5. Припуски на механическую обработку

5.1. Наименьший припуск на механическую обработку

Припуском на обработку называется слой (толщина слоя) материала, удаляемый с поверхности заготовки для устранения дефектов от предыдущей обработки. *Общим припуском* на обработку называется слой материала (толщина слоя), удаляемый с рассматриваемой поверхности исходной заготовки в процессе выполнения технологического процесса с целью получения готовой детали.

Установление правильной толщины припусков на обработку является ответственной технико-экономической задачей. Назначение чрезмерно больших припусков приводит к потерям материала, превращаемого в стружку; к увеличению упругой деформации технологической системы СПИЗ (станок – приспособление – инструмент – заготовка) вследствие увеличения силы резания, а значит и к уменьшению точности обработки; к увеличению трудоемкости механической обработки (если припуск больше максимально допустимой глубины резания и приходится его удалять за несколько проходов); усложняется применение приспособлений вследствие увеличения силы резания; к повышению расхода режущего инструмента и электрической энергии; к увеличению потребности в оборудовании и рабочей силе.

Назначение недостаточно больших припусков не обеспечивает удаления дефектных слоев материала и достижения требуемой точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей, а также вызывает повышение требований к точности исходных заготовок и приводит к их удорожанию, затрудняет разметку и выверку положения заготовок на станках при обработке по методу пробных ходов и увеличивает опасность появления брака.

Операционный припуск — это слой материала, удаляемый с заготовки при выполнении одной технологической операции (ГОСТ 3.1109—82). Операционный припуск равняется сумме промежуточных припусков, т.е. припусков на отдельные переходы, входящие в данную операцию.

Припуск на переход — это слой материала (толщина слоя), удаляемый с заготовки при выполнении перехода, т.е. при обработке рассматриваемой поверхности с определённой точностью неизменным инструментов при неизменных режимах резания.

Припуск обозначается символом z. Наименьший припуск на переход i складывается из отдельных элементов, связанных с различными погрешностями. Показатели, погрешности, параметры шероховатости, дефекты, допуски и т.п., получаемые *на рассматриваемом* переходе, обозначаются с индексом i. Например, символом $z_{min\,i}$ обозначается минимальный припуск на одну сторону, удаляемый на рассматриваемом переходе.

Погрешности или показатели шероховатости, дефекты, допуски и т.п., полученные *на предшествующей* обработке этой же поверхности обозначаются с индексом i-1. Например, символом $z_{min\,i-1}$ обозначается минимальный (наименьший допустимый) припуск на одну сторону (на сторону), удаляемый на предшествующей обработке *этой же поверхности*.

Рассмотрим составляющие минимального припуска на обработку плоской поверхности (при односторонней обработке) и поверхности вращения (рис. 5.1).

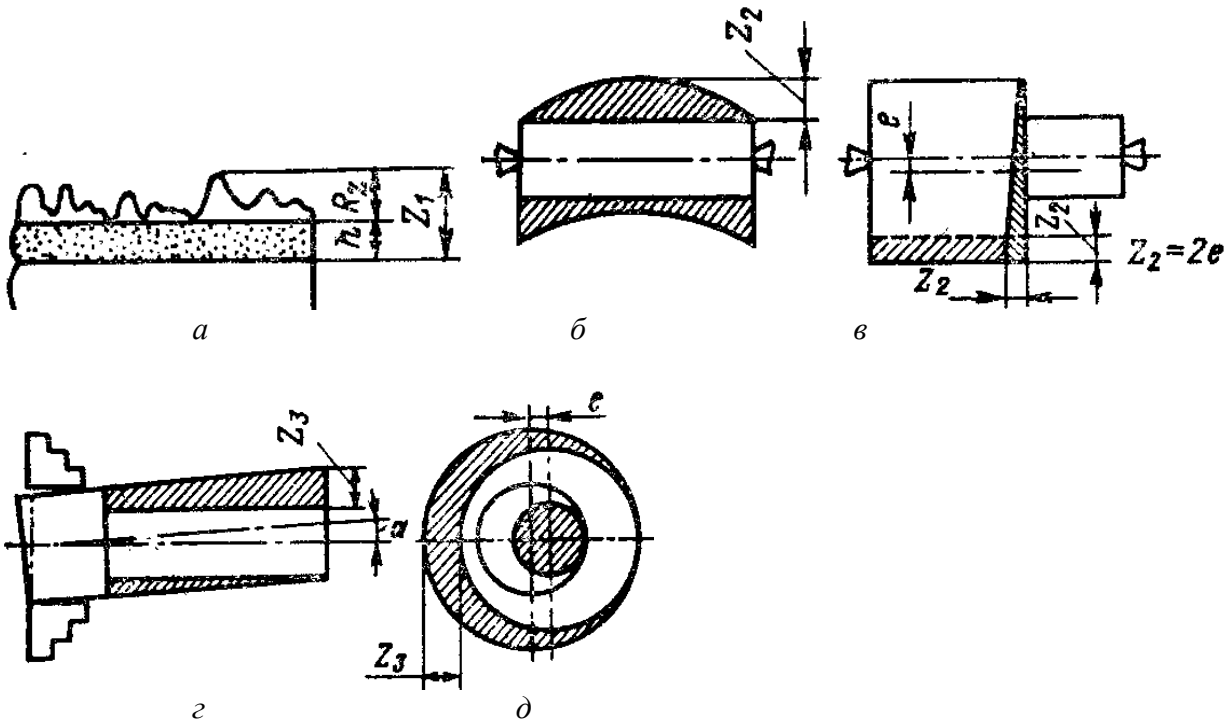

Рис. 5.1. Составляющие элементы припуска на переход; *а* – поперечное сечение призматической заготовки; *б* – схема для определения погрешности формы вала при его закреплении в центрах; *в* – схема для определения погрешности расположения поверхностей; *г* – схема для определения погрешности установки в продольном сечении при закреплении вала в токарном патроне; *г* – схема для определения погрешности установки в поперечном сечении при закреплении вала в токарном патроне

В связи с тем, что составляющие припуска z_2 и z_3 выражаются векторами, так как имеют не только величину, но и направление, то они суммируются геометрически, т.е. их результирующая будет равен квадратному корню от суммы квадратов составляющих z_2 и z_3. При самом худшем варианте направления погрешностей, т.е. когда все погрешности и дефекты направлены в одну и ту же сторону

$$z_{min\,i} = z_1 + z_2 + z_3\,, \qquad (5.1)$$

$$z_1 = R_{z\,i\text{-}1} + h_{i\text{-}1}, \qquad (5.2)$$

где $R_{z\,i\text{-}1}$ – высота неровностей профиля по десяти точкам, т.е. шероховатость поверхности после предыдущей обработки, мкм,; $h_{i\text{-}1}$, – глубина (толщина) дефектного слоя поверхности, мкм, полученная после предыдущей обработки в связи с обезуглероживанием, коррозией, наклепом, образованием трещин и т. п.; z_2 – толщина слоя металла, удаляемого для устранении погрешностей формы и расположения обрабатываемых поверхностей относительно базовых поверхностей исходной заготовки (отклонений от соосности и параллельности обрабатываемых поверхностей и линий центровых отверстий, отклонений от перпендикулярности торцовых поверхностей к линии центровых отверстий и т.п.); z_3 — толщина слоя металла, удаляемого для устранении погрешностей установки заготовки.

Погрешность установки рассматривается в данном разделе не с точки зрения ее влияния на формирование суммарной погрешности размеров, выдерживаемых при обработке, а с позиций ее влияния на смещения и повороты обрабатываемых

поверхностей при установке и закреплении заготовки; устранение этих пространственных смещений и поворотов требует увеличения минимального припуска на величину z_3. Составляющая z_3 должна учитываться даже при обработке заготовок методом пробных ходов в случае установки единичных заготовок.

Величины составляющих z_2 и z_3 определяются аналитически или экспериментально применительно к конкретным условиям установки обрабатываемых заготовок и характеру погрешностей исходных заготовок.

При обработке тел вращения часто используется термин «припуск на диаметр», который равен удвоенному наименьшему припуску на сторону $z_{min\,i}$ и обозначается как $2z_{min\,i}$, поскольку припуск будет удаляться и сверху, и снизу схемы расчёта наименьшего (минимального) припуска, изображённой на рис. 5.1, *а* и 5.1, *б*. Таким образом, припуск на диаметр

$$2z_{min\,i} = 2(z_1 + z_2 + z_3). \qquad (5.3)$$

Если погрешности формы и расположения обрабатываемых поверхностей исходной заготовки *тела вращения* (или заготовки после предшествующей операции ее обработки), в свою очередь, формируются из нескольких составляющих (например, если заготовка имеет одновременно и отклонение от прямолинейности, и отклонение от круглости) или погрешность установки на рассматриваемой операции складывается из нескольких составляющих различной ориентации в пространстве (например, радиальное биение обрабатываемой поверхности определяется величиной радиального биения шпинделя станка и величиной зазора между поверхностями посадочного отверстия заготовки и оправки), то с учётом вероятности действительного направления значения каждой из составляющих z_2 и z_3 припуска, в свою очередь, определяются геометрическим суммированием соответствующих элементарных погрешностей. Однако для гарантированного устранения погрешностей можно, как это на производстве делается чаще всего, производить арифметическое сложение.

