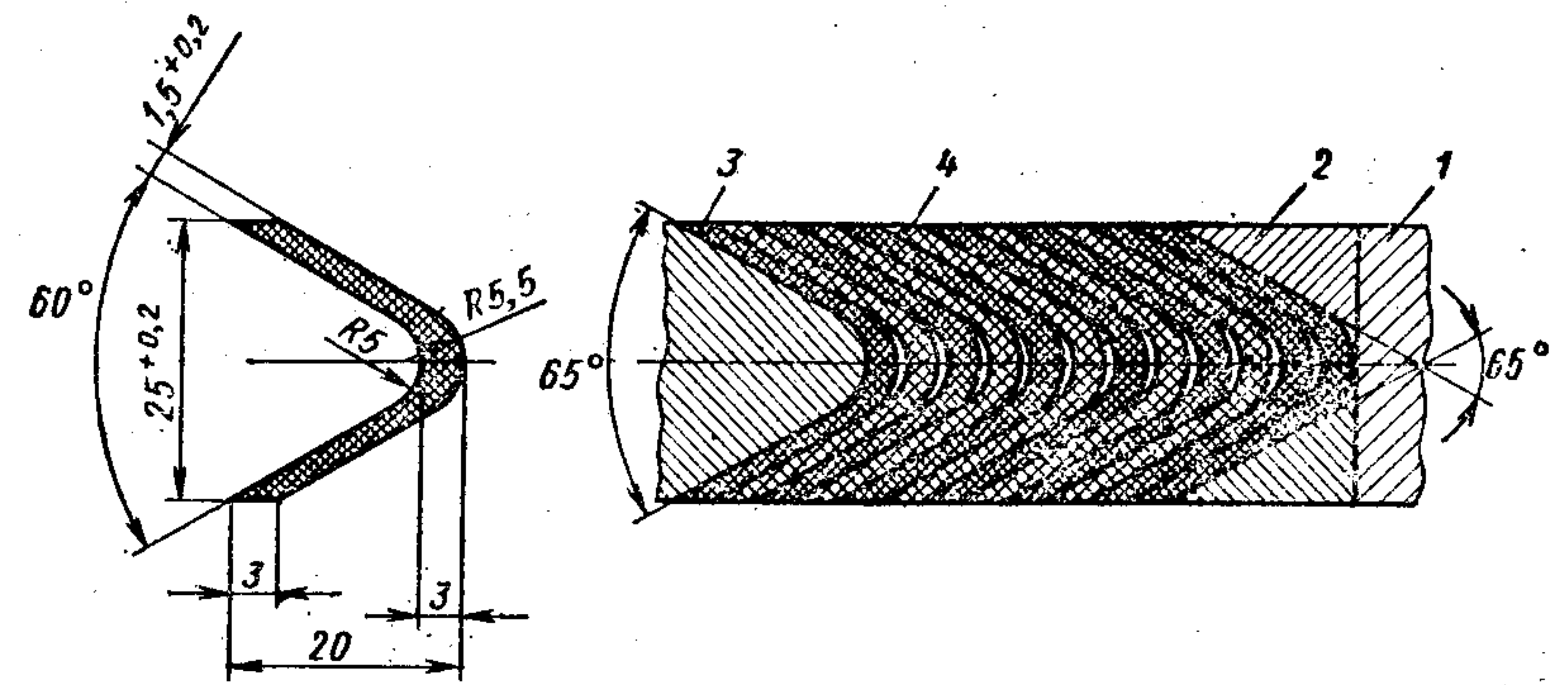


Рис. 11. Конструкция уплотнения одноплунжерного пресса:

1 — опорная бронзовая втулка; 2 — отъемные выступы втулки; 3 — манжета из смолы П-68; 4 — манжета из резины

для вращающихся валов

$$Q = \frac{9 \cdot 10^{-4} dp}{\eta l};$$

для возвратно-поступательных поршней, плунжеров, штоков

$$Q = k \frac{\pi dp}{\eta l} \delta^3,$$

где Q — величина утечки уплотняемой жидкости, л/ч; d — диаметр стержня, см; p — разность давлений на концах щели, кгс/см²; η — абсолютная вязкость уплотняемой жидкости, Пз; l — длина (высота) уплотнения (набивки), см; δ — зазор между уплотнением и валом, мм (может быть от 5 до 15 мкм и более). Зазор будет больше при больших температуре и скорости передвижения вала или плунжера; чем больше их износ, тем меньше теплопроводность набивки.

Коэффициент $k = 1 \div 0,85$ (в зависимости от размера и рода уплотнения).

Утечка газовой рабочей среды может быть ориентировочно подсчитана по формуле

$$W = \frac{100 \delta^3 p_1 D_y}{70 l \mu},$$

где p — падение давления в сальнике, кгс/см²; D_y — диаметр уплотнения, мм; μ — вязкость газа относительно воды при $t = 0$.

Особенно целесообразно применять пластмассовые уплотнения при высоких давлениях и больших диаметрах.

В тяжелом гидропрессостроении применение пластмассовых уплотнений на диаметрах плунжеров 1—2 м дало возможность вместо обычных 300—400 кгс/см² применить давление 1000—1600 кгс/см² и более. Увеличение давления рабочей жидкости уменьшает вес и габарит мощных прессов.

Применяемые в прессах уплотнения представляют собой пакет манжет V-образного профиля из полиамидной смолы П-68. Для увеличения герметичности в пакет могут быть добавлены резиновые манжеты с размерами такими же, как и у полиамидных.

Применение вместо резины полиамидов для изготовлений уплотнений, работающих при высоких давлениях, улучшает антифрикционные свойства узла, увеличивает сопротивляемость вытеканию материала в зазор.

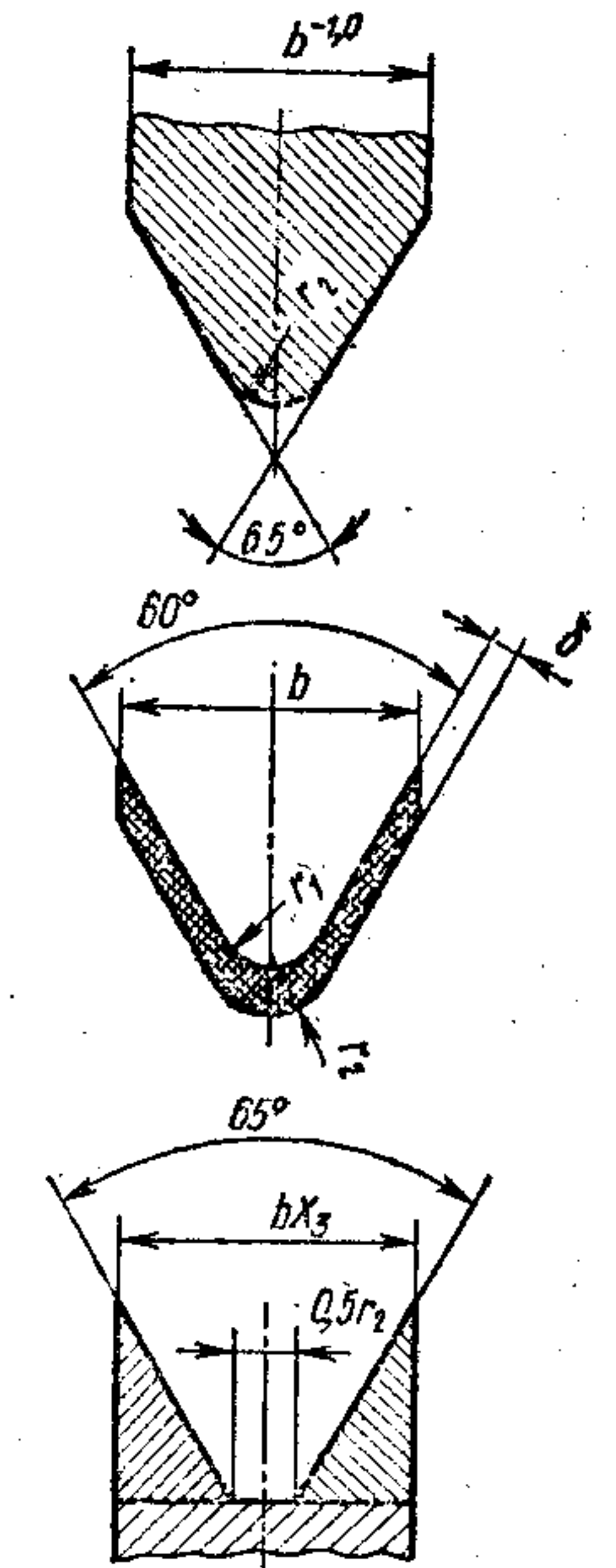


Рис. 12. Размеры манжетного уплотнения и опорной втулки

Конструкция уплотнений одноплунжерного пресса для давлений 1000—1600 кгс/см² показана на рис. 11.

Основные размеры деталей уплотнений (рис. 12) можно назначать, пользуясь следующими эмпирическими зависимостями:

$$b = 0,0082 D + 8,35 \text{ мм};$$

$$\delta = 0,005 D + 0,9 \text{ мм};$$

$$r_1 = 2,5 \text{ мм}; r_2 = r_1 + 0,5 \text{ мм};$$

здесь D — диаметр уплотняемого цилиндра.

Если соблюдена необходимая шероховатость поверхности плунжера, то при работе уплотнения обеспечивается режим жидкостного трения. Необходимую шероховатость поверхности можно определить исходя из того, что толщина пленки должна быть $x \geq H/2$, где H — высота микронеровностей поверхности плунжера.

ТОРЦОВЫЕ УПЛОТНЕНИЯ

В торцевых уплотнениях пластмассы, как правило, применяют для изготовления уплотнительных колец, обеспечивающих герметичность узла.

Вариант конструкции торцевого уплотнения показан на рис. 13.

При работе между трущимися поверхностями имеется поступающая под давлением пленка жидкости толщиной несколько микрометров. Эта пленка значительно уменьшает трение и потери мощности на его преодоление, обеспечивает минимальный износ трущихся поверхностей. В качестве сопряженной пары могут быть применены сталь 45 ($HRC\ 50$) — вращающаяся деталь в сочетании с текстолитом, капроном, фторопластом — неподвижная деталь.

Особенность торцевых уплотнений — наличие уплотнительной плоскости, образованной торцами кольца и вала или двух колец. Торцевые уплотнения могут быть применены на валах любого размера, они работают с малой утечкой, потребляют небольшую мощность (0,1—0,5 от мощности сальников), малочувствительны к смещению вала относительно корпуса.

Использование абсолютно плоских и параллельных уплотняющих поверхностей в начальный период работы приводит к недостаточной смазке и быстрому износу. Улучшение смазки достигается за счет начального сужающего зазора. Чем больше деформация, сужающая конус зазора в процессе работы, тем больше должен быть начальный конус для обеспечения надежной смазки при различных рабочих давлениях.

Одной из основных причин износа торцевых уплотнений являются температурные перегрузки, поэтому температурная стойкость полимерного материала, используемого в уплотнении, должна быть выше ожидаемой рабочей температуры на поверхности трения.

Торцевые уплотнения применяют в различных насосах, прокатных станах, бытовых машинах, подвижном составе на гусеничном ходу, конвейерах, сельскохозяйственных машинах и др.

Торцевые уплотнения могут быть одинарными и двойными. Обычно в двойные уплотнения (являющиеся более надежными) подается жидкость под давлением, на 0,5—2 кгс/см² превышающим давление рабочей жидкости непосредственно перед уплотнением.

Уплотнения для сред с небольшой и средней агрессивностью обычно выполняют одинарными. Подобные уплотнения могут быть применены при давлении жидко-

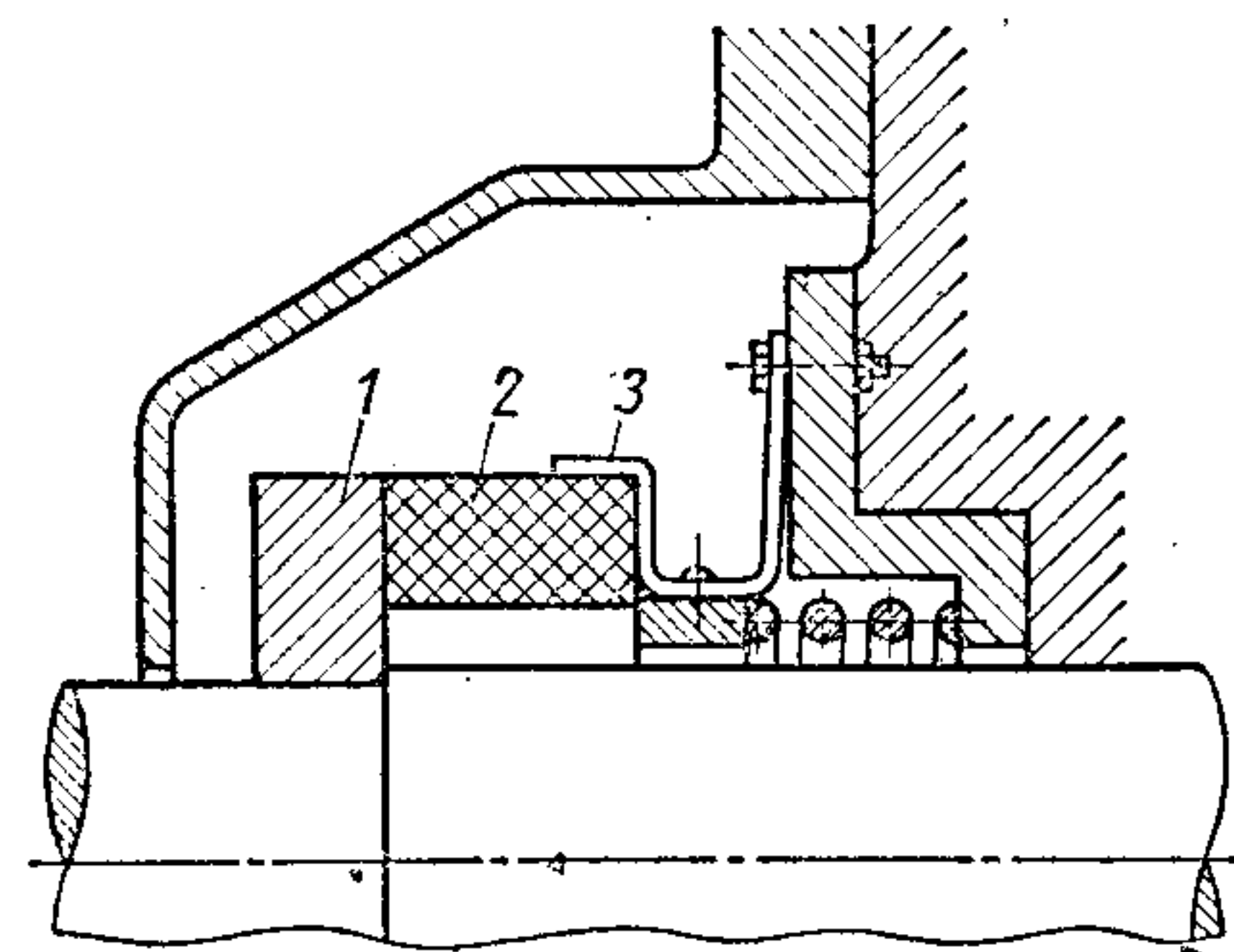


Рис. 13. Торцевое уплотнение:

1 — вращающееся стальное кольцо; 2 — пластмассовое или графитовое кольцо; 3 — упругий корпус уплотнения

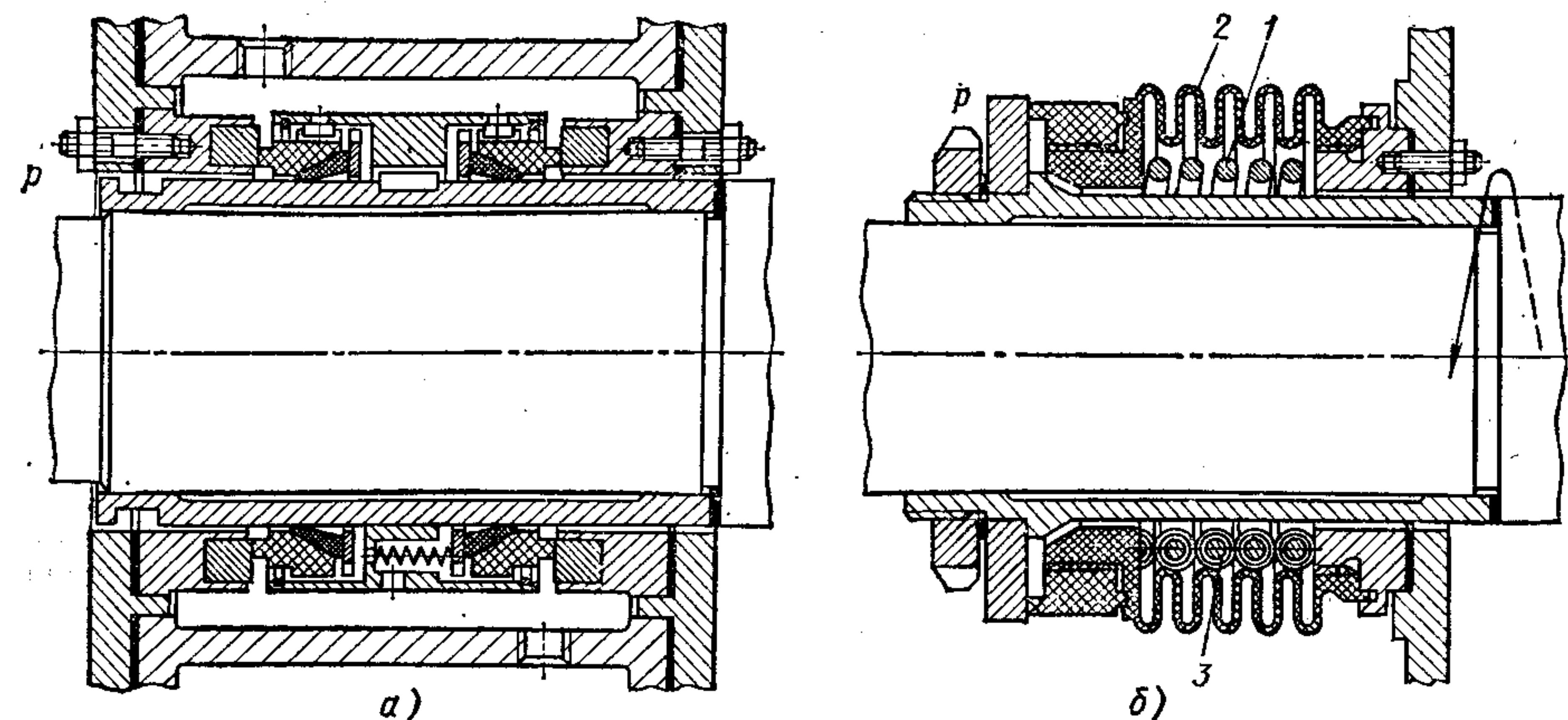


Рис. 14. Торцевые уплотнения:

а — двойные с коническими уплотнительными кольцами из фторопласта-4; б — одинарное для высокоагрессивных сред; 1 — пружина; 2 — неподвижный сальфон из фторопласта-4; 3 — пластмассовая трубка

стей до 5 кгс/см², $pv \leq 50$ кгс·м/(см²·с) и температурах от —40 до +90° С. Двойное торцевое уплотнение с коническими уплотнительными кольцами из фторопласта-4 показано на рис. 14, а, а одинарное уплотнение с неподвижным сальфоном из фторопласта-4 для высокоагрессивных сред — на рис. 14, б [$p < 3$ кгс/см²; $pv \leq 30$ кгс·м/(см²·с)]. Сальфон соединен с кольцом пары трения и крышкой с помощью нарезок, выполненных на его концах. Нарезки сальфона выполнены с таким направлением, чтобы момент трения уплотнения затягивал резьбовые соединения для обеспечения герметичности стыков. Может быть использовано также конусное соединение с сопряженными деталями.

Значительные трудности возникают при разработке уплотнений в насосах, рабочей жидкостью которых являются щелочи или промывочные жидкости. Из эластомеров наибольшей устойчивостью против щелочных растворов обладают этиленпропиленовые каучуки. Сопряженные детали уплотнений изготавливают из различных материалов.

В качестве материалов колец, работающих в паре с кольцами из пластмасс, применяют углеродистые, хромистые, нержавеющей стали и керамику на основе Al_2O_3 . Характеристики торцевых уплотнений приведены в табл. 4.

4. Ориентировочные характеристики торцевых уплотнений [13]

Пара трения	Скорость скольжения, м/с	Контактное давление, кгс/см ²	Внутреннее давление жидкости, кгс/см ²	Износ, мкм/ч	Коэффициент трения
Текстолит ПТ — сталь 45	До 2	3	3	0,2	0,035—0,05
Капрон — сталь 45	До 1,5			0,5—0,6	0,05—0,07
Фторопласт-4 — сталь 45				0,03—0,05	

В случаях уплотнения чистых сред целесообразно применять уплотнительные конические кольца (рис. 15).

Кольцо имеет коническую поверхность, которая находится в контакте с конической поверхностью пары трения, угол которой равен 30°. При поджатии кольца силой F пружины и давлением p в зазоре между кольцом и валом обеспечивается герметичность по поверхностям А и Б (параметр шероховатости этих поверхностей $Ra = 0,32 \div 0,63$ мкм). Кольца устанавливают на валы или втулки с натягом 0,5—

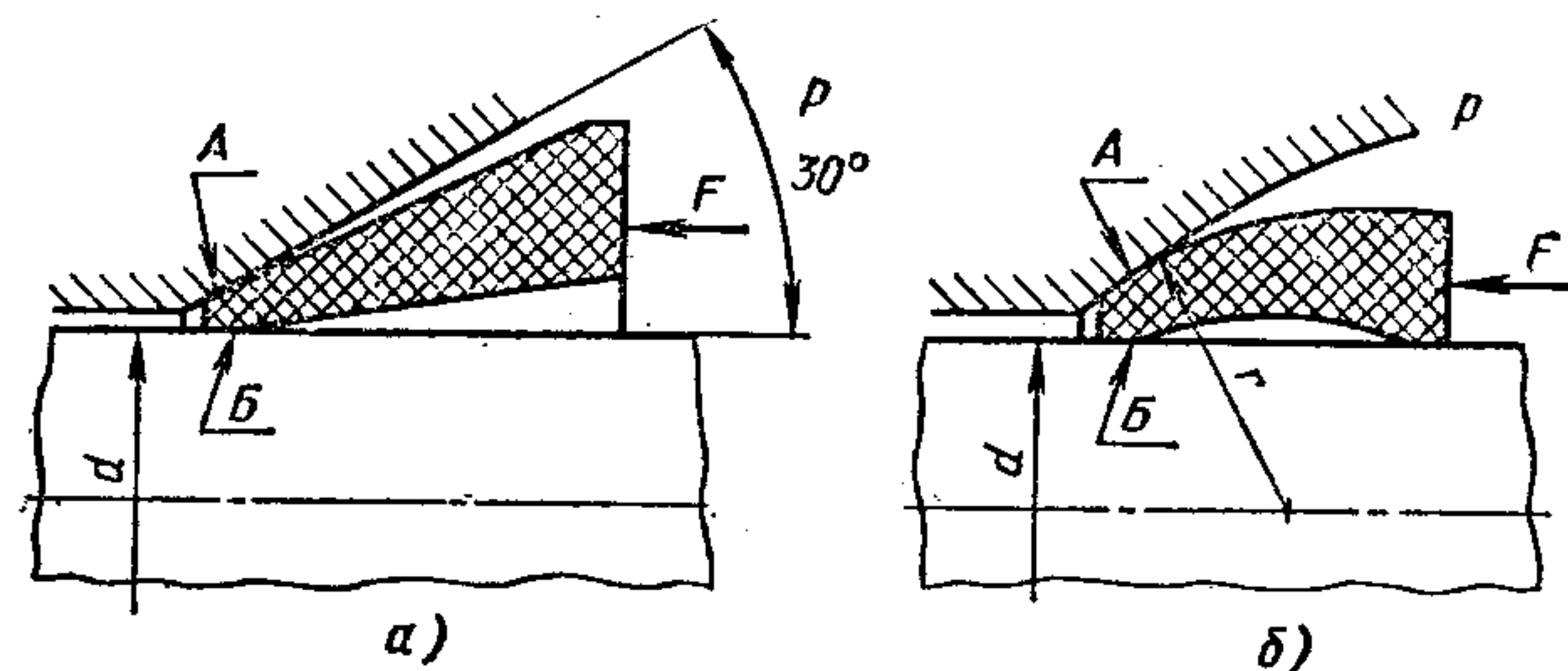


Рис. 15. Уплотнительные кольца из фторопласта-4 с коническими (а) и сферическими (б) поверхностями

2 мм (при $d = 15 \div 200$ мм). Конструкция упругих элементов торцовых уплотнений включает пружины, обеспечивающие герметичность контакта и компенсацию износа пары трения. Конструкция пружин должна обеспечивать снижение удельного давления не более 10—20% до полного износа пары трения. При сборке уплотнений необходимо проверять свободу движения кольца пары трения под действием пружины. По данным ВНИИгидромаша, давление от действия пружин принимают в диапазоне $p = 0,5 \div 8$ кгс/см².

Относительно уплотняемой поверхности по внутреннему диаметру кольца из эластомеров могут иметь натяг 0,5—3 мм при $d = 15 \div 100$ мм и 3—8 мм при $d = 100 \div 200$ мм. Основные свойства резин, применяемых для уплотнений, даны в табл. 5.

5. Основные свойства резин, применяемых в торцовых уплотнениях [9]

Марка резины	Тип каучука	Разрушающее напряжение при растяжении, кгс/см ² , не менее	Относительное удлинение при разрыве, %, не более	Температура применения, °С	Области применения
3687	НК	13	500	От -50 до +130	Воздух, вода
4004	СКН-40	100	200	От -30 до +100	Вода, нефтепродукты, растворы солей
7-В-М-1	СКН-18	120	140	От -50 до +100	То же
ИРП-1375	СКЭП	110	160	От -60 до +150	Вода, агрессивные среды
СРП-1225А	СКФ-32	140	130	От -15 до +200	Воздух, нефтепродукты, растворители, окислители

СПЕЦИАЛЬНЫЕ УПЛОТНЕНИЯ ИЗ ФТОРОПЛАСТА И ДРУГИХ ПОЛИМЕРОВ

Уплотнения из фторопластов (в основном из фторопласта-4 и фторопласта-4Д) применяют в условиях действия агрессивных сред, повышенных и пониженных температур. Обычно их выполняют в виде сплошных или разрезных (точечных или пресованных из стружки) колец. Иногда такие кольца делают комбинированными (рис. 16). При больших давлениях применяют также кольца трапециевидного сечения (рис. 17).

На основе фторопласта-4 выпускают химически стойкое уплотнение ФУМ (ТУ6-05-1570—72) в виде стержней различного сечения или нитей. Такие уплотнения работают в кислотах, щелочах и маслах.

Для сильных окислителей (кислорода, крепкой азотной кислоты) изготавливают специальное уплотнение ФУМ-Ф.

При установке уплотнений из ФУМ зазор между валом или штоком и нажимной втулкой не должен превышать 0,1 мм на сторону во избежание выдавливания материала.

ФУМ квадратного сечения применяют в виде колец со стыком под углом 45° (смещение стыков остальных колец в уплотнительном узле должно быть на 90° по окружности).

