

СПРАВОЧНИК технолога- машиностроителя

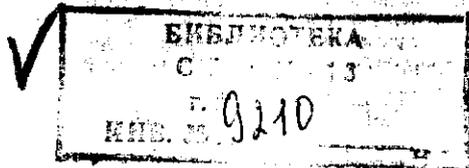
В двух томах

Том 1

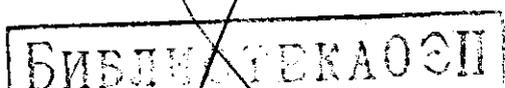
Четвертое издание, переработанное и дополненное

Под редакцией кандидатов технических наук
А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова

-3592-



МОСКВА « МАШИНОСТРОЕНИЕ » 1985



Авторы тома: В. Б. БОРИСОВ, Е. И. БОРИСОВ, В. Н. ВАСИЛЬЕВ, Л. И. ВОЛЧКЕВИЧ, Ю. А. ВОРОБЬЕВ, И. В. ГАЙГАЛ, А. С. КАЛАШНИКОВ, С. Н. КАЛАШНИКОВ, М. А. КАЛИНИН, М. М. КАЛИНИН, Н. М. КАПУСТИН, П. Г. КАЦЕВ, В. К. КОВАЛЕВ, Б. М. КОЗУНКО, А. Г. КОСИЛОВА, А. И. МЕЩЕРЯКОВ, К. Р. МЕЩЕРЯКОВ, Р. К. МЕЩЕРЯКОВ, М. С. НАЕРМАН, А. Н. НОВИКОВ, П. Н. ОРЛОВ, А. А. ПАНОВ, Е. А. ПОПОВ, Э. В. РЫЖОВ, Л. К. СИЗЕНОВ, В. С. СТАРОДУБОВ, М. Ф. СУХОВ, Ю. Л. ФРУМИН, Л. Б. ЦЕЙТЛИН, М. Г. ШЕМЕТОВ

Рецензенты тома: В. В. Мисожников и Б. А. Усов

Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т.
С74 Т. 1/Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1985. 656 с., ил.

В пер.: 3 р. 80 к.

В 1-м томе приведены сведения по точности обработки и качеству поверхностей деталей машин, припуски на механическую обработку, рекомендации по проектированию различных технологических процессов изготовления деталей. Четвертое издание (3-е изд. 1973 г.) переработано в соответствии с новыми ГОСТами, стандартами СЭВ, ЕСКД, ЕСТД и ЕСТПП; дополнено материалами по обеспечению качества и точности обработки деталей на станках с ЧПУ, в гибких производственных системах, на автоматических линиях, по применению промышленных роботов и т. д.

Для инженерно-технических работников всех отраслей машиностроения.

С 2704010000-082 82-85
038(01)-85

ББК 34.5
6П5.4

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1.

ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН (А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков) 6

Требования к точности обработки	6
Таблицы точности обработки	6
Расчет точности обработки	19
Анализ и определение элементарных погрешностей обработки	26
Вероятностно-статистические методы анализа точности обработки (Л. К. Сизенов)	78

Глава 2.

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН (Э. В. Рыжов) 89

Геометрические характеристики качества поверхности деталей	89
Технологическое обеспечение необходимых параметров шероховатости поверхности	91
Волнистость поверхности	97
Параметры физико-механического состояния поверхности	100
Технологическое обеспечение физико-механических свойств поверхности	110
Методы оценки физико-механического состояния поверхности	111

Глава 3.

ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН 114

Выбор заготовок (М. М. Калинин)	114
Отливки	116
Технологическая характеристика (М. М. Калинин)	116
Допуски размеров (Ю. А. Воробьев)	127
Кованые и штампованные заготовки (Е. А. Попов, В. Г. Ковалев)	134
Подготовка исходных заготовок к ковке и горячей штамповке	134
Ковка	135
Горячая штамповка	138
Холодная штамповка	149
Заготовки из проката (М. М. Калинин)	168

Глава 4.

ПРИПУСКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ (М. А. Калинин) 175

Понятие о припуске и методе его определения	175
Расчетные формулы	175
Правила расчета припусков на обработку	176
Порядок определения предельных промежуточных размеров по технологическим переходам и окончательных размеров заготовки	178
Нормативные материалы для расчета припусков	180
Заготовки из проката	180
Отливки	182
Поковки, изготавливаемые ковкой и штамповкой	185
Детали, получаемые электроэрозионной обработкой	189
Детали, получаемые механической обработкой	190
Методика расчета припусков на обработку	191
Примеры расчета припусков и предельных размеров	193

Глава 5.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОПЕРАЦИЙ ОБРАБОТКИ 197

Разработка технологических процессов и высокопроизводительных операций (А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков)	197
Содержание и последовательность технологических разработок	197
Разработка высокопроизводительных операций	200
Проектирование многоинструментных наладок	207
Автоматизация проектирования технологических процессов механосборочного производства (Н. М. Канустин)	209
Методы проектирования технологических процессов	209

Характеристики и основные принципы создания системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР-ТП)	210
Структурный синтез при проектировании технологических процессов	213
Математические модели при автоматизированном проектировании технологических процессов	216
Параметрическая оптимизация	219
Выбор технических средств при диалоговом проектировании технологических процессов	222

Глава 6.

ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

Обработка на токарных станках (Р. К. Мещеряков)	224
Обработка на токарно-карусельных станках (М. Ф. Сухов)	249
Обработка на токарно-револьверных станках (Ю. Л. Фрумин)	263
Обработка на одношпиндельных токарно-многорезцовых полуавтоматах (Л. Б. Цейтлин)	272
Обработка на одношпиндельных и многошпиндельных горизонтальных автоматах и полуавтоматах (Л. Б. Цейтлин)	281
Обработка на многошпиндельных вертикальных токарных полуавтоматах (Л. Б. Цейтлин)	291
Обработка на вертикально- и радиально-сверлильных станках (Ю. Л. Фрумин)	307
Обработка на фрезерных станках (Ю. Л. Фрумин)	323
Обработка на протяжных станках (П. Г. Кацев)	335
Обработка зубьев зубчатых колес (С. Н. Калашиников, А. С. Калашиников)	341
Цилиндрические зубчатые колеса	341
Конические зубчатые колеса	355
Червячные колеса и червяки	369
Прецизионное точение (Л. Б. Цейтлин)	374
Обработка на шлифовальных и хонинговальных станках (М. С. Наерман)	387
Обработка на шлифовальных станках	387
Круглое наружное шлифование	387
Бесцентровое круглое шлифование	403
Шлифование отверстий	415
Плоское шлифование	420
Отделочная обработка абразивным инструментом	427
Тонкое шлифование	428

Хонингование	429
Суперфиниширование	437
Полирование	440
Доводка (П. Н. Орлов)	443
Список литературы	452

Глава 7

ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ НА АГРЕГАТНЫХ СТАНКАХ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ

Обработка деталей на агрегатных станках (Ю. Л. Фрумин)	453
Обработка деталей на автоматических линиях (Ю. Л. Фрумин)	466
Многоинструментная обработка координированных отверстий (А. Г. Косилова, В. Б. Борисов)	473
Особенности многоинструментной обработки	473
Обработка отверстий жестко закрепленным инструментом с направлением	476
Растачивание отверстий при плавающем соединении инструмента со шпинделем станка	486
Растачивание отверстий без направления инструмента	488
Список литературы	489

Глава 8.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ В ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ (Б. М. Козунко, Р. К. Мещеряков, А. А. Паюнов)

Основные понятия	490
Захватные устройства промышленных роботов	503
Основные этапы работ по созданию роботизированных технологических комплексов для механической обработки	509
Проектирование роботизированных технологических процессов	515
Правила оформления документации на роботизированные технологические процессы	517
Пример типовых технологических требований к элементам роботизированных комплексов механической обработки	520
Пример организации и функционирования роботизированных технологических комплексов механической обработки дета-	

лей типа ступицы на базе вертикального токарного восьмишпиндельного станка 1K282	523	Инструментальная оснастка станков с ЧПУ (Р. К. Мецерьков, А. И. Мецерьков)	567	
Пример роботизированной линии механической обработки детали типа вала	524	Точность обработки деталей на станках с ЧПУ и в гибких производственных системах (Р. К. Мецерьков, К. Р. Мецерьков)	571	
Адаптивные промышленные роботы с системами технического зрения (СТЗ) в механообрабатывающих цехах	525	Основные положения	571	
Типовые циклограммы работы роботизированных технологических комплексов механической обработки	526	Элементарные погрешности обработки деталей	574	
Применение промышленных роботов в автоматизированных транспортно-накопительных системах	526	Погрешность линейного позиционирования станков с ЧПУ	576	
Эффективность применения промышленных роботов и роботизированных технологических комплексов	533	Влияние условий обработки на точность деталей	577	
Глава 9.		Методы наладки станков с ЧПУ сверлильно-фрезерно-расточной группы (Р. К. Мецерьков, Е. И. Борисов)	581	
ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ И В ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ		535	Повышение точности обработки деталей на станках с ЧПУ и в гибких производственных системах (Р. К. Мецерьков, В. С. Стародубов)	585
Применение гибких производственных систем при механической обработке деталей (В. Н. Васильев, Р. К. Мецерьков)	535	Производительность станков с ЧПУ и гибких производственных систем (Л. И. Волчкевич, Р. К. Мецерьков)	597	
Основные понятия	535	Особенности нормирования операций, выполняемых на станках с ЧПУ (Р. К. Мецерьков, А. Н. Новиков, М. Г. Шеметов)	603	
Примеры структур гибких производственных систем механической обработки деталей и их характеристики	537	Эффективность обработки деталей на станках с ЧПУ и в гибких производственных системах (Р. К. Мецерьков, В. Н. Васильев)	622	
Требования к технологичности конструкции деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ и в гибких производственных системах (Р. К. Мецерьков, И. В. Гайгал)	542	Основные требования к эксплуатации станков с ЧПУ, обеспечивающие их эффективное использование	622	
Обработка на сверлильно-фрезерно-расточных станках с ЧПУ (Р. К. Мецерьков, И. В. Гайгал, К. Р. Мецерьков)	546	Коэффициент загрузки станка	629	
Основные типы устройств ЧПУ и станков	546	Определение числа условно-высвобождаемых рабочих при внедрении станков с ЧПУ	630	
Системы координат станка с ЧПУ, детали, инструменты	549	Многостаночное обслуживание станков с ЧПУ	631	
Типовые и постоянные циклы обработки элементов деталей	550	Расчет экономической эффективности внедрения станков с ЧПУ	636	
Расчет координатных перемещений	557	Проблемы, возникающие при создании гибких производственных систем высокого уровня (В. Н. Васильев, Р. К. Мецерьков)	638	
Последовательность выполнения периодов обработки деталей	559	Перечень ГОСТов	645	
		Предметный указатель	648	

Глава

1

ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

ТРЕБОВАНИЯ К ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

Качество изготовления продукции определяется совокупностью свойств процесса ее изготовления, соответствием этого процесса и его результатов установленным требованиям. Основными производственными факторами являются качество оборудования и инструмента, физико-химические, механические и другие свойства исходных материалов и заготовок, совершенство разработанного технологического процесса и качество выполнения обработки и контроля.

В машиностроении показатели качества изделий весьма тесно связаны с точностью обработки деталей машин. Полученные при обработке размер, форма и расположение элементарных поверхностей определяют фактические зазоры и натяги в соединениях деталей машин, а следовательно, технические параметры продукции, влияющие на ее качество (например, мощность двигателей, точность станков), надежность и экономические показатели производства и эксплуатации.

Под *погрешностью обработки* понимают отклонение полученного при обработке значения геометрического или другого параметра от заданного. *Абсолютную погрешность* выражают в единицах рассматриваемого параметра: $\Delta X = X_d - X_n$, где X_d и X_n — соответственно действительное (полученное) и номинальное значения параметра. При несимметричном расположении поля допуска относительно номинального значения вместо номинального значения параметра принимают его среднее значение. Отношение абсолютной погрешности к заданному значению параметра называют *относительной погрешностью*: $\Delta X/X_n$ или $\Delta X/X_n \cdot 100\%$. Количественно точность характеризуется обратной величиной модуля относительной погрешности $|\Delta X/X_n|^{-1}$.

Конструктивные допуски и технические требования на изготовление деталей назначают с учетом условий работы деталей в машине. Эти требования обеспечиваются финишными переходами обработки. Однако важно обязательное соблюдение технологического

регламента изготовления детали и на всех предшествующих переходах обработки, так как результаты финишных переходов обработки существенно зависят от качества выполнения предшествующих переходов обработки.

Допуски размеров регламентируются ГОСТ 25346–82 (СТ СЭВ 145–75), допуски формы и расположения — ГОСТ 24643–81 (СТ СЭВ 636–77).

В табл. 1–3 приведены допуски формы цилиндрических и плоских поверхностей и значения параметра шероховатости Ra в зависимости от квалитетов допусков размеров и уровней относительной геометрической точности. При отсутствии указаний о допускаемых отклонениях формы и расположения поверхностей эти отклонения ограничиваются полем допуска на размер. Однако на всех переходах механической обработки отклонения формы и расположения поверхностей рекомендуется ограничивать некоторой частью допуска размера, с тем чтобы исключить возможность появления брака по размеру.

ТАБЛИЦЫ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

Особенности выполнения отдельных операций не позволяют дать заключение о точности обработки по аналогии с другими операциями, так как между ними не бывает всестороннего сходства. В частности, отличаются размеры и форма обрабатываемых заготовок, состояние станков, режимы обработки и другие технологические факторы. Хотя таблицы дают лишь общее представление о возможной точности обработки, они необходимы как справочные данные при проектировании технологических процессов.

Приводимые таблицы содержат ориентировочные данные по точности для различных методов обработки, полученные систематизацией непосредственных наблюдений в производственных условиях.

В табл. 4 и 5 приведены данные о точности и качестве поверхностей при обработке наружных цилиндрических поверхностей и отверстий, а в табл. 6 — данные о точности расположения осей отверстий при растачивании.

Каждому методу обработки соответствует определенный диапазон квалитетов точности

1. Допуски (мкм) формы цилиндрических поверхностей (цилиндричности, круглости и профиля продольного сечения) в зависимости от качества допуска размера

Квалитеты допуска размера при уровне относительной геометрической точности			Интервал номинальных размеров, мм												Степень точности по ГОСТ 24643-81		
			До 3	Св. 3 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 630	Св. 630 до 1000	Св. 1000 до 1600	Св. 1600 до 2500			
А	В	С															
		4	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	1
	4	5	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	2
	5	6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	3
	6	7	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	4
	7	8	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	30	40	5
	8	9	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50	60	6
	9	10	5	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50	60	80	100	8
	10	11	8	10	12	16	20	25	30	40	50	60	80	100	120	160	9
	11	12	12	16	20	25	30	40	50	60	80	100	120	160	200	250	10
			20	25	30	40	50	60	80	100	120	160	200	250	300	400	11
			30	40	50	60	80	100	120	160	200	250	300	400			11

Примечания: 1. Под номинальным размером понимают номинальный диаметр поверхности. 2. Допуски цилиндричности, круглости и профиля продольного сечения (сокращенно «допуски геометрии»), соответствующие уровням: А — нормальной, В — повышенной, С — высокой относительной геометрической точности, составляют примерно 30, 20 и 12% допуска размера. Допуски формы ограничивают отклонения радиуса, а допуски размера — отклонения диаметра поверхности. 3. Допуски геометрии, для которых используется менее 12% допуска размера, характеризуют особо высокую геометрическую точность поверхности. 4. Допуски геометрии назначают в тех случаях, когда они должны быть меньше допуска размера. Исключение составляют случаи, когда истолкование предельных размеров отличается от установленного ГОСТ 25346-82 (СТ СЭВ 145-75), например, для поверхностей, несопрягаемых или легко деформируемых элементов. В этих случаях числовое значение допуска геометрии может превышать допуск размера.

2. Допуски (мкм) прямолинейности, плоскостности и параллельности плоскостей в зависимости от качества допуска размера (по РТМ 2 НЗ1-4-81)

Квалитеты допуска размера при уровне относительной геометрической точности			Интервал номинальных размеров, мм												Св. 2000 до 2500	
			До 3	Св. 3 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 630	Св. 630 до 1000	Св. 1000 до 1250	Св. 1250 до 1600		Св. 1600 до 2000
А	В	С														
		4	0,8	1	1,2	1,6	1,6	2-2,5	3	4	5	8	8	10	12	12
		5	1	1,6	2	2	2,5	3-4	5	6	8	10	10	12	16	20
	4	6	1,2	1,6	2	2,5	3-4	5	6	8	10	12	12	16	20	20
		7	2	2,5	3	4	4	6	8	10	12	20	20	25	30	30
	5	8	1,6	2-2,5	2,5-3	3	4	5-6	6-8	8-10	10-12	12-16	16	20	25	25-30
	6	9	2,5	3-4	4-5	5	6	8-10	10-12	12-16	16-20	20-25	25	30	40	40-50
	7	10	4	5	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50	60	60-80
	8	11	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50	60	80	100	120
	9	12	10	12	16	20	25	30	40	50	60	80	100	120	160	200
	10		16	20	25	30	40	50	60	80	100	120	160	200	250	300
	11		25	30	40	50	60	80	100	120	160	200	250	300	400	500
	12		40	50	60	80	100	120	160	200	250	300	400	500	600	800
			60	80	100	120	160	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200

Примечание. Под номинальным размером понимают размер наибольшей стороны плоской поверхности.

3. Параметр шероховатости поверхности Ra (мкм) детали в зависимости от качества допуска размера и уровня относительной геометрической точности

Уровни относительной геометрической точности при номинальных размерах, мм				Квалитеты допуска размера											
До 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 500	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12 и 13	14 и 15	16 и 17
С	С-	-С		-	-	-	-	-	-	0,8	0,8	1,6	-	-	-
-В	С-	-С		0,05	0,1	0,1	0,2	0,4	0,4	1,6	1,6	1,6-3,2	6,3	12,5	25
А-	В	-В	С	0,1	0,2	0,2	0,4	0,8	0,8	3,2	3,2	3,2	6,3	12,5	25
*	-А		В-	0,2	0,4	0,4	0,8	1,6	1,6	3,2	3,2	6,3	12,5	25	50
	*		А-	0,4	0,8	0,8	1,6	3,2	3,2	3,2	6,3	6,3	12,5	25	50
			*-	0,2-0,4-0,8	0,4-0,8-1,6	0,8-1,6-3,2	1,6-3,2	3,2	3,2	6,3	6,3	12,5	25	50	100
			-*	0,4-0,8	0,8-1,6	1,6-3,2	3,2	3,2	3,2	6,3	6,3	12,5	25	50	100

Примечания: 1. По данным РТМ 2 НЗ1-4-81. 2. В таблице установлены наиболее грубые пределы (наибольшие допускаемые) параметра Ra .

Приняты следующие соотношения для уровней относительной точности: $Ra \leq 0,05 IT$ ($Rz \leq 0,2 IT$) — для уровня А (нормальный); $Ra \leq 0,025 IT$ ($Rz \leq 0,1 IT$) — для уровня В (повышенной); $Ra \leq 0,012 IT$ ($Rz \leq 0,05 IT$) — для уровня С (высокой), где IT — допуск соответствующего размера. 3. Для особо высокой относительной геометрической точности (допуски формы составляют менее 25% допуска размера) $Ra < 0,15 T_F$ ($Rz < 0,6 T_F$), где T_F — допуск формы. 4. При заданных допусках бienia T_c (радиального, торцового, в заданном направлении, полного радиального, полного торцового бienia) рекомендуется назначать $Ra \leq 0,1 T_c$ ($Rz \leq 0,4 T_c$). 5. Знак * означает, что рассматривается случай, когда допуски формы не указаны на чертеже, т. е. допуски формы ограничиваются полем допуска размера. 6. Знак (-) перед или после обозначения уровня относительной точности означает, что следует назначать величину Ra , указанную в таблице относительно знака (-). Например, по 11-му качеству для -В и -С принимают $Ra = 3,2$ мкм; для С — принимают $Ra = 1,6$ мкм.