Значения составляющих $R_{z\,i\text{-}1}$, $h_{i\text{-}1}$, z_2 и z_3 приводятся в справочной литературе. При этом слой металла z_2, удаление которого необходимо для устранения погрешности, связанные с пространственными отклонениями, часто обозначается через $\rho_{i\text{-}1}$ или $\Delta_{\Sigma\,i\text{-}1}$, слой металла z_3, компенсирующий погрешности установки заготовки, обозначается через ε_i, а толщина дефектного слоя $h_{i\text{-}1}$ — через $T_{деф\,i\text{-}1}$.

При обработке *тел вращения* и учитывая малую вероятность совпадения направления погрешностей формы и расположения поверхностей заготовки (например, коробления $\rho_{i\text{-}1}$ и отклонения от соосности $e_{i\text{-}1}$) и погрешности установки и закрепления $\Delta_{y\,i}$ формула для расчета наименьшего припуска на диаметр приобретает вид

$$2z_{\min .i} = 2\cdot\left(R_{z\,i-1} + T_{деф\,i-1} + \sqrt{(\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2)}\right), \qquad (5.4)$$

где: $2z_{min\,i}$ – минимальный припуск *на диаметр* для рассматриваемой обработки, мкм; $R_{z\,i\text{-}1}$ – шероховатость поверхности после предыдущей обработки, мкм; $T_{деф\,i\text{-}1}$ – глубина дефектного слоя после предыдущей обработки, мкм; $\rho_{i\text{-}1}$ – сумма погрешностей формы и расположения поверхностей заготовки, оставшихся или полученных после предыдущей обработки (с учётом предположения, что направления векторов всех погрешностей совпадают), мкм; ε_i – погрешность установки и закрепления перед рассматриваемой обработкой (проявляющейся во время рассматриваемой обработки).

При обработке *тел вращения* и предположении, что направления векторов всех погрешностей совпадают (для гарантированного устранения погрешностей и дефектов), суммирование составляющих наименьшего припуска производится арифметически

$$2z_{\min i} = 2\cdot\left(R_{z\,i-1} + T_{деф\,i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_{i}\right). \qquad (5.5)$$

Расчет минимальных значений припусков при односторонней обработке (для поверхностей не тел вращения) производим с учетом совпадения направлений всех погрешностей:

$$z_{\min i} = R_{z\,i\text{-}1} + T_{деф\;i\text{-}1} + \rho_{i\text{-}1} + \varepsilon_{i}, \qquad (5.6)$$

Числовые значения составляющих наименьшего припуска определяют из справочников в зависимости от вида обработки заготовки или её поверхности или по результатам измерений.

Например, суммарное отклонение погрешности по короблению и смещению $\rho_{i\text{-}1}$ определяем по формуле:

$$\rho_{i-1} = \sqrt{(\Delta^2_{см\,i-1} + \rho^2_{кор\,i-1})}\,, \qquad (5.7)$$

где: $\Delta_{см\,i\text{-}1}$ – погрешность заготовки по смещению относительно оси в радиальном направлении [4, стр.72]:; $\rho_{кор\,i\text{-}1}$ – погрешность заготовки по короблению.

При обработке *тел вращения* и предположении, что направления векторов погрешностей по смещению и по короблению заготовки совпадают (для гарантированного устранения погрешностей), суммирование составляющих суммарного отклонения погрешности по короблению и смещению производится арифметически

$$\rho_{i\text{-}1} = \Delta_{см\,i\text{-}1} + \rho_{кор\,i\text{-}1}. \qquad (5.8)$$

Погрешность заготовки по короблению определяется произведением длины заготовки ℓ на удельную кривизну $\Delta_к$, зависящую от метода получения или обработки заготовки на предыдущей операции

$$\rho_{кор} = \Delta_к \times \ell\,. \qquad (5.9)$$

Удельная кривизна $\Delta_к$ определяется из *табл.32* [4, стр.72].

Удельная кривизна $\Delta_к \approx 0{,}02$ …10 мкм/мм для обработанной получисто и необработанной горячекатаной заготовки соответственно. Обычно для холоднокатанного прутка диаметром от 20 до 30 мм с учётом возможного деформирования в процессе транспортировки $\Delta_к \approx 5$ мкм/мм. С увеличением диаметра прутка или толщины полосы деформирование в процессе транспортировки будет меньше, поэтому для прутка диаметром от 50 до 80 мм $\Delta_к \approx 1$ мкм/мм.

После обработки величина пространственного отклонения становится меньше. Для её расчёта можно величину пространственного отклонения перед обработкой умножить на коэффициент уточнения k_y (коэффициент остаточного коробления или коэффициент наследственной погрешности вследствие ограниченной жёсткости технологической системы СПИЗ)

$$\rho_i = k_y \times p_{i\text{-}1}. \qquad (5.10)$$

Для недостаточно жёсткой системы СПИЗ k_y = 0,1; для системы СПИЗ средней жёсткости k_y = 0,06. При шлифовании, когда силы резания невелики из-за малой глубины резания, и с применением 2—3 выхаживающих проходов (проходов без радиальной подачи) k_y = 0,02.

В тех случаях, когда нет данных можно приблизительно рассчитать числовое значение суммы всех погрешностей от предыдущей обработки по приблизительным

числовым значениям видов дефектов и погрешностей из табл. 5.1 в зависимости от вида получения заготовки или обработки её поверхности.

Таблица 5.1

Шероховатость и величина дефектного слоя поверхностей, полученных при различных методах обработки

Метод обработки	Шероховатость *Rz*, мкм	Дефектный слой, мкм
Литьё в песчано-глинистую форму при ручной формовке	100—500	200—600
Литьё в песчано-глинистую форму при машинной формовке	80—300	150—400
Литьё в металлические формы	100—200	100—300
Центробежное литьё	40—100	100—200
Литьё в оболочковые формы	20—80	150—250
Литьё по выплавляемым моделям	10—40	80—150
Литьё под давлением	10—40	80—150
Ковка	300—500	400—600
Штамповка обычной точности	100—250	200—400
Штамповка повышенной точности	80—200	150—300
Прокат горячекатаный обычной точности	80—150	100—150
Прокат повышенной точности	50—100	80—150
Прокат холоднотянутый калиброванный	40—80	50—100
Рубка на прессах и ножницах	100—300	100—150
Разрезание пилами на станках	80—160	100—150
Точение черновое	80—150	50—100
Точение получистовое	30—50	40—60
Точение чистовое	15—25	20—30
Точение тонкое	6—10	10—20
Строгание предварительное	80—150	100—150
Строгание окончательное	15—25	20—30
Сверление	80—150	50—100
Сверление глубокое	15—30	25—50
Зенкерование черновое	30—50	40—50
Зенкерование чистовое	20—30	30—40
Развертывание предварительное	10—20	15—25
Развертывание чистовое	6—10	5—10
Растачивание алмазное	3,2—6,3	4—10
Фрезерование обдирочное	80—150	80—100
Фрезерование чистовое	20—50	40—60
Фрезерование тонкое	3,2—6,3	10—30
Протягивание черновое	6—10	10—20
Протягивание чистовое	3,2—6,3	5—10
Растачивание черновое	40—80	50—100
Растачивание чистовое	10—20	15—30
Шлифование черновое	20—40	30—50
Шлифование чистовое	5—10	15—25
Шлифование тонкое	1,5—3,5	5—10
Хонингование	1—3	3—6
Суперфиниш	0,2—0,8	3—5
Притирка предварительная	0,8—3,2	3—5
Притирка окончательная	0,05—0,4	3—5
Полирование	0,05—0,4	2—3

Таблица 5.2. Числовые величины дефектов и погрешностей
в зависимости от вида и точности обработки

№ п\п	Вид заготовки или обработки поверхности	Вид дефекта или погрешности, мкм			Сумма всех погрешностей от предыдущей обработки, мкм
		$R_{z\ i\text{-}1}$	$T_{деф\ i\text{-}1}$	$p_{i\text{-}1}$	$\Delta_{общ\ i\text{-}1}$
1	Литьё в песчано-глинистую форму при ручной формовке	500	600	800	1 900
2	Литьё в кокиль	100	150	200	350
3	Свободная горячая ковка	500	600	2000	3 100
4	Штамповка	100	300	400	800
5	Прокат горячекатаный обычной точности	100	150	250	500
6	Прокат холоднотянутый калиброванный	60	80	150	290
7	Черновая обработка (по 14…11 квалитету) точением или фрезерованием	40	60	90	190
8	Получистовая обработка (по 9 квалитету) точением или фрезерованием	10	40	45	95
9	Чистовая обработка (по 7 квалитету) шлифованием	5	20	30	55

Таблица 5.3. Числовые величины погрешности установки и закрепления ε_i
в зависимости от приспособления и качества обработки базовых поверхностей

№ п\п	Приспособление	Качество обработки базовых поверхностей	погрешность установки и закрепления ε_i , мкм
1	*2*	*3*	*4*
1	тисы машинные	необработанная поверхность после литья или свободной ковки	1 200
2		необработанная поверхность после холодной прокатки	500
3		после черновой обработки	200
4		после получистовой обработки	50
5	трёхкулачковый самоцентрирующий патрон нормальной точности	необработанная поверхность после литья или свободной ковки	1 000
6		необработанная поверхность после холодной прокатки	100
7		после черновой обработки	100
8	трёхкулачковый самоцентрирующий патрон повышенной точности	после черновой обработки	60
9		после получистовой обработки	30
10	цанговый патрон или разжимная оправка	после получистовой обработки	5…10
11	установка в центра	Поверхность фаски после сверления центового отверстия	0…5

Примечание: при установке заготовок тел вращения указана погрешность установки и закрепления в радиальном направлении (отклонение от соосности).