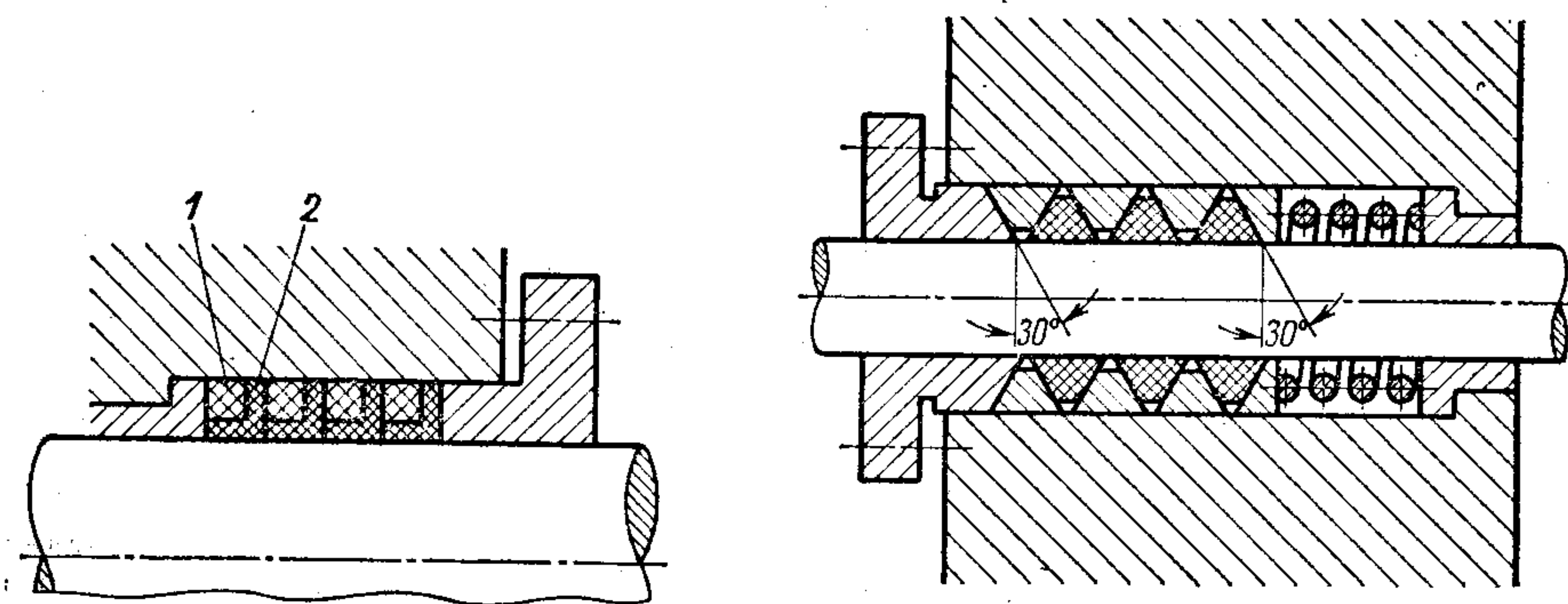


Рис. 16. Уплотнение фторопластовыми кольцами:

1 — фторопластовое формованное (из стружки) кольцо; 2 — прокладки из листового фторопласта

Рис. 17. Фторопластовые кольца трапециевидного сечения

ФУМ круглого сечения можно применять в виде спирали.

Зажимающее усилие должно быть в 3,5—4 раза больше рабочего давления среды (рабочее давление не более 16 кгс/см²).

В быстроходных центробежных насосах и в других механизмах с большой скоростью передвижения вала или плунжера ФУМ быстро изнашивается. В условиях агрессивных сред применяют также волокнистые набивки, пропитанные суспензией фторопласта-4. Суспензия в данном случае играет роль теплоустойчивой и химически стойкой смазки, которая не выдавливается из набивки под действием нажимной втулки и среды и улучшает антифрикционные свойства уплотнения.

Для создания тропикостойких уплотнений в пропиточный состав плетеных набивок вводят 3% оксидифинила по массе, получаемого из фенольной смолы. Оксидифинил выпускают в виде мелких гранул. Он растворим в спирте, бензоле, эфире, трудно растворим в воде. Набивку при изготовлении пропитывают в составах, нагретых до 65—70°С [9, 13, 31, 33, 36].

УПЛОТНЕНИЯ АРМАТУРЫ С ШАРОВЫМ ЗАТВОРОМ

Такие уплотнения применяют в запорно-регулирующей арматуре гидроприводов и пневматических механизмах, в системах, работающих при высоких давлениях газа и жидкости (до 350 кгс/см²), в криогенных, вакуумных и других установках.

Уплотнения должны работать без заедания, с высокой скоростью срабатывания и малых гидравлических сопротивлений.

При работе стальной шар 1 (рис. 18) поворачивается на угол 90° вокруг вертикальной оси в уплотнительных кольцах, изготавливаемых из фторопласта-4 или капрона.

Ширина уплотнительного кольца 2, зависящая от рабочего давления среды, допускаемого давления для материала кольца и диаметра d , может быть определена в следующем порядке.

Сила, прижимающая шар в начале открытия или конца закрытия затвора (рис. 19),

$$Q = \frac{\pi d_{\text{ср}}^2}{4} p = \frac{\pi (D+d)^2}{16} p.$$

Нормальная сила, действующая на уплотнение,

$$N = \frac{Q}{\cos \varphi}; \quad \cos \varphi = \frac{k}{R}; \quad k = \frac{l_1 + l_2}{2}; \quad N = \frac{2QR}{l_1 + l_2},$$

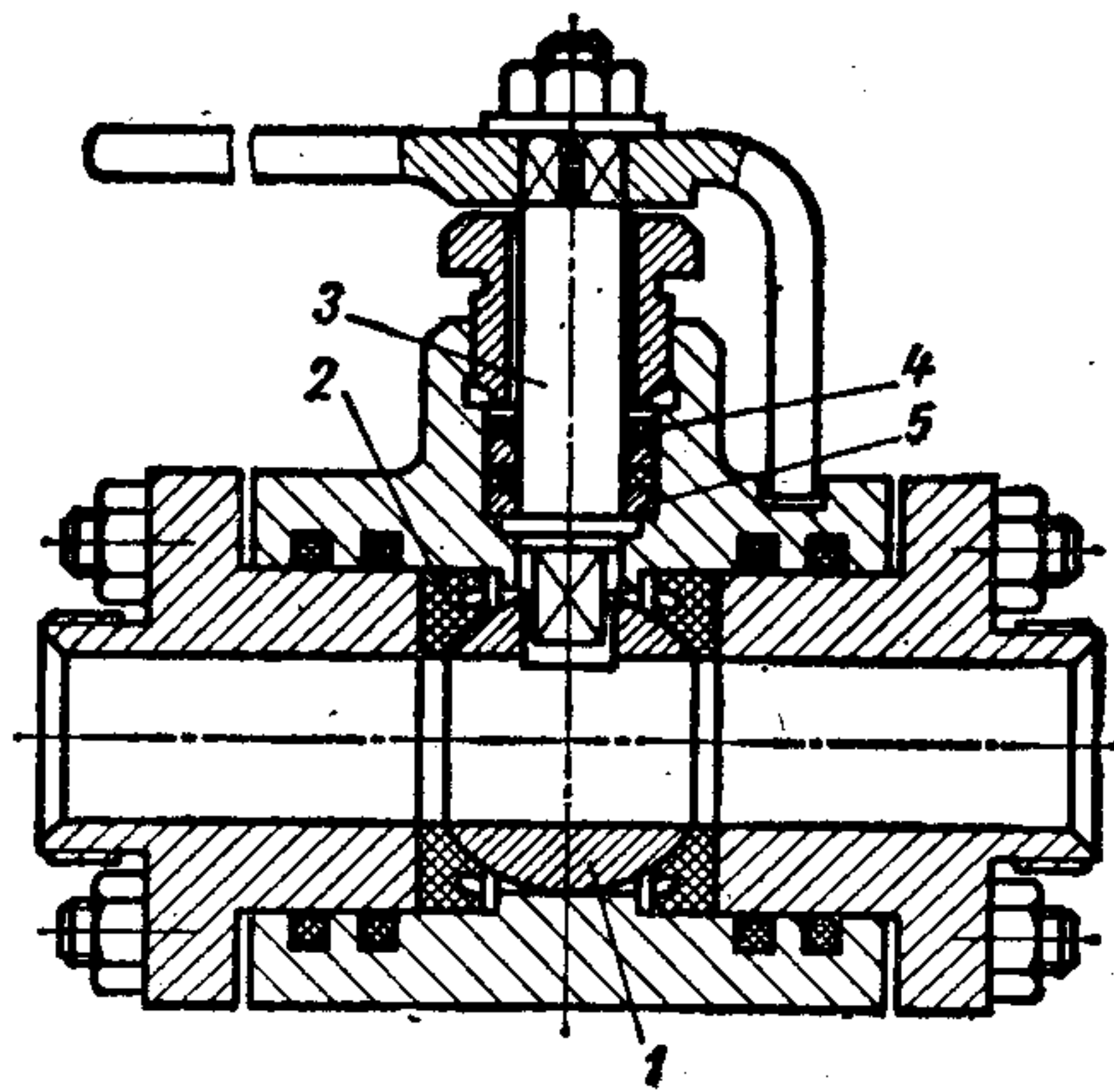


Рис. 18. Кран с шаровым затвором (рабочее давление среды 200 кгс/см²):
1 — поворотный шар; 2 — уплотнительные кольца; 3 — шпindel; 4 — пластмассовое уплотнение шпинделя; 5 — распорное кольцо

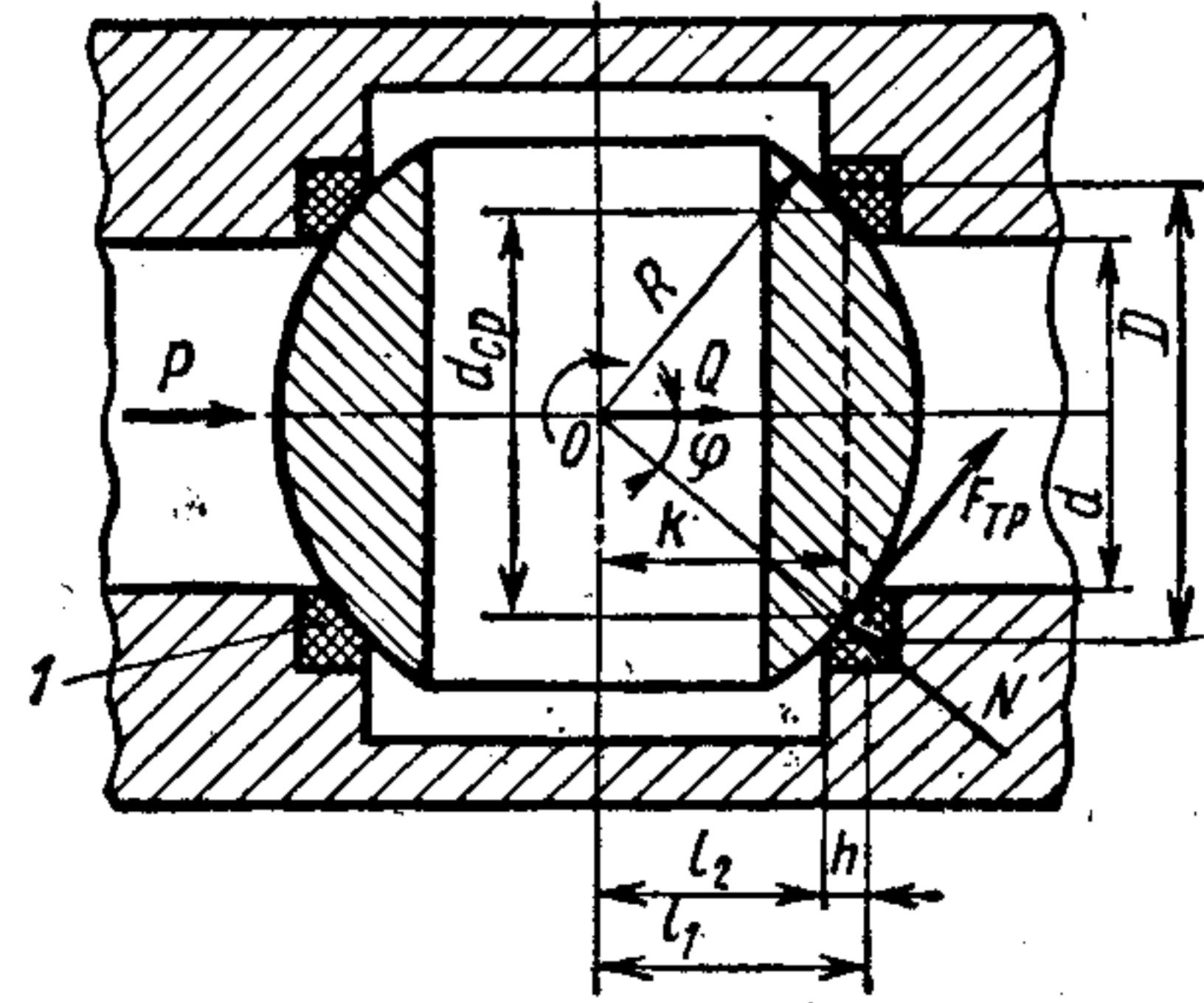


Рис. 19. Схема сил, действующих в уплотнениях с шаровым затвором

откуда

$$N = \frac{\pi R (D + d)^2 p}{8 (l_1 + l_2)}$$

Величина давления на уплотнение

$$q = \frac{N}{s}$$

где s — боковая поверхность шарового пояса;

$$q = \frac{(D + d)}{4(D - d)} p,$$

откуда ширина уплотнительного кольца

$$D = \frac{d(p + 4q)}{4q - p}$$

Для колец из фторопласта-4 можно принять $q \leq 200$ кгс/см². Для обеспечения большей герметичности кольцо можно выполнять с упругой частью.

Основные размеры уплотнения в зависимости от давления можно определить по графику (рис. 20). Радиус R выбирают конструктивно.

Сальниковые уплотнения 4 (см. рис. 18) изготавливают из фторопласта-4, а распорные кольца 5 могут быть изготовлены из алюминиевого сплава АК4.

При давлении среды до 200 кгс/см² устанавливают два уплотнительных кольца, при давлениях 350—400 кгс/см² — три кольца.

Размеры уплотнительных и рабочих колец приведены в табл. 6 [50, 61, 65].

