
МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

УДК 621.001.2(075)

Б.А. Метелёв

К ВОПРОСУ НОРМАТИВНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Приводится систематизация технологической информации, позволяющая разработать строгий алгоритм проектирования технологических процессов механической обработки деталей в машиностроении. Дается уточнение в постановке задач проектирования и выборе основных показателей технологических процессов. Предлагается рассматривать изготовление деталей в соответствии с этапами обработки, унифицировать технологические переходы по точности и качеству обрабатываемых поверхностей. Приводятся нормативные величины основных характеристик поверхностей.

Ключевые слова: технологический процесс, показатели процесса, деталь, поверхность, нормативные характеристики, этапы обработки, точность, качество поверхности, производительность, себестоимость.

До настоящего времени методологии проектирования технологических процессов механической обработки деталей в машиностроении не имеется. Технологические процессы составляются по базовым эталонным процессам на основании опыта технологов, а порой интуитивно.

Предлагается для формирования технологических процессов механической обработки деталей разработать методологию нормативного проектирования.

При существующем подходе формирование технологического процесса осуществляется в следующем порядке:

а) выбирается технологическое оборудование, как правило, на основании опыта технолога;

б) формируется название операции по выбранному оборудованию;

в) назначается установ(вы) для обработки детали;

г) указываются позиции обработки детали;

д) расписываются технологические переходы.

Сформированный процесс обладает рядом субъективных качеств. Выбранное оборудование, границы технологической операции, количество установов и позиций, их содержание, количество технологических переходов целиком определяется квалификацией технолога и его опытом.

В предлагаемой методологии формирование технологического процесса осуществляется в несколько другом порядке:

а) назначаются технологические переходы, сгруппированные по плану обработки поверхностей обрабатываемой детали;

б) формируется содержание операции в зависимости от заданного типа производства предполагаемого вида технологического оборудования;

в) устанавливается количество и содержание установов;

г) указывается количество и содержание технологических позиций;

д) выбирается технологическое оборудование по структуре операции, характерной для заданного типа производства и найденного количества и содержания установов и позиций.

Сформированный технологический процесс характеризуется: *во-первых*, четкой определённостью выбора оборудования по найденной структуре операции, и *во-вторых*, строгой последовательностью выполнения технологических операций.

Учитывая огромный информационный материал, накопленный промышленностью и научными исследованиями, технологию машиностроения можно представить состоящей из двух частей: основы технологии машиностроения и собственно технологию машиностроения. При этом информационный материал этих двух частей можно разделить на два уровня.

К первому уровню будем относить область обобщённых технологических знаний для принятия типовых экономически целесообразных решений. Ко второму уровню знаний будем относить область конкретных технологических знаний для принятия рациональных решений при наличии базового решения, полученного на первом уровне.

Первый уровень технологических знаний при принятии решений характеризуется учетом:

а) типовых методов по обработке типовых поверхностей, принадлежащих типовым деталям и обрабатываемым на типовом оборудовании;

б) типовой технологической оснастки;

в) основных принципов, правил и общих рекомендаций по назначению оборудования и технологической оснастки.

Принятие решений на первом уровне может быть окончательным, если обеспечивается требуемая точность, качество и производительность обработки. В противном случае решение надо признать предварительным и перейти ко второму уровню.

Второй уровень содержит конкретные сведения по технологии машиностроения и характеризуется нахождением возможных рациональных решений, основываясь на решении, принятом на первом уровне, как на базовом.

При нормативном проектировании технологических процессов основные показатели процессов должны рассматриваться в следующем порядке:

а) обеспечение требуемой точности и качества обработки поверхностей детали;

б) обеспечение требуемой производительности обработки;

в) обеспечение минимальной себестоимости обработки.

Указанная последовательность обеспечения основных показателей процесса объясняется необходимостью получения гарантированной точности и качества обрабатываемых поверхностей детали, выполнением определённого количества выпускаемой продукции, требуемой на рынке труда, и получением достаточной прибыли для поддержания производства.

Для обеспечения требуемой точности и качества обрабатываемых поверхностей детали вводится понятие «этапность обработки». Это понятие встречается в литературе, но оно не систематизировано. Чаще встречается понятие «стадия обработки», характеризующаяся обработкой поверхности на конкретном оборудовании конкретным обрабатывающим инструментом при определённых условиях (режимах) обработки без указания получаемой точности и качества.

Этапность обработки характеризует последовательность обработки детали в целом. Для получения требуемой точности и качества обрабатываемых поверхностей деталь проходит ряд этапов.