Погрешность установки и закрепления ε_i определяют из справочников или по результатам измерений в зависимости от вида приспособления, его точности, качества обработки базовых поверхностей заготовки и усилия закрепления. Для ориентировочных расчётов можно брать числовые величины ε_i из табл. 5.2.

Во всех случаях установленный минимальный припуск не должен быть меньше минимальной толщины стружки, которую может снять режущий инструмент. При точении с большей скоростью резания остро заточенным резцом возможно снятие слоя металла толщиной порядка 0,005 мм, однако после непродолжительной работы резца в связи с его притуплением и увеличением радиуса округления его режущей кромки эта величина возрастает до 0,02 — 0,05 мм. При других видах обработки она может быть еще больше (фрезерование) или меньше (абразивная обработка).

Приведенные формулы для расчета припусков показывают, что припуск по существу является компенсатором всех погрешностей предыдущей обработки заготовки и погрешностей, связанных с выполнением данной технологической операции.

В тех случаях, когда одна и та же поверхность заготовки обрабатывается дважды без переустановки (в одном установе), погрешность установки и закрепления ε_i при второй обработке принимается равной нулю независимо от точности приспособления или, в крайнем случае, рассчитывается через коэффициент уточнения k_y. Таким образом, для уменьшения припуска на очередную обработку поверхности заготовки её следует производить без переустановки.

5.2. Расчёт промежуточных технологических размеров

В связи с ограниченной жёсткостью системы СПИЗ, наличием существенной силы резания при обработке и поэтому упругой деформацией системы СПИЗ, невозможно сразу же получить требуемый размер с высокой точностью. Поэтому приходится последовательно обрабатывать одну и ту же поверхность по несколько раз, каждый раз уменьшая припуск на обработку и уменьшая допуск на очередной технологический размер на 1 – 2 квалитета:

Заготовка → начальная термическая обработка (отжиг, отпуск, нормализация, улучшение) → обработка по **14** квалитету (обдирка) → обработка по **11** квалитету (черновая обработка)→ обработка по **9** квалитету (получистовая обработка) → обработка по **7** квалитету (чистовая обработка, как правило, шлифование предварительное) → термическая обработка (закалка, закалка с последующим отпуском) → обработка по **7** квалитету (чистовая обработка, как правило, шлифование чистовое) → обработка по **6** квалитету (окончательная обработка, или тонкая обработка, как правило, шлифование тонкое).

В некоторых случаях в мелкосерийном производстве часть этапов обработки попускается для уменьшения себестоимости изготовления, например: Заготовка → обработка по **11** квалитету → обработка по **9** квалитету → термическая обработка → шлифование по **7** или по **6** квалитету.

Недостатком такой схемы обработки является увеличение вероятности появления брака из-за нестабильности действительного припуска.

При расчёте промежуточных технологических размеров на готовую поверхность, имеющую конструкторский размер, последовательно «наслаивают» наименьшие припуски и допуски на технологические размеры.

Например, необходимо из холоднокатаного калиброванного прутка изготовить незакалённый (с твёрдостью в состоянии поставки) вал Ø30g7. Последовательность обработки назначим следующую:

Заготовка → обработка в трёхкулачковом самоцентрирующем патроне по **11** квалитету → обработка в центрах по **9** квалитету → обработка в центрах по **7** квалитету.

Определяем предельные отклонения для заданного размера и указываем их в буквенно-цифровой форме записи исполнительного размера $\varnothing 30g7\left(^{-0,007}_{-0,028}\right)$ и вычерчиваем его поле допуска (рис.5.2). Величину допуска находим в таблице допусков в интервале от 18 до 30 мм (для номинального размера 30 мм *включительно*). Обозначим окончательный технологический размер, совпадающий с конструкторским, символом $Ød_i$ (в нашем случае это Ø30 мм). Допуск окончательного технологического размера обозначим $T_{d\,i}$ (в нашем случае это g7).

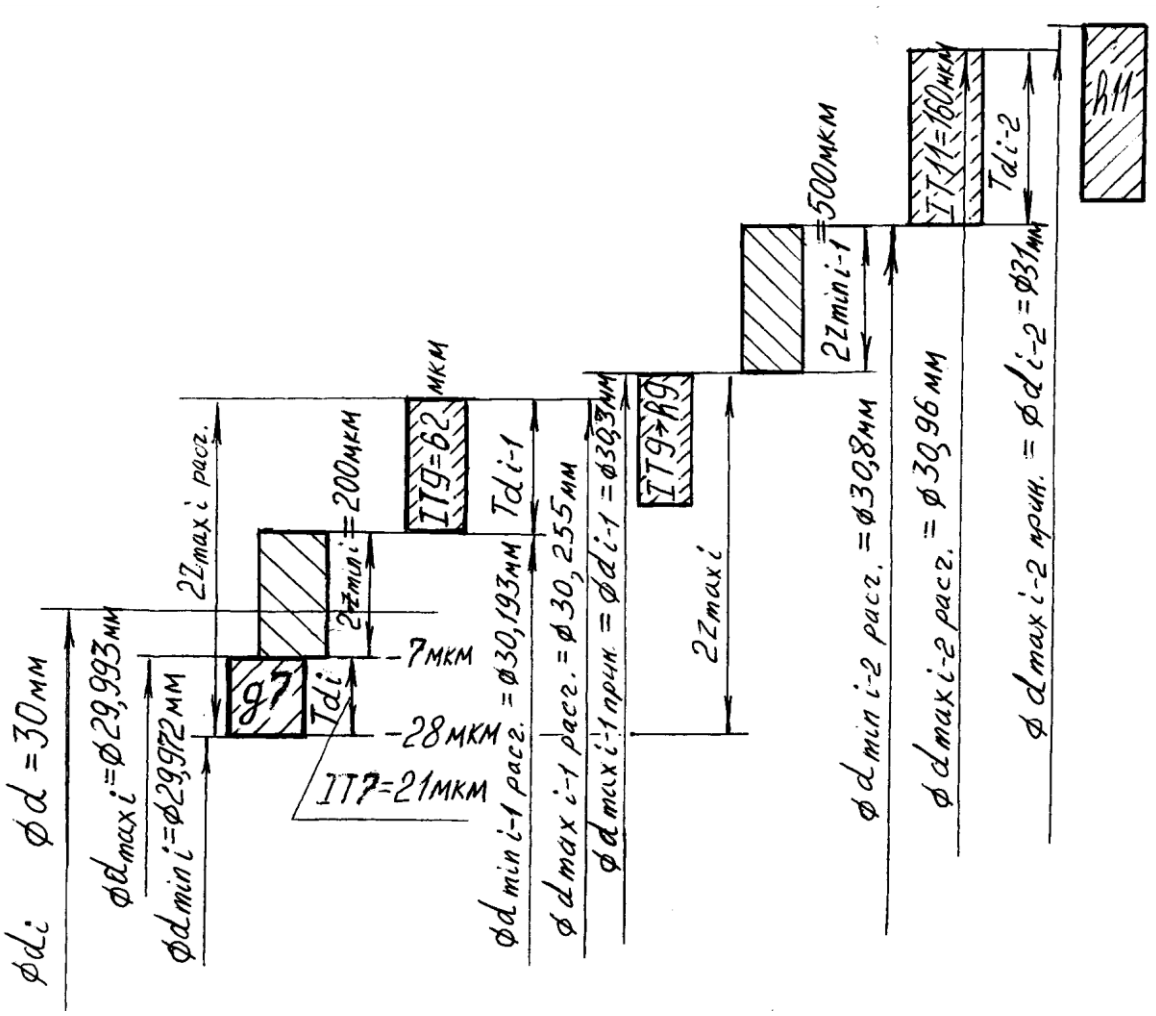

Рис. 5.2. Схема расчёта промежуточных технологических размеров

Для *охватываемых* размеров («вал») рассчитываем максимальный размер детали (максимальный конструкторский размер): Ø29,993 мм. Ему соответствует верхняя граница поля допуска исполнительного размера $\varnothing 30g7\left(^{-0,007}_{-0,028}\right)$.