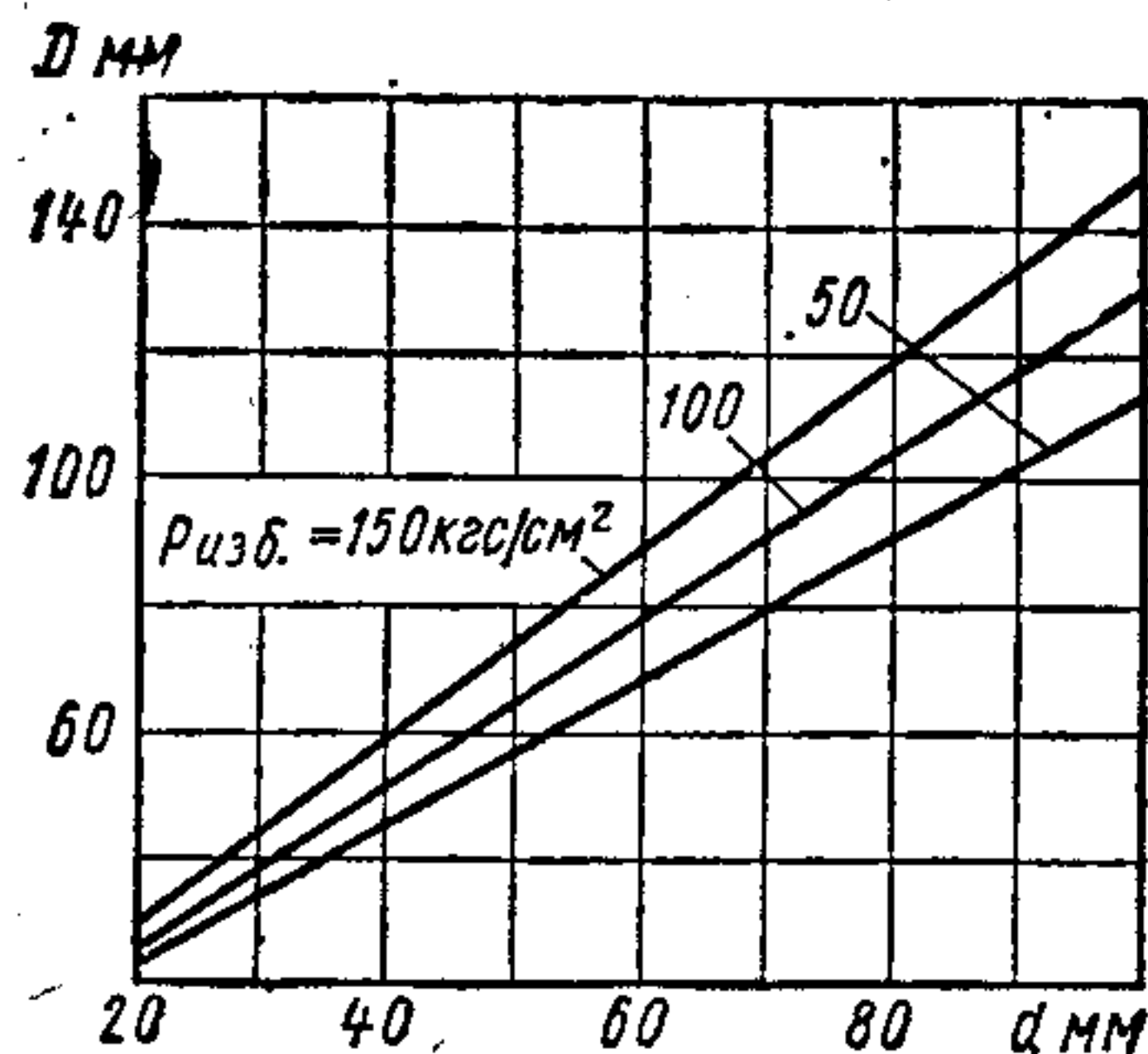


Рис. 20. Зависимость основных размеров шаровых затворов от давления

6. Размеры (в мм) уплотнительных и рабочих колец

Диаметр				h_1	Диаметр			
Б	В	Г	Б		В	Г	h_2	
10	17	13,5	4	10,2	17	13,5	3	
12	20	16	4,5	12,2	20	16	3,5	
14	22	18		14,2	22	18		
15	24	19,5	5	15,2	24	19,5	4	
16	25	20,5		16,2	25	20,5		
18	27	22,5		18,2	27	22,5		
20	29	24,5		20,2	29	24,5		
22	31	26,5		22,2	31	26,5		
24	33	28,5		24,2	33	28,5		
26	35	30,5	26,2	35	30,5			
28	38	33	5,5	28,2	38	33	4,5	
30	40	35		30,2	40	35		

РАСЧЕТ ДЕТАЛЕЙ ХИМИЧЕСКОЙ АРМАТУРЫ И ТРУБ

ДЕТАЛИ ХИМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

В химическом машиностроении из пластмасс изготавливают различную (включая крупногабаритную) аппаратуру и детали, кроме того, пластмассы используют для покрытий и футеровки.

Наиболее широко применяют пластмассы на основе поливинилхлорида, фенолоформальдегида (фаолит, текстолит, стеклофаолит и стеклопластик), а также полиэтилен, полипропилен, фторопласты, эпоксидные смолы, полиизобутилен, асбовинил, полиформальдегид, пентон.

Размеры конструктивных элементов химической аппаратуры находят так, как указано ниже*.

После определения геометрической формы и габаритных размеров аппарата выбирают конструкционный материал, наиболее стойкий в данной агрессивной среде. Затем определяют величину расчетного давления p_p в аппарате. Расчетное давление принимают равным рабочему, под которым понимают максимальное избыточное давление, возникающее при нормально протекающем технологическом процессе.

Находят толщину стенки и днища аппарата (рис. 1) из листового винипласта (в условиях статических нагрузок) по формулам: для стенки

$$S = \frac{p_p D}{2,3 [\sigma] \varphi - p_p} + C; \quad (1)$$

для конического днища

$$S = \frac{p_p D}{2,3 [\sigma] \varphi \cos \alpha - p_p} + C; \quad (2)$$

для эллиптического днища

$$S = \frac{p_p D}{4 [\sigma] \varphi - p_p} \frac{D}{2h} + C; \quad (3)$$

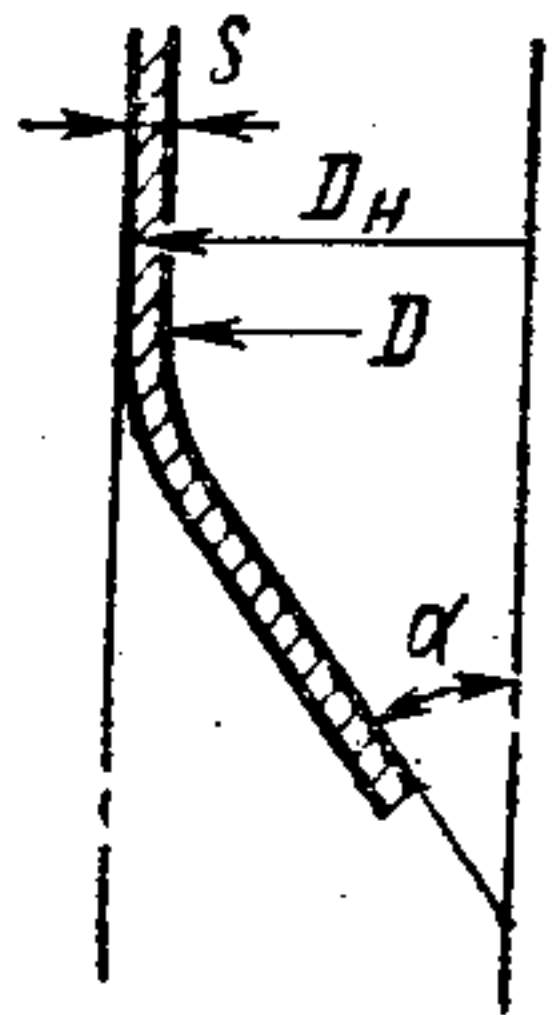
для полушарового днища

$$S = \frac{p_p D}{4 [\sigma] \varphi - p_p} + C, \quad (4)$$

где D — внутренний диаметр элемента аппарата, м (принимают конструктивно); $[\sigma]$ — допускаемое напряжение; φ — коэффициент прочности сварного шва, зависящий от формы шва ($\varphi = 0,5$ для X-образного шва; $\varphi = 0,35$ для V-образного шва; $\varphi = 1,0$ для цельных труб); C — прибавка, м, назначается для округления расчетной толщины листа до стандартной, с учетом минусового допуска (для листов из винипласта по ГОСТ 9639—71*); α — половина угла раствора конического днища (конструктивно, но не более 70°); h — внутренняя высота выпуклой части днища, м (выбирают конструктивно, но не менее $0,2D$).

* Методика расчета разработана НИИХиммашем.

Рис. 1. К определению конструктивных элементов аппарата



При назначении допускаемых напряжений следует учитывать значительное уменьшение механической прочности пластмассы с повышением температуры.

Допускаемые напряжения для винипласта в зависимости от рабочей температуры стенки приведены в табл. 1.

При проверочных расчетах элементов из винипласта допускаемое рабочее давление определяют по формулам: для цилиндрической обечайки

$$[p] = \frac{2,3 S [\sigma] \varphi}{D + S}; \quad (5)$$

для конического днища

$$[p] = \frac{2,3 S [\sigma] \varphi \cos \alpha}{D + S}; \quad (6)$$

для эллиптического днища

$$[p] = \frac{8 S [\sigma] \varphi}{D + 2 \frac{h}{D} S}; \quad (7)$$

для полушарового днища

$$[p] = \frac{4 S [\sigma] \varphi}{D + S}. \quad (8)$$

Формулы (1) и (5) применимы при $\frac{S}{D} \leq 0,5$; формулы (2) и (6) — при $\frac{S}{D} \leq \frac{1}{2 \cos \alpha}$;

формулы (3), (4), (7) и (8) — при $\frac{S}{D} \leq 0,25$.

Критическое наружное давление p , сплющивающее тонкостенную цилиндрическую сварную пластмассовую оболочку,

$$p = \frac{2E}{1 - \nu^2} \left(\frac{S}{D_{ср}} \right)^3,$$

где E — модуль упругости; ν — коэффициент Пуассона; S — толщина стенки сосуда; $D_{ср}$ — средний диаметр оболочки.

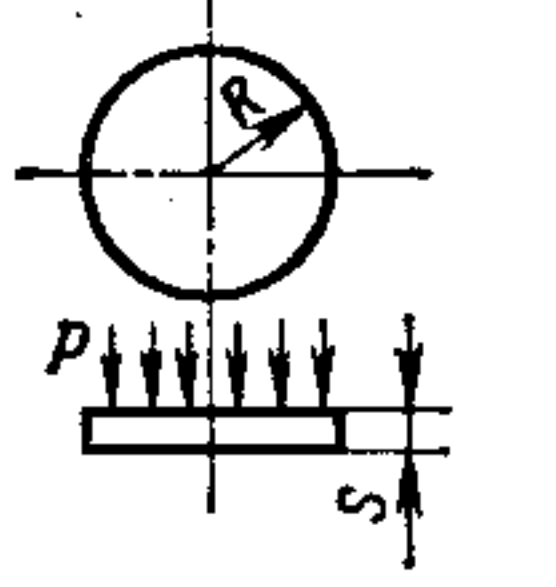
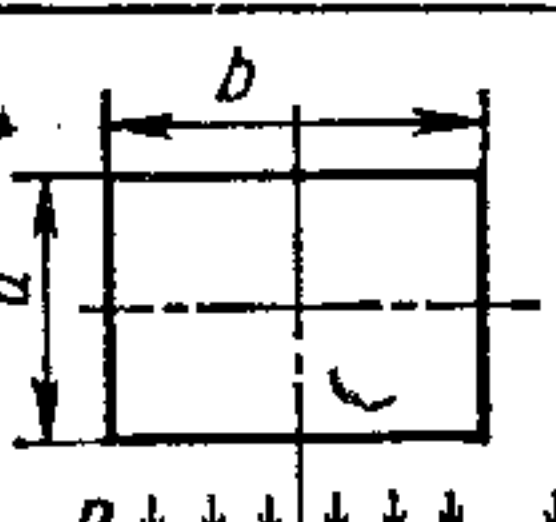

1. Допускаемые напряжения для винипласта

Температура, °С	[σ], кгс/см², при сроке службы, ч					
	10³	5·10³	10⁴	5·10⁴	10⁵	5·10⁵
20	159,2	115,6	98	69,3	61,2	42,9
40	73,2	58,3	51	36,7	31,6	24,5
60	40,8	28,6	25,5	1,94	16,3	12,3

При расчете днищ сварных пластмассовых резервуаров, работающих в условиях гидростатического напора, для определения максимальных напряжений можно пользоваться формулами, приведенными в табл. 2.

В химических аппаратах большой высоты или с большим отношением высоты к диаметру для увеличения жесткости применяют кольца, соединяемые различными способами (приваркой, приклейкой) со стенками аппарата.

2. Максимальные напряжения в днищах пластмассовых резервуаров

Форма днища	Характер нагрузки	Тип крепления	Место максимального напряжения	σ_{\max}
	Равномерно распределенная по поверхности	Закреплена у края сваркой	По краю	$\frac{3pR^2}{4S^2}$
		Все края поддерживаются	В центре	$\frac{0,75 b^2 p}{S^2 \left(1 + 1,61 \frac{b^2}{a^2}\right)}$
		Все края закреплены сваркой	По краю	$\frac{0,5 b^2 p}{S^2 \left(1 + 0,623 \frac{b^2}{a^2}\right)}$

Момент инерции кольца (см^4), обеспечивающий его устойчивость, может быть найден по формуле

$$J = \frac{R_k p m l}{3E_k},$$

где R_k — радиус нейтральной линии кольца, см; p — давление на боковую поверхность, кгс/см^2 ; m — коэффициент устойчивости ($m \approx 4,6$); l — расстояние между кольцами жесткости (см), которое определяют по формуле

$$l \leq \frac{2,59E_k D}{p m \left(\frac{D}{s}\right)^{2,5}},$$

где D — диаметр аппарата, см; s — толщина кольца, см; E_k — модуль упругости материала кольца, кгс/см^2 .

РАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ТРУБ

Применяют свободные фланцы на раструбах, свободные фланцы на разбортовке. Свободные фланцы изготовляют обычно из стали и реже из ПВХ или другой пластмассы. Применяют при больших толщинах стенок соединяемых труб. При соединении со свободными фланцами на разбортовке концы трубы разбортовывают горячей штамповкой в приспособлении.

Соединение с накладными гайками показано на рис. 2. Детали соединения изготовляются прессованием или литьем под давлением из различных пластмасс.

В соединениях труб в раструб с резиновыми кольцами (рис. 3) на одном конце соединяемой трубы делают раструб с желобом. В желоб вставляют кольцо из мягкой резины. Конец другой трубы смазывают обычно мылом и вставляют в раструб. Такие соединения, применяемые в основном для наружной прокладки, достаточно надежны, не имеют металлических элементов, поэтому устойчивы к коррозии и допускают небольшие смещения одной трубы относительно другой.