4. Точность и качество поверхности при обработке наружных цилиндрических поверхностей

Обработка	Параметр шероховатости Ra , мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска размера	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах поверхности, мм											
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
Обтачивание: черновое	50-6,3	120-60	14	-	-	-	-	620	740	870	1000	1150	1300	1400	1550
			13	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970
			12	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
получистовое или однократное	25-1,6	50-20	13	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970
			12	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
чистовое	6,3-0,4	30-20	11	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
			10	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
			9	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
			8	18	22	27	33	39	46	57	63	72	81	89	97

Продолжение табл. 4

Обработка	Параметр шероховатости поверхности Ra , мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска размера	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах поверхности, мм																								
				Св. 3 до 6		Св. 6 до 10		Св. 10 до 18		Св. 18 до 30		Св. 30 до 50		Св. 50 до 80		Св. 80 до 120		Св. 120 до 180		Св. 180 до 250		Св. 250 до 315		Св. 315 до 400		Св. 400 до 500		
				Св. 3	до 6	Св. 6	до 10	Св. 10	до 18	Св. 18	до 30	Св. 30	до 50	Св. 50	до 80	Св. 80	до 120	Св. 120	до 180	Св. 180	до 250	Св. 250	до 315	Св. 315	до 400	Св. 400	до 500	
Обтачивание тонкое	1,6-0,2	10-5	9	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155	8	18	22	27	33	39	46	57	63	72	81	89	97
Шлифование: предварительное чистовое тонкое	6,3-0,4	20	9	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155	7	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
	3,2-0,2	15-5	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	5	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
	1,6-0,1	5	5	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	4	4	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	22
Притирка, суперфиниширование	0,8-0,1	5-3	4	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	20	23	25	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Обкатывание, алмазное выглаживание	0,8-0,05	-	10	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250	9	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
			8	18	22	27	33	39	46	57	63	72	81	89	97	6	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
			7	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
			6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	5	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
			5	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	4	4	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	22

Обработка	Степень точности формы по ГОСТ 24643-81	Допуски формы (мкм) при номинальных диаметрах поверхности, мм			
		Св. 3 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50
Обтачивание: черновое получистовое или однократное чистовое тонкое	11-12-13	-	-	-	80-120-200
	10-11-12	25-40-60	30-50-80	40-60-100	50-80-120
	9-10-11	16-25-40	20-30-50	25-40-60	30-50-80
	10-11-12	25-40-60	30-50-80	40-60-100	50-80-120
	9-10-11	16-25-40	20-30-50	25-40-60	30-50-80
	8-9-10	10-16-25	12-20-30	16-25-40	20-30-50
	7-8-9	6-10-16	8-12-20	10-16-25	12-20-30
	6-7-8	4-6-10	5-8-12	6-10-16	8-12-20
	5-6-7	2,5-4-6	3-5-8	4-6-10	5-8-12
	6-7-8	4-6-10	5-8-12	6-10-16	8-12-20
Шлифование: предварительное чистовое тонкое	6-7-8	4-6-10	5-8-12	6-10-16	8-12-20
	5-6-7	2,5-4-6	3-5-8	4-6-10	5-8-12
	4-5-6	1,6-2,5-4	2-3-5	2,5-4-6	3-5-8
	3-4-5	1,0-1,6-2,5	1,2-2-3	1,6-2,5-4	2-3-5
	3-4-5	1,0-1,6-2,5	1,2-2-3	1,6-2,5-4	2-3-5
Притирка, суперфиниширование	2-3-4	0,6-1,0-1,6	0,8-1,2-2	1,0-1,6-2,5	1,2-2-3
	2-3-4	0,6-1,0-1,6	0,8-1,2-2	1,0-1,6-2,5	1,2-2-3
	1-2-3	0,4-0,6-1,0	0,5-0,8-1,2	0,6-1,0-1,6	0,8-1,2-2
	1-2-3	0,4-0,6-1,0	0,5-0,8-1,2	0,6-1,0-1,6	0,8-1,2-2

Продолжение табл. 4

Обработка	Степень точности формы по ГОСТ 24643-81	Допуски формы (мкм) при номинальных диаметрах поверхности, мм			
		Св. 3 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50
Обкатывание, алмазное выглаживание	7-8-9	6-10-16	8-12-20	10-16-25	12-20-30
	6-7-8	4-6-10	5-8-12	6-10-16	8-12-20
	5-6-7	2,5-4-6	3-5-8	4-6-10	5-8-12
	4-5-6	1,6-2,5-4	2-3-5	2,5-4-6	3-5-8
	3-4-5	1,0-1,6-2,5	1,2-2-3	1,6-2,5-4	2-3-5
	2-3-4	0,6-1,0-1,6	0,8-1,2-2	1,0-1,6-2,5	1,2-2-3
Обработка	Степень точности формы по ГОСТ 24643-81	Допуски формы (мкм) при номинальных диаметрах поверхности, мм			
		Св. 50 до 120	Св. 120 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 500
Обтачивание: черновое	11-12-13	100-160-240	120-200-300	160-240-400	200-300-500
	10-11-12	60-100-160	80-120-200	100-160-240	120-200-300
	9-10-11	40-60-100	50-80-120	60-100-160	80-120-200
	10-11-12	60-100-160	80-120-200	100-160-240	120-200-300
получистовое или однократное чистовое	9-10-11	40-60-100	50-80-120	60-100-160	80-120-200
		25-40-60	30-50-80	40-60-100	50-80-120
тонкое	8-9-10	16-25-40	20-30-50	25-40-60	30-50-80
	7-8-9	10-16-25	12-20-30	16-25-40	20-30-50
	6-7-8	6-10-16	8-12-20	10-16-25	12-20-30
	5-6-7	10-16-25	12-20-30	16-25-40	20-30-50
	6-7-8	6-10-16	8-12-20	10-16-25	12-20-30
Притирка, суперфиниширование	4-5-6	4-6-10	5-8-12	6-10-16	8-12-20
	3-4-5	2,5-4-6	3-5-8	4-6-10	5-8-12
	6-7-8	10-16-25	12-20-30	16-25-40	20-30-50
	5-6-7	6-10-16	8-12-20	10-16-25	12-20-30
Шлифование: предварительное чистовое	4-5-6	2,5-4-6	3-5-8	4-6-10	5-8-12
	3-4-5	2,5-4-6	3-5-8	4-6-10	5-8-12
	2-3-4	1,6-2,5-4	2-3-5	2,5-4-6	3-5-8
	2-3-4	1,6-2,5-4	2-3-5	2,5-4-6	3-5-8
	1-2-3	1,0-1,6-2,5	1,2-2-3	1,6-2,5-4	2-3-5
Обкатывание, алмазное выглаживание	7-8-9	16-25-40	20-30-50	25-40-60	30-50-80
	6-7-8	10-16-25	12-20-30	16-25-40	20-30-50
	5-6-7	6-10-16	8-12-20	10-16-25	12-20-30
	4-5-6	4-6-10	5-8-12	6-10-16	8-12-20
	3-4-5	2,5-4-6	3-5-8	4-6-10	5-8-12
	2-3-4	1,6-2,5-4	2-3-5	2,5-4-6	3-5-8

Примечания: 1. Приведенные в таблице данные относятся к деталям из стали. Для деталей из чугуна или цветных сплавов допуски на размер и допуски формы можно принимать соответственно на один квалитет и одну степень точнее. 2. Допуски на размер и допуски формы действительны для поверхностей с $l/d < 2$. При $l/d = 2 \div 10$ допуски принимать соответственно на один-два квалитета и одну-две степени точности формы грубее. 3. Допуски формы (цилиндричности, круглости и профиля продольного сечения — сокращенно «допуски геометрии») указаны для уровней С-В-А (С — высокой, В — повышенной и А — нормальной) относительной геометрической точности. 4. Указанные в таблице значения параметра Ra примерно соответствуют уровням А-С относительной геометрической точности, причем $Rz = 4Ra$.

5. Точность и качество поверхности при обработке отверстий

Обработка	Параметр шероховатости поверхности, Ra, мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска размера	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах отверстий, мм												
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	
				Сверление и рас- сверливание	25-0,8	70-15	13 12 11 10 9	- - 75 48 30	- - 90 58 36	270 180 110 70 43	330 210 130 84 52	390 250 160 100 62	460 300 190 120 74	-	-	-
Зенкерование: черновое	25-6,3	50-20	13 12	- -	- -	270 180	330 210	390 250	460 300	540 350	-	-	-	-	-	
однократное литого или прошитого от- верстия; чистовое после чернового или сверления	25-0,4	50-20	13 12 11 10 9 8	- -	- -	270 180 110 70 43 27	330 210 130 84 52 33	390 250 160 100 62 39	460 300 190 120 74 46	540 350 220 140 87 57	-	-	-	-	-	
Развертывание: нормальное	12,5-0,8	25-15	11 10	75 48	90 58	110 70	130 84	160 100	190 120	220 140	250 160	290 185	320 210	360 230	-	
точное	6,3-0,4	15-5	9 8 7	30 18 12	36 22 15	43 27 18	52 33 21	62 39 25	74 46 30	87 57 35	100 63 40	115 72 46	130 81 52	140 89 57	-	
тонкое	3,2-0,1	10-5	6 5	8 5	9 6	11 8	13 9	16 11	19 13	22 15	25 18	29 20	32 23	36 25	-	
Протягивание: черновое	12,5-0,8	25-10	11 10	- -	- -	- -	- -	160 100	190 120	220 140	250 160	-	-	-	-	
литого или прошитого от- верстия	6,3-0,2	10-5	9 8 7 6	- -	- -	43 27 18 11	52 33 21 13	62 39 25 16	74 46 30 19	87 57 35 22	100 63 40 25	-	-	-	-	
чистовое после черново- го или после сверления	25-1,6	50-20	13 12 11	180 120 75	220 150 90	270 180 110	330 210 130	390 250 160	460 300 190	540 350 220	630 400 250	720 460 290	810 520 320	890 570 360	970 630 400	
чистовое	6,3-0,4	25-10	10 9 8	48 30 18	58 36 22	70 43 27	84 52 33	100 62 39	120 74 46	140 87 57	160 100 63	185 115 72	210 130 81	230 140 89	250 155 97	

Продолжение табл. 5

Обработка	Параметр шероховатости поверхности Ra, мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска размера	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах отверстий, мм											
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
Растачивание тонкое	3,2-1,6	10-5	7 6 5	12 8 5	15 9 6	18 11 8	21 13 9	25 16 11	30 19 13	35 22 15	40 25 18	46 29 20	52 32 23	57 36 25	63 40 27
Шлифование: предварительное	6,3-0,4	25-10	9 8	- -	- -	43 27	52 33	62 39	74 46	87 57	100 63	115 72	130 81	140 89	155 97
чистовое	3,2-0,2	20-5	7 6	- -	- -	18 11	21 13	25 16	30 19	35 22	40 25	46 29	52 32	57 36	63 40
тонкое	1,6-0,1	10-5	5	-	-	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
Притирка, хонингование	1,6-0,1	5-3	5 4	5 4	6 4	8 5	9 6	11 7	13 8	15 10	18 12	20 14	23 16	25 18	27 20
Раскатывание, калибрование, алмазное выглаживание	6,3-0,1	-	10 9 8 7 6 5	- - - - -	58 36 22 15 9 6	70 43 27 18 11 8	84 52 33 21 13 9	100 62 39 25 16 11	120 74 46 30 19 13	140 87 57 35 22 15	160 100 72 40 25 18	185 115 72 46 29 20	210 130 81 52 32 23	230 140 89 57 36 25	250 155 97 63 40 27

Обработка	Степень точности формы по ГОСТ 24643-81	Допуски формы (мкм) при номинальных диаметрах отверстий, мм			
		Св. 3 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50
Сверление и растачивание	10-11-12 9-10-11 8-9-10 7-8-9 6-7-8	- - 10-16-25 6-10-16 4-6-10	30-50-80 20-30-50 12-20-30 8-12-20 5-8-12	40-60-100 25-40-60 16-25-40 10-16-25 6-10-16	50-80-120 30-50-80 20-30-50 12-20-30 8-12-20
Зенкерование: черновое	10-11-12 9-10-11	-	30-50-80 20-30-50	40-60-120 25-40-60	50-80-120 30-50-80
однократное литого или прошитого отверстия; чистовое после чернового или сверления	10-11-12 9-10-11 8-9-10 7-8-9 6-7-8 5-6-7	-	30-50-80 20-30-50 12-20-30 8-12-20 5-8-12 3-5-8	40-60-120 25-40-60 16-25-40 10-16-25 6-10-16 4-6-10	50-80-120 30-50-80 20-30-50 12-20-30 8-12-20 5-8-12

Продолжение табл. 5

Обработка	Степень точности формы по ГОСТ 24643-81	Допуски формы (мкм) при номинальных диаметрах отверстий, мм			
		Св. 3 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50
Развертывание: нормальное	8-9-10 7-8-9	10-16-25 6-10-16	12-20-30 8-12-20	16-25-40 10-16-25	20-30-50 12-20-30
точное	6-7-8 5-6-7 4-5-6	4-6-10 2,5-4-6 1,6-2,5-4	5-8-12 3-5-8 2-3-5	6-10-16 4-6-10 2,5-4-6	8-12-20 5-8-12 3-5-8
тонкое	3-4-5 2-3-4	1,0-1,6-2,5 0,6-1,0-1,6	1,2-2-3 0,8-1,2-2	1,6-2,5-4 1,0-1,6-2,5	2-3-5 1,2-2-3
Протягивание: черновое литого или прошитого отверстия	8-9-10 7-8-9	-	-	-	20-30-50 12-20-30
чистовое после черново- го или после сверления	6-7-8 5-6-7 4-5-6 3-4-5	-	5-8-12 3-5-8 2-3-5 1,2-2-3	6-10-25 4-6-10 2,5-4-6 1,6-2,5-4	8-12-20 5-8-12 3-5-8 2-3-5
Растачивание: черновое	10-11 9-10-11 8-9-10	25-40-60 16-25-40 10-16-25	30-50-80 20-30-50 12-20-30	40-60-100 25-40-60 16-25-40	50-80-120 30-50-80 20-30-50
чистовое	7-8-9 6-7-8 5-6-7	6-10-16 4-6-10 2,5-4-6	8-12-20 5-8-12 3-5-8	10-16-25 6-10-16 4-6-10	12-20-30 8-12-20 5-8-12
тонкое	4-5-6 3-4-5 2-3-4	1,6-2,5-4 1,0-1,6-2,5 0,6-1,0-1,6	2-3-5 1,2-2-3 0,8-1,2-2	2,5-4-6 1,6-2,5-4 1,0-1,6-2,5	3-5-8 2-3-5 1,2-2-3
Шлифование: предваритель- ное	6-7-8 5-6-7	-	5-8-12 3-5-8	6-10-16 4-6-10	8-12-20 5-8-12
чистовое	4-5-6 3-4-5	-	2-3-5 1,2-2-3	2,5-4-6 1,6-2,5-4	3-5-8 2-3-5
тонкое	2-3-4	-	0,8-1,2-2	1,0-1,6-2,5	1,2-2-3
Притирка, хонин- гование	2-3-4 1-2-3	0,6-1,0-1,6 0,4-0,6-1,0	0,8-1,2-2 0,5-0,8-1,2	1,0-1,6-2,5 0,6-1,0-1,6	1,2-2-3 0,8-1,2-2
Раскатывание, калибрование, ал- мазное выглажи- вание	7-8-9 6-7-8 5-6-7 4-5-6 3-4-5 2-3-4	6-10-16 4-6-10 2,5-4-6 1,6-2,5-4 1,0-1,6-2,5 0,6-1,0-1,6	8-12-20 5-8-12 3-5-8 2-3-5 1,2-2-3 0,8-1,2-2	10-16-25 6-10-16 4-6-10 2,5-4-6 1,6-2,5-4 1,0-1,6-2,5	12-20-30 8-12-20 5-8-12 3-5-8 2-3-5 1,2-2-3

Продолжение табл. 5

Обработка	Степень точности формы по ГОСТ 24643-81	Допуски формы (мкм) при номинальных диаметрах отверстий, мм			
		Св. 50 до 120	Св. 120 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 500
Сверление и рас- сверливание	10-11-12 9-10-11 8-9-10 7-8-9 6-7-8	60-100-160 40-60-100 25-40-60 16-25-40 10-16-25			
Зенкерование: черновое	10-11-12 9-10-11	60-100-160 40-60-100	-	-	-
однократное литого или прошитого отверстия чистовое после черно- вого или свер- ления	10-11-12 9-10-11 8-9-10 7-8-9 6-7-8 5-6-7	60-100-160 40-60-100 25-40-60 16-25-40 10-16-25 6-10-16	-	-	-
Развертывание: нормальное	8-9-10 7-8-9	25-40-60 16-25-40	30-50-80 20-30-50	40-60-100 25-40-60	-
точное	6-7-8 5-6-7 4-5-6	10-16-25 6-10-16 4-6-10	12-20-30 8-12-20 5-8-12	16-25-40 10-16-25 6-10-16	-
тонкое	3-4-5 2-3-4	2,5-4-6 1,6-2,5-4	3-5-8 2-3-5	4-6-10 2,5-4-6	-
Протягивание: черновое литого или прошитого отверстия	8-9-10 7-8-9	25-40-60 16-25-40	30-50-80 20-30-50	-	-
чистовое после черно- вого или пос- ле сверления	6-7-8 5-6-7 4-5-6 3-4-5	10-16-25 6-10-16 4-6-10 2,5-4-6	12-20-30 8-12-20 5-8-12 3-5-8	-	-
Растачивание: черновое	10-11-12 9-10-11 8-9-10	60-100-160 40-60-1000 25-40-60	80-120-200 50-80-120 30-50-80	100-160-240 60-100-160 40-60-100	120-200-300 80-120-200 50-80-120
чистовое	7-8-9 6-7-8 5-6-7	16-25-40 10-16-25 6-10-16	20-30-50 12-20-30 8-12-20	25-40-60 16-25-40 10-16-25	30-50-80 20-30-50 12-20-30
тонкое	4-5-6 3-4-5 2-3-4	4-6-10 2,5-4-6 1,6-2,5-4	5-8-12 3-5-8 2-3-5	6-10-16 4-6-10 2,5-4-6	8-12-20 5-8-12 3-5-8

Продолжение табл. 5

Обработка	Степень точности формы по ГОСТ 24643-81	Допуски формы (мкм) при номинальных диаметрах отверстий, мм			
		Св. 50 до 120	Св. 120 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 500
Шлифование: предварительное	6-7-8	10-16-25	12-20-30	16-25-40	20-30-50
	5-6-7	6-10-16	8-12-20	10-16-25	12-20-30
чистовое	4-5-6	4-6-10	5-8-12	6-10-16	8-12-20
	3-4-5	2,5-4-6	3-5-8	4-6-10	5-8-12
тонкое	2-3-4	1,6-2,5-4	2-3-5	2,5-4-6	3-5-8
Притирка, хонингование	2-3-4	1,6-2,5-4	2-3-5	2,5-4-6	3-5-8
	1-2-3	1,0-1,6-2,5	1,2-2-3	1,6-2,5-4	2-3-5
Раскатывание, калибрование, алмазное выглаживание	7-8-9	16-25-40	20-30-50	25-40-60	30-50-80
	6-7-8	10-16-25	12-20-30	16-25-40	20-30-50
	5-6-7	6-10-16	8-12-20	10-16-25	12-20-30
	4-5-6	4-6-10	5-8-12	6-10-16	8-12-20
	3-4-5	2,5-4-6	3-5-8	4-6-10	5-8-12
	2-3-4	1,6-2,5-4	2-3-5	2,5-4-6	3-5-8

Примечание: См. примечания к табл. 4.

