

УДК 620.22:62-412(058)

О.А. Медведев, В.Ф. Григорьев
Брестский государственный
технический университет

ОЦЕНКА РАЦИОНАЛЬНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИ ПРИЕМЛЕМЫХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ

Рассматривается проблема выбора рациональных заготовок деталей машин на ранних этапах проектирования технологических процессов. Дано обоснование объективных критериев выбора рациональной заготовки из нескольких альтернативных технически приемлемых вариантов. Разработана методика, позволяющая с высокой достоверностью провести выбор рациональной заготовки. Сделан вывод по результатам исследований.

Рациональный выбор заготовки является одной из важнейших задач, решаемых на начальном этапе технологической подготовки производства деталей машин. От правильности этого выбора в значительной мере зависит эффективность изготовления деталей. Обычно на производстве выбор заготовок производится путем сравнения расчетных стоимостей нескольких технически приемлемых заготовок, а часто и без выполнения расчетных обоснований на основе опыта технолога, или по рекомендациям справочной литературы. Однако такой выбор нельзя признать объективным, так как при этом не учитывается влияние вида и формы заготовки на себестоимость последующей обработки.

В ряде случаев обоснованный выбор заготовки можно сделать без расчета себестоимости детали, путем сравнения вариантов заготовок по их стоимости (C_3) и коэффициенту использования материала ($K_{им}$). Этот коэффициент часто может служить качественной мерой себестоимости обработки заготовки (C_o). Обычно, чем больше $K_{им}$, тем ниже себестоимость ее обработки (в основном черновой, так как стоимость чистовой обработки практически не зависит от вида заготовки и способа ее получения). При таком допущении первый вариант заготовки (из двух сравниваемых) будет обеспечивать минимум стоимости детали, если соблюдается одно из условий: $C_{31}=C_{32}$ и $K_{им1}>K_{им2}$; $C_{31}<C_{32}$ и $K_{им1}=K_{им2}$; $C_{31}<C_{32}$ и $K_{им1}>K_{им2}$. Однако обратная пропорциональность между $K_{им}$ и C_o не всегда соответствует действительности, например, для деталей, имеющих много мелких трудоемких конструктивных элементов (отверстий, пазов, выточек и т.п.).

Кроме того, в случае, когда $C_{31}>C_{32}$ и $K_{им1}>K_{им2}$ обоснованный выбор по этим параметрам сделать нельзя. В этом случае приходится для альтернативных вариантов заготовки составлять техпроцессы изготовления

детали, выполнять расчет себестоимости детали для каждого техпроцесса, что весьма трудоемко. Как правило, применение простой по форме и дешевой заготовки приводит к увеличению затрат на последующую обработку (в основном черновую механическую обработку). Приближение заготовки к детали по форме и размерам, за счет применения более сложного и дорогого метода ее получения, снижает затраты на последующую обработку. Поэтому, лучшим следует считать один из технически приемлемых вариантов заготовки, для которого себестоимость детали C_{Σ} , равная сумме стоимости заготовки и затрат на последующую обработку, минимальна:

$$C_{\Sigma} = (C_z + C_o) \rightarrow \min \quad (1)$$

Существующие методики расчета стоимости заготовок разных видов на основе известных масс детали, заготовки и данных прейскурантов (цены за единицу массы заготовок и стружки) позволяют просто и с достаточной для практики точностью рассчитать первое слагаемое себестоимости детали. Однако для определения второго слагаемого требуется предварительная разработка и нормирование техпроцессов механической обработки для каждого варианта заготовки, что трудоемко.

Поэтому необходимо разработать методику, которая могла бы позволить достаточно быстро и объективно оценить влияние вида и способа получения заготовки на себестоимость изготовления детали.