Ориентировочный расчет напряжения в раструбной части деталей трубопроводов может быть произведен по формуле

$$\sigma = \frac{p(D_n - S)}{2S},$$

где p — условное давление, кгс/см^2 ; D_n — наружный диаметр, см; S — толщина стенки, см; $[\sigma] \approx 60 \text{ кгс/см}^2$.

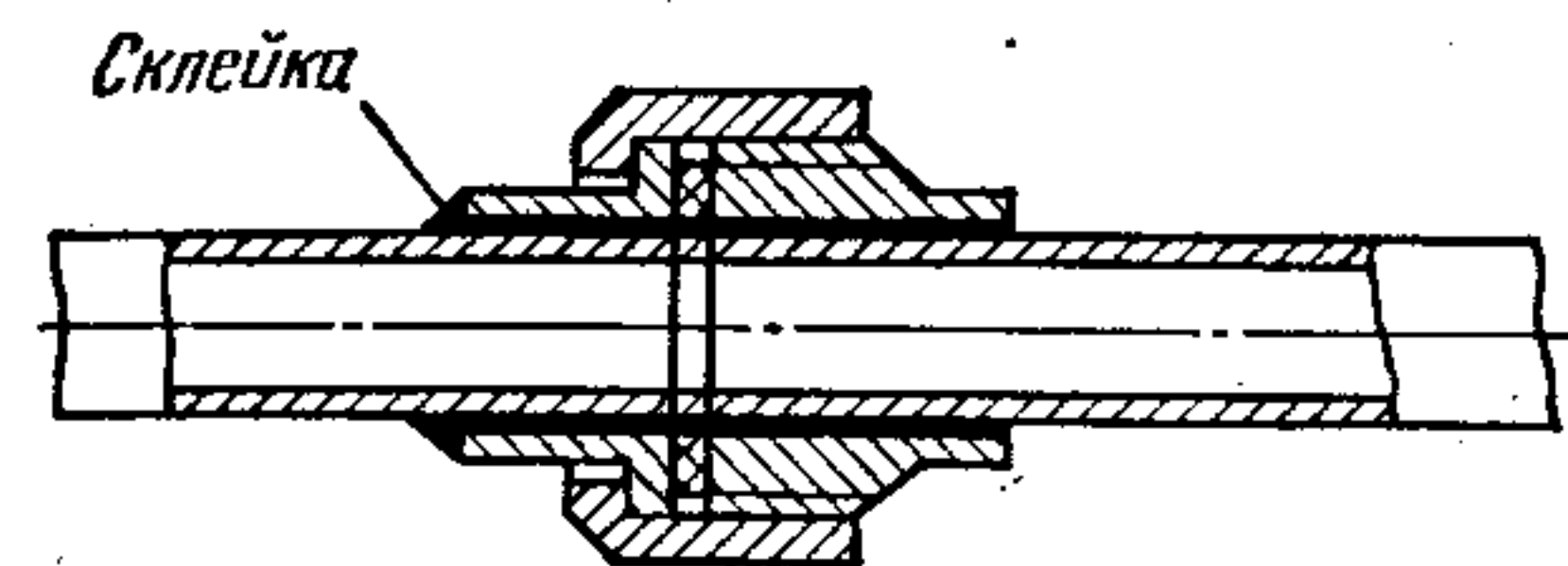


Рис. 2. Соединение с накладными гайками

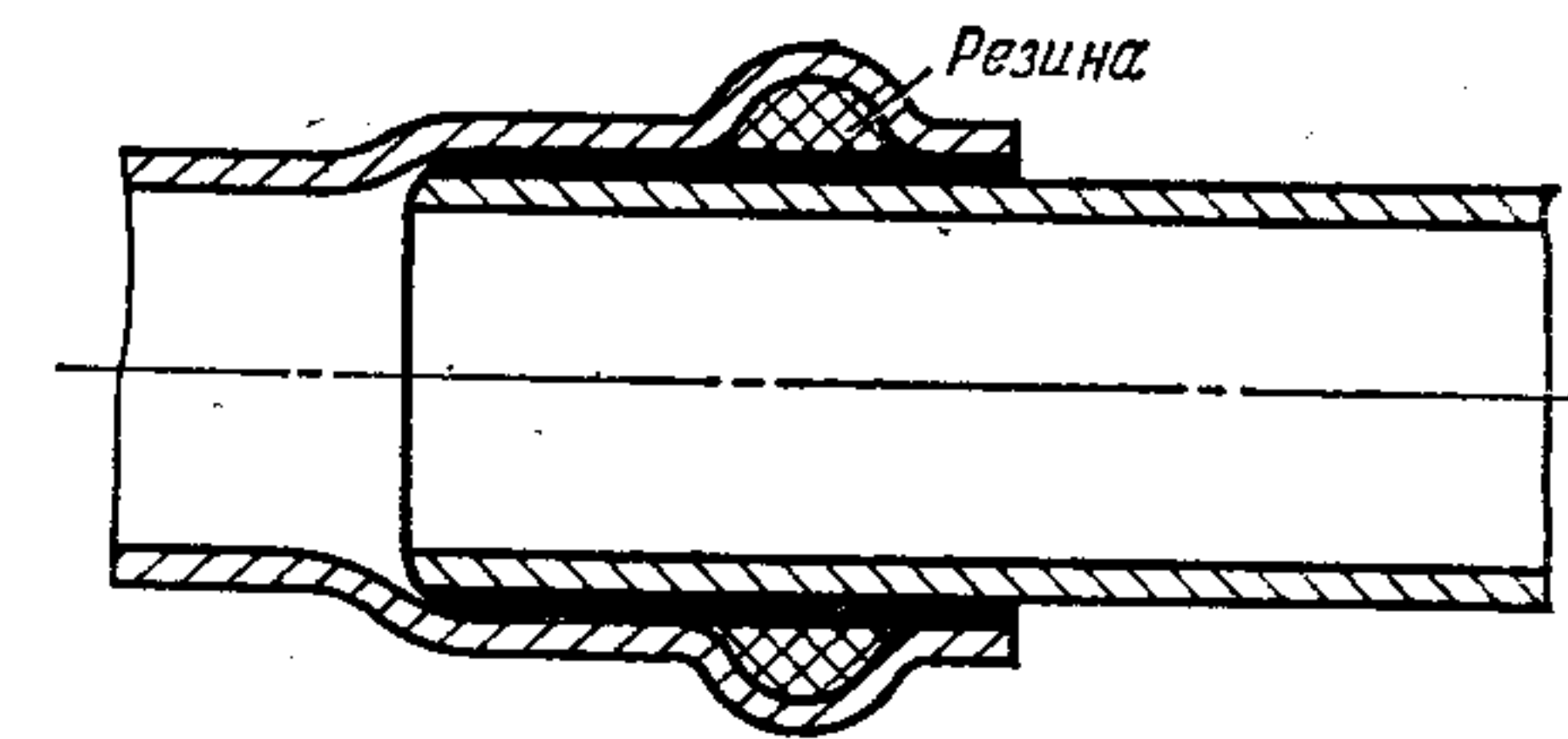


Рис. 3. Соединение труб из поливинилхлорида в раструб

При фланцевом соединении деталей из пластмасс при помощи свободно сидящего стального фланца, опирающегося на буртик детали, необходимо подсчитать толщину буртика пластмассовой детали, см:

$$t_6 = 0,58 d_6 \sqrt{\frac{[\sigma_6]}{k[\sigma]} \left[n \frac{l_1}{l_2} + 0,7c \frac{p}{[\sigma_6]} \left(\frac{D_n}{d_6}\right)^2 \right]},$$

где d_6 — наружный диаметр болтов, см; $[\sigma_6]$ — допускаемое напряжение для материала болтов, кгс/см^2 ; k — поправочный коэффициент; $k = 1 - \frac{A}{D_{6\phi}} + \frac{A-B}{2l_2}$ (здесь A — наружный диаметр свободного стального фланца, см; $D_{6\phi}$ — диаметр окружности болтов свободного фланца, см); p — внутреннее давление, кгс/см^2 ; $[\sigma]$ — допускаемое напряжение для материала буртика, кгс/см^2 ; n — количество болтов на фланце; $l_1 = \frac{D_1 - D_n}{2}$ — длина плеча, см (здесь D_1 — наружный диаметр бурта; D_n — наружный диаметр прокладки); $l_2 = \frac{D_1 - (B + S)}{2}$ — длина плеча, см (здесь B — внутренний диаметр стального фланца, см; S — толщина стенки пластмассовой детали, имеющей буртик, см); $c = \sqrt{1 - \frac{2d}{A-B}}$ — коэффициент ослабления фланца болтовыми отверстиями (здесь d — диаметр отверстия под болт, см).

Фланцевое соединение труб из поливинилхлорида при помощи свободно сидящих фланцев показано на рис. 4.

Пластмассовые фланцы для соединения пластмассовых труб и емкостей образуются в процессе прессования или литья детали. Их выполняют также намоткой фланцевого утолщения, напрессовкой пластмассового фланца, приклеиванием пластмассового фланца к трубе и сваркой.

Диаметр фланца D_ϕ может быть определен по формуле

$$D_\phi = D_n + (1 \div 4) \delta,$$

где D_n — наружный диаметр трубы; δ — толщина пластмассовой стенки трубы.

Если по конструктивным соображениям диаметр фланца должен быть большим ($D_\phi \geq D_n + 4\delta$), применяют составные фланцы (сварные, клеевые). Конструкций сварных и клеевых соединений показаны на рис. 5.

При напрессованных фланцах для монолитных пластмасс на трубах рекомендуется делать кольцевые канавки под фланец. Их глубина не должна превышать половину толщины стенки трубы. При действии значительных моментов канавки делают в виде ласточкина хвоста.

Варианты выполнения посадочных мест под напрессовку фланцев труб, подверженных кручению показаны на рис. 6 [7].

Гнутье пластмассовых труб производится при их нагреве, поэтому необходимо определять длину развернутой части, подлежащей нагреву и гнутью (рис. 7, а) по формуле

$$L = a + b + 1,57 R,$$

где a и b — прямые участки отвода; R — радиус гнутья, принимаемый для пластмассовых труб равным $3-5D_n$.