Этап обработки детали – это стадия её обработки, характеризующаяся определённой точностью и качеством обрабатываемых поверхностей.

Можно выделить три группы этапов: основная, отделочная и специальная [2,3]. Самой многочисленной является основная группа. В общем случае можно сформулировать следующие основные этапы обработки детали (табл. 1) [2, 3].

Основной характеристикой этапа обработки предполагается считать определённую точность всех обрабатываемых поверхностей в этапе, выраженную качеством (ИТ). Если

каждый этап обработки детали выполняется на отдельном оборудовании, то его точность должна соответствовать точности выполняемого этапа (табл. 1).

При наличии на поверхностях детали излишнего металла (напуска) по сравнению с расчётными величинами (припусками) возможно появление обдирочной обработки, которую выделяют в отдельный этап, называемый обдирочным. Этот этап появляется в случае необходимости и может быть установлен расчётным путём. Обдирочный этап не является проектным и поэтому не включён в табл. 1.

Таблица 1

Основные этапы обработки

Этапы обработки детали	Обозначение этапа	Точность обрабатываемых поверхностей, IT	Класс точности применяемого оборудования
Черновой	$\mathcal{E}_{чр}$	12...13	Н
Получистовой	$\mathcal{E}_{пч}$	11	Н
Чистовой	$\mathcal{E}_{ч}$	9...10	Н
Повышенной точности	$\mathcal{E}_{п}$	7...8	П
Высокой точности	$\mathcal{E}_{в}$	6	В
Особо высокой точности	$\mathcal{E}_{ов}$	5	А

Выявление этапов основной группы и отнесение к ним обрабатываемых поверхностей необходимо проводить в соответствии с характеристиками этих поверхностей: $T_p, T_{рас}, T_{ф}, Ra, Hd, \delta_0$,

T_p - точность размера;

$T_{рас}$ - точность расположения поверхности;

$T_{ф}$ - точность формы поверхности;

Ra - шероховатость поверхности;

Hd - упрочнение поверхностного слоя;

δ_0 - остаточные внутренние напряжения в поверхностном слое.

Точность расположения поверхностей $T_{рас}$ может быть представлена отклонениями по биению ($T_{б}$) для цилиндрических поверхностей и отклонениями от параллельности ($T_{пар}$), а также отклонениями от перпендикулярности ($T_{пер}$) для плоских поверхностей. Для характеристики $T_{рас}$ следует дополнительно ввести ещё одну разновидность – отклонения положения поверхностей ($T_{пол}$).

Характеристики Hd и δ_0 ввиду отсутствия статистической информации по влиянию на точность обрабатываемых поверхностей исключаем из рассмотрения.

Все характеристики поверхностей можно разделить на три группы: основные, неосновные и независимые (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики обрабатываемых поверхностей

Основные	Неосновные	Независимые
$T_p, T_{рас} \equiv T_{б}$ $T_{рас} \equiv T_{пар} \equiv T_{пер}$	Ra $T_{ф(○)}$ Ra $T_{ф(□)}$	$T_{рас} \equiv T_{пол}$ (по размеру положения)

Необходимо пояснить характеристику $T_{пол}$. Обычно $T_{пол}$ относится к размеру положения ($L_{пол}$), соединяющему две поверхности или оси, или ось и поверхность. На рис. 1 пред-

ставлены $L_{\text{пол}}$ для цилиндрической и плоской деталей.