При обработке по 7 квалитету после 9-го квалитета рассчитываем минимальный припуск на окончательную обработку $Ød_i$ ($\varnothing 30g7\left(^{-0,007}_{-0,028}\right)$) по уравнению

(5.5) используя числовые величины из табл. 5.2 и 5.3 (обработка в центрах после получистовой обработки по 9 квалитету).

$$2z_{\min i} = 2\cdot\left(R_{z\,i-1} + T_{деф\,i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i\right) = 2\cdot(10+40+45+5) = 200 \text{ мкм.}$$

Числовые величины $R_{z\,i-1}$, $T_{деф\,i-1}$ и ρ_{i-1} берём для поверхности, полученной после обработки в центрах по **9** квалитету. От верхней границы поля допуска исполнительного размера откладываем *вверх*, т.е. «наслаиваем», наименьший (минимальный) припуск на диаметр (поскольку обрабатывается тело вращения) $2z_{\min\ i}$ = 200 мкм. Рассчитываем расчётный минимальный диаметр для предыдущей обработки (для $Ød_{i-1}$)

$$d_{\min\ i-1\ расч.} = d_{\max\ I} + 2z_{\min\ i} = 29{,}993 + 0{,}2 = 30{,}193 \text{ мм.}$$

Меньше рассчитанного размера предыдущий диаметр быть не должен, иначе при получении на окончательной обработке годного размера $d_{i\ действ.} = d_{i\ \max}$ = 29,993 мм удаляемый припуск будет меньше требуемого, поэтому на обработанной поверхности останутся дефекты от предыдущей ($Ød_{i-1}$) обработки.

Поскольку абсолютно точно размер обработать невозможно, то необходимо отложить допуск на обработку $Ød_{i-1}$, т.е. $T_{d\ i-1}$. Этот допуск для *охватываемых* размеров («валов») необходимо откладывать только вверх, т.е. «наслаиваем», чтобы удаляемый припуск $2z_{i\ действ.}$ не стал меньше рассчитанного минимального припуска $2z_{\min\ i}$. В соответствие с предварительно принятой последовательностью обработки $Ød_{i-1}$ должен быть обработан по 9 квалитету, т.е. $T_{d\ i-1}$ = IT9 = 62 мкм. Величину допуска находим в таблице допусков в интервале от 30 до 50 мм (для номинального диаметра $d_{\min\ i-1\ расч.}$ = 30,193 мм > 30 мм).

Рассчитываем расчётный максимальный диаметр для предыдущей обработки (для $Ød_{i-1}$)

$$d_{\max\ i-1\ расч.} = d_{\min\ i-1\ расч.} + T_{d\ i-1} = = 30{,}193 + 0{,}062 = 30{,}255 \text{ мм.}$$

Можно написать исполнительный размер на предыдущую для окончательного размера $Ød_i$ обработку как $Ød_{i-1} = 30{,}255_{-0{,}062}$ мм. Однако лучше номинальный размер округлить. Номинальный размер обычно округляют до десятых долей миллиметра, а т.к. принятый размер не должен стать меньше рассчитанного, то для *охватываемых* размеров («валов») округление производим в большую сторону, т.е. принимаем $Ød_{i-1\ прин.} = 30{,}3_{-0{,}062}$ мм.

Поскольку верхняя граница поля допуска $T_{d\ i-1}$ принятого размера $Ød_{i-1}$. совпадает с номинальным размером $Ød_{i-1\ прин.}$= 30,3 мм, то это поле допуска может быть принято как *h*, а т.к. используется 9 квалитет, то более конкретно *h9*. Таким образом, принятый технологический исполнительный размер на предыдущую обработку $Ød_{i-1\ прин.} = 30{,}3_{-0{,}062}$ мм, или в буквенно-цифровой форме записи $Ød_{i-1\ прин.} = 30{,}3h9(_{-0{,}062})$ мм. Обычно слово «принятый» у промежуточного технологического исполнительного размера не пишется, т.е. используется запись $Ød_{i-1} = 30{,}3h9(_{-0{,}062})$ мм.

$Ød_{i-1} = 30{,}3h9(_{-0{,}062})$ мм – это диаметр заготовки, который должен быть получен после получистовой обработки (обычно это обработка при закреплении заготовки в центрах).

В расчётах использовался наименьший припуск на обработку исходя из табличных данных. На практике номинальная величина промежуточного технологического размера принимается немного больше рассчитанного для гарантированного удаления дефектов от предыдущей обработки (обычно от 0,1 до 0,8 мм для точной и грубой обработки соответственно).

Для расчёта технологического размера при обработке по 11 квалитету, т.е. $Ød_{i-2}$, и прочих технологических размеров используется вышеописанный алгоритм. В качестве *максимального размера* используется принятый *округлённый номинальный размер*, т.к. для всех промежуточных технологических размеров поле допуска для *охватываемых* размеров принимается по *h* <u>независимо от поля допуска окончательного (конструкторского) размера</u>, что упрощает расчёт.

При получистовой обработке в центрах по 9 квалитету после 11-го квалитета:

1) по таблицам 5.2 (для поверхности холоднокатаного калиброванного прутка) и 5.3 (при закреплении заготовки в центрах) рассчитываем минимальный припуск на обработку

$$2z_{\min\, i-1} = 2\cdot\left(R_{z\, i-2} + T_{деф\, i-2} + \rho_{i-2} + \varepsilon_{\, i-1}\right) = 2\cdot(40+60+90+60) = 500 \text{ мкм.}$$

Числовые величины $R_{z\, i-1}$, $T_{деф\, i-1}$ и ρ_{i-1} берём для поверхности, полученной после обработки в патроне по **11** квалитету. Погрешность установки и закрепления ε_{i-1} в центрах принимаем равной 60 мкм поскольку на предыдущей обработке при сверлении центровых отверстий закрепление производилось в трёхкулачковом самоцентрирующем патроне за необработанную поверхность прутка, что могло вызвать отклонение от соосности двух центровых отверстий на противоположных сторонах заготовки при её перезакреплении. Обычно это отклонение находится в пределах погрешности установки и закрепления в патроне ε_{i-1} = 60 мкм.

2) $d_{\min\, i-2\, расч.} = d_{\max\, i-1} + 2z_{\min\, i-1}$ = 30,3 + 0,5 = 30,8 мм;

3) $d_{\max\, i-2\, расч.} = d_{\min\, i-2\, расч.} + T_{d\, i-2}$ = = 30,8 + 0,16 = 30,96 мм;

4) $d_{i-2} = d_{i-2\, прин.}$ = 31h11($_{-0,16}$) мм.

d_{i-2} = 31h11($_{-0,16}$) мм – это диаметр заготовки, который должен быть получен после первичной черновой обработки.

При черновой обработке по 11 квалитету в трёхкулачковом самоцентрирующем патроне холоднокатаного калиброванного прутка (первичная черновая обработка):

1) по таблицам 5.2 (для поверхности холоднокатаного калиброванного прутка) и 5.3 (при закреплении заготовки в трёхкулачковом самоцентрирующем патроне за поверхность прутка) рассчитываем минимальный припуск на обработку

$$2z_{\min\, i-2} = 2\cdot\left(R_{z\, i-3} + T_{деф\, i-3} + \rho_{i-3} + \varepsilon_{\, i-2}\right) = 2\cdot(60+80+150+100) = 780 \text{ мкм.}$$

2) $d_{\min\, i-3\, расч.} = d_{\max\, i-2} + 2z_{\min\, i-2}$ = 31 + 0,78 = 31,78 мм;

3) $d_{\max\, i-3\, расч.} = d_{\min\, i-3\, расч.} + T_{d\, i-2}$ = = 31,78 + 0,16 = 31,94 мм;

4) $d_{i-3} = d_{i-3\, прин.}$ = 32h11($_{-0,16}$) мм.

d_{i-3} = 32h11($_{-0,16}$) мм – это наименьший исполнительный диаметр холоднокатаного калиброванного прутка, изготовленного поставщиком по 11 квалитету.

Если в номенклатуре прутков имеются размеры только $Ød_{прутка\, 1}$=31 мм и $Ød_{прутка\, 2}$=35 мм необходимо использовать Ø35 мм, несмотря на увеличение потерь металла в стружку.

При получении заготовки литьём или ковкой можно использовать *рассчитанный* номинальный размер первичной заготовки (обычно даже с десятыми долями миллиметра), поскольку в серийном производстве будут *специально* изготавливать форму или штамп с соответствующим размером.

Для уменьшения трудоёмкости определения промежуточных технологических размеров можно не рисовать схемы полей допусков и припусков на обработку поверхности заготовки, а делать запись в строчку. При этом начинаем записывать технологические размеры с конца маршрута обработки, начиная с окончательного технологического размера, как правило, совпадающего с конструкторским, и идём к началу обработки справа налево.