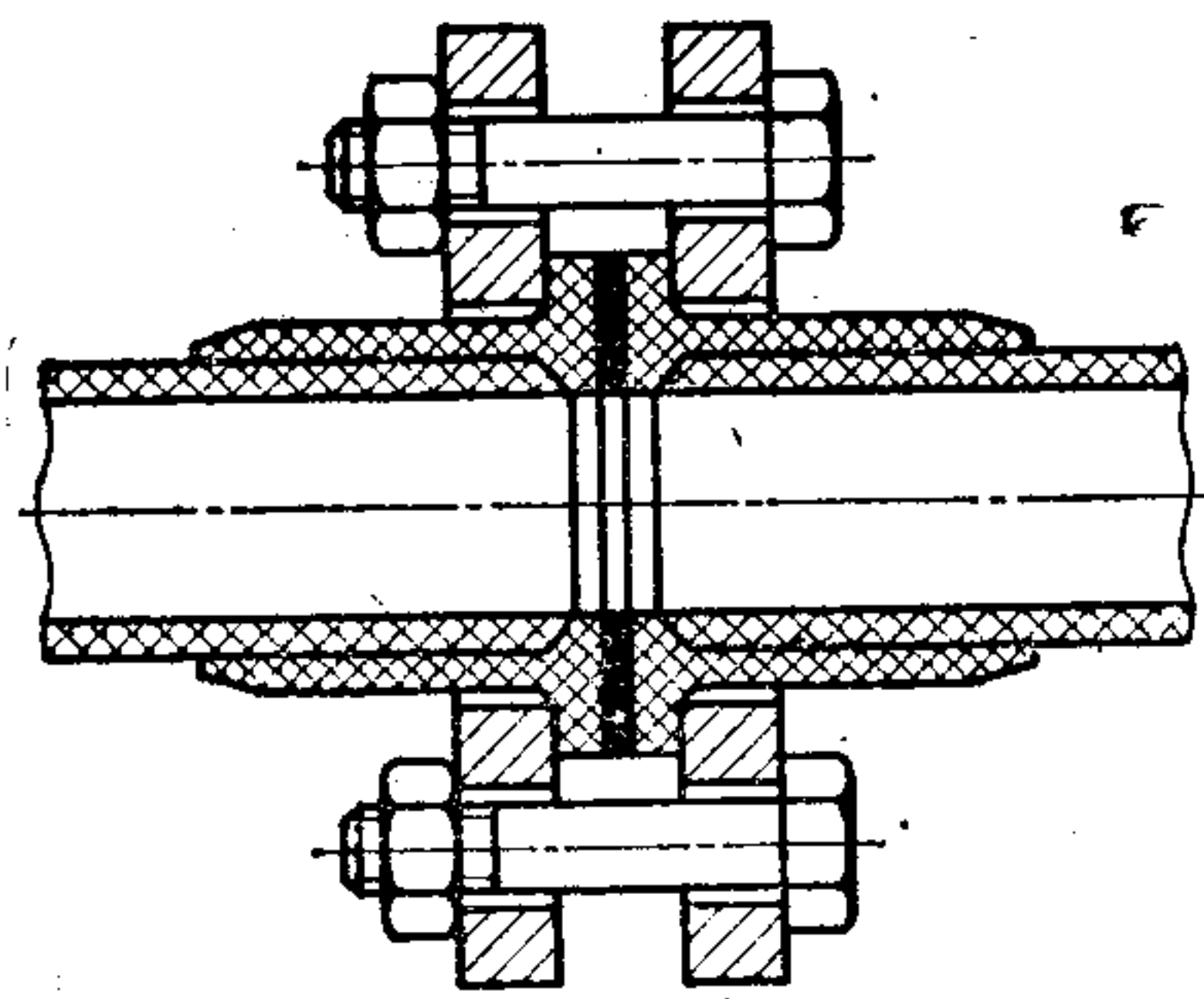


Рис. 4. Фланцевое соединение при помощи свободно сидящих фланцев

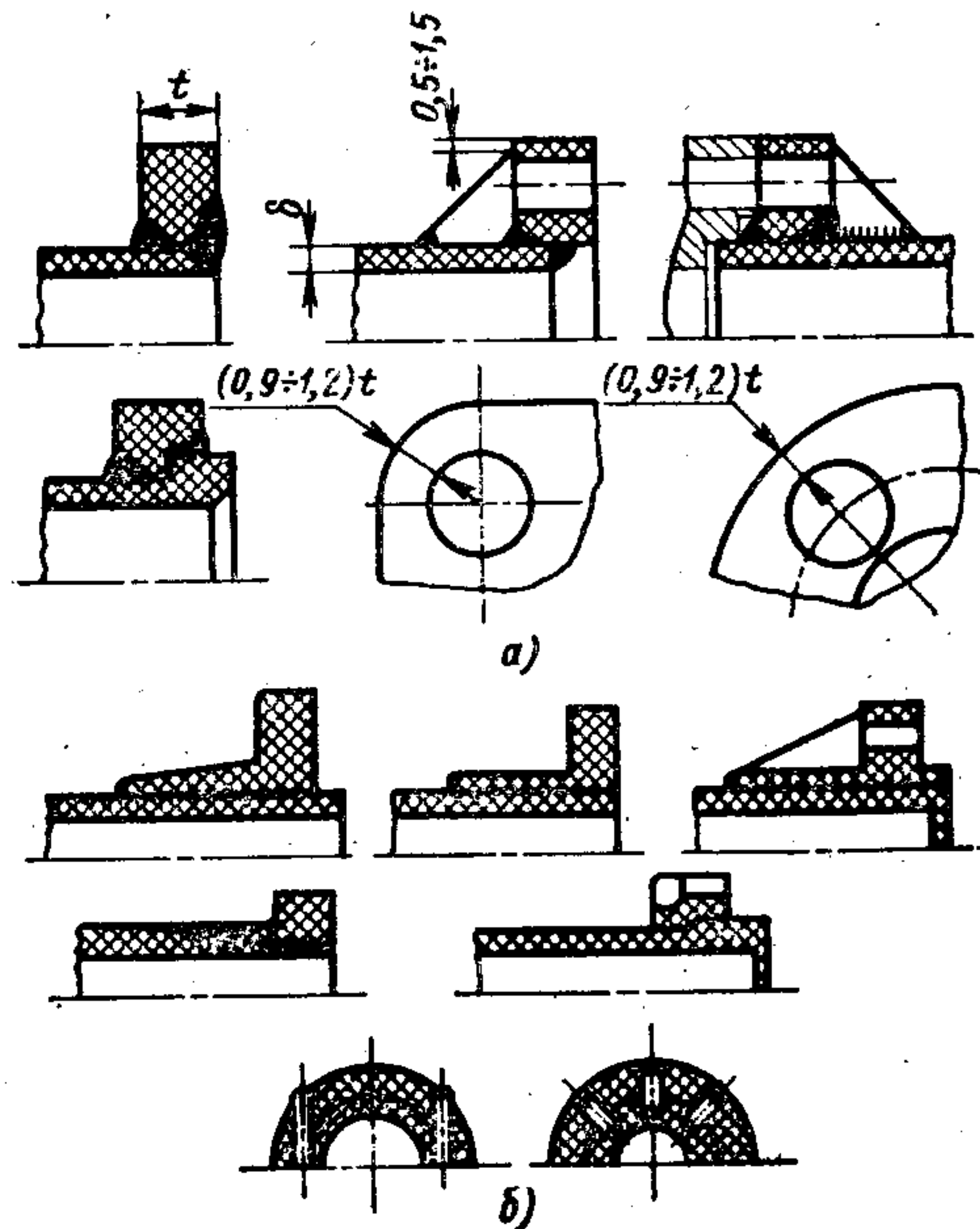


Рис. 5. Конструкции сварных и клеевых соединений

Развернутая длина полуотвода (рис. 7, б)

$$L = a + b + 0,0174 R (180^\circ - \alpha),$$

где α — угол гнутья, градусы.

Развернутая длина двойного отвода (рис. 7, в)

$$L = a + b + \frac{H}{\sin(180^\circ - \alpha)} + 2RK,$$

где H — высота двойного отвода; K — коэффициент, зависящий от угла α :

α	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
K	0,570	0,556	0,521	0,469	0,406	0,334	0,255	0,173	0,087	0

Зная монтажные и развернутые длины изогнутых деталей, подсчитывают длины, которые нужно прибавить или отнять от общей длины трубопровода. Наиболее целесообразно применять гнутые пластмассовые детали заводского изготовления.

В сортаменте на фасонные и соединительные части пластмассовых труб имеются отводы под углами 45 и 90°, из которых можно собирать лирообразные компенсаторы (рис. 7, г) (развернутая длина такого компенсатора, часто встречающаяся на практике, составляет $46D_n$).

Прочность клевого соединения зависит от технологического процесса получения соединения, глубины раструба, величины зазора между соединяемыми деталями.

Глубины раструбов выбирают в зависимости от диаметров труб:

Наружный диаметр трубы, мм	5	6	8	10	12	15	20	25	32	40	50	63	75	90	110	140	160
Глубина раструба, мм	16	12	15	18	22	25	30	35	42	50	60	70	80	95	110	135	160

Толщина стенок деталей трубопроводов для каждого данного наружного диаметра трубы зависит от применяемых рабочих давлений.

Напорные трубы из твердого ПВХ рассчитаны на давления 2,5—10 кгс/см². Детали трубопроводов выпускают унифицированные — на максимальные давления.

Толщину стенок труб из пластмасс рассчитывают так же, как и толщину стенок труб из металлов (разница только в допускаемых напряжениях, в необходимости учета снижения прочности труб из полимеров по времени).

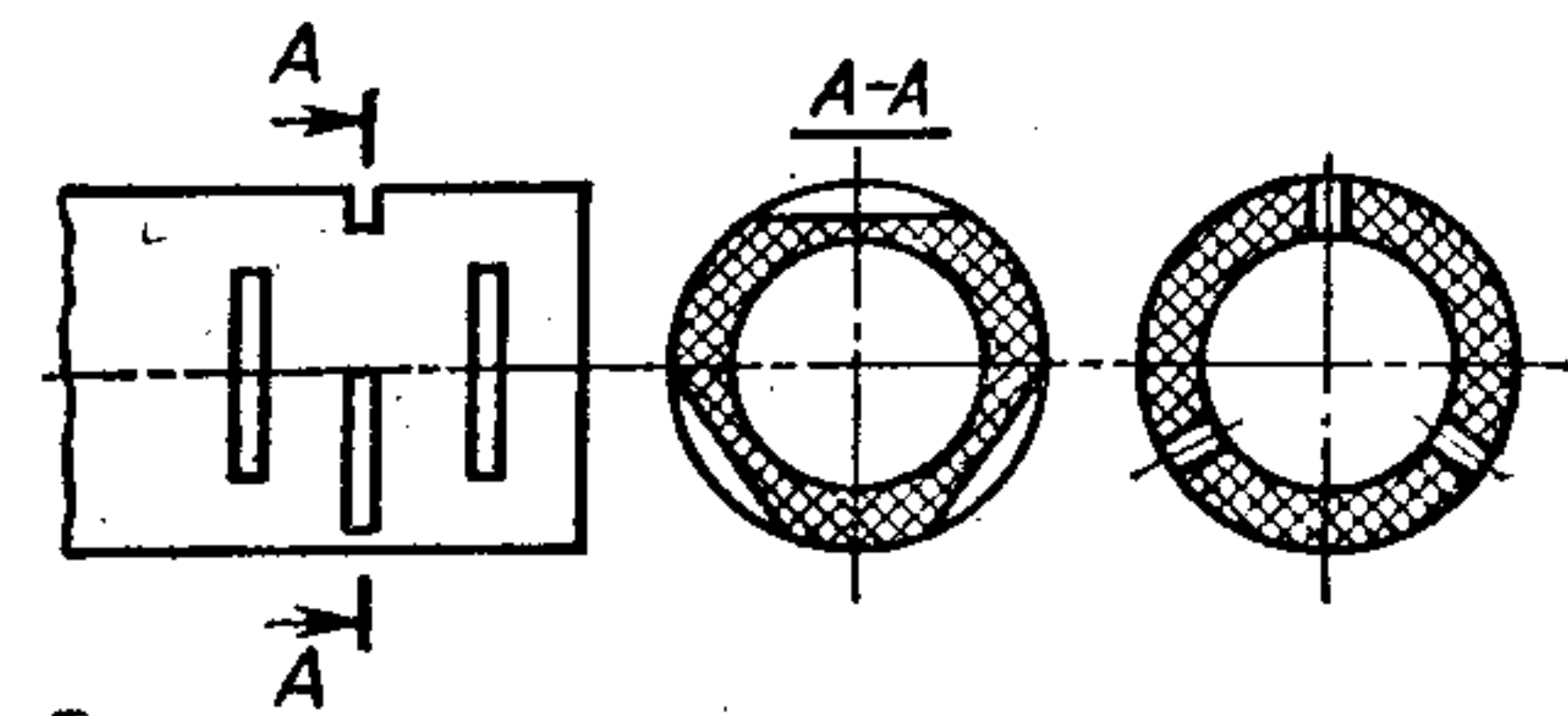


Рис. 6. Варианты выполнения посадочных мест под напрессовку фланцев труб, подверженных кручению

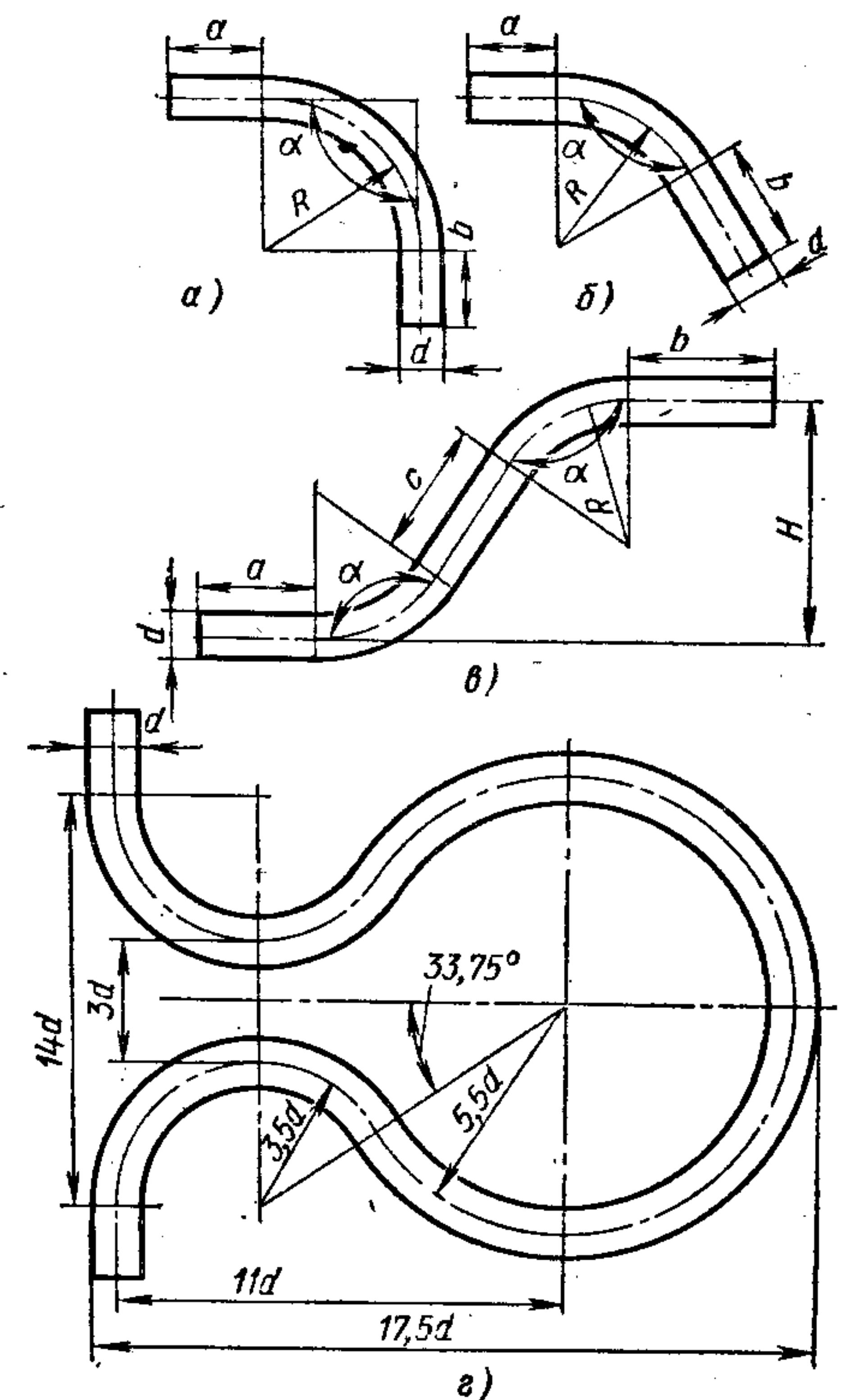


Рис. 7. Гнутые детали из пластмассы:

а — отвод; б — полуотвод; в — двойной отвод; г — лирообразный компенсатор

При клевом соединении труб напорных трубопроводов возникают напряжения в осевом и радиальном направлениях. При соединении внахлестку среднее напряжение при сдвиге в основном зависит от толщины материала, длины и толщины клевого шва, свойств склеиваемого материала.

Для клевых соединений внахлестку при действии растягивающих сил коэффициент концентрации напряжений n , равный отношению максимального напряжения при сдвиге (τ_{max}) к среднему напряжению при сдвиге (τ_{cp}), зависит от длины нахлестки l , модуля сдвига клеевой пленки G , модуля упругости склеиваемого материала E , толщины пластины s и толщины клевого шва δ . Коэффициент концентрации напряжения n увеличивается с увеличением длины нахлестки и не зависит от ее ширины, медленно возрастает с повышением модуля сдвига клевого шва, медленно уменьшается с повышением модуля упругости материала и толщины клевого слоя.

Чем меньше n , тем равномернее распределяются напряжения в соединении, тем больше разрушающая нагрузка и прочность соединений. С увеличением длины нахлестки площадь склейки возрастает и прочность соединения увеличивается, но только до определенного предела. Когда напряжения в середине шва станут равными нулю, несущая способность соединения исчерпана. При дальнейшем увеличении длины нахлестки напряжения по краям шва не уменьшаются, допустимая нагрузка на соединение не увеличивается.

Соединение труб между собой рекомендуется осуществлять при помощи двух раструбных труб и по возможности избегать образования раструбов на трубах. При отсутствии раструбных труб в виде исключения возможно формирование раструба на трубах с толщиной стенок не менее 2 мм. Размеры и допуски раструбных и калиброванных концов труб и другие данные по расчету и конструированию труб из твердого ПВХ указаны в работе [28].