Принимая допущение о том, что затраты на чистовую и отделочную обработку практически не зависят от вида заготовки и способа ее получения, достаточно обоснованным и менее трудоемким можно считать способ выбора заготовки по критерию минимума себестоимости полуфабриката, получаемого после черновой обработки. Для реализации такого выбора необходимо разработать малотрудоемкую методику расчета прогнозируемой себестоимости черновой механической обработки, в зависимости от *К_{им}* заготовки, или объема удаляемых черновых припусков и напусков, что позволит исключить предварительное подробное проектирование технологии механической обработки.

В основу предлагаемой методики положены разработанные авторами выражения для определения объема припуска или напуска, снимаемого точением, сверлением, зенкерованием, растачиванием, фрезерованием, за одну минуту основного времени механической обработки. Этот объем является произведением глубины резания, оборотной подачи и скорости резания.

$$w_T = t \cdot S \cdot V \cdot 1000, \quad (2)$$

где t , S , V – режимы резания на рассматриваемой операции.

Для получения указанных выражений использовались эмпирические формулы, применяемые для расчета скорости резания при черновых мето-

дах механической обработки. Например, подставив в формулу (2) выражение для определения скорости резания при точении и растачивании [4] получим

$$w = t \cdot S \cdot \frac{C_V}{T^m t^x S^y} \cdot K_V \cdot 1000 = t^{(1-x)} \cdot S^{(1-y)} \cdot \frac{1000 \cdot C_V K_V}{T^m} = t^{(1-x)} \cdot S^{(1-y)} \cdot B_T, \quad (3)$$

где $B_T = \frac{1000 \cdot C_V K_V}{T^m}$.

Суммарное основное время черновой механической обработки предлагается определять делением объема черновых припусков и напусков на выражение для объема материала, снимаемого за одну минуту

$$t_{o,j} = \frac{V_{иj}}{w_j}, \quad (4)$$

где $V_{иj}$ – объем металла, приходящийся на черновые припуски и напуски для i -го варианта заготовки, мм³; w_j – объем металла, снимаемый за 1 минуту черновой мехобработки, мм³/мин.

Тогда величину штучно-калькуляционного времени можно рассчитать следующим образом

$$t_{шт.черн.j} = \varphi_K \cdot \frac{M_{зj} - M_{дj}}{\rho \cdot w_j} = \varphi_K \cdot \frac{M_{зj}(1 - K_{иМj})}{\rho \cdot w_j} = \varphi_K \cdot \frac{M_{дj}(1 - K_{иМj})}{\rho \cdot t_i^{(1-x)} \cdot s_i^{(1-y)} \cdot B_n \cdot K_{иМj}} \quad (5)$$

где φ_{Kj} – коэффициент, зависящий от группы и типа оборудования, а также серийности производства [2], ρ – плотность материала детали, кг/мм³, $M_{зi}$ – масса i -того варианта заготовки, $M_{дj}$ – масса детали, $K_{иМi}$ – коэффициент использования материала i -того варианта заготовки.

Прогнозируемую себестоимость черновой обработки можно определить как произведение приведенных затрат за единицу времени работы оборудования, используемого для черновой механической обработки $C_{пр.черн.j}$ [1], на штучно-калькуляционное время.

Себестоимость заготовок, получаемых, большинством методов литья и обработки давлением можно определить по формуле [3]

$$C_3 = \frac{Ц_3}{1000} M_3 k_T k_B k_M k_{сл} k_C - (M_3 - M_{дj}) \frac{Ц_0}{1000} \quad (6)$$

где $Ц_3$ – оптовая цена 1 т заготовок соответствующего вида, руб.; $Ц_0$ – цена реализуемых отходов, руб./т; k_m – коэффициент, учитывающий точность заготовок; k_s – коэффициент, учитывающий сложность заготовок;

k_m – коэффициент, учитывающий марку материала заготовки; $k_{кл}$ – коэффициент, учитывающий массу заготовки; k_c – коэффициент, учитывающий объем выпуска заготовок.