Например, для рассмотренного выше случая обработки Ø30g7 запишем на правой стороне страницы окончательный технологический размер Ø30g7, совпадающий с конструкторским размером Ø30g7. Затем слева от него проставим стрелку → , показывающий направление обработки (т.е. её последовательность). С левой стороны стрелки проставляем номер квалитета и букву расположения поля допуска (h9) для предыдущего технологического размера. Внизу под стрелкой пишем минимальный припуск на диаметр для обработки Ø30g7, т.е. $2z_{min} = 0.2\ mm$. Индекс «*i*» при упрощенном способе расчёта, как правило, не пишут.

$$h9 \quad \underset{2Z_{min} = 0.2\ mm}{\rightarrow} \quad Ø30g7.$$

Для упрощения вычисления номинала (номинального размера) предыдущего технологического размера для *охватываемых* размеров минимальный припуск на диаметр $2z_{min}$ прибавляют к номиналу получаемого технологического размера (в нашем примере Ø30 мм). Для учёта допуска на *предыдущий* технологический размер (в нашем примере для $Ød_{i-1}$>Ø30 мм и h9 допуск IT9=0,062 мм) результат сложения округляют на 0,1 мм в большую сторону для *охватываемых* размеров. Если допуск больше 0,1 мм, но меньше 0,2 мм, то прибавляют 0,2 мм, и т.п. В нашем случае Ø30 + 0,2 = Ø30,2 ≈ Ø30,3 мм.

$$Ø30.3h9 \quad \underset{2Z_{min} = 0.2\ mm}{\rightarrow} \quad Ø30g7.$$

Положение минимального припуска под стрелкой *между* технологическими размерами показывает, что для рассматриваемого примера после получения Ø30.3h9 необходимо удалить припуск не менее 0,2 мм, чтобы получить Ø30g7.

Иногда для уменьшения производственного брака *окончательный технологический* размер ужесточают, т.е. сужают его поле допуска, но *обязательно* в пределах *конструкторского поля допуска*. Например, вместо конструкторского размера $\varnothing 30g7\left(^{-0,007}_{-0,028}\right)$ мм выдерживают окончательный технологический размер $\varnothing 30^{-0,01}_{-0,025}$ мм (технологический допуск 0,015 мм вместо конструкторского 0,021 мм, т.е. стал меньше). При получении действительного технологического размера *немного* больше или меньше предельных заданных окончательных *технологических* размеров (вроде бы брак) есть ещё возможность уложиться в предельные размеры, заданные конструктором. Ужесточение окончательного технологического размера немного увеличивает трудоёмкость изготовления, т.к. заставляет рабочего чаще измерять получаемый размер и чаще поднастраивать станок.

Для расчёта остальных промежуточных технологических размеров поступаем аналогично. Например, для рассмотренного выше случая обработки Ø30g7

Пруток Ø32h11 → Ø31h11 → Ø30.3h9 → Ø30g7.
$2Z_{min} = 0{,}78$ *mm* $2Z_{min} = 0.5$ *mm* $2Z_{min} = 0.2$ *mm*

При получении номинального размера Ø31 мм учитываем, что для него допуск IT11=0,16 мм, поэтому результат сложения получаемого номинального размера (30,3 мм) и минимального припуска на диаметр (0,5 мм), т.е. 30,3+0,5=30,8 мм округляем в большую сторону уже на 0,2 мм. При получении номинального размера Ø32 мм учитываем, что для него допуск IT11=0,16 мм, поэтому результат сложения (31+0,78=31,78 мм) округляем в большую сторону на 0,2 мм.

При обработке отверстий, пазов и пр. (*охватываемых* размеров) для расчёта предыдущего технологического размера минимальный припуск отнимается от минимального предельного получаемого размера. Например, при обработке отверстия Ø20H7

Заготовка без отверстия → Сверление центровочного отверстия → Сверление отверстия Ø18H12 → Расточка черновая Ø19,1H11 → Расточка получистовая Ø19,7H9 → Шлифование внутреннее Ø20H7
$2z_{min}$ *(напуск) =18/2 =9 мм* $2z_{min} = 0{,}78$ *мм* $2z_{min} = 0{,}4$ *мм* $2z_{min} = 0{,}2$ *мм*

Перед сверлением торец круглой заготовки необходимо обточить, а затем сверлить центровочное отверстие для уменьшения отклонения от соосности с осью вращения шпинделя. После сверления отверстия его необходимо расточить для устранения возможного отклонения от соосности с осью вращения шпинделя, погрешностей формы и искривления оси отверстия из-за недостаточной жесткости спирального сверла. Припуск для расточки должен быть достаточно большой, и тем больше, чем длиннее отверстие и больше его диаметр.

Если проанализировать составляющие *максимального припуска* на диаметр для тел вращения

$$2z_{max\ i\ расч} = d_{max\ i-1\ расч} - d_{min\ i} = T_{d\ i-1} + 2z_{min\ i} + T_{d\ i}, \qquad (5.11)$$

то видно, что для уменьшения максимальной глубины резания $t_{max} = 2z_{max\ i}/2$ (если весь припуск удаляется за один проход), а значит уменьшения сил резания и упругой деформации системы СПИЗ, необходимо уменьшать допуск на предыдущую обработку ($T_{d\ i-1}$) рассматриваемой поверхности.

Ещё большее влияние на точность обработки оказывает *изменение* действительного припуска ($2z_{i\ д} = d_{i-1\ д} - d_{i\ д}$). Наибольшее возможное изменение припуска на диаметр при обработке поверхности Ød_i

$$\Delta 2z_{max\ i} = 2z_{max\ i} - 2z_{min\ i} = T_{d\ i-1} + T_{d\ i}. \qquad (5.12)$$

При удалении неизменного действительного припуска можно скорректировать положение режущего инструмента (например, резца или шлифовального круга) с учётом упругой деформации системы СПИЗ. Например, под действием силы

резания резец отжало от заготовки, а заготовку от резца так, что диаметр вала после обработки стал на 0,1 мм *больше* допустимого (на диаметр). Перемещение резца *к оси* вращения шпинделя (т.е. на сторону) на *половину этой погрешности*, т.е. 0,1 мм/2 = 0,05 мм, приведёт к компенсации упругой деформации и получению годного размера: под действием силы резания резец и заготовка отожмутся и резец окажется в требуемом положении.

Если $\Delta 2z_{max\,i}$ будет достаточно большим, то действительный припуск будет изменяться в широких пределах. Как правило, при работе на настроенном станке заготовку перед обработкой не измеряют, поэтому действительный размер после предыдущей обработки заранее не известен, и коррекцию выполнить сложно. Для уменьшения влияния изменения действительного припуска при настройке станка на размер берут заготовку со средним или немного меньшим размером. Если размер заготовки перед обработкой окажется больше, то действительный припуск будет больше, сила резания будет больше и размер *охватывающего* размера станет тоже больше, т.е получим *исправимый* брак.

Изложенный расчетно-аналитический метод определения припусков и промежуточных размеров применяется при проектировании исходных заготовок и отдельных операций технологического процесса крупносерийного и массового производства, а также процессов обработки крупных и особенно ответственных деталей серийного и даже единичного производства.

В условиях единичного и серийного производств обычных деталей средней точности для определения общих и припусков на технологический переход часто пользуются нормативными таблицами припусков, разработанными различными авторами на основе изучения обширного практического опыта промышленности и рекомендуемыми для некоторых средних условий производства. Пользование подобными таблицами ускоряет процесс проектирования и является во многих случаях допустимым, однако при этом необходим анализ соответствия конкретных условий проектируемого процесса условиям, для которых были составлены нормативные таблицы. Во всех случаях отклонений условий проектируемого процесса от стандартных, для которых составлены таблицы, необходимо уточнять рекомендуемые припуски соответствующим расчетом. Так, например, при шлифовании длинных и тонких планок после их закалки, вызывающей коробление заготовок, невозможно ограничиваться установлением припуска на шлифование по табличным данным, а следует дополнительно определить расчетным или экспериментальным путем ожидаемую величину z_2, связанную с прогибом заготовок при закалке. Затем следует убедиться, что установленный по таблицам припуск на шлифование достаточен для устранения коробления и при необходимости соответственно увеличить припуск.

При пользовании нормативными таблицами припусков следует также учитывать, что они дают значения номинальных, а не минимальных припусков и включают в себя значения допусков предшествующих операций. В связи с этим при изменении точности предшествующей обработки должна измениться и величина табличного припуска.

Расчет припусков на обработку начинается с определения по формулам (5.1), (5.3), (5.5) и (5.6) минимального припуска z_{min} (при односторонней обработке) или $2z_{min}$ (при обработке тел вращения), удаление которого с обрабатываемой поверхности технически необходимо для обеспечения требуемой точности и эксплуатационных качеств детали.