Пластмассовые трубы из полиэтилена, поливинилхлорида обладают высокой химической стойкостью и легкостью, выдерживают давление до 10—60 кгс/см²; при повышенных требованиях к прочности трубы упрочняют (при малых диаметрах) текстильными или другими волокнами, при больших диаметрах применяют комбинацию металл — пластмасса, стальные трубы облицовывают пластмассой изнутри или снаружи и изнутри; для высоких давлений трубы изготавливают из синтетических смол, армированных стекловолокном. Приращение длины трубы Δl , не нагруженной внутренним избыточным давлением, определяют по формуле

$$\Delta l = \alpha (t_2 - t_1) l,$$

где Δl — приращение длины трубы, м; α — коэффициент температурного линейного расширения; l — первоначальная длина трубы, м; t_2 — температура транспортируемого вещества, °С; t_1 — температура атмосферы, °С.

Данные для определения удлинения труб из твердого поливинилхлорида при различных температурах и времени заполнения и другие более подробные данные приведены в работах [28, 32, 37, 55].

1. Альшиц И. Я., Бартенев Г. М. Влияние различных факторов на антифрикционные свойства полимеров. — «Вестник машиностроения», 1975, № 9.
2. Альшиц И. Я., Семенова Л. М. Определение антифрикционных свойств пластмасс. — «Вестник машиностроения», 1973, № 1.
3. Ачеркан Н. С. Металлорежущие станки. М., «Машиностроение», 1965.
4. Беляев В. Н., Пронин Б. А. Ременные передачи. Справочник. В 3-х томах. Под ред. Н. С. Ачеркана. Т. 3, М., «Машиностроение», 1969. 347—427 с.
5. Белянкин Ф. П., Яценко В. Ф., Дыбенко Г. И. Прочность и деформативность слоистых пластиков. Киев, «Наукова думка», 1964. 219 с.
6. Бобрынин Б. Н. Технология штамповки неметаллических материалов. М., Машгиз, 1962. 240 с.
7. Бокин М. Н., Цыплаков О. Г. Расчет и конструирование деталей из пластмасс. М. — Л., «Машиностроение», 1966. 175 с.
8. Борисов Ф. Б. Клеи холодного отверждения. — «Машиностроитель», 1967, № 12, с. 15—18.
9. Борохов А. М., Ганшин А. С., Додонов Н. Г. Волокнистые и комбинированные сальниковые уплотнения. М., «Машиностроение», 1966. 311 с.
10. Брагинский В. А. Технология прессования и точность деталей из терморезистивных пластмасс. Л., «Химия», 1971.
11. Вайсер Л. В., Чудновский А. Р. Опыт изготовления пластмассовых моделей. М., ГОСИНТИ, 65 с.
12. Воробьев И. И. Передачи с гибкой связью в приводах станков. М., «Машиностроение», 1971. 144 с.
13. Голубев А. И. Торцовые уплотнения вращающихся валов. М., «Машиностроение», 1974. 212 с.
14. Гуль В. Е. Структура и прочность полимеров. Изд. 2-е. М., «Химия», 1971. 344 с.
15. Гуль В. Е., Кулезнев В. И. Структура и механические свойства полимеров. Изд. 2-е. М., «Высшая школа», 1972. 320 с.
16. Детали машин. Справочник. В 3-х томах. Под ред. Н. С. Ачеркана. Т. 3, М., «Машиностроение», 1969.
17. Допуски и посадки деталей из пластмасс. РТМ МЛ—1—62, Л., ЦБТИ, 1962.
18. Евдокимов Ю. А., Колесников В. И. Определение коэффициентов теплопроводности поверхностей подшипников и вала. — «Известия вузов. Машиностроение», 1974, № 3.
19. Зайцев Г. П., Стреляев В. С. Сопротивление стеклопластмасс деформированию и разрушению при статическом растяжении. — В кн.: Конструкционные свойства пластмасс. М., «Машиностроение», 1968. 210 с.
20. Земляков И. П. Прочность деталей из пластмасс. М., «Машиностроение», 1972. 158 с.
21. Кан К. Н., Вдовин Е. Д., Москалев Н. Д. Расчет пластмассовых деталей с внутренней резьбой. — В кн.: Конструирование деталей из пластических масс. МДНТП им. Дзержинского, 1966, 64—76 с.
22. Кан К. Н., Первушин Ю. С. Выбор критерия прочности для жестких терморезистивных пластмасс. — «Механика полимеров», 1966, № 4.

23. Каргин В. А., Слонимский Г. Л. Краткие очерки по физикохимии полимеров. М., «Химия», 1967. 232 с.
24. Кардашев Д. А. Синтетические клеи. «Химия», 1968, 592 с.
25. Кардашев Д. А. Эпоксидные клеи. М., «Химия», 1973. 191 с.
26. Кардашев Д. А. Конструкционные клеи в машиностроении. — В кн.: Новые полимерные материалы. М., 1972, 12.
27. Кестельман В. Н., Кестельман И. Я. Номограммы по расчету и конструированию пластмассовых деталей машин. М., «Машиностроение», 1970. 229 с.
28. Коган Д. Ф. Трубопроводы из твердого поливинилхлорида. М. — Л., «Химия», 1964. 271 с.
29. Козлов П. М. Применение полимерных материалов в конструкциях, работающих под нагрузкой. М., «Химия», 1966, 811 с.
30. Конакевич Е. Г. Основы конструирования пластмассовых деталей и пресс-форм. М., Машгиз, 1950.
31. Кондаков Л. А. Уплотнения гидравлических систем. М., «Машиностроение», 1972. 82 с.
32. Конструкционные пластмассы. Пер. с чеш. М., «Машиностроение», 1969. 336 с. Авт.: И. Хуго, И. Кабелка, И. Коджени и др.
33. Кукин Г. М. Расчет теплового режима узла торцового уплотнения. — В кн.: Тепловая динамика трения. М., «Наука», 1970. 39 с.
34. Левин А. А., Майорова Э. А. Полимерные подшипники скольжения в металлорежущих станках. М., ЭНИМС, 1974. 19 с.
35. Лейкин Н. Н. Конструирование пластмассовых прессованных изделий. М., «Машиностроение», 1964.
36. Мамон Л. И., Кузьмин В. П. Применение пластических масс в уплотнениях вращающихся валов машин и аппаратов. — В кн.: Композиционные полимерные материалы и их применение. Гомель, 1972, с. 153—155.
37. Мирзоев Р. Г. Пластмассовые детали машин и приборов. Изд. 2-е. М. — Л., «Машиностроение», 1971. 364 с.
38. Никольский К. К., Фролов П. А. Применение полимерных материалов в технике дальней связи. М., «Связь», 1965. 110 с.
39. Основы конструирования изделий из пластмасс. Под ред. Э. Бэра. М., «Машиностроение», 1970. 272 с.
40. Платонов В. Ф. Подшипники из полиамидов. М., Машгиз, 1961. 149 с.
41. Пронин Б. А., Ревков Г. А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи. М., «Машиностроение», 1967. 404 с.
42. Раевский А. Н. Полиамидные подшипники. М., «Машиностроение», 1967. 187 с.
43. Решетов Д. Н. Детали машин. М., «Машиностроение», 1974. 239 с.
44. Самосмазывающиеся графито-фторопластовые материалы узлов трения. — «Вестник машиностроения», 1974, № 12. Авт.: Л. Б. Хрисанова, В. Д. Телегин, И. Я. Альшиц и др.
45. Соловьева Н. В. Особливості експлуатації токарних верстатів і опрацювання їх напрямних. — «Металлорізальні верстати. Межреспубліканський збірник», 1973, № 1, Київ.
46. Справочник по пластическим массам. В 2-х томах. Изд. 2-е, М., «Химия», 1975. Т. 1, 446 с., Т. 2, 568 с.
47. Терентьев И. С. Обработки пластмасс, применяемых в машиностроении. М. — Л., «Машиностроение», 1965. 220 с.
48. Технологическая оснастка для холодной штамповки, прессования пластмассы и литья под давлением. Ч. 1 и 2. М., ЦИНТИАМ, 1964.
49. Точность и взаимозаменяемость деталей из пластмасс. Л., ЦБТИ, 1963.
50. Торцовые уплотнения для насосов. Каталог-справочник. ЦИНТИХИМ-НЕФТМАШ, 1972. 17 с.
51. Федорченко Н. П., Крячек В. М., Панаюти Н. И. Современные фрикционные материалы. Киев, «Наукова думка», 1975. 202 с.
52. Трение и износ материалов на основе полимеров. Минск, «Наука и техника», 1976. 430 с. Авт.: В. А. Белый, А. П. Свириденко, М. И. Петроковец и др.
53. Шанников В. М., Москалев Н. Д., Кан Н. Расчеты на прочность деталей из терморезистивных пластмасс с резьбой и металлической арматурой. ЛДНТП, 1963. 196 с.
54. Шишлаков П. Г. Подшипники сухого трения. — «Машиностроитель», 1970, № 6.
55. Энциклопедия полимеров. В 2-х томах. Под ред. В. А. Каргина. М., 1974, Т. 1, 1224 с., Т. 2, 1032 с.
56. Barry H. F. Factors Relating to the Performance of Mo S₂ as a lubricant. Proceedings of International Solid Lubrication Symposium. Tokyo, 1975.
57. Brink R. V. The heat load of an oil seal. Proc. 6th Int. Conf. Fluid Seal., Munich, 1973, Cranfield, C_{1/1} — C_{1/10}.
58. Briquet A., Sandbothe I. Zahnräder aus poliamis 11. Einsatzgebiete, Herstellung und Berechnung, Konstrukteur, 1974, 5, № 8, 53—56.
59. Furey M. I. The formation of polymeric films directly on rubbing surfaces to reduce wear. «Wear», 1973, N 3.
60. Giltrow I. P., Lancaster I. K. The role of the conterface in the friction and wear of carbon fibre reinforced thermsetting resins. «Wear», 1970, 16, 359.
61. Halligay C. W., Southam K. The static friction of «Q» ring seals and the dynamic friction at low sliding speeds. Fifth International Conference on Fluid Sealing, B. H. R. A., England, 1971, p. 49.
62. Lancaster I. K. Dry bearings a survey of materials and factors affecting their performance «Tribology», 1973, N 6.
63. Meldt R., Röber H., Polyacetale und Polyalkylen — terephthalate heefen Gleitprobleme lösen, Konstruktion, 1973, 25, № 9, 357—363.
64. Metallverarbeitung, 1972, 26, № 5, Konstruktion und berechnung von Gleitlagern aus Polyamid.
65. Stein Karl vom Gleitringdichtungen und ihre Möglichkeiten. Dtsck, Maschinenwelt, 1973, 52, N 2, 5—9.
66. Scott D. Polymeric composite cage materials for the lubrication of rolling bearings, Collq. int. C N R S, 1975, N 233, 434—440.

А

Аман — Применение 137 — Свойства 127, 128
Амины 177
Аминопласты — Применение 36 — Свойства 20, 30
Антегмиты — Применение 35 — Свойства 16
Арматура — Запрессовка 96—101 — Закрепление вклеиванием 102 — Расположение в изделии 92 — Способы закрепления 93
Арматура втулочная — Способы фиксации 96 — — износоустойчивая полая 94 — — клеммная 94 — — кольцевая наружная 94, 95 — — плоская листовая 95 — — проволочная 97 — — с конусом 99 — — стержневая 93, 94 — Способы фиксации 96 — — трубчатая 94 — — фиксирующая 94 — — цилиндрическая 94 — — штифтовая — Способы фиксации 95
Армирование 92—102
Асбовинил — Применение 200
Асботекстолит — Применение 35 — Свойства 16

Б

Бобышки 83
Брак деталей 48
Букса резьбовая 100

В

Вариатор 158
Винипласт листовой — Применение 33, 200, 201 — Сварные соединения 176 — Свойства 8

Винты — Фиксирование 169
Вкладыши подшипников 120 — Расчет размеров 123
Волокна армирующие 131
Волокнит древесный коротковолокнистый — Применение 35, 137, 138 — Свойства 18
Выступы 81
Втулки из термопластов — Размеры 130 — — наборные — Размеры 117, 119 — — разрезные 124
ВТУ МЭП ОАА 504-008—53 101

Г

Гайки глухие 92 — — пластмассовые — Расчет 166—169 — — самоконтрящиеся 169
Гексаметилендиамин 177
Гетинакс электротехнический листовой — Применение 35 — Свойства 16, 29
ГОСТ 5.2218—74 22
 5—72
 2718—74 16
 2789—73 42, 131
 2904—45 88
 2930—62* 103
 5689—73* 12, 14
 5829—71 6
 6111—52 84
 6357—73 84
 6636—69 73
 6678—72* 192
 7713—62* 37
 8018—70 101
 8724—58* 87, 90, 168, 169
 8752—70* 190
 9150—59* 87, 169
 9359—73 20

9639—71* 8, 200
 10007—72 8
 10292—74 22
 10549—63* 89, 91
 10589—73* 18
 10948—64 67
 11284—75 73
 11709—71* 37, 42, 87, 88, 89, 166
 11710—71 37, 38
 12271—66 10
 13077—67* 10
 13744—68 8
 13913—68 18
 14896—74 189
 14906—69* 8
 16093—70* 169
 16337—70* 6
 16338—70* 6
 17383—73 145, 149
 19459—74 18
 20282—74 10

Графитопласты — Свойства 127, 129

Д

Детали из пластмасс — Допуски и посадки 37 — Классификация размеров 40 — Коробление 48 — Надписи 102, 103 — Наибольшие габаритные размеры, деталей, получаемых на гидравлических прессах 47 — Опорные поверхности 83—84 — Отверстия 69—80 — Оформление торцов 61 — Полная погрешность размеров 41 — Причины возникновения трещин 48 — Радиусы закруглений 66—69 — Расчет на прочность — см. *Расчет на прочность* — Ребра жесткости 61—66 — Сопряжения элементов 48, 49 — Стенки 53—60 — Толщина слоя пластмассы вокруг арматуры 98 — Точность изготовления 38—41 — Требования к конструкции 45—48 — Углубления 80—81 — Усадка 37, 39 — Фаски 67 — Форма 48—50 — Шероховатость поверхности 41
Детали химической аппаратуры — Расчет 200—202
Дифлон — Применение 36 — Свойства 24, 32
Допуск конструкторский 40 — — технологический 40, 41