6. Точность расположения осей отверстий при растачивании

Станки	Методы координации инструмента	Отклонение межосевого расстояния, мкм
Токарные	Перемещением салазок на угольнике	100-300
Горизонтально-расточные	По шкале с нониусом	200-400
	По концевым мерам	50-100
	По индикаторному упору	40-80
	По кондуктору	50-100
	При программном управлении установкой координат	25-60
Координатно-расточные	По оптическим приборам	4-20
Алмазно-расточные	—	10-50
Агрегатно-расточные многошпиндельные	С направлением борштанг	25-70
	Без направления инструмента ¹	50-100

¹ При вылете инструмента $l \leq 3 + 4d$.

размеров, степеней точности формы, параметров шероховатости поверхности Ra и глубины дефектного слоя. Для черновых переходов обработки это в первую очередь связано с точностью исходной заготовки, для чистовых — с точностью выполнения предшествующих переходов обработки и с условиями осуществления данного перехода. Точность на каждом последующем переходе обработки данной элементарной поверхности обычно повышается на черновых переходах на один — три квалитета или одну — три степени точности, на чистовых — на один — два квалитета точности размера или одну — две степени точности формы обрабатываемой поверхности. Для деталей из чугуна, цветных сплавов размеры обрабатываемых поверхностей выдерживают на один квалитет, а отклонения формы — на одну степень точности выше, чем для деталей из стали, обрабатываемых в аналогичных условиях.

Обработка отверстий осевым режущим ин-

струментом часто выполняется на многошпиндельных станках, на которых условия обеспечения точности отличаются от условий одноинструментной последовательной обработки на универсальных сверлильных станках.

При одновременном сверлении отверстий с $l \leq 5d$ обеспечивается точность диаметральных размеров 13-го квалитета; при зенкерования — 8–11-го квалитетов; при развертывании — 7-го квалитета.

На точность отверстий при зенкерования влияет, выполняется ли оно после сверления или для отверстий, полученных в отливках или поковках.

В табл. 7–9 приведены допуски расположения осей отверстий, обеспечиваемые на агрегатных многошпиндельных станках.

Повышению точности при зенкерования и развертывании способствует: работа с минимальным вылетом конца инструмента за торец втулки; увеличение длины направляющей втулки; уменьшение зазора в сопряжении

7. Допуски (мм) расположения осей отверстий после сверления

Параметр	Диаметр отверстия, мм	Материал детали			
		Чугун и алюминий		Сталь	
		Сверло по ГОСТ 885–77			
		общего назначения	точного исполнения	общего назначения	точного исполнения
Смещение оси отверстия относительно: оси кондукторной втулки	До 6	0,13	0,12	0,18	0,17
	Св. 6 до 10	0,13	0,11	0,18	0,16
	» 10 » 18	0,15	0,13	0,20	0,18
	» 18 » 30	0,20	0,18	0,28	0,26
	» 30 » 50	0,27	0,25	0,38	0,36
технологических баз ¹	До 6	0,17	0,15	0,23	0,21
	Св. 6 до 10	0,17	0,15	0,22	0,20
	» 10 » 18	0,18	0,17	0,25	0,23
	» 18 » 30	0,25	0,23	0,34	0,32
	» 30 » 50	0,32	0,30	0,46	0,44
Расстояние между осями двух отверстий, обработанных одновременно на одной позиции	До 6	±0,23	±0,20	±0,31	±0,29
	Св. 6 до 10	±0,23	±0,20	±0,31	±0,28
	» 10 » 18	±0,25	±0,23	±0,34	±0,31
	» 18 » 30	±0,35	±0,32	±0,48	±0,45
	» 30 » 40	±0,45	±0,42	±0,65	±0,61

¹ Без учета погрешности базирования заготовки.

Примечание. При сверлении отверстий комбинированными сверлами табличные значения смещения осей должны быть увеличены: при $l = (2 \div 3)d$ — в 1,8 раза; при $l > 3d$ — в 2,5–2,8 раза.

8. Допуски (мм) расположения осей отверстий после зенкерования

Параметр	Диаметр обрабатываемого отверстия, мм	Материал детали					
		Чугун		Алюминий		Сталь	
		Крепление инструмента					
		жесткое	плавающее	жесткое	плавающее	жесткое	плавающее
Смещение обрабатываемого отверстия относительно: оси отверстия втулки	До 12	0,10	0,08	0,11	0,09	0,10	0,12
	Св. 12 до 18	0,09	0,08	0,11	0,10	0,12	0,12
	» 18 » 30	0,12	0,10	0,15	0,12	0,17	0,13
	» 30 » 50	0,14	0,13	0,18	0,14	0,20	0,16
	» 50 » 60	—	0,06	—	0,07	—	0,07
	» 60 » 80	—	0,07	—	0,07	—	0,07
технологических баз ¹	До 12	0,12	0,10	0,14	0,12	0,15	0,13
	Св. 12 до 18	0,12	0,11	0,14	0,13	0,15	0,13
	» 18 » 30	0,16	0,14	0,19	0,15	0,21	0,17
	» 30 » 50	0,18	0,16	0,22	0,18	0,25	0,19
	» 50 » 60	—	0,09	—	0,10	—	0,10
	» 60 » 80	—	0,10	—	0,10	—	0,10
Расстояние между осями двух одновременно обработанных на одной позиции автоматической линии отверстий	До 12	0,16	0,14	0,19	0,16	0,21	0,17
	Св. 12 до 18	0,16	0,15	0,19	0,17	0,20	0,18
	» 18 » 30	0,21	0,19	0,26	0,21	0,29	0,23
	» 30 » 50	0,24	0,22	0,30	0,25	0,34	0,26
	» 50 » 60	—	0,11	—	0,12	—	0,13
	» 60 » 80	—	0,13	—	0,13	—	0,13

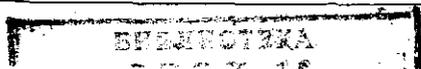
¹ Без учета погрешности базирования заготовки.

9. Допуски (мм) расположения осей отверстий после развертывания

Параметр	Диаметр отверстия, мм	Точность кондукторной втулки	
		повышенная	высокая
Смещение оси обрабатываемого отверстия относительно: оси постоянной кондукторной втулки	До 18	0,042	0,038
	Св. 18 до 30	0,047	0,045
	» 30 » 50	0,052	0,049
	» 50 » 80	0,018	0,016
технологических баз ¹	До 18	0,070	0,066
	Св. 18 до 30	0,074	0,072
	» 30 » 50	0,079	0,076
	» 50 » 80	0,053	0,052
Расстояние между осями двух отверстий, обработанных одновременно на одной позиции автоматической линии	До 18	0,070	0,067
	Св. 18 до 30	0,076	0,069
	» 30 » 50	0,092	0,087
	» 50 » 80	0,039	0,036

¹ Без учета погрешности базирования заготовки.

Примечание. При сверлении и развертывании отверстия комбинированным инструментом точность расположения осей отверстий соответствует точности зенкерования (см. табл. 8).



10. Рекомендуемый диаметр сверл для отверстий под нарезание резьбы (по рекомендуемому приложению к ГОСТ 19257-73)

Размеры, мм

Номинальный диаметр резьбы	Шаг резьбы P	Диаметр сверла		Номинальный диаметр резьбы	Шаг резьбы P	Диаметр сверла		Номинальный диаметр резьбы	Шаг резьбы P	Диаметр сверла	
		*1	*2			*1	*2			*1	*2
1,0	0,2	0,80	0,82	4,5	0,5	4,00	—	11	0,5	10,50	10,60
	0,25	0,75	0,80		0,75	3,75	3,90		0,75	10,25	10,30
1,1	0,2	0,90	0,92	5,0	0,5	4,50	4,60	12	1,0	10,00	10,10
	0,25	0,85	0,90		0,8	4,20	4,30		1,5	9,50	9,70
1,2	0,2	1,00	1,05	5,5	0,5	5,00	5,10	14	0,5	11,50	—
	0,25	0,95	1,00		0,75	—	—		0,75	11,25	11,30
1,4	0,2	1,00	1,25	6,0	0,5	5,50	5,60	15	1,0	11,00	11,10
	0,3	1,10	1,15		0,75	5,25	5,30		1,25	10,80	10,90
1,6	0,2	1,40	1,45	7,0	1,00	5,00	5,10	16	1,5	10,50	10,70
	0,35	1,25	1,30		0,5	6,50	6,60		0,75	13,50	—
1,8	0,2	1,60	1,65	8	0,75	6,25	6,30	17	1,0	13,25	13,30
	0,35	1,45	1,50		1,0	6,00	6,10		1,25	13,00	13,10
2,0	0,25	1,75	1,80	9	0,5	7,50	7,60	18	1,5	12,80	—
	0,4	1,60	1,65		0,75	7,25	7,30		2,0	12,50	12,70
2,2	0,25	1,95	2,00	10	1,0	7,00	7,10	19	1,5	12,00	12,20
	0,45	1,75	1,80		1,25	6,80	6,90		1,0	14,00	—
2,5	0,35	2,15	2,20	11	0,5	8,50	8,60	20	1,5	13,50	13,70
	0,45	2,05	2,10		0,75	8,25	8,30		0,5	15,50	—
3,0	0,35	2,65	2,70	12	1,0	8,00	8,10	21	0,75	15,25	—
	0,5	2,50	2,60		1,25	7,80	7,90		1,0	15,00	—
3,5	0,35	3,15	3,20	13	0,5	9,50	9,60	22	1,5	14,50	—
	0,6	2,90	2,95		0,75	9,25	9,30		2,0	14,00	14,20
4,0	0,5	3,50	3,60	14	1,0	9,00	9,10	23	—	—	—
	0,7	3,30	3,40		1,25	8,80	8,90		—	—	—
				15	1,5	8,50	8,70	17-52	P	$(d - P)$	—

*1 Обработка отверстий в деталях из серого чугуна — по ГОСТ 1412-79; из сталей — по ГОСТ 380-71; ГОСТ 1050-74; ГОСТ 4543-71; ГОСТ 10702-78; ГОСТ 5632-72 (кроме сплавов на никелевой основе); ГОСТ 20072-74; из алюминиевых литейных сплавов — по ГОСТ 2685-75; из меди — по ГОСТ 859-78.

*2 Обработка отверстий в деталях из материалов повышенной вязкости: сплавов магния — по ГОСТ 804-72; алюминиевых — по ГОСТ 4784-74; латуни — по ГОСТ 15527-70; титановых сплавов, сталей и сплавов высоколегированных, коррозионно-стойких, жаростойких, жаропрочных (на никелевой основе) — по ГОСТ 5632-72 и ГОСТ 20072-74.

втулка — инструмент (при развертывании — до 5-12 мкм для отверстий диаметром до 25 мм); применение схемы направления по пояску на цилиндрической поверхности вспомогательного инструмента вместо схемы направления по режущей части; применение плавающего соединения инструмента со шпинде-

лем станка. При наиболее благоприятных условиях после развертывания можно обеспечить точность расположения оси отверстия от баз 0,04 мм, а межосевое расстояние — $\pm 0,035$ мм.

В табл. 10 приведены диаметры сверл для отверстий под нарезание резьбы.

РАСЧЕТ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

Методы получения размеров. Заданные размеры могут быть выдержаны при наладке технологической системы:

индивидуальной, при которой каждую деталь обрабатывают после новой наладки (к ней относят наладку путем пробных рабочих ходов и измерений);

партионной, называемой также способом автоматического получения размеров, при котором заданную партию деталей обрабатывают после одной наладки; к ней относят обработку осевым инструментом (сверлами, зенкерами, развертками, протяжками), обработку деталей на предварительно налаженных токарных, фрезерных и других станках. К этому же способу относят обработку на автоматическом оборудовании (станки с ЧПУ, станочные гибкие производственные системы и т. п.) с применением систем автоматического управления и контроля. В этом случае можно уменьшить не только допуск размера (отклонения размера не превышают 2–40 мкм), но и допуск формы и расположения обрабатываемых поверхностей (отклонения не превышают 5–20 мкм).

Различают два способа получения размеров заготовки:

индивидуальный, когда точность заготовок зависит от произвольного сочетания условий изготовления каждой отдельной заготовки (например, для отливок — от плотности форм, для поковок, выполненных ковкой, — от условийковки, от профессиональных навыков и качества работы оператора);

автоматический, когда точность заготовок определяется погрешностями регулирования, наладки соответствующего оборудования, точностью изготовления инструмента, влиянием нарастающего износа инструмента (литье под давлением, получение заготовок штамповкой в штампах).

Способы получения размеров заготовок и деталей при механической обработке тесно связаны между собой. Заготовки, полученные индивидуальным способом, обычно устанавливают на станках с помощью выверки. Положение инструмента также обеспечивают индивидуальным способом. Обработка на автоматическом оборудовании (автоматических линиях, автоматах, станках с ЧПУ, в том числе встроенных в гибкие производственные модули и системы) проводится способом партионной наладки технологической системы. В этом

случае необходимо иметь более точные заготовки вне зависимости от программы выпуска изделий.

Эти особенности получения размеров учитывают при определении элементарных погрешностей установки заготовок для обработки, наладки технологических систем и т. п., а также при определении суммарной погрешности обработки.

Модель. Для изучения и выявления закономерностей процессов обработки деталей часто прибегают к их исследованию с помощью моделей, отражающих основные свойства объектов моделирования. Изучение свойств объекта моделирования с помощью анализа аналогичных свойств его модели представляет собой процесс моделирования. Различают физические и математические методы моделирования. Физическое моделирование предназначено для исследования натуральных моделей подобия, воспроизводящих объект моделирования в меньшем масштабе. Математическое моделирование основано на том, что реальные процессы в объекте моделирования описывают определенными математическими соотношениями, устанавливающими связь между входными и выходными воздействиями. Математическое моделирование, сохраняя основные черты протекающих явлений, основано на упрощении и схематизации. Математические модели являются моделями неполной аналогии.

Для успешного использования модели необходимо, чтобы она количественно и качественно верно описывала свойства объекта моделирования, т. е. она должна быть адекватна.

В зависимости от метода получения математических соотношений различают модели: статистические, основанные на описании физических и химических явлений, и смешанные.

Модели смешанного типа для решения технологических задач строят на основании описания физических процессов в объекте моделирования, однако ряд коэффициентов определяют экспериментально.

Расчет погрешности обработки детали по данному параметру (размеру, отклонениям формы, расположения и т. п.) состоит из трех этапов. На первом этапе проводят схематизацию реальной операции. Далее выполняют теоретический анализ операции, в результате которого устанавливают зависимости для расчета элементарных и суммарной погрешностей. На третьем этапе экспериментально проверяют полученные соотношения.

Анализ точности с полным учетом всех факторов невозможен, поэтому при схематизации операции (выборе расчетной схемы модели) обосновывают возможность учета факторов, которые наиболее заметно влияют на рассматриваемый параметр точности обработки.

Так, при расчете погрешности базирования обычно пренебрегают отклонениями формы поверхности заготовок, служащей базой. Такая схематизация часто оправдана, но не для всех операций. Например, при обработке валов, устанавливаемых в люнете, погрешности формы поверхности, используемой в качестве базы, копируются на обработанном профиле детали, поэтому расчетная схема здесь должна быть иной.

При оценке отклонений размера цилиндрической поверхности, возникающей из-за упругих деформаций технологической системы, ограничиваются анализом влияния постоянной (в пределах одного оборота) составляющей силы резания; для объяснения механизма возникновения отклонений формы и расположения обработанного профиля и их оценки необходим анализ системы в динамике. Таким образом, вид рассматриваемого параметра точности может решительным образом сказаться на модели процесса.

При анализе точности обработки технологическую систему обычно рассматривают как линейную динамическую систему. Это позволяет получить явные решения в замкнутой форме. Термин «динамическая система» указывает на то, что процессы в этой системе протекают во времени. Динамическая система может быть нелинейной, но поскольку исследуется точность обработки, при которой смещения невелики, то систему можно рассматривать как линейную.

Внешние возмущения, действующие на входе в систему или в элементы системы, называют входными переменными, сигналами или функциями. На выходе наблюдают выходные переменные, сигналы или функции. При работе системы каждой комбинации входных функций [вектору $x(t)$] соответствует определенная и единственная комбинация выходных функций [вектор $y(t)$]. Закон, по которому $x(t)$ соответствует $y(t)$, называют оператором; обозначим его через A :

$$y(t) = Ax(t).$$

Система линейна, если линеен ее оператор. Оператор A называют линейным, если при любых числах n, c_1, \dots, c_n и любых функциях

$x_1(t), \dots, x_n(t)$ справедливо равенство

$$A \left\{ \sum_{r=1}^n c_r x_r(t) \right\} = \sum_{r=1}^n c_r Ax_r(t),$$

которое отражает свойства однородности и независимости действия факторов (наложимости воздействий, суперпозиции, аддитивности). Понятие однородности означает, что реакция системы на любой сигнал, умноженный на некоторую постоянную, равна этой постоянной, умноженной на реакцию системы на входной сигнал. В соответствии со свойством суперпозиции реакция системы (перемещения, напряжения и деформации) на сумму входных сигналов (сил или тепловых воздействий) не зависит от порядка приложения сил или тепловых полей и равна сумме реакций на каждый отдельно взятый входной сигнал. При этом подразумевают, что модуль упругости E и температурный коэффициент линейного расширения α не зависят от напряжения и температуры.

Упрощение расчетной схемы, рассмотрение ее как линейной с присущим ей свойством суперпозиции открывают широкие возможности для упрощения расчетов динамических систем. Возможность рассмотрения технологической системы как линейной позволяет разработать наглядную и логичную теорию точности, основанную на дифференцированном анализе простейших элементов технологического процесса или операции. При этом полностью раскрывается физическая сущность этих элементов. Обязательным условием является возможность описания этих элементов аналитически.

Действующее на технологическую систему воздействие в большинстве случаев имеет четко выраженный период колебаний T . Так, произвольно заданное внешнее силовое воздействие $P(t)$ (или тепловое) представляют совокупностью некоторых однотипных составляющих; далее определяют эффект действия одной из составляющих. Общий эффект от действия силы $P(t)$ образуется как соответствующая сумма частных. Применяют различные варианты разложения силового воздействия. Чаще всего силу представляют в виде конечной суммы гармонических составляющих (применяют разложение в ряд Фурье):

$$P(t) = P_0 + \sum_{k=1}^n P_k \cos(k\varphi + \varphi_k).$$

Теория точности построена на разумном сочетании дифференцированного подхода к из-

учению отдельных типовых простейших элементов и обязательного комплексного охвата всех сторон, всех операций и переходов обработки, транспортирования заготовок при обработке, контроля заготовок и деталей. Требование комплексности важно при анализе комплексно автоматизированных производств (автоматических линий, гибких производственных систем).

Требование комплексности реализуется в нескольких направлениях: учетом совокупности основных факторов, расчетом всех параметров качества детали (изделия), необходимостью расчета процесса как единой последовательности переходов и операций (предполагая обязательное сохранение и учет эффекта действия и результатов предшествующих этапов обработки), учетом возможности обработки многих партий деталей, использованием многих экземпляров оборудования, приспособлений, инструмента, решением вопросов точности, производительности и экономичности.

При обработке деталей на станке осуществляются несколько рабочих процессов (резание, трение), воздействующих на упругую систему, вызывая смещение деталей, образующих подвижное соединение, в котором протекает рабочий процесс. Но наблюдается и обратное воздействие. Например, при смещениях инструмента и заготовки изменяется глубина и сила резания. Это заставляет рассматривать динамическую систему как замкнутую с отрицательной обратной связью. В замкнутой системе силы резания являются внутренними воздействиями. Проанализируем влияние на систему внешних воздействий. Периодические силы возникают из-за погрешностей зубчатых передач, неуравновешенности вращающихся деталей, передаваемых фундаменту станка от другого оборудования, и т. п.; внешние воздействия на процесс резания связаны с переменностью сечения срезаемого слоя, скорости резания при obtачивании торцов и т. п.