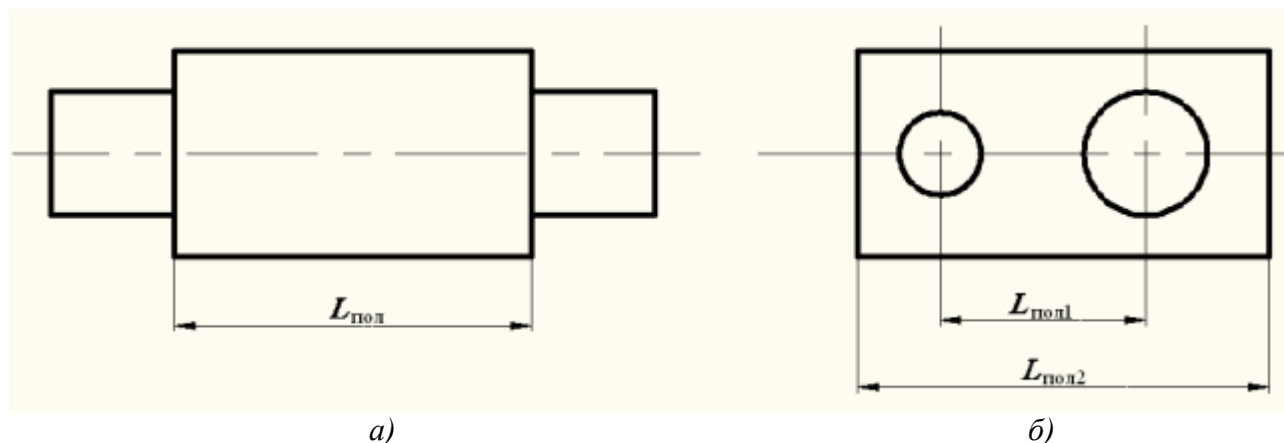


Рис. 1. Размеры положения для различных деталей:
а – для цилиндрической; *б* – для плоской детали

Характеристика $T_{\text{пол}}$ не относится к какой либо поверхности, и её нельзя использовать для оценки точности соединяемых поверхностей.

Существует связь между основными и неосновными характеристиками обрабатываемой поверхности [1, 2]:

$$\begin{aligned}
 T_{\phi(\circ)} &\leq 0,3T_p, \\
 T_{\phi(\square)} &\leq 0,6T_p, \\
 T_{\text{пар}} &\leq 0,6T_p, \\
 T_{\text{пер}} &\leq 0,6T_p, \\
 Ra &\leq 0,05T_p, \\
 T_{\delta} &\leq 0,5T_p, \\
 Ra &\leq 0,1T_{\delta}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Максимальные значения характеристик T_{δ} , $T_{\text{пар}}$, $T_{\text{пер}}$, T_{ϕ} и Ra следует считать экономически рациональными для соответствующей характеристики T_p . В дальнейшем эти характеристики будем называть нормативными и обозначать T_{δ_n} , $T_{\text{пар}_n}$, $T_{\text{пер}_n}$, T_{ϕ_n} и Ra_n .

Поэтому можно записать:

$$\begin{aligned}
 T_{\delta_n} &= 0,5T_p, \\
 Ra_n &= 0,1T_{\delta}, \\
 T_{\phi_n(\circ)} &= 0,3T_p, \\
 T_{\phi_n(\square)} &= 0,6T_p, \\
 T_{\text{пар}_n} &= 0,6T_p, \\
 T_{\text{пер}_n} &= 0,6T_p, \\
 Ra_n &= 0,05T_p.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Нормативные значения указанных характеристик относятся к основным этапам обработки деталей.

Согласно зависимостям (1), можно представить другую группу формул:

$$\begin{aligned} T_{\phi_n(o)} &< 0,3T_p, \\ T_{\phi_n(\square)} &< 0,6T_p, \\ Ra &< 0,05T_p, \\ Ra &< 0,1T_{\phi}. \end{aligned} \quad (3)$$

в которых значения неосновных характеристик относятся к отделочным этапам.

Основные этапы обработки детали определяются по основным характеристикам, в частности, по IT , в соответствии с табл. 1. Если основной характеристикой поверхности является, $T_{рас}$, то по величине этой характеристики оценивается условный квалитет (IT_{yc}) и далее по табл.1 выявляется окончательный этап обработки рассматриваемой поверхности.

Как определяется условная точность и условный квалитет ?

Предположим, для торца ступенчатой цилиндрической детали задано торцовое биение $T_{\phi} = 0.05$ мм, длина торца $l_y = 30$ мм (цилиндрическая поверхность, смежная с торцом, имеет $d30$ мм). В соответствии с зависимостями (2) выбираем необходимое соотношение:

$$T_{\phi_n} = 0,5T_{p_{yc}},$$

где $T_{p_{yc}}$ - условная точность рассматриваемого торца.

Заданное значение торцового биения принимается как нормативное значение $T_{\phi_n} = 0,05$ мм.

Определяется условная точность торца

$$T_{p_{yc}} = \frac{T_{\phi_n}}{0,5} = \frac{0,05}{0,5} = 0,1 \text{ (мм)}.$$

По таблицам допусков для $l_y = 30$ мм и допуска, равного $T_{p_{yc}} = 0,1$ (мм), находится IT_{yc} , который определяет окончательный этап обработки торца. В данном примере IT_{yc} соответствует 11 квалитету, т.е. получистовому этапу обработки.