При этом (в конкретных условиях проектируемой операции) формулы для расчета минимальных припусков могут несколько видоизменяться. Так, например, при обработке отверстий самонаправляющимися инструментами (протягивание, развертывание, хонингование, доводка, калибрование) и при бесцентровом шлифовании формуле (5.1) составляющая $Z_3 = 0$ и $Z_{min} = Z_1 + + Z_2$; при суперфинишировании и полировании валов и отверстий, когда не ставится задача повышения точности заготовок, а ограничиваются требованиями уменьшения шероховатости поверхности и устранения дефектов поверхностного слоя, принимают $Z_2 = 0$; $Z_3 = 0$ и $z_{min\ i} = Z_1 = 2\ (R_{z\ i-1} + h_{i-1})$; при чистовом шлифовании деталей после их предварительной механической или термической обработки и при отсутствии дефектного слоя, когда ставится задача достижения минимальной шероховатости, принимается $TA_{i-1} = 0$ и $Z_1 = 2\ R_{z\ i-1}$ и т.п.

После определения величины минимального припуска устанавливается размер максимально возможного при неблагоприятных сочетаниях промежуточных размеров припуска $2z_{max\ i-1}$ по формуле (5.11). Когда значение истинного припуска зависит от нескольких размеров, его величина Z во многих случаях может рассматриваться в качестве замыкающего звена A_0 размерной цепи, т.е. $Z = A_0$, составляющими звеньями A_i; которой являются размеры, влияющие на величину припуска. Тогда в соответствии с формулой (5.2) можно написать

$$TA_0 = z_{max} — z_{min} = \Sigma TA_i$$

Откуда $$z_{max} = z_{min} + \Sigma TA_i\ . \qquad (5.13)$$

При расчёте промежуточных технологических размеров желательно исходные данные и результаты вычислений заносить в таблицу (**табл. 5.4**). Для рассмотренного примера обработки вала указываем обрабатываемую поверхность (Ø30g7). В колонке № 1 сверху вниз в порядке выполнения записываем название технологических переходов, которые могут быть и из разных операций) и получаемые при этом квалитет и основное отклонение (в буквенной форме). Для правильного определения погрешности установки ε необходимо указывать применяемое приспособление. В колонках 2, 3, 4 и 5 записываем параметры, получаемые на каждом переходе. Если обработка поверхности производится повторно без переустановки, то для этого перехода $\varepsilon \approx 0$.

После записи составляющих минимального припуска рассчитываем припуск на каждый технологический переход, при этом показатели R_z, $T_{деф}$ и ρ берём *из вышестоящей строки*, т.к. в уравнениях (5.5) и (5.6) они стоят с индексом *i-1*. Погрешность установки и закрепления ε берём для соответствующего приспособления, указанного *в этой же строке*, т.к. в уравнениях (5.5) и (5.6) он стоит с индексом *i*. Результат сложения записываем в колонку 6.

Например, установили, что для заготовки длиной 300 мм из холоднокатаного калиброванного прутка R_z=60 мкм, $T_{деф}$= 80 мкм, ρ= 150 мкм. Эти показатели записываем в соответствующие колонки *2, 3* и *4* первой строки. Погрешность установки ε в колонке *5* первой строки не указываем, поскольку в рассматриваемой строке никакую обработку не производим.

Во второй строке записываем параметры поверхности, получаемые при первичном черновом обтачивании, т.е. *после* этой обточки: R_z=40 мкм, $T_{деф}$= 60 мкм, ρ= 90 мкм. Погрешность установки ε =100 мкм, т.к. закрепляем *ещё не обработанный* пруток в трёхкулачковом самоцентрирующем патроне, а для черновых операций он используется, как правило, уже достаточно изношенный. В

колонке *6* второй строки записываем результат расчёта минимального припуска на диаметр

$$2z_{\min\, i} = 2\cdot\left(R_{z\, i-1} + T_{деф\, i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_{\, i}\right) = 2\cdot(60+80+150+100) = 780 \text{ мкм.}$$

Показатели R_z, $T_{деф}$ и ρ берём из первой (*вышестоящей*) строки, а погрешность установки ε – из второй (*этой же*, что и рассчитываемый припуск) строки.

Таблица 5.4. Расчет припусков и технологических размеров по технологическим переходам на обработку поверхности

Технологические переходы обработки поверхности	Составляющие минимального припуска на обработку, мкм				Расчетный минимальный припуск $2z_{min}$, мкм	Принятый технологический исполнительный размер $d_{пр}$, мм	Допуск T_d, мкм	Предельный размер, мм	
	R_z	$T_{деф}$	ρ	ε				d_{min}	d_{max}
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*
Наружная поверхность $\varnothing 30g7\left(^{-0,007}_{-0,028}\right)$									
Заготовка - прокат холоднокатаный сортовой (h11)	60	80	150	---		32 h11	160	31,78	31,94
Обтачивание черновое в трёхкулачковом патроне (h11)	40	60	90	100	2·(60+80+150++100) = 780	31 h11	160	30,8	30,96
Обтачивание получистовое в центрах (h9)	10	40	45	60	2·(40+60+90++60) = 500	30,3 h9	62	30,193	30,255
Шлифование в центрах (g7)	*3,2*	*3,2*	*0.9*	5	2·(10+40+45++5) = 200	$\varnothing 30g7\left(^{-0,007}_{-0,028}\right)$	21	29,972	29,993
Внутренняя поверхность (отверстие) $Ø20H7(^{+0,021})$									
								D_{min}	D_{max}
Заготовка без отверстия	---	---	---	---					
Сверление центровочного отверстия при закреплении заготовки в трёхкулачковом патроне	40	60	50	100	не требуется расчёт $2z_{min}$, т.к. при сверлении это напуск				
Сверление отверстия (H12) без переустановки после сверления центровочного отверстия	60	80	250	0		18,1H12→ 18 H12	210	18.11	18,32
Расточка черновая отверстия (H11) без переустановки после сверления	40	60	100	0	2·(60+80+250++0) = 780	19,1 H11	130	19,17	19,3
Расточка получистовая отверстия (H9) без переустановки после черновой расточки	10	40	45	0	2·(40+60+100++0) = 400	Ø19,7H9	52	19,748	19,8
Шлифование внутреннее отверстия $Ø20H7(^{+0,021})$ при закреплении заготовки в цанговом патроне	*3,2*	*3,2*	*0.9*	5	2·(10+40+45++5) = 200	$Ø20H7(^{+0,021})$	21	20	20,021

Окончание Таблицы 5.4.

Обточка правого и левого торцов заготовки для получения её длины 100h12($_{-0,35}$)									
Технологические переходы	R_z	$T_{деф}$	ρ	ε	$2z_{min}$, мкм	Принятый технол. размер $d_{пр}$, мм	Допуск Т, мкм	l_{min}	l_{max}
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*
Отрезка заготовки от длинного прутка (h16)	120	120	250	200		104,5h16	2200	102,24	104,44
Обточка правого (А) торца заготовки (h14)	40	60	50	250	120+120+250+ +250 = 740	101,5h12	870	100,55	101,42
Обточка левого (Б) торца заготовки (h12)	40	60	50	60	120+120+250+ +60 = 550	100h12($_{-0,35}$)	350	99,65	100

В третьей строке записываем параметры поверхности, получаемые при получистовом обтачивании, т.е. *после* этой обточки: R_z=10 мкм, $T_{деф}$= 40 мкм, ρ= 45 мкм. Погрешность установки ε =60 мкм, т.к. хотя и закрепляем заготовку в центрах, но при сверлении центровых отверстий на предыдущей операции может быть получено такое (ε =60 мкм) их отклонение от соосности с осью вращения наружной поверхности заготовки при её закреплении в трёхкулачковом самоцентрирующем патроне за эту уже обработанную наружную поверхность, т.е. учитываем погрешность закрепления в патроне при сверлении центровых отверстий. В колонке *6* третьей строки записываем результат расчёта минимального припуска на диаметр

$$2z_{\min\, i} = 2\cdot\left(R_{z\, i-1} + T_{деф\, i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_{\, i}\right) = 2\cdot(40+60+90+60) = 500 \text{ мкм.}$$

Показатели R_z, $T_{деф}$ и ρ берём из второй (*вышестоящей*) строки, а погрешность установки ε – из третьей (*этой же*, что и рассчитываемый припуск) строки.

В четвёртой строке записываем параметры поверхности, получаемые при шлифовании в центрах, т.е. *после* этой обработки: R_z=3.2 мкм, $T_{деф}$= 3,2 мкм, ρ= 0,9 мкм. Эти параметры для расчёта минимального припуска не понадобятся, поэтому в таблице они записаны мелким шрифтом. Погрешность установки ε =5 мкм, т.к. закрепляем пруток в центрах и наружная поверхность заготовки предварительно уже была обработана при её таком же закреплении в центрах. В колонке *6* четвёртой строки записываем результат расчёта минимального припуска на диаметр

$$2z_{\min\, i} = 2\cdot\left(R_{z\, i-1} + T_{деф\, i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_{\, i}\right) = 2\cdot(10+40+45+5) = 200 \text{ мкм.}$$

Показатели R_z, $T_{деф}$ и ρ берём из четвёртой (*вышестоящей*) строки, а погрешность установки ε – из четвёртой (*этой же*, что и рассчитываемый припуск) строки.