Допуски металлических деталей, соединенных с деталями из пластмасс 37, 38 — — на гладкие цилиндрические соединения 37—41 — — на зубчатые и червячные зацепления 43—44 — — на резьбы 42—43
Древеснослоистые пластики — Применение 116, 159, 186

З

Заклепки полые 170 — — разрезные 171 — — сверленные 171 — — с неглубоким сверлением 170 — — с пружинящими лапками 171
Звездочки 153
Зубчатые колеса — Армирование 164
Зубчатые передачи 158—165 — Гарантированный боковой зазор 44 — Долговечность 160 — Допуски 43, 44 — Износ зубьев 160 — Номограмма для определения нагрузочной способности 160 — Охлаждение 165 — Степени точности 43

К

Канавки кольцевые 97
Капролон — Свойства 20
Капрон — Применение 138, 139, 158, 159, 192, 194, 195, 197—Свойства 20 — — наполненный графитом 20
Каучук полиуретановый 147 — — этиленпропиленовый 195
Клеевые соединения 177—185 — Склеивание металлов 183—184 — Типы соединений 184
Клеи кремнийорганические 180 — — полиуретановые 180 — — фенолформальдегидные 180—181 — — фенолполивинилацетальные 181 — — эпоксидные 177—180
Кольца уплотнительные 187, 195, 196 — — упорные 188
Контроль размеров деталей — Выдержка 37
Кордоволокнит — Применение 139
Коробление деталей 48
Коэффициент запаса прочности 106, 110, 111 — — линейного расширения армирующих материалов 98 — — Пуассона анизотропных пластмасс 108

Коэффициент Режима 144, 145
— — скоростной 144
— — трения 123, 143, 157
— — усталости 114
Крышка 82

М

Манжеты 187, 189, 190, 191
Массы прессовочные мочевиноформальдегидные — Применение 36 — Свойства 20, 30
Масштабный фактор 114
Материал литьевой — Применение 36
— — прессовочный — Свойства 30
— — самосмазывающийся 127, 128, 129
— — самосмазывающийся композиционный на основе полимеров 131—132
Меламин — Применение 137
Модуль упругости 104, 108
МРТУ 5-977-12042—70 22
6-05-309—70 20
6-05-828—68 10
6-05-928—64 10
6-05-958—65 8
6-05-988—66 20
6-05-992—65 12
6-05-1105—67 6
6-05-1158—68 8
6-05-1169—69 20
6-05-1178—69 8
6-05-1179—69 8
6-05-1269—69 8
6-05-1302—70 8
6-06-369—74 18
6 № М-800—61 102
Муфта зубчатая 154
— — компенсирующая 153, 154
— — кулачковая, 154
— — с плавающими вкладышами 154, 155
— — с пластмассовыми вкладышами 153
— — фрикционная 156, 157
— — шлицевая соединительная 156, 157

Н

Набивка уплотнительная 187
Надписи на деталях 102, 103
Найлон — Применение 137
Накладки фрикционные 154, 155
Накатка 84, 85
— — прямая 97
— — сетчатая 97
Наполнители 131, 132, 139
Направляющие 139—143
Наирит — Применение 147

Напряжения допускаемые 112, 113
— — разрушающие — Зависимость от температуры 105
— — эквивалентные 107, 108

О

Облой 49
ОН 6-07-5—63 147
ОСТ 1010* 37, 39
1013* 37, 38, 39
1014* 37, 38
1023* 37, 38
1024* 37, 38
10182—39 24
ОСТ НКМ 1016* 37, 38
1017* 37, 38
1023* 37, 38
1027* 37, 38
Отверстия 69—80
— Конфигурация 71, 72
— Максимальная высота вертикальных отверстий 76
— Максимальная глубина 80
— Минимальные диаметры 80
— Минимальные размеры в деталях из листовых пресс-материалов 80
— Наибольшая глубина 77
— Наибольшая длина сквозных отверстий 77
— Размеры 73, 74, 75, 76
— Соотношение диаметров и глубин 79
Отвердители 177, 179
Отверстия резьбовые 91

П

Пазы 81, 82
Пара обратная 122
Пенопласт — Применение 34 — Свойства 8
— — плиточный — Применение 33 — Свойства 8
Пентон — Применение 200
Передачи зубчатые — см. *Зубчатые передачи*
— — Новикова 163
— — ременные — см. *Ременные передачи*
— — фрикционные 157
— — червячные — см. *Червячные передачи*
Перемычки 72, 73, 74, 75, 76
— — между резьбовыми отверстиями 91
Пластик — Свойства 10, 28
— — древеснослоистый — Применение 35, 159 — Свойства 18, 29
Пластикат электроизоляционный 27
Пленкообразователь — Назначение 133

Площадь прессования 45
Поверхности опорные 83—84
Подшипники качения 135—139 — Долговечность 136, 137
— Коэффициент грузоподъемности 136
— Коэффициент неравномерности распределения нагрузки 136
— Коэффициент распределения радиальной нагрузки 136
Подшипники скольжения 116—135 — Допускаемое давление 134
— Допускаемое контактное давление 123, 124
— Материалы 121
— Охлаждение 121
— Смазка 121, 122
— Тепловыделение 135
Подшипники скольжения металлофторопластовые 125
— — наборные 117—120
— — облицованные 122
— — из реактопластов 116—122
— — из термопластов 123—130
— — из фторопласта 125
— — работающие при несовершенной смазке — Расчет 134—135
— — тонкослойные 122

Ползучесть 106
Полиамид П-6 стеклонаполненный — Применение 36 — Свойства 20, 31
Полиамиды — Применение 36, 131, 137, 139, 153, 155, 186, 191, 192 — Свойства 18, 31 — Склеивание 182
— — гранулированные наполненные и окрашенные — Свойства 20, 32
— — наполненные синтезированные ПНС — Применение 36 — Свойства 20, 31
— — стеклонаполненные — Применение 36 — Свойства 20, 31
Поливинилхлорид М (массовый) — Применение 33, 203, 205 — Свойства 6, 27
— — эмульсионный — Свойства 6

Полиизобутилен — Применение 186, 200
Поликарбонат — Применение 36, 159 — Свойства 24, 32
— — стеклонаполненный — Применение 36 — Свойства 24
Полипропилен — Применение 33, 200 — Свойства 6, 26 — Склеивание 182
— — стеклонаполненный — Применение 33 — Свойства 6
Полистирол блочный — Свойства 10, 27 — Применение 34
— — стеклонаполненный — Применение 34 — Свойства 10
— — суспензионный — Применение 34 — Свойства 10

Полистирол ударопрочный — Применение 34 — Свойства 10, 28
— — эмульсионный — Применение 34 — Свойства 10, 27
Полиформальдегид — Применение 131, 137, 153, 159, 200
Полихлорвинил — Применение 187, 189, 192
Полиэтилен высокой плотности (низкого давления) — Применение 33 — Свойства 6, 26
— — низкой плотности (высокого давления) — Применение 33 — Свойства 6, 26
— — среднего давления — Применение 33 — Свойства 6, 26
Полиэтиленполиамин 177
Полиэферы 131
Порошки прессовочные антикоррозионные теплопроводные — Применение 35 — Свойства 16
— — влагохимстойкие — Применение 35 — Свойства 14
— — жаростойкие — Применение 35 — Свойства 14
— — общего назначения — Применение 34 — Свойства 12
— — специального назначения — Применение 34 — Свойства 12, 28
Порошок полиметилакрилатный — Применение 34 — Свойства 10, 27
Посадки гладких цилиндрических соединений 37
Предел выносливости 115
Пресс-материалы — Применение 36 — Свойства 22
— — тормозные — Применение 35 — Свойства 14
— — ударопрочные — Применение 35 — Свойства 14
Приливы 81, 82
Прочность — Условия 106, 108

Р

Радиусы закруглений 66—69
Расчет на прочность анизотропных пластмасс 108, 109
— — армированных деталей 109, 110
— — изотропных пластмасс 107—108
— — пластмассовых деталей 104—105
Реактопласты — Склеивание 181
Ребра жесткости 61—66
Резина — Применение 192, 196 — Свойства 196
Резьба — Выбор шага 88
— Допуски 42

Резьба Конструктивные особенности пресованных резьб 88, 89
— Наибольшая длина свинчивания 89, 90
— Погрешность шага 42
— Профили 87
— Способы получения 84, 88

Резьбовое соединение — Стопорение 169

Ременные передачи клиноременные 149—152 — Номограмма для определения межосевого расстояния и длины ремня 150, 151 — Номограмма для определения угла обхвата 151 — Расчет 150, 151, 152
— — плоскоремные 144—149 — Расчет 145

Ремни — Внутренние длины 149 — Модуль 147
— — зубчатые пластмассовые 147
— — плоские — Размеры 146 — Расчет на прочность 145—146

Рифление 84, 85, 86

Ролики текстолитовые 158

С

Самосмазывающиеся материалы 127, 128, 129

Сварка 173—177 — Разделка кромок 175, 176

— — трением 175

— — ТВЧ

— — ультразвуком 177

Сепараторы 137, 138, 139

Смола П-68 193

— — капроновая литевая 20

— — кремнийорганическая 131

— — полиацеталовая 137

— — терморезистивная 131

— — фенолформальдегидная 155

— — эпоксидная 131, 137, 177, 200

Соединения заклепочные 170

— — замковые 172

— — подвижные — Способы улучшения характеристик 38

— — прессовые 172

— — резьбовые 166—170

— — сварные 173—177

— — цилиндрические — Допуски и посадки 37

— — штифтовые 172

Сополимер — Применение 34 — Свойства 10, 28

— — гранулированный — Применение 34

— — стирола с α -метилстиролом — Применение 34 — Свойства 10, 28

Сополимеры формальдегида СФД — Применение 36 — Свойства 24

Стекло органическое — Склеивание 182—183

Стекловолокно — Применение 131, 137, 139

Стеклопластик — Применение 200

Стеклотекстолит — Применение 36 — Свойства 22, 31

— — конструкционный — Применение 36 — Свойства 22, 30

Стеклофаолит — Применение 200

Стенки деталей 53—60 — Расположение слоев армирующего наполнителя 54 — Типовые сопряжения 53 — Толщина 53, 54, 56, 57

Т

Твердость 107

Текстолит — Применение 35, 116, 137, 139, 153, 158, 159, 186, 191, 194, 195, 200 — Свойства 16

— — графитированный — Применение 35 — Свойства 16

— — конструкционный — Применение 35 — Свойства 16

Термопласты 131 — Склеивание 181 — — самосмазывающиеся стеклонанполненные — Применение 132—133, 159

Тесан 127, 128

Тормоза 155, 156

Торцы деталей — Оформление 61

Точность деталей — Группы точности 39

Трещины — Причины возникновения 48

Трубка брызгальная 122

Трубы — Клеевое соединение 205 — Соединение с накидными гайками 202—204

ТУ 60—67 20

6-05-24-953—74 20

6-05-031-486—72 16

6-05-031-462—71 22

6-05-031-506—74 16

6-05-081-145—72 18

6-05-678-72 6

6-05-898—71 16

6-05-1032—73 18

6-05-1034—74 20

6-05-1309—72 18

6-05-1334-70 22

6-05-1344—71 10

6-05-1365—70 22

6-05-1418—71 24

6-05-1528—72 24

6-05-1543—72 24

6-05-1604—72 10

6-05-1625—73 14

6-05-1668—74 24

П-455—65 20

П-510—68 20

ХП 11-68 180

У

Углубления 80—81

Угол контакта 134

— — обхвата 121

Уклоны — Углы 52

— — технологические 50—53

Уплотнения арматуры с шаровым затвором 197—199

— — для вращающихся деталей 186

— — неподвижных соединений 186, 187

— — торцовые 194—196

— — химически стойкие 196—197

Уретан — Применение 139

Усадка 37, 39

Усилие пресования 45

Усталость 114, 115

Ф

Фаолит — Применение 35, 200 — Свойства 20

Фаски 67, 97

Фенолит — Применение 35

Фенопласты — Применение 131, 139

Форма детали 48

Фрикционные передачи 157

Фторопласт графитонаполненный — Применение 34 — Свойства 8

Фторопласт-3 — Применение 34 — Свойства 8, 27

Фторопласт-4 — Применение 34, 137, 189, 191, 195, 198 — Свойства 8, 27 — Склеивание 182

Фторопласт-4Д — Применение 34 — Свойства 8, 27

Фторопласты — Применение 131, 159, 186, 194, 197, 200

Х

Химическая аппаратура — Расчет деталей 200—202

Ц

Целлулоид белый технический — Применение 36 — Свойства 24

Ч

Червячные передачи — Гарантированный боковой зазор 44

— Допускаемые контактные напряжения 162

— Допуски 43, 44

— Степени точности 43

Ш

Шероховатость поверхности 41

Шкивы зубчатые 147

— — пластмассовые — Конструкция 150

— — плоскоремной передачи — Параметры 148 — Расчет 145

Штифты 172

Э

Эластомеры — Применение 196

Эстеран 127, 128

Этрол ацетилцеллюлозный — Применение 36 — Свойства 24, 32

— — ацетобутиратцеллюлозный — Применение 36 — Свойства 24, 32

ИБ 857

Исаак Яковлевич Альшиц,
Борис Николаевич Благов

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ДЕТАЛЕЙ
ИЗ ПЛАСТМАСС**

Редактор издательства Т. С. Грачева
Технический редактор Л. Т. Зубко
Корректор Н. И. Шарунина
Переплет художника Е. В. Бекетова
Художественный редактор П. П. Рогачев

Сдано в набор 22/X 1976 г. Подписано к печати
15/IV 1977 г. Т-02195. Формат 60×90^{1/16}. Бумага
типографская № 3. Усл. печ. л. 13,5. Уч.-изд.
л. 17,15. Тираж 45 000 экз. Заказ № 892. Цена
90 коп.

Издательство «Машиностроение»,
107885, Москва, Б-78, 1-й Басманный пер., 3.

Ордена Трудового Красного Знамени Ленин-
градское производственно-техническое объеди-
нение «Печатный Двор» имени А. М. Горького
Союзполиграфпрома при Государственном ко-
митете Совета Министров СССР по делам из-
дательств, полиграфии и книжной торговли,
197136, Ленинград, П-136, Гатчинская ул., 26.