Введение понятия о замкнутости системы является основным при анализе виброустойчивости и других вопросов. В ряде случаев наличие обратной связи не учитывают и тогда силы резания считают внешним силовым фактором.

Применяемые при анализе математические методы зависят от вида системы. Систему, которая на одно и то же входное воздействие всегда отвечает определенным выходным воздействием, называют детерминированной. В том случае, когда свойства оператора си-

стемы не зависят от времени, оператор и систему называют стационарными. В стационарной системе при любом сдвиге во времени входного возмущения без изменения его формы выходное воздействие претерпевает такой же сдвиг во времени без изменения своей формы. Если при одном входном воздействии выходное воздействие различно, систему называют недетерминированной; если это выходное воздействие подчиняется явно выраженным статистическим (вероятностным) закономерностям, то систему называют стохастической.

Цель расчета. При расчетах точности обработки можно:

оценить возможное рассеяние заданного параметра (вычислить суммарную погрешность обработки);

установить долю элементарных погрешностей, разработать мероприятия, снижающие влияние доминирующих погрешностей на точность обработки (принимают, например, другие варианты базирования, закрепления деталей; вместо многоорецковой обработки нежестких деталей вводят обработку на гидрокопировавшихся станках и т. п.);

регламентировать продолжительность обработки деталей до принудительной подрегулировки или смены режущего инструмента, наиболее изнашивающихся деталей приспособления и т. п.

Наиболее сложно вычислить суммарную погрешность обработки. Это объясняется недостаточным количеством данных по элементарным погрешностям обработки, отсутствием частных методик по расчету технологических процессов на точность. Поэтому технологу в некоторых случаях приходится самостоятельно разрабатывать план, анализировать результаты теоретических и экспериментальных исследований. Обычно ограничиваются решением двух последних задач, так как уже это дает большой эффект в повышении точности обработки, особенно для автоматизированного производства. Для операций, выполняемых на токарных, расточных и других станках, расчет может быть выполнен в полном объеме. В наиболее сложных случаях для снижения трудоемкости расчет целесообразно выполнять на вычислительных машинах.

Основные элементарные погрешности обработки. При обработке детали кроме необходимого для формирования поверхности движения инструмента возникают добавочные относительные смещения детали (заготовки)

и инструмента с номинальной траектории. В результате обработанная поверхность будет иметь размер, форму и расположение, отличные от заданных.

Смещения отсчитывают от определенной базы — так называемой поверхности отсчета — в установленном направлении. Обычно систему отсчета связывают с номинальной обрабатываемой поверхностью. Для удобства за поверхность отсчета можно принимать и иную поверхность, эквидистантно расположенную относительно номинальной. Например, при анализе погрешностей обработки поверхностей вращения за поверхность отсчета принимают идеально расположенную ось детали.

Появление дополнительных смещений элементов технологической системы связано с действием на систему различных тепловых, силовых и иных факторов. Элементарные погрешности обработки характеризуют смещения одного или нескольких элементов технологической системы под влиянием одного или нескольких факторов.

Различают следующие основные погрешности:

Δ_y — установки заготовок в приспособлении с учетом колебания размеров баз, контактных деформаций установочных баз заготовки и приспособления, точности изготовления и износа приспособления;

Δ_y — колебания упругих деформаций технологической системы под влиянием неустойчивости нагрузок (сил резания, сил инерции и др.), действующих в системе переменной жесткости;

Δ_n — наладки технологической системы на выдерживаемый размер с учетом точностной характеристики применяемого метода наладки;

Δ_n — в результате размерного износа режущего инструмента;

$\Delta_{ст}$ — станка, влияющие на выдерживаемый параметр, с учетом износа станка за период эксплуатации;

Δ_T — колебания упругих объемных и контактных деформаций элементов технологической системы вследствие их нагрева при резании, трения подвижных элементов системы, изменения температуры в цехе. Такое представление об элементарных погрешностях является условным и обосновано главным образом удобством их расчета. В некоторых случаях можно определять отдельно погрешности, влияющие на точность обработки. Погрешность измерения в общем случае учитывают

в составе погрешности наладки, но при значительном влиянии на общую погрешность ее также рассматривают отдельно.

На суммарную погрешность обработки могут влиять также остаточные напряжения от предшествующей обработки или присущие данной операции факторы (например, скорость и продолжительность съема материала при чистовых и отделочных операциях).

Расчет суммарной погрешности обработки. Расчетные соотношения оценки точности параметра устанавливают путем суммирования факторов, учитываемых при анализе данного параметра (размера, отклонения формы, расположения поверхностей). Закон суммирования определяется природой этих погрешностей.

Примем, что исследуемый параметр детали Y представляет собой функцию нескольких переменных X_n : $Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$. Для идеальных условий соответственно имеем

$$Y_0 = f(X_{10}, \dots, X_{i0}, \dots, X_{n0}).$$

В реальных условиях значения параметров отличаются от идеальных (номинальных) на абсолютную погрешность $\Delta_i = (X - X_0)_i$. Выходной параметр также может иметь некоторую погрешность. При расчете линейных систем предполагается, что отклонения параметров малы и взаимно независимы. Произведениями погрешностей пренебрегаем. Функцию $Y = f(X_i)$ в окрестностях номинальных значений параметров разложим в ряд Тейлора. Ограничиваясь учетом только погрешности в первой степени, получим выражение для расчета абсолютной погрешности выходного параметра Y :

$$\Delta Y = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)_{\bar{X}_i} \Delta_i.$$

Индексы при частных производных \bar{X}_i показывают, что значения производных при X_i равны среднему значению \bar{X}_i или математическому ожиданию $M X_i$ (идеальному, номинальному значению).

Отношение $\partial f / \partial X_i = S_i$ называют абсолютной чувствительностью функции цепи к изменению параметра, или коэффициентом влияния, передаточным отношением.

При расчете наилучшего случая элементарные погрешности суммируют по методу максимума-минимума:

$$\Delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial X_i} \right|_{\bar{X}_i} |\Delta_i|.$$

Приведенное выражение удобно для расчета, когда все параметры имеют одинаковые единицы измерения. При разных единицах измерения параметров целесообразно пользоваться относительными погрешностями:

$$\frac{\Delta_Y}{Y} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial X_i} \frac{\bar{X}_i}{Y} \right| \left| \frac{\Delta_i}{\bar{X}_i} \right|.$$

Повышение точности обработки может быть достигнуто повышением точности каждого параметра и сокращением числа входных параметров, влияющих на отклонение выходного параметра; уменьшением чувствительности системы к входным воздействиям и условиям обработки; применением автоматической системы компенсации всех или доминирующих входных параметров.

Рассмотренный метод расчета не учитывает реальных комбинаций параметров, поэтому он дает завышенное в 1,5–10 раз значение погрешности выходного параметра.

При вероятностном методе расчета отклонения ΔY , Δ_i рассматривают как случайные величины.

Для любого числа параметров $i = n$ систематическая погрешность, равная математическому ожиданию $M(Y) = m_Y$, определяется по соотношению

$$\begin{aligned} m_Y &= E(Y) + 0,5\alpha T(Y) = \\ &= \sum_{i=1}^n S_i [E(\Delta_i) + 0,5\alpha_i T(\Delta_i)], \end{aligned}$$

где T – допуск; α – коэффициент относительной асимметрии; E – координата середины заданного поля допуска.

Если между погрешностями, рассматриваемыми попарно, например между Δ_j и Δ_i , существует стохастическая (вероятностная) связь с коэффициентом корреляции r_{ji} , то суммарная погрешность обработки

$$\Delta_Y \approx \frac{1}{K} \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_i S_i T_i)^2 + 2 \sum_{j \neq i} K_j K_i T_j T_i S_j S_i r_{ji}},$$

где m – число попарно стохастически связанных параметров.

Формула действительна для определения абсолютной и относительной суммарной погрешностей.

Коэффициент относительного рассеяния, характеризующий отношение поля рассеяния погрешности при нормальном законе распределения к действительному полю рассеяния, обозначим K_g , где i – индекс элементарной по-

грешности. Для нормального закона распределения $K_i = 1$; для закона равной вероятности $K_i = 1,73$; при композиции закона равной вероятности и нормального закона $K_i = 1,2 \div 1,5$ ($K_i = 1,2$ при $l/6\sigma = 1$, где l – приращение размера вследствие переменной систематической погрешности; σ – среднее квадратическое отклонение; $K_i = 1,5$ при $l/6\sigma = 3$); для законов Симпсона $K_i = 1,22$; Релея $K_i = 1,097$ и Максвелла $K_i = 1,13$.

Элементарные погрешности, изменяющиеся во времени t , являются случайными функциями времени (например, погрешность, связанная с износом инструмента). Тогда

$$\begin{aligned} \Delta_Y &\approx \frac{1}{K} \sqrt{\sum_{i=1}^n [K_i(t) S_i T_i(t)]^2 +} \\ &\rightarrow \dots \rightarrow \\ &+ 2 \sum_{j \neq i}^m K_j(t) K_i(t) S_j S_i T_j(t) T_i(t) r_{ji}(t). \end{aligned}$$

Более точный результат может быть получен при применении аппарата случайных функций.

Часто при расчетах $S_i = 1$; если погрешности независимы и не зависят от времени,

$$\Delta_Y = \frac{1}{K} \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_i T_i)^2}.$$

Пользуясь приведенной зависимостью, погрешность диаметра цилиндра рассчитывают по формуле

$$\begin{aligned} \Delta_Y &= \frac{2}{K} \sqrt{(K_2 \Delta_y)^2 + (K_3 \Delta_n)^2 + (K_4 \Delta_n)^2 +} \\ &\rightarrow \dots \rightarrow \\ &+ (K_5 \Sigma \Delta_{ct})^2 + (K_6 \Sigma \Delta_T)^2. \end{aligned}$$

Элементарное смещение центра обрабатываемого профиля Δ_{ϵ} , возникающее при установке детали в приспособления и из-за пространственной погрешности приспособления, при этом не учитывают.

Погрешности формы в продольном сечении могут быть учтены отдельным слагаемым $\Sigma \Delta_{\phi}$ путем суммирования его с погрешностью диаметрального размера, вычисленной для определенного поперечного сечения.

Для линейных размеров, координирующих положение обрабатываемого профиля относительно другой поверхности детали,

$$\begin{aligned} \Delta_Y &= \frac{1}{K} \sqrt{(K_1 \Delta_{\epsilon_y})^2 + (K_2 \Delta_y)^2 + (K_3 \Delta_n)^2 +} \\ &\rightarrow \dots \rightarrow \\ &+ (K_4 \Delta_n)^2 + (K_5 \Sigma \Delta_{ct})^2 + (K_6 \Sigma \Delta_T)^2. \end{aligned}$$

При расчетах по последним двум формулам можно принять $K_1 = K_2 = K_3 = 1$ и $K_4 = K_5 = K_6 = 1,73$.

При расчетах Δ_{Σ} часто удобнее анализировать не отдельные элементарные погрешности, а комплексы погрешностей. Например, при установке деталей на пальцах с зазором вычисляют комплексную погрешность, учитывая точность базового отверстия и установочного пальца приспособления. Жесткость и отжатия узлов токарного станка определяют с учетом деформации в стыках отверстие — центр станка и т. п.

Приведенное выше описание вероятностного метода суммирования позволяет получить достоверные значения m_{Σ} и Δ_{Σ} . Однако в некоторых случаях данных для подобного анализа недостаточно, поэтому ограничиваются приближенной оценкой суммарной погрешности, принимая $K_1 = 1$ и $\Delta_{\Sigma} = 1/K \cdot \sqrt{\sum \Delta_i^2}$.

Метод квадратичного суммирования дает заниженную до 6 раз суммарную погрешность выходного параметра.

В указанных выше формулах коэффициент $1/K$ (K — коэффициент относительного рассеяния выходного параметра) корректирует суммарную погрешность для заданной гарантированной надежности P_r :

$P_{r...}$	0,70	0,80	0,90	0,95
$1/K_{...}$	0,347	0,427	0,548	0,683
$P_{r...}$	0,98	0,9973	0,9995	0,99999
$1/K_{...}$	0,775	1,000	1,167	1,470

Иногда суммарную погрешность определяют смешанным методом расчета. Принимают, что некоторые параметры изменяются детерминированно, поэтому суммирование их выполняют по методу максимума-минимума; для других учитываемых факторов применяют вероятностное суммирование.

Некоторые погрешности, например погрешности результата измерения, погрешности линейного позиционирования станков с ЧПУ и других, рассчитывают с учетом неисключенных систематических и случайных погрешностей. Методику определения суммарной погрешности устанавливает ГОСТ 8.207-76. Группу результатов прямых измерений с многократными наблюдениями подвергают статистической обработке: исключают грубые погрешности (для результатов наблюдений, которые можно считать принадлежащими нормальному распределению, — по методике, изложенной в ГОСТ 11.002-73) и известные систематические погрешности; вычисляют

среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений, принимаемое за результат измерения \bar{A} ; вычисляют оценку среднего квадратического отклонения $\sigma(\bar{A})$ результата измерения:

$$S(\bar{A}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{A})^2}{n(n-1)}}$$

где X_i — i -й результат наблюдения; $i = 1 \div n$.

Далее проверяют гипотезу о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению (уровень значимости q принимают 10–2%). При числе результатов наблюдений $n > 50$ проверку ведут по критерию χ^2 Пирсона или ω^2 Мизеса — Смирнова (ГОСТ 11.006-74); при $50 > n > 15$ — по составному критерию (ГОСТ 8.207-76); при $n \leq 15$ проверку не делают. Излагаемую методику можно применять, если заранее известно, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению.

Доверительные границы ϵ случайной составляющей погрешности результата измерения (без учета знака) находят с помощью коэффициента Стьюдента t (доверительную вероятность принимают $p = 0,95$; в некоторых случаях $p = 0,99$ и выше):

$$\epsilon = tS(\bar{A}).$$

Вычисляют доверительные границы неисключенной (неисключенных остатков) систематической погрешности результата измерения. При суммировании составляющие этой погрешности рассматривают как случайные величины. При отсутствии данных о виде распределения случайных величин их распределение принимают за равномерное. При этом условия границы неисключенной систематической погрешности (без учета знака)

$$0 = K \sqrt{\sum_{i=1}^m \theta_i^2},$$

где θ_i — граница i -й неисключенной систематической погрешности; K — коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью p . При $p = 0,95$ принимают $K = 1,1$; при $p = 0,99$ и $m > 4$ принимают $K = 1,4$. Доверительную вероятность для вычисления границы θ принимают так же, как и при вычислениях ϵ .

Расчет завершается вычислением доверительных границ погрешности результата измерения Δ . Возможны три случая.

Продолжение табл. 67

Оборудование или способ	Отклонение при правке, мм на 1 м длины	Область применения
в зажимных приспособлениях с помощью рычагов или домкратов	От 0,10 до 0,25	Правка заготовок для деталей (шатуны, рычаги, тяги и т. п.)
ацетилено-кислородная	Плоские элементы — до 0,5; биение валов от 0,4 до 0,6	Правка листов, сортового фасонного проката, сварных конструкций

Примечание. Фасонно-отрезные автоматы, автоматы для навивки пружин, автоматы для приварки базового вывода полупроводникового прибора и другие агрегаты имеют правильные узлы в виде роликовых механизмов, обеспечивающих правку материала по принципу многократного изгиба с точностью правки до 0,5 мм на 1 м длины.

68. Формулы для расчета сил при выборе оборудования

Способ и оборудование	Формулы для расчета сил (Н)
Резка на ножницах с параллельными ножами	$P = (1,2 \div 1,4) LS\sigma_B$
Резка на гильотинных ножницах	$P = 0,6 S^2 \operatorname{ctg} \varphi \sigma_B$ при $\varphi < 5^\circ$
Правка на дисковых ножницах	$P = 5 S^2 \operatorname{ctg} \alpha \sigma_B$
Правка на прессе	$P = 0,68 \frac{d^3}{l} \sigma_T$
Гибка по дуге или по одному углу с полным обжатием на горизонтально-гибочной машине	$P = \left[1,1 \frac{t^2}{l} B + \left(1,5 + 0,15 \frac{\sqrt{F}}{t} \right) F \right] \sigma_B$
Двухугловая гибка с полным обжатием на горизонтально-гибочной машине	$P = \left[0,7 \frac{t^2}{r+t} B + \left(1,5 + 0,15 \frac{\sqrt{F}}{t} \right) F \right] \sigma_B$

Обозначения: L — длина реза, мм; S — толщина разрезаемого проката, мм; σ_B — предел прочности; σ_T — предел текучести материала; φ — угол створа ножниц; α — угол захвата дисковыми ножницами; d — диаметр выправляемой заготовки, мм; l — расстояние между опорами (призмами), мм; B — ширина изгибаемой заготовки, мм; t — толщина изгибаемой заготовки, мм; r — внутренний радиус гибки заготовки, мм; F — площадь проекции гибки на направление, перпендикулярное движению пуансона, мм².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вайнтрауб Д. А., Клепиков Ю. М. Холодная штамповка в мелкосерийном производстве. Справочное пособие. Л.: Машиностроение, 1975. 240 с.
2. Григорьев Л. Л. Рациональные варианты холодной штамповки. Технично-экономические критерии. Л.: Машиностроение, 1975. 232 с.
3. Михаленко Ф. П. Стойкость разделительных штампов. М.: Машиностроение, 1976. 205 с.

4. Мовшович И. Я. Система универсально-сборных штампов для листовой штамповки. М.: Машиностроение, 1977. 176 с.
5. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки. М.: Машиностроение, 1977. 278 с.
6. Стальные и чугунные трубы. Справочник. М.: Металлургиздат, 1982. 360 с.
7. Справочник технолога-приборостроителя. В 2-х т. Т. 1. 2-е изд./Под ред. П. В. Сыроватченко. М.: Машиностроение, 1980. 607 с.
8. Штампы для горячего деформирования металлов/Под ред. М. А. Тылкина. М.: Высшая школа, 1977. 496 с.

4

Глава

ПРИПУСКИ
НА МЕХАНИЧЕСКУЮ
ОБРАБОТКУПОНЯТИЕ О ПРИПУСКЕ
И МЕТОДЫ ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Припуск — слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности детали.

Припуск на обработку поверхностей детали может быть назначен по соответствующим справочным таблицам, ГОСТам или на основе расчетно-аналитического метода определения припусков.

ГОСТы и таблицы позволяют назначать припуски независимо от технологического процесса обработки детали и условий его осуществления и поэтому в общем случае являются завышенными, содержат резервы снижения расхода материала и трудоемкости изготовления детали.

Расчетно-аналитический метод определения припусков на обработку (РАМОП), разработанный проф. В. М. Кованом, базируется на анализе факторов, влияющих на припуски предшествующего и выполняемого переходов технологического процесса обработки поверхности. Значение припуска определяется методом дифференцированного расчета по элементам, составляющим припуск. РАМОП предусматривает расчет припусков по всем последовательно выполняемым технологическим переходам обработки данной поверхности детали (промежуточные припуски), их суммирование для определения общего припуска на обработку поверхности и расчет промежуточных размеров, определяющих положение поверхности, и размеров заготовки. Расчетной величиной является минимальный припуск на обработку, достаточный для устранения на выполняемом переходе погрешностей обработки и дефектов поверхностного слоя, полученных на предшествующем переходе, и компенсации погрешностей, возникающих на выполняемом переходе. Промежуточные размеры, определяющие положение обрабатываемой поверхности, и размеры заготовки рассчитывают с использованием минимального припуска. РАМОП представляет собой систему, включающую методики обоснованного расчета припусков, увязку расчетных припусков с предельными размера-

ми обрабатываемой поверхности и нормативные материалы.

Применение РАМОП сокращает в среднем отход металла в стружку по сравнению с табличными значениями, создает единую систему определения припусков на обработку и размеров детали по технологическим переходам и заготовок, способствует повышению технологической культуры производства.

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

В технологии машиностроения существуют методы автоматического получения размеров (МАПР) и индивидуального получения размеров (МИПР).