Расчёт промежуточных технологических размеров начинаем *с последней* строки для рассматриваемой поверхности или размера и при расчётах идём зигзагом вверх.

В нашем примере для обработки $\varnothing 30g7\left(^{-0,007}_{-0,028}\right)$ в последней (четвёртой) строке в колонке *7* записываем окончательный технологический исполнительный размер, который, как правило, всегда равен конструкторскому размеру $\varnothing 30g7\left(^{-0,007}_{-0,028}\right)$. В

колонке *9* этой же последней строки записываем минимально допустимый окончательный размер d_{min} = 29,972 мм, а в колонке *10* – максимально допустимый окончательный размер d_{max} = 29,993 мм. В колонке *8* этой же последней строки записываем допуск на окончательный технологический исполнительный размер T_d = IT7 = 21 мкм.

В *предпоследней* (третьей) строке в колонке *9* записываем *расчётный* минимально допустимый *предыдущий* технологический размер

$$d_{min\ i\text{-}1\ расч} = d_{max\ i} + 2z_{min\ i} = 29{,}993 + 0{,}2 = 30{,}193 \text{ мм},$$

Максимально допустимый окончательный размер $d_{max\ \backslash i}$ = 29,993 мм берём из последней (четвёртой) строки из колонки *10*, а минимальный припуск $2z_{min\ i}$ = 0,2 мм – из колонки *6* этой же строки.

Для полученного размера в таблице допусков определяем допуск на рассматриваемую обработку и записываем его в колонку *8* рассматриваемой строки. В нашем примере производим обтачивание получистовое в центрах по 9 квалитету (h9), поэтому для $d_{min\ i\text{-}1\ расч}$ =30,193 мм >30 мм (интервал размеров от 30 до 50 мм) допуск $T_{d\ i\text{-}1}$ = IT9 = 62 мкм. Записываем его в колонку *8* рассматриваемой строки.

В *рассматриваемой* строке в колонке *10* записываем *расчётный* максимально допустимый *предыдущий* технологический размер

$$d_{max\ i\text{-}1\ расч} = d_{min\ i\text{-}1\ расч} + T_{d\ i\text{-}1} = 30{,}193 + 0{,}062 = 30{,}255 \text{ мм},$$

Расчётный минимально допустимый предыдущий технологический размер $d_{min\ i\text{-}1\ расч}$ = 30,193 мм берём из рассматриваемой (третьей) строки из колонки *9*, а допуск $T_{d\ i\text{-}1}$ = 62 мкм = 0,062 мм – из колонки *8* этой же строки.

Относительно полученного расчётного максимально допустимого технологического размера $d_{max\ i\text{-}1\ расч}$ поле допуска расположено ниже, а его верхняя граница совпадает с $d_{max\ i\text{-}1\ расч}$, поэтому такое поле допуска соответствует расположению h. Для рассматриваемого технологического размера обработка производится по 9 квалитету, поэтому такое поле допуска соответствует h9.

Для охватывающих размеров (валов) исполнительный *расчётный* технологический размер можно записать $d_{i\text{-}1\ расч.} = 30{,}255_{-0{,}062} = 30{,}255$ h9 мм.

Использовать число 30,255 в качестве номинального размера неудобно, поэтому его округляем до десятых долей миллиметра в *большую сторону для охватывающих* размеров (валов), т.е. принимаем исполнительный технологический размер $d_{i\text{-}1\ прин.} = d_{i\text{-}1} = 30{,}3$ h9 = 30,3 h9($_{-0{,}062}$) мм. Записываем этот размер в колонку *7* рассматриваемой строки.

Все дальнейшие расчёты производим относительно этого принятого исполнительного технологического размера.

Например, для расчёта технологического размера при черновом обтачивании (по h11) и закреплении в трёхкулачковом патроне во второй строке в колонке *9* записываем расчётный минимально допустимый технологический размер

$$d_{min\ i\text{-}2\ расч} = d_{max\ i\text{-}1} + 2z_{min\ i\text{-}1} = 30{,}3 + 0{,}5 = 30{,}8 \text{ мм},$$

Максимально допустимый окончательный размер $d_{max\ i\text{-}1}$ = 30,3 мм берём из третьей строки из колонки *7*, а минимальный припуск на обработку $2z_{min\ i\text{-}1}$ = 0,5 мм – из колонки *6* этой же строки.

Для полученного размера $d_{min\ i\text{-}2\ расч}$ = 30,8 мм в таблице допусков определяем допуск на рассматриваемую обработку и записываем его в колонку *8* рассматриваемой строки. В нашем примере производим обтачивание черновое по 11 квалитету (h11), поэтому допуск $T_{d\ i\text{-}2}$ = IT11 = 160 мкм. Записываем его в колонку *8* рассматриваемой строки.

В рассматриваемой строке в колонке *10* записываем расчётный максимально допустимый технологический размер

$$d_{max\ i\text{-}2\ расч} = d_{min\ i\text{-}2\ расч} + T_{d\ i\text{-}2} = 30{,}8 + 0{,}160 = 30{,}96 \text{ мм},$$

Исполнительный расчётный технологический размер можно записать $d_{i\text{-}2\ расч.} = 30{,}96_{-0{,}16} = 30{,}96$ h11 мм.

Номинальный размер 30,96 мм округляем до десятых долей миллиметра в большую сторону, т.е. принимаем исполнительный технологический размер $d_{i\text{-}2\ прин.} = d_{i\text{-}2}$ = 31 h11 = 31 h11($_{-0{,}16}$) мм. Записываем этот размер в колонку *7* рассматриваемой строки. Все дальнейшие расчёты производим относительно этого принятого исполнительного технологического размера. В строке *1* (Заготовка – прокат холоднокатаный сортовой (h11)):

В колонке *9*: $d_{min\ i\text{-}3\ расч} = d_{max\ i\text{-}2} + 2z_{min\ i\text{-}2}$ = 31 + 0,78 = 31,78 мм;

в колонке *8*: $T_{d\ i\text{-}3}$ = IT11 = 160 мкм;

в колонке *10*: $d_{max\ i\text{-}3\ расч} = d_{min\ i\text{-}3\ расч} + T_{d\ i\text{-}3}$ = 31,78 + 0,16 = 31,94 мм;

в колонке *7*: $d_{i\text{-}3\ прин.} = d_{i\text{-}3}$ = 32 h11 = 32 h11($_{-0{,}16}$) мм;

$d_{заг.} = d_{i\text{-}3}$ = 32 h11 = 32 h11($_{-0{,}16}$) мм.

При обработке *отверстия* Ø20H7($^{+0{,}021}$) заполняем колонки *2, 3, 4* и *5*, рассчитываем минимальные расчётные припуски (колонка *6*), после этого рассчитываем технологические размеры, начиная с последней строки (строка *6*), при этом минимальный припуск вычитается из *минимального* предельного размера окончательно обработанного *охватываемого* размера.

В строке *6*:

В колонке *10*: $D_{max\ i}$ = 20,021 мм;

В колонке *9*: $D_{min\ i}$ = 20 мм.

В строке *5*:

В колонке *10*: $D_{max\ i\text{-}1} = D_{min\ i} - 2z_{min\ i}$ = 20 - 0,2 = 19,8 мм;

в колонке *8*: $T_{D\ i\text{-}1}$ = IT9 = 52 мкм;

в колонке *10*: $D_{min\ i\text{-}1} = D_{max\ i\text{-}1} - T_{D\ i\text{-}1}$ = 19,8 - 0,052 = 19,748 мм;

в колонке *7*: $D_{i\text{-}1\ прин.} = D_{i\text{-}1}$ = 19,7 H9 = 19,7 H9($^{+0{,}052}$) мм;

В строке *4*:

В колонке *10*: $D_{max\ i\text{-}2} = D_{min\ i\text{-}1} - 2z_{min\ i\text{-}1}$ = 19,7 - 0,4 = 19,3 мм;

в колонке *8*: $T_{D\ i\text{-}2}$ = IT11 = 130 мкм;

в колонке *10*: $D_{min\ i\text{-}2} = D_{max\ i\text{-}2} - T_{D\ i\text{-}2}$ = 19,3 - 0,13 = 19,17 мм;

в колонке *7*: $D_{i\text{-}2\ прин.} = D_{i\text{-}2} = 19{,}1$ H11 = 19,1 H11($^{+0,13}$) мм;

В строке *3*:

В колонке *10*: $D_{max\ i\text{-}3} = D_{min\ i\text{-}2} - 2z_{min\ i\text{-}2} = 19{,}1 - 0{,}78 = 18{,}32$ мм;

в колонке *8*: $T_{D\ i\text{-}3}$ = IT12 = 210 мкм;

в колонке *10*: $D_{min\ i\text{-}3} = D_{max\ i\text{-}3} - T_{D\ i\text{-}3} = 18{,}32 - 0{,}21 = 18{,}11$ мм;

в колонке *7*: $D_{i\text{-}3\ прин.} = D_{i\text{-}3} = 18{,}1$ H12 ≈ 18 H12($^{+0,21}$) мм;

Номинальный диаметр отверстия принимаем 18 мм, поскольку сверло с таким диаметром приобрести проще, чем с номинальным размером с десятыми долями миллиметра (Ø18,1 мм). Если сверла с таким диаметром нет, то можно использовать сверло с меньшим диаметром, например Ø17,5 мм, Ø17 мм, или Ø16 мм. Чем меньше будет принятый диаметр, тем больший припуск придётся удалять при черновой расточке. При обработке отверстия достаточно малого диаметра (менее 20 мм) увеличенный припуск может привести к необходимости производить расточку за несколько проходов из-за малой жёсткости расточного резца, что увеличит время на обработку и себестоимость изготовления.

