

ВЫБОР МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИПУСКА НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

Наведено аналіз взаємозв'язку між збільшенням стійкості різального інструменту і відповідними змінами режимних параметрів різання. Для кількісної оцінки цього взаємозв'язку запропоновано поправочні коефіцієнти на окремі режимні параметри різання. Дано рекомендації із застосування ефекту різкого збільшення стійкості різального інструменту при незначному зменшенні швидкості різання.

An analysis of interrelation between cutting tool life increment and cutting conditions parameters corresponding changes is given. Correction coefficients for separate cutting conditions parameters to quantitative estimation of this interrelation are proposed. Recommendations on the application of the effect of an essential increase in cutting tool life with a slight decrease in the cutting speed are given.

Введение и постановка задачи. Под точностью изготовления деталей машин понимают соответствие размеров, формы, расположения поверхностей и их качества геометрическим и техническим требованиям чертежа. В настоящее время достижение этих требований реализуется в основном различными методами резания. При резании формообразование достигается путём послойного удаления припуска (снятия стружки) при относительном перемещении инструмента и заготовки (обрабатываемой детали). Следовательно, определение требуемого на обработку припуска является неотъемлемой частью технологической подготовки производства (ТПП) и составляет её существенную часть, от которой зависит производительность труда и себестоимость изготовления продукции.

Размеры исходной заготовки, то есть размеры полуфабриката, который изготавливают из исходного материала, определяют суммированием припусков, назначенных на отдельные переходы (операции) технологического процесса. С другой стороны, существующие нормы заготовительного производства (литьё – ГОСТ 26645-85,ковка – ГОСТ 7829-70 и ГОСТ 7062-90, штамповка – ГОСТ 7505-89, прокат – ГОСТ 2590-88 и другие) относительно самостоятельно позволяют определить общие припуски на механическую обработку, которые, как правило, больше одноименных расчётных припусков (найденных поэтапным суммированием). Эта неопределённость дополнительно усложняется отсутствием единого подхода к расчёту промежуточных припусков применительно к двум основным методам обеспечения точности механической обработки: методу пробных проходов и промеров (МППП) и методу автоматического получения размеров (МАПР). Особенности формирования припусков для этих методов впервые отмечались в работе [1, с. 251], где был установлен механизм формирования припуска при ограниченной жёсткости металлорежущих станков. Однако, имеющиеся в технологической литературе методики, как правило, соответствуют одному из этих методов (МППП или МАПР), не исследовано различие в результатах расчёта припусков этими методами для одной и той же поверхности детали. Наконец, не установлено преобладания между расчётно-аналитическим методом проф. В.М. Кована и соответствующим табличным методом определения промежуточных припусков. К тому же величины номинальных промежуточных припусков в таблицах разных книг приводятся разные, начиная от справочника Монахова Г.А. [2, с. 489, табл.5] и заканчивая справочником Харламова Г.А. [3, с. 202-254].

Цель работы – исследование различных методов определения промежуточных припусков и анализ получаемых результатов с целью разработки рекомендаций по выбору и применению рациональных расчётных методов с учётом взаимного соответствия получаемых результатов и трудоёмкости их получения.

Материалы и результаты исследований. Исследование выполним на примере расчёта припусков для

цилиндрических шеек вала диаметром $\varnothing 80 \text{ h6} \begin{pmatrix} +0,030 \\ +0,011 \end{pmatrix}$ под подшипники качения. Длина вала – 422 мм, материал

– сталь 40Х ГОСТ 4543-71. Характерной особенностью указанного номинального размера диаметра является условие $d_{\text{дет}}^{\text{ном}} < d_{\text{дет}}^{\text{мин}} < d_{\text{дет}}^{\text{макс}}$, где $d_{\text{дет}}^{\text{ном}}$, $d_{\text{дет}}^{\text{мин}}$ и $d_{\text{дет}}^{\text{макс}}$ – номинальный, минимальный и максимальный диаметры детали (рисунок). Т.е. номинальный диаметр шейки вала ($\varnothing 80,000 \text{ мм}$) меньше его минимального значения ($\varnothing 80,011 \text{ мм}$) и не совпадает с его максимальным значением ($\varnothing 80,030 \text{ мм}$). На этапе ТПП за исходный диаметр шейки вала, к которому прибавляются номинальные припуски, принимают максимальный его размер: $\varnothing 80,030 \text{ мм}$. Таким образом, технологический размер детали, принимаемый к расчёту припусков, составляет $\varnothing 80,030 \text{ h6} (-0,019) \text{ мм}$. Диаметр цилиндрической поверхности поковки, соответствующий рассматриваемой