После выражения M_3 через $K_{им}$ и введения обозначений

$$A = \frac{C_3}{1000} M_3 k_T k_B k_M k_{кл} k_C; \quad B = \frac{C_0}{1000} \quad (7)$$

получим формулу для расчета стоимости получения заготовки

$$C_{зj} = A_j M_{зj} - (M_{зj} - M_{дj}) B_j = M_{зj} [A_j - (1 - K_{имj}) B_j] = M_{дj} \left[\frac{A_j}{K_{имj}} - \left(\frac{1}{K_{имj}} - 1 \right) B_j \right] \quad (8)$$

Тогда себестоимость полуфабриката после черновой мехобработки $C_{\Sigma_{пф}}$ для случая, когда основные припуски и напуски удаляются точением и растачиванием

$$C_{\Sigma_{пф,точ.}} = C_3 + C_{0,черн.точ.} = M_{дj} \left[\frac{A}{K_{им}} - \left(\frac{1}{K_{им}} - 1 \right) B \right] + \frac{M_{дj} \cdot C_{пр.черн.} \cdot \varphi_K \cdot (1 - K_{им})}{\rho \cdot t^{(1-x)} \cdot S^{(1-y)} \cdot B_T \cdot K_{им}} \quad (9)$$

Для случая, когда основные припуски и напуски будут удаляться фрезерованием, величину w можно определить по формуле

$$w = B \cdot t \cdot S_M = B \cdot t \cdot S_z \cdot z \cdot n = B \cdot t \cdot S_z \cdot z \cdot \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}, \quad (10)$$

где B – ширина фрезерования, мм; t – глубина фрезерования, мм; S_M – минутная подача фрезы, мм/мин; S_z – подача на один зуб фрезы, мм; z – число зубьев фрезы; v – окружная скорость фрезы, м/мин; D – диаметр фрезы, мм.

После подстановки выражения для скорости резания [4] получим

$$w = B \cdot t \cdot S_z \cdot z \cdot \frac{1000 \cdot C_v \cdot D^q}{\pi \cdot D \cdot T^m t^x S_z^y \cdot B^u \cdot z^p} K_v = t^{(1-x)} \cdot S_z^{(1-y)} \cdot B_\phi \quad (11)$$

где $B_\phi = \frac{1000 \cdot C_v \cdot D^q \cdot K_v \cdot z^{(1-p)}}{T^m \cdot B^{(u-1)}}$.

Таким образом, величину критерия $C_{\Sigma_{пф}}$ для случая, когда черновым методом обработки заготовки будет являться фрезерование, можно рассчитать по формуле

$$C_{\Sigma \text{нф.фрез.}} = C_3 + C_{O, \text{черн.фрез.}} = M_{\text{д}} \left[\frac{A}{K_{\text{ИМ}}} - \left(\frac{1}{K_{\text{ИМ}}} - 1 \right) B \right] + \frac{M_{\text{д}} \cdot C_{\text{пр. сверл.}} \cdot \varphi_K \cdot (1 - K_{\text{ИМ}})}{\rho \cdot t^{(1-x)} \cdot S^{(1-y)} \cdot B_{\text{ф}} \cdot K_{\text{ИМ}}} \quad (12)$$

Для случая, когда основные припуски и напуски будут удаляться сверлением, рассверливанием или зенкерованием, величину w можно определить по формуле

$$w = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot S_{\text{м}} = \frac{\pi \cdot (D - d) \cdot (D + d)}{4} \cdot S \cdot n = \frac{\pi \cdot 2 \cdot t \cdot (D + d)}{4} \cdot S \cdot \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \quad (13)$$

$$= \frac{\pi \cdot 2 \cdot t \cdot (2D - 2t)}{4} \cdot S \cdot \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot v \cdot t \cdot (D - t) \cdot S}{D},$$

где D – диаметр сверла (зенкера), мм; d – диаметр отверстия под рассверливание или зенкерование, мм; $S_{\text{м}}$ – минутная подача сверла (зенкера), мм/мин; t – глубина сверления (рассверливания, зенкерования), мм; v – окружная скорость сверла (зенкера), м/мин; S – оборотная подача сверла (зенкера), мм/об.