Минимальный, номинальный и максимальный припуски на обработку при методе автоматического получения размеров рассчитывают следующим образом.

Минимальный припуск: при последовательной обработке противоположных поверхностей (односторонний припуск)

$$z_{i \min} = (Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \varepsilon_i; \quad (1)$$

при параллельной обработке противоположных поверхностей (двусторонний припуск)

$$2z_{i \min} = 2 [(Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \varepsilon_i];$$

при обработке наружных и внутренних поверхностей (двусторонний припуск)

$$2z_{i \min} = 2 [(Rz + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2}]. \quad (2)$$

Здесь Rz_{i-1} — высота неровностей профиля на предшествующем переходе; h_{i-1} — глубина дефектного поверхностного слоя на предшествующем переходе (обезуглерожженный или отбеленный слой); $\Delta_{\Sigma_{i-1}}$ — суммарные отклонения расположения поверхности (отклонения от параллельности, перпендикулярности, соосности, симметричности, пересечения осей, позиционное) и в некоторых случаях отклонения формы поверхности (отклонения от плоскостности, прямолинейности на предшествующем переходе); ε_i — погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

Номинальный припуск на обработку поверхностей: **наружных**

$$z_i = z_{i \min} + ei_{i-1} + ei_i; \quad (3)$$

$$2z_i = 2z_{i \min} + ei_{D_{i-1}} + ei_{D_i}; \quad (4)$$

внутренних

$$z_i = z_{i \min} + ES_{i-1} - ES_i; \quad (5)$$

$$2z_i = 2z_{i \min} + ES_{D_{i-1}} - ES_{D_i}; \quad (6)$$

где ei_{i-1} , $ei_{D_{i-1}}$, ei_i и ei_{D_i} — нижние отклонения размеров соответственно на предшествующем и выполняемом переходах; ES_{i-1} , $ES_{D_{i-1}}$, ES_i и ES_{D_i} — верхние отклонения размеров соответственно на предшествующем и выполняемом переходах; $ei_{D_{i-1}}$, ei_{D_i} , $ES_{D_{i-1}}$, ES_{D_i} — размеры, относящиеся к диаметральным.

Знать номинальные припуски необходимо для определения номинальных размеров формообразующих элементов технологической оснастки (штампов, пресс-форм, моделей, волок, приспособлений).

Максимальный припуск на обработку поверхностей: **наружных**

$$z_{i \max} = z_{i \min} + TD_{i-1} + TD_i; \quad (7)$$

$$2z_{i \max} = 2z_{i \min} + TD_{i-1} + TD_i; \quad (8)$$

внутренних

$$z_{i \max} = z_{i \min} + Td_{i-1} + Td_i; \quad (9)$$

$$2z_{i \max} = 2z_{i \min} + Td_{i-1} + Td_i; \quad (10)$$

где Td_{i-1} и TD_{i-1} — допуски размеров на предшествующем переходе и Td_i и TD_i — допуски размеров на выполняемом переходе.

Максимальные припуски и припуски для технологических целей (уклоны, напуски, упрощающие конфигурацию заготовки, и т. п.) принимают в качестве глубины резания и используют для определения режимов резания (подачи, скорости резания) и выбора оборудования по мощности.

Минимальный припуск на обработку при методе индивидуального получения заданных размеров рассчитывается по формулам (1), (2) с заменой в них при расчетах погрешности установки ϵ_i погрешностью выверки ϵ_b . Номинальные и максимальные припуски определяют по формулам (3) — (10).

ПРАВИЛА РАСЧЕТА ПРИПУСКОВ НА ОБРАБОТКУ

1. Минимальный припуск рассчитывают по формулам (1) или (2) с использованием расчетной карты (см. пример расчета на стр. 193) для каждой обрабатываемой поверхности. В расчетной карте указывают размер, определяющий положение обрабатываемой поверхности и технологические переходы в порядке их выполнения при обработке; для каждого перехода записывают значения Rz , h , Δ_z , ϵ и T .

2. Допуск и параметры качества поверхности на конечном технологическом переходе (Rz и h) принимают по чертежу детали, проверяя по нормативам возможность получения их запрокигированным способом обработки.

3. Для серого и ковкого чугунов, а также цветных металлов и сплавов после первого технологического перехода и для стали после термической обработки при расчете припуска слагаемое h из формулы исключают. В конкретных случаях те или иные слагаемые, входящие в расчетные формулы для определения припусков на обработку, также исключают. Так, исключают те погрешности, которые не могут быть устранены при выполняемом переходе; например, при развертывании плавающей разверткой и протягивании отверстий смещение и увол оси не устраняются. Следовательно, минимальный припуск в этом случае

$$2z_{\min i} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \epsilon_i).$$

При шлифовании у заготовки после ее термической обработки поверхностный слой должен быть сохранен; следовательно, слагаемое h_{i-1} должно быть исключено из расчетной формулы:

$$z_{\min i} = (Rz_{i-1} + \Delta_{z_{i-1}} + \epsilon_i).$$

При суперфинишировании и полировании, когда достигается лишь уменьшение параметра шероховатости поверхности, припуск на обработку определяется высотой неровностей поверхности и погрешностями, связанными с наладкой инструмента на размер и его износом, не превышающими обычно 1/2 допуска на обработку, т. е.

$$2z_{\min i} = 2Rz_{i-1} + 0,5T_i.$$

4. Отклонения расположения Δ_z необходимо учитывать: у заготовок (под первый технологический переход); после черновой и получистовой обработки лезвийным инструментом (под последующий технологический переход);

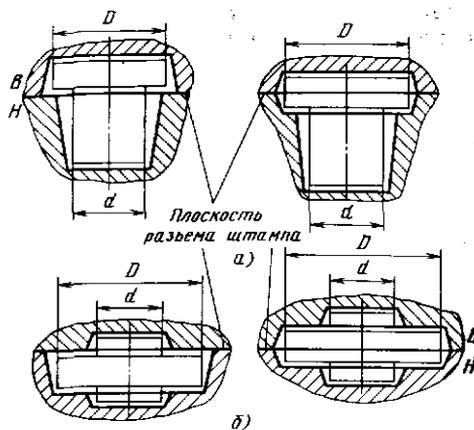


Рис. 1. Примеры, иллюстрирующие правильное и неправильное назначение плоскости разреза штампов

после термической обработки, если даже деформации не было. В связи с закономерным уменьшением отклонений расположения поверхностей при обработке за несколько переходов на стадиях чистовой и отделочной обработки ими пренебрегают.

5. При определении припусков следует учитывать те отклонения расположения, которые не связаны с допуском на размер элементарной поверхности и имеют самостоятельное значение. Так, отклонения расположения поверхностей заготовки при штамповке образуются в результате смещения верхней половины штампа относительно нижней, являющейся базой. Обычно линию разреза штампов предусматривают по элементарной поверхности (рис. 1, а и б), что позволяет выявить смещение штампов и определить его значение. В этом случае смещение нижней и верхней половин штампа связано с допуском на размер, а значение его регламентируется в пределах допуска на размер или иногда задается точнее. Если линию разреза штампа сделать по линии контакта двух элементарных поверхностей, характеризуемых диаметрами D и d , то в этом случае смещение штампа не будет связано ни с допуском на размер D , ни с допуском на размер d , а будет иметь самостоятельное значение. Для компенсации данного отклонения необходимо предусмотреть дополнительный припуск на размер d , поскольку размер D является базой (образуется нижней неподвижной половиной штампа).

6. Различают общее и местное отклонение

оси детали от прямолинейности (кривизну). Их значение определяют исходя из геометрических соотношений параметров детали. Так, при установке в центрах (рис. 2, а) общее отклонение

$$\Delta_{\Sigma_k} = \Delta_k l, \quad (11)$$

а местное отклонение

$$\Delta_{\Sigma_{k.м}} = \frac{\Delta_k (l^2 - l_x^2)}{l(1 + 4\Delta_k^2)} \quad (\text{точно});$$

$$\Delta_{\Sigma_{k.м}} = (l - l_x) \Delta_k \quad (\text{приближенно}).$$

При консольном закреплении (рис. 2, б) общее отклонение

$$\Delta_{\Sigma_k} = l \frac{\Delta_k}{\Delta_k^2 + 0,25} \quad (\text{точно}); \quad (12)$$

$$\Delta_{\Sigma_k} = 2\Delta_k l \cos[\arctg(2\Delta_k)] \quad (\text{приближенно}). \quad (13)$$

Здесь Δ_k — отклонение оси детали от прямолинейности, мкм на 1 мм (в справочных материалах далее именуется кривизной).

После выполняемого перехода обработки отклонение от расположения или кривизну рассчитывают по точной или приближенной формуле.

7. Суммарное значение двух отклонений расположения определяют как векторную сумму:

$$\bar{\Delta}_{\Sigma} = \bar{\Delta}_1 + \bar{\Delta}_2.$$

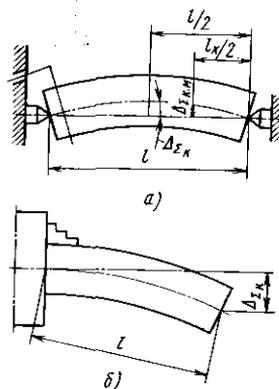


Рис. 2. Обозначения общей и местной кривизны заготовки: а — при ее установке в центрах; б — при консольном креплении

Для векторов при направлении:

совпадающем $\Delta_{\Sigma} = \Delta_1 + \Delta_2$;

противоположном $\Delta_{\Sigma} = \Delta_1 - \Delta_2$.

В тех случаях, когда предвидеть направление векторов трудно, их суммируют:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} \quad (14)$$

Так, суммарное отклонение расположения при обработке сортового проката круглого сечения (валик) в центрах

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\Sigma_k}^2 + \Delta_{\Sigma_{ц}}^2} \quad (15)$$

где Δ_{Σ} — общее отклонение оси от прямолинейности [см. формулы (11), (12)]; Δ_{Σ_k} — смещение оси заготовки в результате погрешности центрования;

$$\Delta_{\Sigma} = 0,25\sqrt{T^2 + 1} \quad (16)$$

При $T \gg 1$ $\Delta_{\Sigma} = 0,25T$. Здесь T — допуск на диаметральный размер базы заготовки, использованной при центровании, мм. Суммарное отклонение расположения при обработке отверстий в отливке при базировании на плоскость (рис. 3, а) или при обработке плоскости при базировании по отверстию (рис. 3, б)

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\text{кор}}^2 + \Delta_{\text{см}}^2} \quad (17)$$

где $\Delta_{\text{кор}} = \Delta_{\Sigma}L$ — отклонение плоской поверхности отливки от плоскостности (коробление); $\Delta_{\text{см}}$ — смещение стержня в горизонтальной или вертикальной плоскости, мм; L — длина отливки, мм. Смещение $\Delta_{\text{см}}$ стержней, образующих отверстие или внутренние полости, следует принимать равным допуску на наибольший размер от оси отверстия или внутренней полости до технологической базы с учетом наибольших размеров отливки. Суммарные отклонения после сверления отверстия

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{(\Delta_y l)^2 + C_0^2} \quad (18)$$

где C_0 — смещение оси отверстия;

Δ_y — значение увода оси сверла; l — длина просверливаемого отверстия, мм.

8. Рассчитанные припуски по всем переходам заносят в расчетную карту (см. стр. 193).

ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РАЗМЕРОВ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПЕРЕХОДАМ И ОКОНЧАТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВКИ

1. Расчетные формулы для определения размеров: наружных поверхностей

$$a_{\min i-1} = a_{\min i} + z_{\min i};$$

$$a_{\max i-1} = a_{\min i-1} + T_{i-1}; \quad (19)$$

$$D_{\min i-1} = D_{\min i} + 2z_{\min i}; \quad D_{\max i-1} =$$

$$= D_{\min i-1} + T_{D i-1}; \quad (20)$$

внутренних поверхностей

$$a_{\max i-1} = a_{\max i} - z_{\min i}; \quad (21)$$

$$a_{\min i-1} = a_{\max i-1} - T_{i-1};$$

$$D_{\max i-1} = D_{\max i} - 2z_{\min i}; \quad D_{\min i-1} =$$

$$= D_{\max i-1} - T_{D i-1}. \quad (22)$$

где $z_{\min i}$ — минимальный (расчетный) припуск на сторону на выполняемый технологический переход; $2z_{\min i}$ — минимальный (расчетный) припуск на обе стороны или по диаметру; $a_{\min i-1}$, $D_{\min i-1}$, $a_{\max i-1}$ и $D_{\max i-1}$ — соответственно наименьшие и наибольшие предельные размеры, полученные на предшествующем технологическом переходе; $a_{\min i}$, $D_{\min i}$, $a_{\max i}$ и $D_{\max i}$ — соответственно наименьшие и наибольшие предельные размеры, полученные на выполняемом технологическом переходе.

2. Порядок определения размеров для элементарной поверхности. Из чертежа детали берут и заносят в расчетную карту (см. примеры расчета стр. 193) для конечного перехода

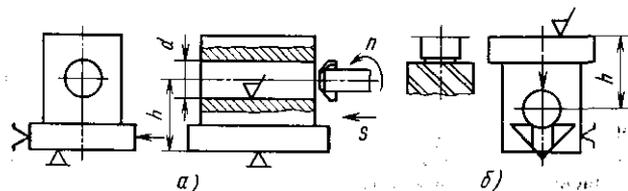


Рис. 3. Схемы для определения отклонения расположения отверстия при обработке его в отливке с базированием на плоскость (а) и отклонения расположения плоскости с базированием отливки по отверстию (б)

наименьший для наружных (или наибольший для внутренних) поверхностей размер. Для переходов обработки наружных поверхностей наименьший размер рассчитывают прибавлением к наименьшему предельному размеру по чертежу припуска z_{\min} . При обработке внутренних поверхностей расчетным размером является наибольший размер. Размер на предшествующем переходе определяют путем вычитания z_{\min} .

Наименьшие (наибольшие) предельные размеры по всем технологическим переходам округляют увеличением (уменьшением) их до того же знака десятичной дроби, с каким дан допуск на размер для каждого перехода. Наибольшие (наименьшие) предельные размеры определяют прибавлением (вычитанием) допуска к округленному наименьшему (из округленного наибольшего) предельному размеру. Находят фактические предельные значения припусков z_{\max} как разность наибольших (наименьших) предельных размеров и z_{\min} как разность наименьших (наибольших) предельных размеров предшествующего и выполняемого переходов (выполняемого и предшествующего переходов).

Общие припуски $z_{0\max}$ и $z_{0\min}$ определяют как сумму промежуточных припусков на обработку.

Правильность проведенных расчетов проверяют по формулам

$$z_{i\max} - z_{i\min} = T_{i-1} - T_i; \quad (23)$$

$$2z_{i\max} - 2z_{i\min} = T_{Di-1} - T_{Di}; \quad (24)$$

$$z_{0\max} - z_{0\min} = T_3 - T_{1i}; \quad (25)$$

$$2z_{0\max} - 2z_{0\min} = T_{D3} - T_{D1i}; \quad (26)$$

При необходимости находят номинальные размеры: для наружных поверхностей номинальный размер заготовки равен наибольшему размеру, т. е. $a = a_{\max}$; на чертеже указывают $a_{\max} - T$; для внутренних поверхностей номинальный размер заготовки равен наименьшему размеру, т. е. $a = a_{\min}$; на чертеже указывают $a_{\min} + T$. Если допуск расположен симметрично относительно номинального размера, то

$$a = a_{\max} - \frac{T}{2} = a_{\min} + \frac{T}{2}. \quad (27)$$

На чертеже указывают $a \pm \frac{T}{2}$.

Трудоемкость вычислительных работ при определении припусков и промежуточных размеров снижается при применении ЭВМ. Методика расчета припусков и промежуточных размеров с использованием ЭВМ базируется на аналитических зависимостях и справочных данных.

Для обеспечения автоматизации расчетов по этим зависимостям разрабатывают алгоритмы применительно к определенному классу деталей (валы, рычаги, корпусные детали и др.).

Классом называют совокупность деталей, характеризуемых общностью технологических задач, решаемых в условиях определенной конфигурации этих деталей.

Классификация деталей машин должна разрабатываться до стадии создания алгоритмов по отраслям машиностроения соответственно применяемым в них деталям и особенностям их производства. В качестве исходной информации о детали используют: чертежи детали с техническими требованиями; метод получения детали, точность и качество поверхности заготовки; базы и тип приспособления; технологические маршруты обработки элементарных поверхностей; вид и место термической обработки в структуре технологического процесса обработки элементарной поверхности. Построение алгоритма сводится к следующим основным этапам.

1. Определяют составляющие элементы минимального припуска Rz_{i-1} , h_{i-1} , Δ_{i-1} и ϵ_i , где $(i-1)$ относится к элементу, полученному на смежном предшествующем технологическом переходе, а i — к выполняемому переходу.

2. Рассчитывают: минимальный припуск; максимальные и номинальные припуски на переходы и общие на весь технологический процесс обработки поверхностей; минимальные и максимальные размеры, определяющие положение обрабатываемых поверхностей по технологическим переходам, и размеры заготовки.

Значения составляющих минимальных припусков должны быть систематизированы и приведены к табличной форме, удобной для использования при машинном счете. Преимущество автоматизированного способа расчета припусков и промежуточных размеров состоит в одноразовой разработке алгоритма и программы для деталей данного класса и ее многократном использовании для всего многообразия деталей данного класса. Расчет припусков для очередной детали каждый раз

обусловлен лишь новым содержанием исходной информации. Расчет припусков и промежуточных размеров на ЭВМ может быть как самостоятельным, так и являться одним из этапов автоматического проектирования технологических процессов обработки деталей любых классов.

НОРМАТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРИПУСКОВ

Нормативные материалы предназначены для расчета припусков на поверхности типовых деталей машин, обрабатываемых как на предварительно настроенных, так и на универсальных станках.

Нормативы охватывают детали машин, получаемые из проката, литьем, штамповкой, ковкой (в том числе специальными способамиковки) и механической обработкой. Для каждого вида заготовки и способа обработки в нормативах даны значения R_z , h и отклонения расположения поверхностей (погрешности установки см. на стр. 41). Для каждого вида заготовки и способа обработки в нормативных материалах приведены методические указания, отмечающие особенности расчета припусков для данного вида заготовки. Составляющие припуска даны без индекса в связи с тем, что в одном случае эти величины относятся к выполняемому, а в другом — к предшествующему переходу.

Этим материалом технолог должен пользоваться, проявляя творческую инициативу при построении технологических процессов и расчете припусков на обработку.

Заготовки из проката

1. Качество поверхности (мкм) сортового проката

Диаметр проката, мм	Точность прокатки					
	высокая		повышенная		обычная	
	R_z	h	R_z	h	R_z	h
До 30	63	50	80	100	125	150
Св. 30 до 80	100	75	125	150	160	250
» 80 » 180	125	100	160	200	200	300
» 180 » 250	200	200	250	300	320	400

2. Качество поверхности (мкм) поперечно-винтового проката

Диаметр проката, мм	R_z при точности прокатки		h
	повышенной	нормальной	
До 10	63	100	100
Св. 10 » 18	100	200	180
» 18 » 30	160	320	300
» 30 » 50	320	500	500
» 50 » 80	500	800	800
» 80 » 120	800	1250	1200
» 120 » 180	1250	1600	2000

Примечание. Качество поверхности поперечно-винтового проката указано после термической обработки (нормализации или улучшения).

3. Точность и качество поверхности после отрезки сортового проката

Способ отрезки	Квалитет	$R_z + h$, мкм
На ножницах ¹	17	300
Приводными ножовками, дисковыми фрезами на фрезерных станках	14	200
Отрезными резцами на токарных станках	13	200
Отрубка на прессах ¹	17	$R_z = 150 \div 300$ $h = 1000 \div 1600$

¹ При отрезке на ножницах и отрубке на прессах получается вмятина в направлении, перпендикулярном к поверхности среза, достигающая $0,2D$, и скос по торцу до 3° , которые необходимо учитывать при последующей обработке заготовок как по торцу, так и по диаметру.