поверхности детали, имеет размер $d_{\text{заг}} = 86,6^{+1,3}_{-0,7} \text{ мм}$. Этот размер найден по ГОСТ 7505-89. Предварительно

установлен маршрут обработки этой поверхности: 1) точение предварительное; 2) точение под шлифование; 3) шлифование предварительное; 4) шлифование окончательное (рисунок). Соотношение между минимальными и максимальными промежуточными припусками для МАПР и МППП имеют вид [4, с. 48]:

$$Z_{i\max}^{\text{МАПР}} = Z_{i\min}^{\text{МАПР}} + (T_{i-1} - T_i), \quad (1)$$

$$Z_{i\max}^{\text{МППП}} = Z_{i\min}^{\text{МППП}} + (T_{i-1} + T_i). \quad (2)$$

где $Z_{i\max}^{\text{МАПР}}$, $Z_{i\min}^{\text{МАПР}}$ – максимальное и минимальное значения припуска для i -ой операции или i -ого перехода при МАПР; T_{i-1}, T_i – предыдущий и последующий допуски на межоперационные (межпереходные) размеры заготовки; $Z_{i\max}^{\text{МППП}}$, $Z_{i\min}^{\text{МППП}}$ – максимальное и минимальное значения припуска для i -ой операции при МППП.

В соответствии с расчётно-аналитическим методом проф. В.М. Кована при определении i -ого промежуточного припуска (на i -ую технологическую операцию или i -й переход) указанные составляющие этого припуска следующие [4, с. 75]: высота шероховатости поверхности R_{zi-1} , глубина дефектного слоя T_{i-1} , пространственное отклонение ρ_{i-1} и погрешность установки ε_{yi} . Здесь индекс $i-1$ означает номер предыдущей технологической операции (перехода) и, одновременно, номер предыдущего промежуточного припуска.