Рассмотрим пример для плоскостной детали. Часто для плоскости детали не указывается точностная характеристика, в этом случае в качестве основной характеристики может быть принята шероховатость поверхности Ra . Нужно определить точность плоской поверхности, для которой указана только шероховатость $Ra3,2$. Длина плоской поверхности $l=80$ мм. Необходимое соотношение, согласно зависимостям (2), имеет вид

$$Ra_n = 0,05T_{p_{yc}}.$$

Заданное значение шероховатости поверхности принимается как нормативное значение $Ra3,2$.

Определяется условная точность плоскости

$$T_{p_{yc}} = \frac{Ra_n}{0,05} = \frac{3,2}{0,05} = 64 \text{ (мкм)}.$$

Длина плоской поверхности принимается как условная, $l_y = 80$ мм. По таблицам допусков для $T_{p_{yc}} = 64$ мкм и $l_y = 80$ мм окончательный этап обработки плоскости соответствует 9 квалитету ($IT_{yc} 9$), т.е. чистовому этапу.

Отделочная группа этапов, как правило, включает в себя один этап. Если для основных этапов основными характеристиками поверхности являются точность выполняемого

размера (T_p) или точность расположения поверхностей (T_{pac}), то для отделочного этапа основной характеристикой является одна из следующих: поверхность (Ra), точность формулы (T_ϕ) [5]. Характеристики поверхности, формируемые отделочными методами, можно разделить на три группы: основные, неосновные и неизменяющиеся. В табл. 3 приведены характеристики поверхностей, формируемые отделочными методами, на примере абразивной обработки.

Таблица 3

Характеристики поверхностей, формируемые отделочными методами

Характеристики поверхности			Группы методов	Типовые методы обработки
Основные	Неосновные	Неизменяющиеся		
T_ϕ	Ra, Hd, δ_0	T_p, T_{pac}	Первая	Хонингование, доводка
Ra	Hd, δ_0	T_p, T_{pac}, T_ϕ	Вторая	Полирование, суперфиниширование
Hd, δ_0	Ra	T_p, T_{pac}, T_ϕ	Третья	Упрочняющие методы обработки

Основные характеристики поверхности Hd и δ_0 , формируемые третьей группой методов, не нашли своё отражение в результатах исследований. Единственной характеристикой качества поверхности исследователями была принята Ra .

Выявление окончательного этапа обработки (основного или отделочного) можно провести по характеристикам Ra и T_ϕ .

Если $Ra = Ra_n$, $T_\phi = T_{\phi_n}$, то окончательную обработку следует отнести к основному этапу по характеристике T_p .

Если $Ra < Ra_n$, $T_\phi < T_{\phi_n}$, то окончательную обработку относят к отделочному этапу.

Если $Ra > Ra_n$, $T_\phi > T_{\phi_n}$, то шероховатость по чертежу надо считать неправильной и принять $Ra = Ra_1$, $T_\phi = T_{\phi_n}$.

При обработке деталей могут иметь место специальные этапы, связанные с немеханической обработкой (термическая обработка, покрытия, специальный контроль), которые могут привести к появлению новых этапов (например, термическая обработка детали с резьбовой поверхностью влечет появление перед ней этапа по защите резьбовой поверхности, например, омеднением, а после термической обработки – этапа по снятию этой защиты).

Таким образом, введение и учёт этапности обработки деталей позволяет:

- определить необходимое количество технологических переходов по обработке всей детали;
- сформировать содержание и последовательность выполнения всех элементов технологического процесса (операций, установов и позиций);
- назначить точность и качество всех выполняемых технологических переходов.

Отделочный этап обработки рекомендуется выполнять последним после любого основного этапа обработки детали. Наиболее целесообразно отделочную обработку производить после чистового этапа.

Специальные этапы обработки детали определяются задачами эксплуатационного назначения. Их содержание и место в технологическом процессе целиком предопределяются производственной практикой.

При нормативном проектировании технологического процесса требуется количественная оценка принимаемых решений. Для выбора рационального технологического ре-

шения необходимо иметь конкретную нормативную характеристику, определяемую исходной задачей проектирования. Это время выполнения технологической операции, которое предопределяется объемом выпуска изготавливаемых изделий. Назовём эту характеристику нормативным временем изготовления изделия (детали) на операции. Формулу определения нормативного времени выполнения операции можно записать

$$t_n = \frac{F \cdot m \cdot 60}{\sum_i^N Q_i},$$

где F – годовое число часов работы станка в одну смену; Q_i – объем выпуска детали i -го наименования; N – номенклатура деталей; m – количество рабочих смен.