Припуск на сверление рассчитывать не требуется, т.к. производим *сверление* в заготовке без отверстия. Если производим *рассверливание*, т.е. сверлом, у которого диаметр больше, чем предварительно полученное отверстие, то при небольшой разнице в диаметрах (менее чем 1 – 3 мм) припуск рассчитывать необходимо, т.к. дефекты и погрешности от предыдущей обработки могут оказаться достаточно большими. Если разница в диаметре больше 5 мм, то толщина удаляемого слоя будет заведомо больше, чем дефекты и погрешности от предыдущей обработки. Такой слой металла называется не припуском, а *напуском*, и расчёт его толщины не требуется. Напуском будет объём или слой металла, удаляемый при проточке канавки, при фрезеровании паза или уступа в цельной заготовке, и т.п.

При **обработке торцов** заготовки и получения её длины требуется учитывать погрешности и дефекты с обоих торцов.

Окончание Таблицы 5.4.

Обточка правого и левого торцов заготовки для получения её длины 100h12($_{-0,35}$)									
Технологические переходы	R_z	$T_{деф}$	ρ	ε	$2z_{min}$, мкм	Принятый технол. размер $d_{пр}$, мм	Допуск T, мкм	l_{min}	l_{max}
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*
Отрезка заготовки от длинного прутка (h16)	120	120	250	200		104,5h16	2200	102,24	104,44
Обточка правого (А) торца заготовки (h14)	40	60	50	250	120+120+250+ +250 = 740	101,5h12	870	100,55	101,42
Обточка левого (Б) торца заготовки (h12)	40	60	50	60	120+120+250+ +60 = 550	100h12($_{-0,35}$)	350	99,65	100

Например, для получения длины детали $l_{дет}$ **= 100h12($_{-0,35}$)** сначала на механической ножовке от длинного прутка отрезаем заготовку длиной $l_{заг.}$ с точностью по 16 квалитету (см. табл. 5.4). Невысокая точность объясняется возможностью увода полотна механической ножовки при его износе (чем больше диаметр заготовки, тем больше увод) и появлением отклонения от

перпендикулярности образуемого торца к оси отрезаемого прутка, а также вызываемой этим погрешностью базирования по торцу при отрезке следующей части. При этом отклонение от перпендикулярности торцов к оси у отрезанной заготовки будет и справа, и слева. При отрезке на фрезерно-отрезном станке точность выше – по 14 – 11 квалитету.

Полученную *мерную* (т.е. определенной длины) заготовку закрепляем в трёхкулачковом самоцентрирующем патроне за наружную поверхность и обтачиваем правый (А) торец, получая длину заготовки по 14 квалитету. При расчёте минимального припуска на обработку *правого* торца учитываем, что у *правого* (А) торца отрезанной на механической ножовке заготовки R_z=120 мкм, $T_{деф}$= 120 мкм, отклонения от перпендикулярности *правого* (обрабатываемого) торца ρ= 250 мкм. Погрешность установки в патроне по оси ε =250 мкм в связи с наличием существенного отклонения от перпендикулярности *левого* (Б) торца, по которому производится базирование заготовки по оси.

$$z_{min\ i} = R_{z\ i\text{-}1} + T_{деф\ i\text{-}1} + \rho_{i\text{-}1} + \varepsilon_i = 120+120+250+250 = 740 \text{ мкм.}$$

В связи с существенным отклонением от перпендикулярности *левого* (Б), ещё не обточенного торца (ρ= 250 мкм), длина заготовки не может быть обработана точнее 12 квалитета (допуск IT12 = 350 мкм). У заготовки затем ещё будет обтачиваться левый (Б) торец, поэтому нет необходимости ужесточать допуск на обработку, что приведёт к увеличению вероятности появления брака и к увеличению себестоимости обработки. Поэтому при обточке *правого* (А) торца принимаем точность обработки длины заготовки по 14 квалитету (IT14 = 870 мкм).

Заготовку переустанавливаем, базируя её по *уже обработанному* правому (А) торцу (после переустановки он будет слева). При расчёте минимального припуска на обработку *левого* (Б) торца (после переустановки он будет справа) учитываем, что у него после отрезки на механической ножовке R_z=120 мкм, $T_{деф}$= 120 мкм, ρ= 250 мкм. Погрешность установки в патроне по оси ε =60 мкм в связи с отсутствием существенного отклонения от перпендикулярности *базового, ранее уже обточенного* торца (А).

$$z_{min\ i} = R_{z\ i\text{-}1} + T_{деф\ i\text{-}1} + \rho_{i\text{-}1} + \varepsilon_i = 120+120+250+60 = 550 \text{ мкм.}$$

Индекс *i* используем в условном обозначении минимального припуска $z_{min\ i}$ потому, что рассматриваемый обрабатываемый торец (Б) заготовки ранее ещё не обрабатывался и после его обточки получится требуемый размер $l_i = l_{дет}$ = 100h12($^{-}_{0,35}$).

Расчёт технологических размеров длины заготовки выполняем как для охватывающих размеров (валов), начиная с окончательного (конструкторского) размера. Вместо символа длины *l* можно писать символ *d*, но припуск при этом берём как для *односторонней* обработки (z).

В последней (*3*) строке (Обточка левого (Б) торца заготовки (h12)): в колонке *9* записываем минимально допустимый окончательный размер длины вала $d_{min\ i} = l_{min\ i}$ = 99,65 мм, а в колонке *10* – максимально допустимый окончательный размер $d_{max\ i} = l_{max\ i}$ = 100 мм. В колонке *8* этой же последней строки записываем допуск на окончательный технологический исполнительный размер $T_d = T_l$ = IT12 = 350 мкм.

В *предпоследней* (второй) строке в колонке *9* записываем *расчётный* минимально допустимый *предыдущий* технологический размер

$$d_{min\ i\text{-}1\ расч} = l_{min\ i\text{-}1\ расч} = d_{max\ i} + z_{min\ i} = 100 + 0{,}55 = 100{,}55 \text{ мм},$$

в колонке *8*: $T_{d\ i\text{-}1} = T_{l\ i\text{-}1}$ = IT14 = 870 мкм;

в колонке *10*: $d_{max\ i\text{-}1\ расч} = l_{max\ i\text{-}1\ расч} = d_{min\ i\text{-}1\ расч} + T_{d\ i\text{-}1}$ =100,55 + 0,870= = 101,42 мм,

в колонке *7*: $d_{i\text{-}1\ прин.} = l_{i\text{-}1\ прин.} = l_{i\text{-}1}$ = 101,5h12;

В строке *1* :

в колонке *9*: $d_{min\ i\text{-}2расч} = l_{min\ i\text{-}2\ расч} = d_{max\ i\ \text{-}1} + z_{min\ i\ \text{-}1}$ = 101,5 + 0,74 = = 102,24 мм,

в колонке *8*: $T_{d\ i\text{-}2} = T_{l\ i\text{-}2}$ = IT16 = 2200 мкм;

в колонке *10*: $d_{max\ i\text{-}2\ расч} = l_{max\ i\text{-}2\ расч} = d_{min\ i\text{-}2\ расч} + T_{d\ i\text{-}2}$ =102,24 + 2,2 = = 104,44 мм,

в колонке *7*: $l_{заг} = d_{i\text{-}2\ прин.}$ = 104,5h16.

Аналогично рассчитываются технологические размеры для *каждой поверхности* детали за исключением поверхностей, обрабатываемых только один раз, и для которых, в то же время, удаляемый слой является *напуском*.

Таблица 8.1. Диаметры стержней под резьбу при нарезании метрической резьбы плашками

Номинальный наружный диаметр резьбы, мм	Шаг *P*, мм	Диаметр и допуск на диаметр стержня, мм	
		наибольший	допуск
2,0	0,4	1,94	—0,06
2,3	0,4	2,24	—0,06
2,6	0,45	2,54	—0,06
3,0	0,5	2,94	—0,06
4,0	0,7	3,92	—0,08
5,0	0,8	4,92	—0,08
6,0	1,0	5,92	—0,08
8,0	1,25	7,90	—0,10
10,0	1,5	9,90	—0,10
12,0	1,75	11,88	—0,12
14,0	2,0	13,88	—0,12
16,0	2,0	15,88	—0,12
18,0	2,5	17,88	—0,12
20,0	2,5	19,86	—0,14

6. Технологическая подготовка производства