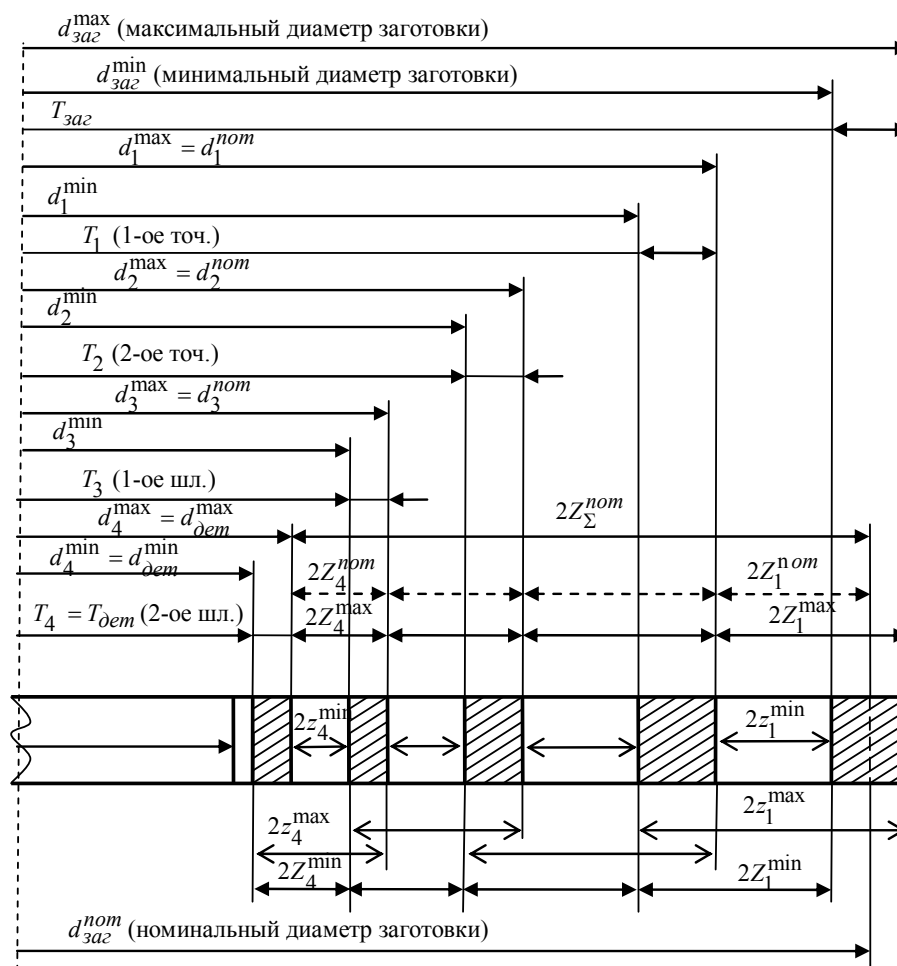


Рис. Схема графического расположения полей припусков, допусков, предельных промежуточных и исходных размеров заготовки: $2Z_4^{\min}$, $2Z_1^{\min}$ и $2Z_4^{\max}$, $2Z_1^{\max}$ – минимальные и максимальные припуски по МАПР; $2z_4^{\min}$, $2z_1^{\min}$ и $2z_4^{\max}$, $2z_1^{\max}$ – минимальные и максимальные припуски по МППП; $2Z_4^{\text{nom}}$, $2Z_1^{\text{nom}}$ – номинальные (табличные) припуски; $2Z_{\Sigma}^{\text{nom}}$ – номинальный общий (суммарный) припуск

Таким образом, в соответствии с расчётно-аналитическим методом профессора Кована В.М. три составляющие от предыдущего перехода обработки ($R_{z_{i-1}}$, T_{i-1} , ρ_{i-1}) и одна составляющая (ε_{yi}) от текущего (выполняемого) перехода полностью определяют величину минимального промежуточного припуска ($Z_{i\min}$) на текущий (выполняемый) переход. Причём [4, с. 76]:

$$2Z_{i\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2}). \quad (3)$$

Для случая МАПР (рисунок) установлены следующие минимальные (табл.1), максимальные (табл.1) и номинальные (табл.2) расчётные припуски, найденные для случая четырёх переходов для структур припуска по уравнениям (1) и (3) [4, с. 79, табл.2.16].

Таблица 1

Расчётные предельные (минимальные/максимальные) значения промежуточных припусков и предельных размеров заготовки по МАПР

$d_{\text{дем}}^{\min} / d_{\text{дем}}^{\max}$	$2Z_4^{\min} / 2Z_4^{\max}$	$2Z_3^{\min} / 2Z_3^{\max}$	$2Z_2^{\min} / 2Z_2^{\max}$	$2Z_1^{\min} / 2Z_1^{\max}$	$d_{\text{заг}}^{\min} / d_{\text{заг}}^{\max}$
80,011/80,03	0,060/0,076	0,105/0,157	0,304/0,567	2,520/4,170	83,0/85,0

Таблица 2

Расчётные значения номинальных припусков и номинального размера заготовки по МАПР

$d_{\text{дем}}^{\max} = d_{\text{дем}}^{\text{исх}}$	$2Z_4^{\text{ном}}$	$2Z_3^{\text{ном}}$	$2Z_2^{\text{ном}}$	$2Z_1^{\text{ном}}$	$d_{\text{заг}}^{\text{ном}}$
80,030	0,076	0,157	0,567	4,170 - 1,300 = 2,87	83,7
Номинальные припуски по МАПР ($2Z_4^{\text{ном}}$, $2Z_3^{\text{ном}}$, $2Z_2^{\text{ном}}$) совпадают с их максимальными значениями, кроме $2Z_1^{\text{ном}}$, которое меньше максимального значения на величину верхнего отклонения допуска заготовки.					

$$\text{Таким образом, } d_{\text{заг}}^{\text{ном}} = d_{\text{дем}}^{\text{исх}} + \sum_{i=1}^4 2Z_i^{\text{ном}} = 80,03 + 0,076 + 0,157 + 0,567 + 2,87 = 83,7 \text{ мм,}$$

$$\text{т.е. } d_{\text{заг}} = 83,7^{+1,3}_{-0,7} \text{ мм.}$$

Для случая МППП (рисунок) установлены следующие минимальные (табл. 3), максимальные (табл. 3) и номинальные (табл. 4) расчётные припуски, найденные для тех же четырёх переходов для структуры припуска по уравнениям (2) и (3).