Подставим значение скорости резания в выражение для w

$$w = \frac{1000 \cdot C_v \cdot D^q \cdot K_v \cdot t \cdot (D - t) \cdot S}{T^m t^x S^y \cdot D} = \quad (14)$$

$$= 1000 \cdot C_v \cdot D^{(q-1)} \cdot K_v \cdot t^{(1-x)} \cdot (D - t) \cdot S^{(1-y)} \cdot T^{(1-m)} = t^{(1-x)} \cdot S^{(1-y)} \cdot D^{(q-1)} (D - t) \cdot B_c,$$

где $B_c = 1000 \cdot C_v \cdot K_v \cdot T^{(1-m)}$.

Таким образом, величину критерия $C_{\Sigma \text{нф.}}$ для случая, когда черновым методом обработки заготовки будет являться сверление, рассверливание или зенкерование, можно рассчитать по формуле

$$C_{\Sigma \text{нф.св.}} = M_{\text{д}} \left[\frac{A}{K_{\text{ИМ}}} - \left(\frac{1}{K_{\text{ИМ}}} - 1 \right) B \right] + \frac{M_{\text{д}} C_{\text{пр. черн.}} \varphi_K (1 - K_{\text{ИМ}})}{\rho^{(1-x)} S^{(1-y)} D^{(q-1)} (D - t) B_c K_{\text{ИМ}}} \quad (15)$$

На основе выведенных зависимостей для расчета стоимости полуфабриката, получаемого после черновой обработки заготовки, была разработана компьютерная программа, позволяющая значительно упростить и ускорить процесс использования разработанной методики на практике. Последовательность решения задачи выбора рациональной заготовки с использованием формальных процедур и эвристик, объединена в единый алгоритм. В качестве исходных данных вводятся: масса детали, материал детали, программа выпуска, анализируемый вид заготовки, коэффициент использования материала, метод преобладающей черновой обработки, груп-

па оборудования, на котором будет производиться черновая обработка заготовки, максимально возможная глубина резания (черновой припуск или напуск), материал режущей части инструмента, стойкость инструмента. Программа представляет собой рабочую книгу Microsoft Excel, хранящуюся в файле RVZ.xlsm. Программа имеет пять баз данных, каждая из которых оформлена на отдельном листе рабочей книги Excel и относится к определенному виду обработки: точение, растачивание, фрезерование, сверление, зенкерование.

Таким образом, разработанная методика позволяет выполнять обоснованный выбор заготовок на ранней стадии проектирования техпроцессов механической обработки деталей, повысить объективность принимаемых технологических решений и тем самым сократить затраты на технологическую подготовку производства. Компьютерная программа, разработанная на базе MS Excel, облегчает использования данной методики на практике. Методика может быть полезна инженерам-технологам, занимающимся проектированием техпроцессов изготовления деталей машин.

Список литературы

1. Л.И. Гамрат-Курек Экономика инженерных решений в машиностроении. М: Машиностроение, 1986 г. 255 с.
2. Бабук В. В., Шкред В. А., Медведев А. И. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении: Учеб. пособ. под ред. Бабука В. В. – Мн. - Выш. шк., 1987. 255 с.: ил.
3. Проектирование технологических процессов в машиностроении / И. П. Филонов, Г. Я. Беляев, Л. М. Кожуро и др. Минск: УП Технопринт, 2003. 910 с.
4. Справочник технолога - машиностроителя: В 2т. Т2 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Сулова, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, - 5-е изд. перераб. и доп.- М.: Машиностроение-1, 2001. - 944 с.

УДК 621.833

О.А. Медведев, Ю.А. Дакало, В.Ф. Григорьев
Брестский государственный
технический университет, Беларусь

ЭКОНОМИЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС

Представлены результаты исследований по снижению трудоёмкости изготовления синхронизирующих зубчатых колёс роторных насосов путём переноса отделочной обработки эвольвентных поверхностей зубь-