4. Кривизна профиля сортового проката, мкм на 1 мм

Характеристика проката	Длина проката, мм				
	До 120	120—180	180—315	315—400	400—500
Без правки при точности прокатки:					
обычной	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
повышенной	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
высокой	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

Продолжение табл. 4

Характеристика проката	Диаметр проката				
	До 30	30—50	50—80	80—120	120—180
Без правки после за- калки:					
в печах	2,0	1,3	0,9	0,6	0,5
ТВЧ	1,0	0,6	0,45	0,3	0,15
После правки на прес- сах	0,13	0,12	0,11	0,10	0,08

Примечание. У поперечно-винтового проката при повышенной точности прокатки $\Delta_k = 2$ мкм на 1 мм длины, а при обычной точности $\Delta_k = 4$ мкм на 1 мм.

Расчетный наименьший предельный размер проката

$$D_{1\min} = D_{л\min} + 2z_{0\min} \quad (28)$$

где $D_{л\min}$ — наименьший предельный размер расчетной ступени по чертежу; $2z_{0\min}$ — расчетный минимальный общий припуск на обработку по диаметру.

Полученный размер $D_{1\min}$ округляют (в большую сторону) до ближайшего по сортаменту диаметра прутка $D'_{1\min}$, наименьший предельный размер которого должен быть не менее $D_{3\min}$; тогда действительный общий припуск на обработку для расчетной ступени

$$2z'_{0\min} = D'_{1\min} - D_{л\min} \quad (29)$$

5. Точность и качество поверхности заготовок из проката после механической обработки

Способ обработки	Переход	Квалитет ¹	Rz, мкм	h, мкм
------------------	---------	-----------------------	---------	--------

Обработка наружных поверхностей

Обтачивание резами проката повышенной и обычной точности прокатки	Обдирка	14	125	120
	Черновое	12	63	60
	Чистовое и однократное	10—11	32—20	30
	Тонкое	7—9	6,3—3,2	—
Шлифование в центрах проката обычной точности прокатки	Черновое	8—9	10	20
	Чистовое и однократное	7—8	6,3	12
Бесцентровое шлифование проката повышенной и высокой точности прокатки	Тонкое	5—6	3,2—0,8	6—2

Обработка торцовых поверхностей

Подрезание резцом на токарных станках	Черновое	12	50	50
	Чистовое	11	32	30
Шлифование на кругло- и торцешлифовальных станках	Однократное	6	5—10	—

¹ Значения допусков для квалитетов 6—14 даны в табл. 32.

Указания для расчета припусков и предельных размеров при изготовлении деталей из проката. Для ступенчатых валов расчет ведут по ступени (шейке) с наибольшим диаметром, а при равных диаметрах — по ступени (шейке), к которой предъявляют наиболее высокие требования по точности и качеству поверхности (расчетная ступень).

Напуск, имеющий на остальных ступенях вала, если это допустимо по глубине резания, снимают при черновой обработке за один рабочий ход; больший напуск удаляют за два рабочих хода: 60—70% за первый и 30—40% за второй. Дальнейшую обработку всех ступеней (шеек) вала ведут в соответствии с расчетными предельными размерами.

Прокат высокой точности прокатки лезвийным инструментом не обрабатывают; прокат обычной точности прокатки обрабатывают на токарных автоматах или револьверных станках; прокат высокой точности прокатки не шлифуют до термической обработки. При шлифовании валов после закалки из расчетной формулы припуска исключают h .

При совмещенных технологической и измерительной базах допуски принимают в соответствии с указанным качеством; при несовмещенных — к значению допуска прибавляют погрешность базирования, равную допуску на размер, связывающий технологическую и измерительную базы. Значения допуска для качеств принимают по табл. 32.

При обработке в центрах погрешность базирования заготовки в осевом направлении определяется смещением базового торца заготовки в осевом направлении вследствие погрешности изготовления центрального гнезда в осевом направлении.

Суммарное отклонение расположения при обработке сортового проката в центрах определяют по формуле (11) (см. стр. 177).

Отливки

6. Качество поверхности отливок ($Rz + h$, мкм), достигаемое различными способами формовки

Отливка		Наибольший размер отливки, мм				
Материал	Класс точности ¹	До 500	Св. 500 до 1250	Св. 1250 до 3150	Св. 3150 до 6300	Св. 6300 до 10000
Чугун	I	400	600	800	—	—
	II	500	700	900	—	—
	III	600	800	1000	1500	2000
Сталь	I	300	500	700	—	—
	II	400	600	800	—	—
	III	500	700	900	1300	1700
Цветные металлы и сплавы	I	200	400	—	—	—
	II	300	500	—	—	—
	III	400	600	800	1100	—

¹ Классы точности отливки достигаются: I — литьем в формы, изготовленные машинной формовкой по металлическим моделям; II — машинной формовкой по деревянным моделям; III — ручной формовкой по деревянным моделям.

7. Качество поверхности отливок, достигаемое специальными способами литья

Литье	Квалитет*1	Rz , мкм	h , мкм, для заготовки			
			из чугуна	из стали	из цветных металлов	
В кокиль	14—15	200	300	200	100	
Центробежное	14—15	200	300	200	100	
В оболочковые формы для элементов, получаемых	в одной полуформе	11—12	40	260	160	100
	в обеих полуформах	14	40	260	160	100
	под давлением	11—12	50	—	—	100
По выплавляемым моделям	11—12	32	170	100	63	

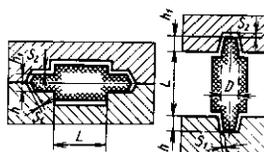
*1 Значения допусков для качеств 11—15 приведены в табл. 32.

8. Отклонения расположения поверхностей отливок

Отклонения	Литье		
	в песчаные формы	в кокиль	под давлением
Межосевых расстояний отверстий (\pm) $\Delta_{м.о.р.}$, мм	1,2–2,0	0,8–1,5	0,3–0,5
Расположения отверстия относительно технологических баз (\pm) $\Delta_{р.т.б.}$, мм	1,2–2,5	0,5–1,2	0,10–0,35
От параллельности плоскости $\Delta_{оп}$, мкм на 1 мм	1/2 допуска на размер	2,2–3,4	1,2–2,0
Перекося отверстия $\Delta_{п}$, мкм на 1 мм для диаметра отверстия d , мм: До 10	–	2,5–10	2,0–4,0
	Св. 10 до 30		1,5–3,0
	» 30 » 50		1,0–2,0
	» 50 »		0,7–1,5
Коробление $\Delta_{к}$, мкм на 1 мм: корпусных деталей	0,3–1,5	–	–
	плит	2,0–3,0	–

9. Зазор между знаком формы и стержнем для определения $\Delta_{см}$ у отливок

Размеры, мм



Наибольшая высота знака h или h_1	Длина L или диаметр D стержня										
	До 50	50–150	150–300	300–500	500–750	750–1000	1000–1500	1500–2000	2000–2500	2500–3000	Св. 3000

Зазор S_1

До 25	0,15	0,15	0,25	–	–	–	–	–	–	–	–
	0,5	0,5	0,5	–	–	–	–	–	–	–	–
25–50	0,25	0,25	0,5	1,0	1,0	1,5	–	–	–	–	–
	0,5	0,5	1,0	1,5	1,5	2,0	–	–	–	–	–
50–100	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	–	–
	1,0	1,0	1,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	–	–

Продолжение табл. 9

Наибольшая высота знака h или h_1	Длина L или диаметр D стержня										
	До 50	50— 150	150— 300	300— 500	500— 750	750 1000	1000— 1500	1500— 2000	2000— 2500	2500— 3000	Св. 3000
100—200	$\frac{1,0}{1,5}$	$\frac{1,0}{1,5}$	$\frac{1,0}{1,5}$	$\frac{1,5}{2,0}$	$\frac{2,0}{2,5}$	$\frac{2,5}{3,0}$	$\frac{3,0}{3,5}$	$\frac{3,5}{4,0}$	$\frac{4,0}{4,5}$	$\frac{-}{5,0}$	$\frac{-}{5,5}$
200—300	$\frac{1,5}{1,5}$	$\frac{1,5}{1,5}$	$\frac{1,5}{1,5}$	$\frac{2,0}{2,0}$	$\frac{2,5}{2,5}$	$\frac{3,0}{3,0}$	$\frac{3,5}{3,5}$	$\frac{4,0}{4,0}$	$\frac{4,5}{4,5}$	$\frac{-}{5,0}$	$\frac{-}{5,5}$
300—500	$\frac{-}{2,0}$	$\frac{-}{2,0}$	$\frac{2,0}{2,0}$	$\frac{2,0}{2,5}$	$\frac{2,5}{3,0}$	$\frac{3,0}{3,5}$	$\frac{3,5}{4,0}$	$\frac{4,0}{4,5}$	$\frac{4,5}{5,0}$	$\frac{-}{5,5}$	$\frac{-}{6,0}$
500—750	-	-	$\frac{-}{2,5}$	$\frac{2,5}{2,5}$	$\frac{3,0}{3,0}$	$\frac{3,5}{3,5}$	$\frac{4,0}{4,0}$	$\frac{4,5}{4,5}$	$\frac{5,0}{5,0}$	$\frac{-}{5,5}$	$\frac{-}{6,0}$
750—1000	-	-	-	$\frac{3,0}{3,0}$	$\frac{3,0}{3,5}$	$\frac{3,5}{4,0}$	$\frac{4,0}{4,5}$	$\frac{4,5}{5,0}$	$\frac{5,0}{5,5}$	$\frac{-}{6,0}$	$\frac{-}{6,5}$
1000—1250	-	-	-	$\frac{3,0}{3,5}$	$\frac{3,5}{3,5}$	$\frac{4,0}{4,0}$	$\frac{4,5}{4,5}$	$\frac{5,0}{5,0}$	$\frac{5,5}{5,5}$	$\frac{-}{6,0}$	$\frac{-}{6,5}$
1250—1500	-	-	-	$\frac{-}{3,5}$	$\frac{-}{4,0}$	$\frac{-}{4,5}$	$\frac{-}{5,0}$	$\frac{-}{5,5}$	$\frac{-}{6,0}$	$\frac{-}{6,5}$	$\frac{-}{7,0}$
1500—2000	-	-	-	$\frac{-}{4,0}$	$\frac{-}{4,5}$	$\frac{-}{5,0}$	$\frac{-}{5,5}$	$\frac{-}{6,0}$	$\frac{-}{6,5}$	$\frac{-}{7,0}$	$\frac{-}{7,5}$
2000—2500	-	-	-	-	$\frac{-}{5,0}$	$\frac{-}{5,5}$	$\frac{-}{6,0}$	$\frac{-}{6,5}$	$\frac{-}{7,0}$	$\frac{-}{7,5}$	$\frac{-}{8,0}$
2500—3000	-	-	-	-	$\frac{-}{6,0}$	$\frac{-}{6,5}$	$\frac{-}{7,0}$	$\frac{-}{7,5}$	$\frac{-}{8,0}$	$\frac{-}{8,5}$	$\frac{-}{9,0}$
Св. 3000	-	-	-	-	$\frac{-}{6,5}$	$\frac{-}{7,5}$	$\frac{-}{8,0}$	$\frac{-}{8,5}$	$\frac{-}{9,0}$	$\frac{-}{9,5}$	$\frac{-}{10,0}$
Зазор S_2											
-	$\frac{0,15}{0,25}$	$\frac{0,25}{0,5}$	$\frac{0,5}{1,0}$	$\frac{1,0}{2,0}$	$\frac{1,5}{3,0}$	$\frac{2,0}{4,0}$	$\frac{3,0}{5,0}$	$\frac{3,0}{5,5}$	$\frac{4,0}{6,0}$	$\frac{-}{6,5}$	$\frac{-}{7,0}$

Примечания: 1. В числителе приведены зазоры при формовке по сырому, в знаменателе — по сухому. 2. Уклоны у нижнего знака $\beta = 7 \div 10^\circ$, у верхнего $\beta = 10 \div 15^\circ$. 3. Для горизонтальных размеров $\Delta_{\text{см}} = S_1 / \cos \beta$, для вертикальных $\Delta_{\text{см}} = S_2$.

10. Точность и качество поверхности после механической обработки отливок точением, фрезерованием, строганием и шлифованием

Обработка	Квалитет ¹	Rz, мкм	h, мкм	Обработка	Квалитет ¹	Rz, мкм	h, мкм
Точение, фрезерование, строгание				<i>Литье в кокиль и центробежное</i>			
<i>Литье в песчаные формы</i>							
Отливка I класса точности				Однократная 11 25 25			
Однократная	11-12	32	32	Черновая	12	50	50
Черновая	12	50	50	Чистовая	10	20	20
				Тонкая	7-9	5	5
Отливки II класса точности				<i>Литье в оболочковые формы</i>			
				Однократная 10-11 25 25			
Черновая	14	100	100	Черновая	11	20	20
Получистовая	12	50	50	Чистовая	10	10	10
				Тонкая	7-9	5	5
Отливки III класса точности				<i>Литье по выплавляемым моделям</i>			
				Однократная 10 15 20			
Обдирочная	16-17	320	320	Тонкая	7-9	2,5	5
Черновая	14-15	250	240				
Получистовая	11-12	100	100				
Отливки I, II, III классов точности				Шлифование отливок, получаемых различными способами			
				Однократная 7 5 10			
Чистовая	10-11	25	25	Черновая	8-9	10	20
Тонкая	7-9	5	5	Чистовая	6-8	5	15
				Тонкая	5-6	0,63	-

¹ Значения допусков для квалитетов 5-17 даны в табл. 32.

Указания для расчета припусков и предельных размеров при изготовлении деталей из отливок. Для верхней поверхности (по положению) отливки при заливке металла к сумме $Rz + h$ прибавлять: 0,5-3 мм для отливок из серого чугуна и 0,5-4 мм для отливок из стали.

Для элементов отливок, обращенных к оси вращения, с целью компенсации ликвационной зоны и неоднородности химического состава металла при центробежном литье и для особо ответственных деталей - задавать 5-7,5 мм на сторону. Базирование заготовок по необработанному отверстию следует использовать только на первой операции.

При обработке отверстия от координированной с ним базы отклонение расположения оси должно быть учтено в припуске на обработку отверстия.

Общие припуски и размеры заготовки, полученные в результате расчета, должны быть скорректированы с учетом следующих дополнений: назначают необходимые по технологии литья напуски, упрощающие конфигурацию заготовки и сглаживающие местные углубления, переходы и уступы; проверяют радиусы литых галтелей и линии переходов при изме-

нении сечений отливок, внося соответствующие конструктивные изменения в элементы детали или корректируя расчетные припуски, увеличивая их по сопряженным поверхностям до величины, обеспечивающей необходимый минимальный припуск на угол.

Поковки, изготавливаемые ковкой и штамповкой

11. Качество поверхности поковок ($Rz + h$, мкм), изготавливаемых ковкой

Наибольший размер поковки, мм	Пресс		Молот	Подкладные штампы
	Точность			
	повышенная	нормальная	нормальная	нормальная
От 50 до 180	800	1000	1000	750
Св. 180 » 500	1000	1500	1500	1250
» 500 » 1250	1500	2000	2000	1500
» 1250 » 3150	2000	2500	2500	-
» 3150 » 6300	2500	3000	3000	-
» 6300 » 10000	-	3500	3500	-

12. Качество поверхности поковок, изготовляемых штамповкой

Масса поковки, кг	Rz	h
	мкм	
До 0,25	80	150
Св. 0,25 » 4	160	200
» 4 » 25	200	250
» 25 » 40	250	300
» 40 » 100	320	350
» 100 » 200	400	400

Примечание. Точность поковок, изготовляемых штамповкой, регламентируется ГОСТ 7505-74. Значения Rz в таблице даны после пескоструйной обработки поверхностей поковки или травления; при дробеструйной или дробеметной обработке Rz принимать равным 400 мкм независимо от массы поковки.

Для поковок, изготовляемых ковкой на вертикальных радиально-ковочных машинах,

$$Rz + h = AR_6 + 0,01d. \quad (30)$$

13. Значения коэффициента A

$r_n : R_6$	n , об/мин			
	16	22	30	42
0,4	0,0018	0,0018	0,0034	0,0068
0,5	0,0011	0,0020	0,0036	0,0071
0,6	0,0010	0,0019	0,0035	0,0068
0,7	0,0008	0,0016	0,0031	0,0060
0,8	0,0006	0,0012	0,0023	0,0045
0,9	0,0004	0,0008	0,0012	0,0023

Примечание. R_6 — радиус бойка, мм; r_n — радиус поковки, мм; n — частота вращения поковки в процессековки. Значение n принимают равным 16 и 22 об/мин при ковке поковок большого диаметра или из особо прочных сталей; 42 об/мин — при ковке поковок из сравнительно мягких сталей, небольших диаметров и при холодной ковке полых валов (труб); в остальных случаях принимают $n = 30$ об/мин.