Таблица 3

Расчётные предельные (минимальные / максимальные) значения промежуточных припусков и предельных размеров заготовки по МППП

$d_{\text{дем}}^{\min} / d_{\text{дем}}^{\max}$	$2z_4^{\min} / 2z_4^{\max}$	$2z_3^{\min} / 2z_3^{\max}$	$2z_2^{\min} / 2z_2^{\max}$	$2z_1^{\min} / 2z_1^{\max}$	$d_{\text{заг}}^{\min} / d_{\text{заг}}^{\max}$
80,011/80,030	0,060/0,114	0,105/0,227	0,304/0,741	2,520/4,870	83,5/85,5

Таблица 4

Расчётные значения номинальных припусков и номинального размера заготовки по МППП

$d_{\text{дем}}^{\max} = d_{\text{дем}}^{\text{исх}}$	$2z_4^{\text{ном}}$	$2z_3^{\text{ном}}$	$2z_2^{\text{ном}}$	$2z_1^{\text{ном}}$	$d_{\text{заг}}^{\text{ном}}$
80,030	0,06+0,035=0,095	0,105+0,087=0,192	0,304+0,35=0,654	2,52+0,7=3,22	84,2

Таким образом,

$$d_{\text{заг}}^{\text{ном}} = d_{\text{дем}}^{\text{исх}} + \sum_{i=1}^4 2z_i^{\text{ном}} = 80,03 + 0,095 + 0,192 + 0,654 + 3,22 = 84,191 \approx 84,2 \text{ мм,}$$

$$\text{т.е. } d_{\text{заг}} = 84,2^{+1,3}_{-0,7} \text{ мм.}$$

Выше был рассмотрен расчётно-аналитический метод определения припусков для МАПР и МППП. Установлено, что при прочих равных условиях размеры исходной заготовки, соответственно равны $83,7^{+1,3}_{-0,7}$ и $84,2^{+1,3}_{-0,7}$. Т.е. номинальный диаметр исходной заготовки для МППП на 0,6 % больше, чем для МАПР.

Недостатком расчетно-аналитического метода является необходимость учета табличных значений элементов припуска: R_{zi-1} , T_{i-1} , ρ_{i-1} , ε_{yi} , причем два последние элемента (ρ_{i-1} , ε_{yi}) необходимо вычислять с учетом особенностей технологического процесса. Возникает необходимость сопоставить результаты расчетно-аналитическим методом определения припусков с опытно-статистическим (табличным), преимуществом которого является отсутствие необходимости определять элементы ρ_{i-1} и ε_{yi} . В соответствии с опытно-статистическим (табличным) методом [3, с. 202-254] величину номинального припуска (рисунок) для разных переходов определяют без расчета (табл. 5).

Таблица 5

Табличные значения номинальных припусков

$d_{\text{дем}}^{\text{max}} = d_{\text{дем}}^{\text{ucx}}$	$2z_4^{\text{nom}}$	$2z_3^{\text{nom}}$	$2z_2^{\text{nom}}$	$2z_1^{\text{nom}}$	$d_{\text{заг}}^{\text{nom}}$
80,030	0,06	0,10	0,35	3,4	84,0

Таким образом, расчётное значение номинального размера заготовки [3, с. 207, табл.8.2] составляет

$$d_{\text{заг}}^{\text{nom}} = d_{\text{дем}}^{\text{ucx}} + \sum_{i=1}^4 2z_i^{\text{nom}} = 80,03 + 0,06 + 0,1 + 0,35 + 3,4 = 83,94 \approx 84,0 \text{ мм},$$

т.е. $d_{\text{заг}} = 84 \begin{smallmatrix} +1,3 \\ -0,7 \end{smallmatrix} \text{ мм}.$

Общие минимальные, максимальные и номинальные припуски (табл. 6) равны сумме соответствующих припусков по отдельным технологическим переходам (операциям).