Таким образом, для вычисления t_n необходимо знать номенклатуру деталей (N) и конкретные объёмы выпуска деталей каждого наименования. Численно величина N в первом приближении может быть соотнесена с величиной коэффициента закрепления операций (K_{30}), который статистически предопределён типом производства. Окончательную величину N корректируют в зависимости от рациональной величины коэффициента загрузки оборудования.

При нормативном проектировании технологический процесс строится с учетом основного критерия лезвийной обработки – минимизации интенсивности износа режущего инструмента, при котором формируются наименьшие погрешности, минимальные величины шероховатости и упрочнения обрабатываемой поверхности. Любые изменения условий обработки приводят к ухудшению указанных характеристик обрабатываемой поверхности. При необходимости изменения условий обработки детали, влияющих на себестоимость обработки, следует варьировать только двумя исходными факторами – это материалом обрабатываемой детали и материалом режущей части инструмента [2].

Проектирование процесса представляет собой пошаговое решение технологических задач. Минимизация себестоимости обработки начинает формироваться уже с первых шагов. Реализация этапности обработки детали предопределяет количество и последовательность выполнения технологических переходов каждой поверхности [4], группируемых в отдельные совокупности внутри каждого этапа. Затем назначаются экономически целесообразные методы и виды обработки для выполнения каждого технологического перехода.

В каждом этапе для лезвийной обработки для каждой поверхности выполняется один технологический переход определённого вида, реализуемый одним рабочим ходом.

Построение технологического процесса производится с учётом принципа максимальной концентрации всех технологических элементов (операций, установов, позиций, переходов) с учётом предполагаемого технологического оборудования, соответствующего заданному типу производства.

Содержание каждого технологического элемента определяется временем их выполнения, максимально приближающимся к нормативному времени выполнения расчётного элемента (t_n). При значительном расхождении указанных времён принимаются решения по проведению соответствующих мероприятий, но не влияющих на оптимальность протекания процесса обработки.

Минимизация себестоимости обработки детали также предопределяется учётом «нормальных производственных условий», основную долю которых составляют типовое исправное оборудование и типовая исправная технологическая оснастка соответствующей точности с типовой схемой установки детали в рабочем приспособлении.

Таким образом, нормативное проектирование технологических процессов механической обработки позволяет объективно и экономически целесообразно назначать:

- последовательность обработки технологических переходов каждой поверхности детали,
- последовательность выполнения технологических операций при обработке детали,
- метод и вид обработки при выполнении каждого технологического перехода,
- точность и качество каждого технологического перехода,
- содержание и количество элементов технологической операции (установов, позиций),
- вид и комплектацию технологического оборудования, его точность,
- нормативное время выполнения каждой операции.

Библиографический список

1. **Соколовский, А.П.** Основы технологии машиностроения / А.П. Соколовский. – Л-М.: НМК СССР Гос. научно-техн. изд-во машиностр. литературы, 1938. Т. 1. – 680 с.
2. **Метелёв, Б.А.** Основные положения по формированию обработки на металлорежущем станке: учеб. пособие / Б.А. Метелёв; НГТУ. – Нижний Новгород, 1998. – 110 с.
3. **Метелёв, Б.А.** Этапность обработки деталей в машиностроении // Технологические процессы и оборудование машино- и приборостроения: сб. научных трудов / НГТУ. – Н. Новгород, 1995. С. 79–84.
4. **Метелёв, Б.А.** Планы обработки поверхностей деталей машин // Технологические процессы и оборудование машино- и приборостроения: сб. научных трудов / НГТУ. – Н. Новгород, 1995. С. 62–66.
5. **Метелёв, Б.А.** Систематизация отделочных методов обработки поверхностей деталей машин // Наука – производству: современные задачи управления, экономики, технологии и экологии в машино-приборостроении: материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Арзамас, 1998. С. 26–29.

*Дата поступления
в редакцию 03.10.2014*

В.А. Metelev

REVISITING THE NORMATIVE DESIGN OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MECHANICAL PROCESSING IN MECHANICAL ENGINEERING

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The systematization of technological information is proposed, allowing to develop strict algorithm for designing of technological processes of mechanical processing in mechanical engineering. The refinement of engineering task definitions and selection of main metrics of technological processes are given. The study suggests to deal with part machining in accordance with stages of processing and to unify machining passes by accuracy and surface quality. The normative values of main surface characteristics are give.

Key words: manufacturing process, process indicators, part, detail, surface, normative characteristics, stage of processing, accuracy, surface quality, performance capacity, cost.