14. Точность и качество поверхности поковки, изготовляемой на ковочно-штамповочном прессе методом выдавливания (деталь типа клапана)

Элемент детали	Допуск, мм	Rz , мкм	h , мкм
Стержень	0,3	40	40
Тарелка	0,6		

15. Кривизна Δ_k (мкм на 1 мм) для поковок

Вид обработки	Диаметр или размер сечения, мм					
	До 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 500	
Ковка	3	2	1	0,8	0,6	
Механическая обработка:						
обдирочная	1,5	1	0,5	0,4	0,3	
черновая	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	
получистовая	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	
После термической обработки (закалка) и правки	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	

16. Кривизна Δ_k (мкм на 1 мм) поковок типа валов

Диаметр поковки D , мм	После штамповки	После правки на прессах	После термической обработки	
			в печах	ТВЧ
До 25	4	0,20	2,5	1,25
Св. 25 » 50	3	0,15	1,5	0,75
» 50 » 80	2	0,12	1,5	0,75
» 80 » 120	1,8	0,10	1,0	0,50
» 120 » 180	1,6	0,08	1,0	0,50
» 180 » 260	1,4	0,06	—	—
» 260 » 360	1,2	—	—	—
» 360 » 500	1,0	—	—	—

17. Отклонение от concentричности и коробление поковок типа дисков и рычагов, получаемых на прессах, различной точности

Толщина (высота) или ширина поковок, мм	Отклонение от concentричности отверстий $\Delta_{экс}$, мм		Коробление $\Delta_{кор}$, мм	
	Повышенная точность	Нормальная точность	Повышенная точность	Нормальная точность
До 50	0,50	0,8	0,5	0,5
Св. 50 » 120	0,63	1,4	0,5	0,5
» 120 » 180	0,80	2,0	0,5	0,7
» 180 » 260	1,00	2,8	0,6	0,9
» 260 » 360	1,50	3,2	0,7	1,0
» 360 » 500	2,50	3,6	0,8	1,1

18. Отклонение от соосности $\Delta_{см}$ (мм) элементов, штампуемых в разных половинах штампа, для поковок типа валов различной точности

Масса поковки, кг	Штамповка на молотах		Штамповка на прессах	
	Повышенная точность	Нормальная точность	Повышенная точность	Нормальная точность
Св. До 0,25	0,30	0,4	0,20	0,3
» 0,25 » 0,63	0,35	0,5	0,25	0,4
» 0,63 » 1,60	0,40	0,6	0,30	0,5
» 1,60 » 2,50	0,45	0,8	0,35	0,6
» 2,50 » 4,00	0,50	1,0	0,40	0,7
» 4,00 » 6,30	0,63	1,1	0,45	0,8
» 6,30 » 10	0,70	1,2	0,50	0,9
» 10 » 16	0,80	1,3	0,60	1,0
» 16 » 25	0,90	1,4	0,70	1,1
» 25 » 40	1,00	1,6	0,80	1,2
» 40 » 63	1,20	1,8	—	—
» 63 » 100	1,40	2,2	—	—
» 100 » 125	1,60	2,4	—	—
» 125 » 160	1,80	2,7	—	—
» 160 » 200	2,20	3,2	—	—

19. Кривизна Δ_k (мкм на 1 мм) стержня после высадки фланца на горизонтально-ковочной машине

Длина стержня L , мм	Диаметр стержня d , мм				
	До 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120
До 120	6	8	12	16	20
Св. 120 до 180	4	6	8	12	16
» 180 » 500	2	4	4	6	6
» 500 » 1000	1	2	2	3	3

20. Смещение Δ_c (мм) оси фланца относительно оси стержня при высадке его на горизонтально-ковочной машине

Высота H , фланца или утолщения, мм	Диаметр D фланца или утолщения, мм		
	До 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 260
Св. До 18	0,25	0,25	0,50
» 18 » 50	0,25	0,50	0,50
» 50 » 120	0,50	0,50	0,75
» 120 » 180	0,50	0,75	0,75

21. Отклонение от перпендикулярности Δ_n (мкм на 1 мм радиуса) торца фланца к оси поковки

Масса поковки, кг	При штамповке	
	на прессе	на ГКМ
Св. До 0,25	0,2	0,3
» 0,25 » 1,6	0,3	0,5
» 1,6 » 4	0,4	0,7
» 4 » 10	0,5	0,9
» 10 » 25	0,6	1,1
» 25 » 40	0,7	1,2

22. Кривизна поковки (мкм на 1 мм длины) после ковки на ВРКМ

Диаметр поковки, мм	Δ_k
До 60 мм	2
Св. 60	1

23. Дефекты поковки вследствие отрубки исходной заготовки и последующей ковки на ВРКМ

Диаметр торцовой поверхности D , мм	Δ_2 , мкм	Диаметр торцовой поверхности D , мм	Δ_2 , мкм
До 30	1,5	Св. 50 до 80	4
Св. 30 до 50	2,5	» 80 » 120	5

Для поковок, получаемых на ковочно-штамповочных прессах методом выдавливания (детали типа клапанов), изогнутость оси $\Delta_{из} = 0,6$ мкм на 1 мм длины; смещение оси $\Delta_{см} = 0,12$ мм; суммарное отклонение

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{из}^2 + \Delta_{см}^2} \quad (31)$$

24. Точность и качество поверхности поковок после механической обработки, получаемых ковкой на прессах, молотах и в подкладных штампах

Способ обработки	Квалитет ¹	R_z ,	h ,
		мкм	мкм
Точные резцами, фрезерование:	обдирочное	17	1250
	черновое	15–16	250
	получистовое	12–14	125
	чистовое	10–11	40
	тонкое	6–7	5

Продолжение табл. 24

Способ обработки		Квалитет ¹	Rz, мкм	h, мкм
Шли- фо- ва- ние	обдирочное	14—15	20	20
	черновое	10	15	15
	чистовое	6—7	5	5
	тонкое	5—6	2,5	5

¹ Значения допусков для квалитетов 5—17 даны в табл. 32.

25. Точность и качество поверхности штампованных поковок после механической обработки

Способ обработки	Квалитет ¹	Rz, мкм	h, мкм
------------------	-----------------------	------------	-----------

Валы ступенчатые

Обтачивание наружных поверхностей

Однократное	11—12	32	30
Черновое	12	50	50
Чистовое	11	25	25
Тонкое	7—9	5	5

Подрезание торцовых поверхностей

Черновое	12	50	50
Чистовое	11	32	30

Фрезерование

Однократное	14	100	100
-------------	----	-----	-----

Диски

Обтачивание наружных поверхностей

Однократное	10—12	32	30
Черновое	14	100	100
Получистовое	12	50	50
Чистовое	10—11	25	25

Подрезание торцовых поверхностей

Однократное	10—12	32	30
Черновое	14	100	100
Получистовое	12	50	50
Чистовое	10—11	25	25

Продолжение табл. 25

Способ обработки	Квалитет ¹	Rz, мкм	h, мкм
------------------	-----------------------	------------	-----------

Рычаги (плоскости, параллельные оси детали, и плоскости разреза головок)

Фрезерование

Черновое	12	32	50
Чистовое	11	10	15

Протягивание

Однократное	10	5	10
-------------	----	---	----

Обтачивание стержня

Черновое	12	50	50
Чистовое	11	25	25

Шлифование валов, дисков, рычагов

Однократное	7—9	5	10
Черновое	8—9	10	20
Чистовое	6—7	5	15
Тонкое	5—6	2,5	5

¹ Значения допусков для квалитетов 5—14 даны в табл. 32.

Указания для расчета припусков и предельных размеров при изготовлении деталей из поковок. Отклонения расположения торцовых поверхностей:

для заготовки

$$\Delta_{\Sigma H} = \Delta_H D; \quad (32)$$

после черновой обработки

$$\Delta_{\text{чер}} = 0,20(R - r) \Delta_H; \quad (33)$$

после получистовой обработки

$$\Delta_{\text{пч}} = 0,15(R - r) \Delta_H; \quad (34)$$

после чистовой обработки

$$\Delta_{\text{чс}} = 0,10(R - r) \Delta_H. \quad (35)$$

Здесь Δ_H — отклонение от перпендикулярности, мкм на 1 мм длины; при расчете припусков на обработку торцовых поверхностей деталей ти-

па дисков отклонение после термической обработки принимать равным 0,8 мкм на 1 мм длины; D – диаметр торцевой поверхности, мм; R – радиус наружной поверхности, мм; r – радиус внутренней поверхности, мм. При разности $(R - r) < 50$ отклонением от перпендикулярности можно пренебречь.

Для промежуточных торцевых поверхностей ступенчатого вала, изготавливаемого на ВРКМ, отклонение от перпендикулярности торца

$$\Delta_{\Sigma H} = \Delta_H \frac{l}{D}, \quad (36)$$

где Δ_H – отклонение от перпендикулярности, равное 0,05 мкм на 1 мм длины для диаметра торцевой поверхности до 60 мм и 0,1 мкм на 1 мм длины для диаметра св. 60 мм; l – расстояние (мм) от середины наибольшего диаметра ступени до торцевой поверхности, для которой определяется отклонение; D – диаметр торцевой поверхности, мм.

Для поверхностей концевых ступеней суммарные отклонения расположения

$$\Delta_{\Sigma H} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}, \quad (37)$$

где Δ_1 – отклонение от перпендикулярности торца; Δ_2 – дефекты поковки вследствие отбукки.

Для поковок, изготавливаемых на ВРКМ, допуск на промежуточные ступени составляет ± 1 мм. При повышенных требованиях к точности и шероховатости поверхности к расчетному припуску прибавляют 0,2 мм. В качестве исходной заготовки рекомендуется брать сортовой прокат высокой точности.

Остаточное отклонение расположения заготовки после обработки определяют расчетом или по приближенной формуле

$$\Delta_{\text{ост}} = K_y \Delta_3, \quad (38)$$

где Δ_3 – кривизна заготовки; K_y – коэффициент уточнения (см. стр. 190).

Полученные в результате расчета общие припуски и размеры заготовки корректируют с учетом следующих дополнений: 1) назначают технологические напуски для крепления заготовки при термической обработке, взятии проб для физико-механических испытаний, а также напуски, упрощающие конфигурацию заготовки или сглаживающие местные углубления, переходы и уступы; 2) назначают радиусы закруглений или размеры фаски в соответствии с размерами заготовки; при необ-

ходимости корректируют припуски на обработку исходя из оптимального соотношения

$$r_d \geq r_3 - z,$$

где r_d и r_3 – радиусы закругления или размеры фаски соответственно у обработанной детали и заготовки; z – номинальный припуск на обработку, рассчитанный по формулам (3) – (6). При несоблюдении оптимального соотношения целесообразно увеличить радиус закругления или размер фаски r_d обрабатываемой детали; если по конструктивным соображениям этого сделать нельзя, то корректируют минимальный припуск с z_{min} до z'_{min} , при этом $z'_{\text{min}} \geq r_3 - r_d + ei_d - ei_3$, где ei_d и ei_3 – нижние отклонения размера соответственно обрабатываемой детали и заготовки.

Детали, получаемые электроэрозивной обработкой

Высота неровностей профиля по десяти точкам, мкм

$$Rz = C \left[\frac{I_{\text{cp}} u_{\text{см}}}{f} \right]^P, \quad (39)$$

где I_{cp} – сила рабочего тока, А; $u_{\text{см}}$ – напряжение на рабочем промежутке, В; f – частота следования импульсов; C и P – коэффициенты, зависящие от материала обрабатываемой детали:

Обрабатываемый материал	C	P
Углеродистые стали	190	0,35
Жаропрочные сплавы	205	0,38
Твердые сплавы	67	0,38

26. Глубина h (мкм) дефектного поверхностного слоя

Частота импульсов f , Гц	Сила тока I_{cp} , А									
	1	3	7	10	15	20	50	100	200	300
50	—	—	—	200	300	350	420	470	520	630
100	—	—	—	150	170	200	250	310	360	540
400	—	—	—	60	100	150	200	230	260	300
7000	20	30	40	50	60	70	—	—	—	—
22 000	10	20	30	40	50	60	—	—	—	—

Примечание. При расчете припусков на доводку поверхности после ее электроэрозивной обработки на мягких режимах ($I_{\text{cp}} = 4 \div 5$ А), когда измененный структурный слой не ухудшает качества поверхности, h из расчетной формулы исключают.

Детали, получаемые механической обработкой

27. Качество поверхностей отверстий после обработки

Способ обработки	Диаметр отверстий d , мм	Квалитет	R_z	h	
			мкм		
Сверление спиральными сверлами	От 3 до 6	12	20	40	
	Св. 6 » 10		32	50	
	» 10 » 18		40	60	
	» 18 » 50		50	70	
	» 50 » 80		63	80	
Глубокое сверление специальными сверлами	От 3 до 10	12	16	25	
	Св. 10 » 18		20	30	
	» 18 » 30		32	40	
	» 30 » 50		50	50	
Зенкерование	однократное	10	До 80	32	40
	черновое		11	От 18 до 30	40
		Св. 30 до 80		50	50
	чистовое	10	До 30	32	30
Св. 30 до 80			40	40	
Растачивание	черновое	12	От 50 до 260	40	50
	чистовое			10	20

28. Увод сверла и смещение оси отверстия при сверлении

Сверло	Диаметр отверстия, мм				
	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50

Увод Δ_y , мкм на 1 мм длины отверстия

Спиральное	2,1	1,7	1,3	0,9	0,7
Специальное	1,6	1,3	1,0	0,7	0,4

Смещение S_0 (мм) оси отверстия относительно номинального положения

Спиральные и специальные	10	15	20	25	30
--------------------------	----	----	----	----	----

	Способ обработки	Диаметр отверстий d , мм	Квалитет	R_z	h	
				мкм		
Развертывание	нормальное	От 6 до 30	10	10	20	
	точное			8	5	10
	тонкое			7	3,2	5
Отделочные методы	шлифование	До 80	7-9	5	10	
	протягивание	От 10 до 80	8	4	6	
	калибрование шариком	» 6 » 80	7	0,63	-	
	хонингование	До 80	6-7	0,16	-	

Примечания: 1. Под черновым зенкерованием следует понимать обработку по литому или прошитому при штамповке отверстию; под чистовым — обработку после сверления или черного зенкерования. 2. Виды развертывания (нормальное, точное и тонкое), характеризуются допуском на диаметры разверток. 3. При обработке мерным инструментом (сверлом, зенкером, разверткой, протяжкой, фрезой и т. п.) диаметр инструмента принимают ближайший по сортаменту, причем наименьший предельный размер инструмента должен быть не менее диаметра $D_{\text{зпн}}$, полученного расчетом. 4. Значения допусков для квалитетов 6-12 приведены в табл. 32.

29. Коэффициент уточнения K_y для отливок, поковок, штампованных заготовок и сортового проката

Технологический переход	K_y
После obtачивания:	
однократного	0,05
чернового	0,06
получистового	0,05
чистового	0,04
После шлифования:	
чернового	0,03
чистового	0,02

30. Формулы для расчета остаточного отклонения расположения $\Delta_{ос}$ после механической обработки

Обработка		Формула для расчета
Точение наружной поверхности на станке	токарном	$WC_y s^3 HB^n [t^x - (t - \Delta_{пр})^x]$
	токарном автомате, револьверном	$WC_y s^3 HB^n [t^x - (t - \Delta_{пр})^x]$
Симметричное фрезерование плоскости на вертикально-фрезерном станке		$0,5 WC t^x s^2 z D^{-q} \times [B^2 - (B - \Delta_{пр})^2]$
Шлифование наружной поверхности на станке	круглошлифовальном	$WKC_p v_n^{0,7} s_n^{0,7} \times [t^{0,6} - (t - \Delta_{пр})^{0,6}]$
	бесцентровошлифовальном	$WC_p s_1^{0,55} v_n^{0,55} d_n^{0,55} \Delta_{пр}$

Обозначения: W – податливость технологической системы, мм/Н (см. гл. 1, стр. 27); C_y – коэффициент, характеризующий условия резания при точении; s – подача при точении, мм/об; t – глубина резания, мм; HB – твердость обрабатываемого материала по Бринеллю, МПа; C – коэффициент, характеризующий условия резания при фрезеровании; z – подача при фрезеровании, мм/зуб; z – число зубьев фрезы; D – диаметр фрезы, мм; B – ширина фрезеруемой поверхности, мм; C_p – коэффициент, характеризующий условия резания: при бесцентровом шлифовании заготовки из стали 45 непрерывным потоком $C_p = 12,28$; единичными заготовками $C_p = 10,5$; при наружном круглом шлифовании кругами шириной 40 мм при обработке заготовки из стали $C_p = 2,15$ и чугуна $C_p = 2,0$; K – коэффициент, характеризующий состояние шлифовального круга (при остром круге $K = 1,5$; при затупленном $K = 3$); s_n – продольная подача заготовки при шлифовании; s_1 – подача при врезном шлифовании; v_n – окружная скорость обрабатываемой заготовки, м/мин; d_n – диаметр обрабатываемой заготовки, мм; $\Delta_{пр}$ – исходная кривизна заготовки для первого перехода механической обработки, мм; для последующих переходов – остаточная кривизна заготовки после предшествующего перехода, мм; x, y, n, q, z – показатели степеней в формулах (см. Справочник технолога-машиностроителя, т. 2)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРИПУСКОВ НА ОБРАБОТКУ

Обработку узлов в сборе (рис. 4) производят для устранения отклонений размеров узлов или деталей, возникающих в процессе сборки. Так, при запрессовке втулки в корпусную деталь происходит усадка отверстия; при напрессовке кольца на вал увеличивается наружный диаметр кольца.

Увеличение наружного диаметра охватываемой детали при напрессовке на вал (рис. 4, а)

$$\Delta_B = \frac{2pDd^2 \cdot 10^3}{E_A (D^2 - d^2)} \quad (40)$$

При запрессовке втулки в корпус или рычаг (рис. 4, б) уменьшение внутреннего диаметра охватываемой детали

$$\Delta_0 = \frac{2pd^2 d_0 \cdot 10^3}{E_B (d^2 - d_0^2)} \quad (41)$$

Здесь D – наружный диаметр кольца, мм; d – наружный диаметр вала, мм; d_0 – диаметр отверстия втулки, мм; p – давление на контактных поверхностях;

$$p = \frac{1}{d} \frac{i}{(C_A/E_A + C_B/E_B)} \quad (42)$$

где i – натяг, мм; $C_A = \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \mu_A$; $C_B = \frac{d^2 + d_0^2}{d^2 - d_0^2} - \mu_B$; E_A – модуль упругости материала втулки, Па; E_B – модуль упругости материала вала, Па; μ_A и μ_B – коэффициенты

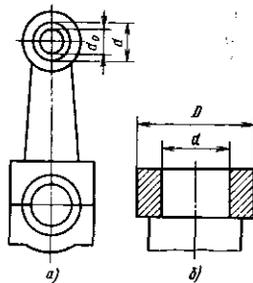


Рис. 4. Примеры, иллюстрирующие необходимость обработки узлов в сборе: а – рычаг; б – вал

31. Значения C_A и C_B

d_{0i}/d для C_B : d/D для C_A	C_A			C_B		
	Сталь	Бронза	Чугун	Сталь	Бронза	Чугун
0,000	1,30	1,33	1,25	0,70	0,67	0,75
0,100	1,32	1,35	1,27	0,72	0,69	0,77
0,200	1,38	1,41	1,33	0,78	0,75	0,83
0,300	1,49	1,52	1,44	0,89	0,86	0,94
0,400	1,68	1,71	1,63	1,08	1,05	1,13
0,450	1,81	1,84	1,76	1,21	1,18	1,26
0,500	1,95	2,00	1,92	1,37	1,34	1,42
0,550	2,17	2,20	2,12	1,57	1,54	1,62
0,600	2,43	2,46	2,38	1,83	1,80	1,88
0,650	2,77	2,80	2,72	2,17	2,14	2,22
0,700	3,22	3,25	3,17	2,62	2,59	2,67
0,750	3,84	3,87	3,79	3,28	3,25	3,33
0,800	4,85	4,88	4,80	4,25	4,22	4,30
0,850	6,58	6,61	6,53	5,88	5,95	6,03
0,900	9,83	9,86	9,78	9,23	9,20	9,28
0,925	13,18	13,21	13,13	12,58	12,56	12,63
0,950	19,30	19,33	19,25	18,70	18,67	19,75
0,975	39,30	39,33	39,25	38,70	38,67	38,75
0,990	99,30	99,33	99,25	98,70	98,67	98,75

Примечание. Если охватываемая деталь выполнена в виде сплошного вала, то $\frac{d_0}{d} = 0$. Когда охватываемая деталь выполнена в виде плиты или корпуса, принимают $\frac{d}{D} = 0$.

Пуассона для материала охватываемой и охватываемой деталей (для стали $\mu = 0,3$ и для чугуна $\mu = 0,25$) соответственно. Значения C_A и C_B приведены в табл. 31.

Если предусмотрена обработка той или иной поверхности после сборки, то припуски на обработку

$$2z_{Di \min} = \Delta_B + 0,5TD_i; \quad (43)$$

$$2z_{di \min} = \Delta_O + 0,5Td_i; \quad (44)$$

где $0,5TD_i$ или $0,5Td_i$ — дополнительный припуск для компенсации отклонения расположения осей сопрягаемых деталей.

Отклонения элементов конструкции при изготовлении узла на выполняемом переходе можно учесть включением в расчетную формулу суммарного отклонения расположения, возникающего при сборке,

$$2z_{i \min} = 2(Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \varepsilon_i + \Delta_{\Sigma_{co}}; \quad (45)$$

Суммарное отклонение расположения поверхностей для компенсации коробления после сварки и механической обработки

$$\Delta_{\Sigma_{co}} = \sqrt{\Delta_{\text{мех}}^2 + \Delta_{\text{св}}^2}; \quad (46)$$

где $\Delta_{\text{мех}}$ — коробление узла после механической обработки кромок; $\Delta_{\text{св}}$ — коробление узла в результате осуществления процесса сварки или правки сварной конструкции.