Таблица 6

Предельные и номинальные значения общих припусков

Общий припуск по МАПР, мм		
минимальный	максимальный	номинальный
2,989	4,970	3,670
Общий припуск по МППР, мм		
минимальный	максимальный	номинальный
2,989	5,952	4,161
Общий номинальный припуск (табличный), мм		
-	-	номинальный
-	-	3,91

Как следует из анализа данных табл.6 общие припуски (минимальный, максимальный и номинальный) по МППР больше одноимённых значений припусков по МАПР. Относительное превышение по максимальным и номинальным припускам составляет, соответственно

$$\frac{5,952 - 4,970}{4,970} \cdot 100\% = 19,8\% \text{ и } \frac{4,161 - 3,670}{3,670} \cdot 100\% = 13,4\%.$$

Таким образом, общие максимальный и номинальный припуски, определённые по методу МППР, превышают одноимённые припуски по МАПР на 19,8 % и 13,4 %, соответственно.

Номинальные припуски, найденные по МАПР, МППР и табличным методом, соотносятся как 3,670:3,910:4,161 (табл.6) или как 1,000:1,065:1,134. Видно, что величина общего номинального припуска, определённого по таблицам (3,910 мм), занимает среднее положение по отношению к одноимённым припускам по МАПР (3,670 мм) и МППР (4,161 мм).

Кроме того, найденные для одних и тех же условий, но разными методами, расчётные значения диаметра заготовки для МАПР ($83,7 \begin{smallmatrix} +1,3 \\ -0,7 \end{smallmatrix}$), табличным методом ($84 \begin{smallmatrix} +1,3 \\ -0,7 \end{smallmatrix}$), для МППР ($84,2 \begin{smallmatrix} +1,3 \\ -0,7 \end{smallmatrix}$), и по ГОСТ 7505-89 ($86,6 \begin{smallmatrix} +1,3 \\ -0,7 \end{smallmatrix}$) отличаются. Минимальное значение расчётного диаметра заготовки имеет место при МАПР ($83,7 \begin{smallmatrix} +1,3 \\ -0,7 \end{smallmatrix}$), а максимальное – при расчёте по ГОСТ 7505-89 ($86,6 \begin{smallmatrix} +1,3 \\ -0,7 \end{smallmatrix}$). Метод использования табличных номинальных припусков ($84 \begin{smallmatrix} +1,3 \\ -0,7 \end{smallmatrix}$) при тех же условиях даёт средний результат между МАПР ($83,7 \begin{smallmatrix} +1,3 \\ -0,7 \end{smallmatrix}$) и МППР ($84,2 \begin{smallmatrix} +1,3 \\ -0,7 \end{smallmatrix}$).

Выводы. Расчётные значения максимальных и номинальных общих припусков, найденные для структуры припусков по МППП, превышают соответствующие значения общих припусков по МАПР на 19,8 % и 13,4 %, соответственно. При этом, численные значения минимальных общих припусков для указанных случаев (МППП и МАПР) приняты одинаковыми (2,989 мм). Другими словами, структура расположения допусков на размеры и припусков по МАПР позволяет получить существенную экономию обрабатываемого материала при обработке на станках, настроенных на размер.

С точки зрения трудоёмкости расчёта наиболее рациональным следует признать метод табличного определения промежуточных номинальных припусков [3, с. 202-254], учитывая которые можно найти промежуточные номинальные и предельные размеры заготовки. При этом методе нет необходимости определять составляющие элементы минимального припуска. Метод табличных номинальных припусков [3, с. 202-254] можно применять в учебных целях при подготовке курсовых проектов и работ, а также при дипломном проектировании. Этот метод можно рекомендовать для применения на этапе ТПП в технологических службах машиностроительных предприятий.

Список литературы.

1. Кован В.М. Основы технологии машиностроения / В.М. Кован, В.С. Корсаков, А.Г. Косилова, М.А. Калинин, Н.М. Капустин, М. Д. Солодов. – Под ред. В.С. Корсакова. Изд. 3-е доп. и перераб. Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1977. – 416 с.
2. Монахов Г.А. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / Г.А. Монахов, В.Ф. Жданович, Э.М. Радинский и др. – Изд. 3-е, под ред. Г.А. Монахова. – М.: Машиностроение, 1974. – 600 с.
3. Харламов Г.А. Припуски на механическую обработку: Справочник / Г.А. Харламов, А.С. Тарапанов. – М.: Машиностроение, 2006. – 256 с.
4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 9. "Проектирование технологических процессов в машиностроении". – Одесса: ОНПУ, 2005. – 584 с.