32. Значения допусков T (мкм) для размеров до 500 мм

Размер, мм	Квалитет												
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
До 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
Св. 3 до 6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
» 6 » 10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
» 10 » 18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
» 18 » 30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
» 30 » 50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
» 50 » 80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
» 80 » 120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
» 120 » 180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
» 180 » 250	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
» 250 » 315	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
» 315 » 400	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
» 400 » 500	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПРИПУСКОВ И ПРЕДЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ

Карта расчета припусков на обработку и предельных размеров по технологическим переходам

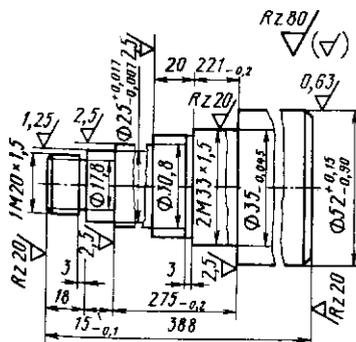
Наименование детали – вал. Материал – сталь 40

Элементарная поверхность для расчета припуска – шейка вала диаметром $50_{-0,05}^0$ мм

Элементарная поверхность детали и технологический маршрут ее обработки	Элементы припуска, мкм				Расчетный припуск $z_{\text{мин}}$, мкм	Расчетный минимальный размер, мм	Допуск на изготовление T_d , мкм	Принятые (округленные) размеры по переходам, мм		Полученные предельные припуски, мкм	
	Rz	h	Δ	ϵ				d_{max}	d_{min}	z_{max}	z_{min}
Штамповка	200	300	200	—	—	51,75	2000	54,00	52,00	—	—
Обтачивание:											
черновое	50	50	25	—	1400	50,35	500	50,90	50,40	3100	1600
чистовое	25	25	—	—	250	50,10	150	50,25	50,10	650	300
Шлифование:											
обдирочное	10	15	—	—	100	50,00	100	50,10	50,00	150	100
чистовое	5	5	—	—	50	49,95	50	50,00	49,95	100	50

Проверка расчета: $Td_3 - Td_2 = 1950 = 2z_{\text{о max}} - 2z_{\text{о min}} = 4000 - 2050$

Расчет припусков на обработку, номинальных размеров поковки и размеров исходной заготовки для вала, изготавливаемого на ВРКМ



Заготовка – поковка, изготавливаемая на вертикальной радиально-ковочной машине (ВРКМ). Материал – сталь 50

Рис. 5. Рабочий чертеж вала, изготавливаемого ковкой на ВРКМ

С учетом технологических возможностей ВРКМ поковка запроектирована четырехступенчатой с наибольшим обжатием по диаметру 17 мм ($52 - 35 = 17$ мм) и наименьшим – 2 мм ($35 - 33 = 2$ мм). Расчет проведен из следующих условий: $n = 30$ об/мин; $R_0 = 30$ мм (диапазон диаметров поковок 30–55 мм). Исходная заготовка – сортовой круглый прокат повышенной точности.

Расчет диаметров поковки

Диаметр d , мм	Расчетные данные для определения номинальных диаметров поковки, мм								$d_{\text{пок}}^{\text{принятый}}$, мм	$T_{d_{\text{пок}}}$, мм	Примечание	
	$d_{\text{пот}}$	Rz	h	Δ_1^*	Δ_2^{**}	Δ_{Σ}	Нижнее отклонение e_i , мм	Дополнительный припуск				$d_{\text{пок}}^{\text{расчетный}}$
52	52	0,050	0,52	0,080	0,30	0,310	0,2	0,2	54,56	56,0	$\pm 0,2$	d
35h6	35	0,125	0,35	0,522	0,30	0,602	0,2	—	37,554	37,6	$\pm 0,2$	исходной
2М33	33	0,125	0,33	0,630	0,30	0,690	0,2	—	35,69	35,7	$\pm 0,2$	заготовки
25	25	0,100	0,25	0,664	0,30	0,734	0,2	0,2	27,968	28,0	$\pm 0,2$	$56 \pm 0,2$ $1,0$ мм

*1 Δ_1 — отклонения торца от перпендикулярности.*2 Δ_2 — дефект отрезки (снятие по диаметру при отрубке).

Примечания: 1. Rz округлены до числовых значений по ГОСТ 2789-73. 2. $h = 0,01d$, где d — диаметр детали (мм) по чертежу. 3. Дополнительный припуск 0,2 мм учтен в связи с повышенными требованиями к точности и шероховатости поверхностей (см. стр. 189).

Расчет линейных размеров

l , мм	Расчетные данные для определения номинальных размеров, мм								$l_{\text{пок}}^{\text{принятый}}$	$T_{l_{\text{пок}}}$, мм	Ступень
	$l_{\text{пот}}$	Rz	h	Δ_1	Δ_2	Δ_{Σ}	Нижнее отклонение e_i , мм	$l_{\text{пок}}^{\text{расчетный}}$			
80	80	0,10	0,8	0,05 $\frac{40}{52}$	4,0	$\frac{\text{пр. } 4,0}{\text{лев. } 0,05}$	1,00	86,8	87	± 1	Исходная
221 $_{-0,2}$	221	0,32	0,5	0,05 $\frac{261}{35}$	—	0,400	1,00	223,22	224	± 1	Промежуточная
54	54	0,32	0,5	0,05 $\frac{315}{33}$	—	0,475	1,00	56,295	57	± 1	»
33	33	0,20	0,3	0,05 $\frac{332}{25}$	1,5	1,630	2,00	37,13	38	$\begin{matrix} -2 \\ +16 \end{matrix}$	Концевая

Общую длину исходной заготовки определяем как сумму длин каждой ступени. Длина заготовки для каждой ступени с учетом номинальных припусков

$$L_3 = \frac{L}{\frac{4z}{d_{\text{пок}}} + 1}, \quad (47)$$

где $d_{\text{пок}}$ — номинальный размер диаметра ступени поковки по расчету; L — длина ступени по расчету; z — напуск.

Для нашего случая

$$L_{31} = \frac{88}{\frac{4 \cdot 0,2}{56} + 1} = 86,5 \text{ мм};$$

$$L_{32} = \frac{222}{\frac{4 \cdot 8,7}{37,6} + 1} = 127 \text{ мм};$$

$$L_{33} = \frac{56}{\frac{4 \cdot 9,7}{35,6} + 1} = 28 \text{ мм};$$

$$L_{34} = \frac{34}{\frac{4 \cdot 13,5}{28} + 1} = 12 \text{ мм}.$$

Допуск на изготовление концевых ступеней вследствие отклонений исходной заготовки

$$T = \frac{2T_3}{d_3 - 4z} L_3 = qL_3. \quad (48)$$

Здесь T_3 — допуск на размер исходной заготовки; d_3 — номинальный размер заготовки;

$$z - \text{напуск}; q = \frac{2T_3}{d_3 - 4z}$$

Подставляя известные данные, получим

$$q_1 = \frac{2 \cdot 0,4}{56 - 4 \cdot 0,2} = 0,0162; T_1 = 0,016 \cdot 86,5 = 1,38 \text{ мм};$$

$$q_2 = \frac{2 \cdot 0,4}{56 - 4 \cdot 8,7} = 0,0435; T_2 = 0,044 \cdot 127 = 5,59 \text{ мм};$$

$$q_3 = \frac{2 \cdot 0,4}{56 - 4 \cdot 9,7} = 0,0545; T_3 = 0,054 \cdot 28 = 1,51 \text{ мм};$$

$$q_4 = \frac{2 \cdot 0,4}{56 - 4 \cdot 13,5} = 0,4000; T_4 = 0,400 \cdot 12 = 4,80 \text{ мм}.$$

Допуск на изготовление концевой ступени вследствие отклонений при отрезке

$$T_p = \left(\frac{d_3}{d_{\text{пок}}} \right)^2 T_{\text{рез}} \quad (49)$$

где $T_{\text{рез}}$ — допуск на отрезку исходной заготовки. Подставляя известные данные, получим

$$T_p = \left(\frac{56}{28} \right)^2 1,5 = 3,8 = \pm 1,9 \text{ мм. Торце}$$

диаметром 25 мм принимаем за исходный, и назначаем допуск на длину его ступени ± 1 мм; для торца диаметром 25 мм допуск на длину его ступени $5,59 + 1,51 + 4,8 = 11,9$ мм. С учетом дефектов отрезки допуск составит $11,9 \pm 1,9 = \pm 13,8$. Скорректируем размеры концевой ступени этого же диаметра с учетом допуска. Ее длина

$$L_{34} = \frac{34 + 14}{\frac{4 \cdot 13,5}{28} + 1} = 16,4; T_4 = 0,4 \cdot 16,4 =$$

$$= 6,5 \text{ мм}.$$

Скорректируем размеры четвертой ступени еще раз. Имеем

$$L_{34} = \frac{34 + 16}{\frac{4 \cdot 13,5}{28} + 1} = 17; T_4 = 0,4 \cdot 17 = 6,8 \text{ мм}.$$

Допуск 6,8 мм незначительно отличается от допуска 6,5 мм. Округляя полученные

данные, примем допуск на длину четвертой ступени равным ± 16 .

Расчетная общая длина исходной заготовки

$$L_3 = L_{31} + L_{32} + L_{33} + L_{34}.$$

Следовательно,

$$L_3 = 86,5 + 127 + 28 + 17 = 258,5 \pm 0,75 \text{ мм}.$$

Диаметр исходной заготовки $56^{+0,2}_{-1,0}$ мм.

Расчет припусков на обработку и предельных размеров по технологическим переходам для крупного вала

Заготовка-поковка I группы точности по ГОСТ 7062-79. Материал — сталь 45. Исходная заготовка — прокат, диаметр $350_{-0,215}$ мм

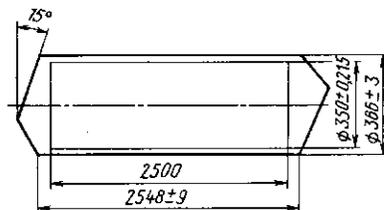


Рис. 6. Рабочий чертеж вала, изготовляемого ковкой на прессе

Минимальный припуск на черновую обработку такого вала

$$2z_{\text{чер min}} = 2(Rz_{\text{пок}} + h_{\text{пок}} + \sqrt{\Delta_{\text{пок}}^2 + \epsilon_{\text{чер}}^2}).$$

Принимаем $Rz_{\text{пок}} + h_{\text{пок}} = 1,5$ мм (стр. 185). Кривизна заготовки $\Delta_k = 0,8 \cdot 2500 = 2$ мм (стр. 186).

Погрешность центрования $\Delta_{\text{ц}} = 0,25Td = 0,25 \cdot 8 = 2$ мм (стр. 178).

Суммарное значение

$$\Delta_{\text{пок}} \sqrt{\Delta_k^2 + \Delta_{\text{ц}}^2} = \sqrt{2^2 + 2^2} = 2,82 \text{ мм}.$$

Значение $\Sigma_{\text{чер}}$ принимаем равным 2,3 мм. Таким образом, припуск на черновую обработку

$$2z_{\text{чер min}} = 2(1,5 + \sqrt{2,82^2 + 2,3^2}) = 10,28 \text{ мм}.$$

Учитывая, что наибольшая податливость заготовки вала не превышает $0,004$ мкм/Н, примем $W_{\text{сист}} = W_{\text{ст}} + W_3 = 0,1$ мкм/Н.

При черновой обработке

$$A = C_y s^y H V^n = 0,00027 \cdot 2^{0,75} \cdot 2000^2 = 1815,$$

где $HV = 2000$ МПа.

Приняв припуск по диаметру на черновую обработку 10,28 мм, получим глубину резания $t = 5,14$ мм и, следовательно,

$$\Delta_{\text{ост}} = 0,1 \cdot 1815 [5,14^{0,9} - (5,14 - 2,82)^{0,9}] = 405 \text{ мкм.}$$

$$2z_{\text{о пот}} = 2z_{\text{о min}} + ei_3 - ei_d = 12,28 + 3 - 0,215 = 15,065 \text{ мм.}$$

По ГОСТ 7062-79 номинальный припуск на обработку такого вала составляет 17 мм независимо от группы точности. По ГОСТ 7829-70 припуск на обработку такого вала составляет 19 мм.

Предельные размеры по технологическим переходам следующие:

Маршрут обработки поверхности вала	Расчетный припуск, мм	Расчетный размер, мм	Допуск Td , мкм	Предельные размеры, мм		Фактические припуски, мм	
				d_{max}	d_{min}	$2z_{\text{max}}$	$2z_{\text{min}}$
Поковка	—	362,065	6000	369,0	363,0	—	—
Черновое обтачивание	10,28	351,785	2300	354,4	351,8	14,6	11,2
Чистовое обтачивание	2,00	349,785	215(230)	350,0	349,785	4,4	2,015
Σ_0						19,0	13,215

Примечание. Допуск принимаем не по 10-му качеству (230 мкм), а по чертежу (215 мм).

Коэффициент уточнения при черновой обработке

$$K_y = \frac{0,405}{2,82} = 0,14.$$

Припуск на чистовую обработку

$$\begin{aligned} 2z_{\text{чис min}} &= 2(Rz_{\text{чер}} + h_{\text{чер}} + \sqrt{\Delta_{\text{ост}}^2 + \varepsilon_{\text{чис}}^2}) = \\ &= 2(250 + 240 + \sqrt{405^2 + 230^2}) = \\ &= 1912 \text{ мкм} = 2,00 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Общий припуск на обработку

$$2z_{\text{о min}} = 10,28 + 2,00 = 12,28 \text{ мм.}$$

Пересчитаем расчетный минимальный припуск на номинальный:

Проверка.

$$\begin{aligned} Td_3 - Td_d &= 2z_{\text{о max}} = 2z_{\text{о min}} = 6 - 0,215 = \\ &= 19 - 13,215 = 5,785 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Определение припусков и предельных значений выполнено правильно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капустин Н. М. Разработка технологических процессов обработки деталей на станках с помощью ЭВМ. М.: Машиностроение, 1976. 282 с.

2. Кован В. М. Основы технологии машиностроения. М.: Машгиз, 1959, 494 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОПЕ- РАЦИЙ ОБРАБОТКИ

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ВЫСОКО- ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Содержание и последовательность технологических разработок

Разработка технологических процессов (ТП) входит основным разделом в технологическую подготовку производства и выполняется на основе принципов «Единой системы технологической подготовки производства» (ГОСТ 14.001—73).

ГОСТ 14.301—83 этой системы устанавливает виды и общие правила разработки технологических процессов, исходную информацию и перечень основных задач на этапах их разработки.

Разрабатываемый технологический процесс должен быть прогрессивным, обеспечивать повышение производительности труда и качества деталей, сокращение трудовых и материальных затрат на его реализацию, уменьшение вредных воздействий на окружающую среду.

Технологический процесс разрабатывают на основе имеющегося типового или группового технологического процесса. По технологическому классификатору формируют технологический код. По коду изделие относят к определенной классификационной группе и действующему для нее типовому или групповому технологическому процессу. При отсутствии соответствующей классификационной группы технологический процесс разрабатывают как единственный, с учетом ранее принятых прогрессивных решений в действующих единичных технологических процессах.

Важным этапом разработок является нормирование технологического процесса. Нормирование включает: расчет и нормирование труда на выполнение процесса; определение разряда работ и обоснование профессий исполнителей для выполнения операций в зависимости от сложности этих работ; расчет норм расхода материалов, необходимых для реализации процесса. В ходе разработок определяются требования охраны труда. Целесо-

образность использования средств вычислительной техники при проектировании технологического процесса определяется в соответствии с требованиями стандартов ЕСТПП. На завершающем этапе разработок выбирают оптимальный вариант технологического процесса и рассчитывают его экономическую эффективность на основе существующих методик. При оформлении технологических процессов по стандартам ЕСТД проводят нормоконтроль документации, согласование и утверждение в установленном порядке.

При разработке технологических процессов необходима исходная информация.

Базовой исходной информацией для проектирования ТП служат: рабочие чертежи деталей, технические требования, регламентирующие точность, параметр шероховатости поверхности и другие требования качества; объем годового выпуска изделий, определяющий возможность организации поточного производства. Для поточного производства необходимо рассчитать такт выпуска. Для непоточного производства важно знать ритмичность выпуска изделий и объем серий.

При проектировании необходимо изучить и использовать руководящую и справочную информацию. Руководящая информация предопределяет подчиненность принимаемых решений государственным и отраслевым стандартам, учет принятых перспективных разработок. К справочной информации относятся опыт изготовления аналогичных изделий, методические материалы и нормативы, результаты научных исследований.

Для разработки технологического процесса обработки детали требуется предварительно изучить ее конструкцию и функции, выполняемые в узле, механизме, машине, проанализировать технологические конструкции и контролировать чертеж. Рабочий чертеж детали должен иметь все данные, необходимые для исчерпывающего и однозначного понимания при изготовлении и контроле детали, и соответствовать действующим стандартам.

Технологичность конструкции детали анализируют с учетом условий ее производства, рассматривая особенности конструкции и требования качества как технологические задачи

изготовления. Выявляют возможные трудности обеспечения параметров шероховатости поверхности, размеров, форм и расположения поверхностей, делают увязку с возможностями методов окончательной обработки, возможностями оборудования и метрологических средств. Обращают внимание на конфигурацию и размерные соотношения детали, устанавливают обоснованность требований точности, выявляют возможность тех или иных изменений, не влияющих на параметры качества детали, но облегчающих изготовление ее, открывающих возможности применения высокопроизводительных технологических методов и режимов обработки.

Размеры элементарных поверхностей деталей (ширины канавок и пазов, резьбы, фасок и т. п.) должны быть унифицированы. Ограничения при проектировании могут возникнуть, например, в случае слишком близкого расположения осей отверстий у детали, невозможности сквозного прохода инструмента.

Анализируют специальные технические требования (балансировку, подгонку по массе, термическую обработку, покрытия и т. п.), предусматривают условия их выполнения в технологическом процессе и место проверки. Изменения утверждают в установленном порядке и вносят (отдел главного конструктора) в рабочие чертежи и технические требования на изготовление.

Для количественной оценки технологичности конструкции применяют показатели, предусмотренные ГОСТ 14.202—73. Показатели, характеризующие трудоемкость, материалоемкость, унификацию конструкций элементов детали, требования к точности изготовления, дают конкретные представления при сравнении с аналогичными деталями, принятыми в качестве базовых.

Заготовку выбирают исходя из минимальной себестоимости готовой детали для заданного годового выпуска. Чем больше форма и размеры заготовки приближаются к форме и размерам готовой детали, тем дороже она в изготовлении, но тем проще и дешевле ее последующая механическая обработка и меньше расход материала. Задача решается на основе минимизации суммарных затрат средств на изготовление заготовки и ее последующую обработку.

При выборе заготовки следует учитывать, что руководящим положениям об экономии материалов, создании безотходной и малоотходной технологии и интенсификации технологических процессов в машиностроении отве-

чает тенденция использования более точной и сложной заготовки. Для таких заготовок требуется более дорогая технологическая оснастка в заготовительном цехе (сложные штампы или комплекты модельной оснастки), затраты на которую могут оправдать себя лишь при достаточно большом объеме годового выпуска заготовок. Для того чтобы применить точные горячештампованные заготовки в серийном производстве, при технологической подготовке производства предусматривают применение одной групповой (комплексной) заготовки для нескольких близких по конфигурации и размеру деталей. Таким образом, в результате суммирования выпуска всех деталей группы увеличивается объем годового выпуска заготовок, и становится экономически целесообразным применять сложные штампованные заготовки вместо проката. Размеры, припуски на обработку и механические свойства материала поступающих на обработку заготовок должны соответствовать величинам, принятым при проектировании и изложенным в утвержденных технических условиях.

Стабильность характеристик качества заготовок существенно влияет на протекание технологических процессов. В автоматизированном производстве при этом создаются условия для осуществления статистического управляемого технологического процесса (ГОСТ 15895—77), обеспечивающего получение деталей с заданными параметрами качества при минимальных затратах времени на регулирование хода технологического процесса.

Применение прогрессивных заготовок со стабильными характеристиками качества является важным условием организации гибкого автоматизированного производства, требующего быстрой переналадки оборудования и оснастки.

При низкой точности размеров заготовок, увеличенных припусках, больших колебаниях твердости материала, плохом состоянии необработанных баз нарушается безотказность работы приспособлений, ухудшаются условия работы инструментов, снижается точность обработки, возрастают простои оборудования.

Выбор заготовки после соответствующих технико-экономических обоснований (см. гл. 3) оформляют назначением класса точности по соответствующему ГОСТу на заготовки и указанием на чертеже заготовки технологических баз. После определения припусков на обработку на чертеж заготовки наносят общие припуски и обозначают отверстия, которые обра-