

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОКОНЧАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЯХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК

© 2006 Д.А. Ласточкин, Д.Л. Скуратов

Самарский государственный аэрокосмический университет

Представлены усовершенствованный метод определения рациональных условий обработки и математические модели для операций точения и растачивания, а также круглого наружного и внутреннего шлифования, позволяющие существенно упростить задачу нахождения наивыгоднейших условий формообразования при обработке цилиндрических и конических поверхностей.

Применение существующих методов оптимизации на этапе совершенствования и разработки технологических процессов изготовления деталей позволяет повысить производительность и качество обработки, а также снизить себестоимость их производства. Модернизировать существующий или разработать новый технологический процесс изготовления деталей на основе структурно-параметрической оптимизации является весьма сложной задачей, которую можно осуществить при наличии математических моделей, позволяющих определить рациональные условия формообразования при различных видах и методах обработки. Поэтому структурно-параметрическую оптимизацию в первую очередь необходимо осуществлять на операциях, в наибольшей степени влияющих на эксплуатационные характеристики деталей, то есть на окончательных операциях. Вышесказанное вместе с тем не исключает влияния технологической наследственности на состояние поверхностного слоя деталей и точность их обработки.

Учитывая вышеизложенное был усовершенствован существующий метод определения рациональных условий формообразования поверхностей на финишных операциях механической обработки заготовок [1], который базируется на использовании принципа структурно-параметрической оптимизации и последующим уточнении полученных результатов на основе анализа исследования кинетики тепловых процессов рассматриваемых видов обработки. То есть определение рациональных условий формообразования поверхностей в данном методе

осуществляется путем последовательной двухуровневой оптимизации.

Суть усовершенствования заключается в том, что определение рациональных условий формообразования поверхностей, включающих вид обработки, марку или характеристику инструмента и его конструкцию, режим резания, СОТС и т.д., для рассматриваемой операции технологического процесса осуществляется путем одноуровневой оптимизации. В отличие от существующего метода [1] использование одноуровневой оптимизации позволяет существенно упростить процесс определения рациональных вида и условий обработки. Однако в этом случае необходимо наличие диаграмм, связывающих метастабильное состояние материалов с параметрами, характеризующими условия обработки. Опираясь на эти диаграммы можно получить зависимости для технических ограничений, учитывающих результаты исследования кинетики рассматриваемых тепловых процессов. Данные зависимости в совокупности с зависимостями, описывающими другие технические ограничения и целевую функцию, образуют математические модели для рассматриваемых видов обработки. В свою очередь сам процесс оптимизации основан на использовании этих математических моделей.

Использование одноуровневой оптимизации при определении рациональных вида и условий обработки на финишных операциях технологических процессов позволило упростить существующую структурную модель [1] и привести ее к виду, представленному на рис.1.

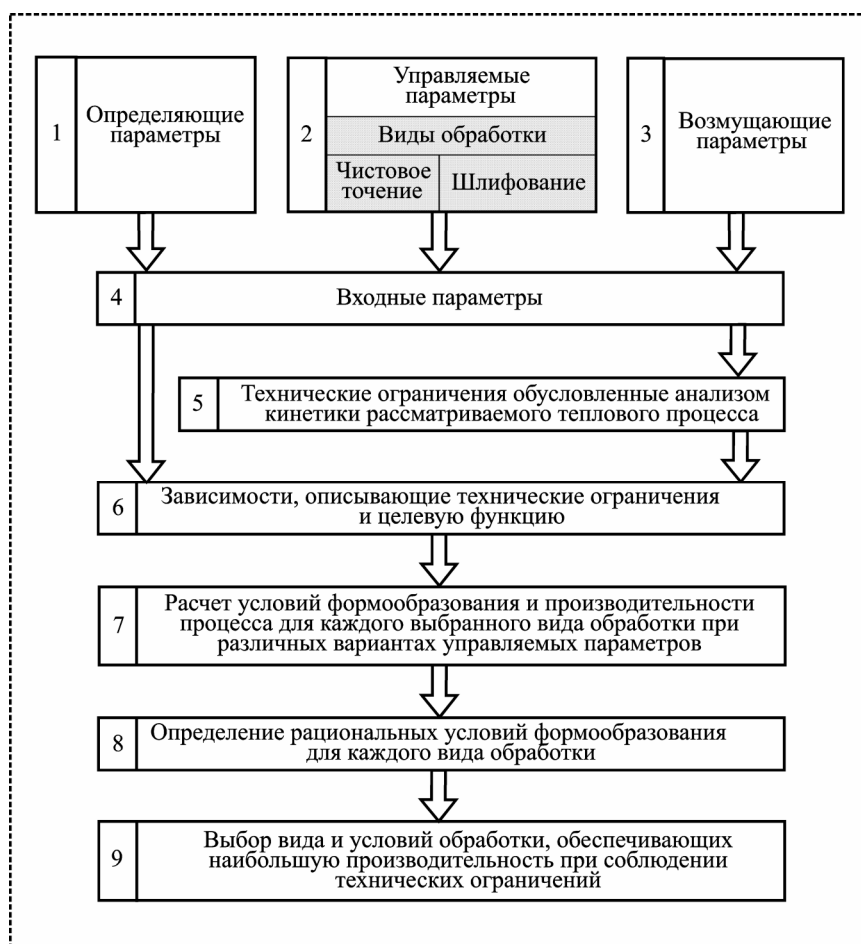


Рис.1. Структурная модель определения рациональных условий обработки заготовок на финишных операциях

Как видно из представленной на рис. 1 модели, входные параметры технологической системы (блок 4) подразделяются на определяющие, управляемые и возмущающие [2, 3], обозначенные соответственно как блоки 1, 2 и 3.

К определяющим параметрам относят заданную марку обрабатываемого материала и его состояние, требования к точности обработки и отклонения формы, шероховатости поверхности, структурному и фазовому состоянию поверхностного слоя и т.д.

Управляемыми параметрами при оптимизации являются вид обработки, модель станка, способ закрепления заготовки на станке, влияющий на жесткость системы СПИД, марка инструментального материала или характеристика инструмента, конструкция и геометрия режущего инструмента, СОТС и другие параметры.

Данная модель была использована для определения рациональных условий обработки наружных и внутренних цилиндриче-

ских поверхностей, осуществляемых методом продольной подачи инструмента, и конических поверхностей с небольшим углом конусности, когда изменение рабочей скорости вращения инструмента не превышало 15 % от первоначальной. Исходя из того, что для формообразования этих поверхностей применяются преимущественно процессы чистового точения и растачивания и круглого наружного и внутреннего шлифования, данные виды обработки введены в управляемые параметры (см. рис. 1). Представленная на рис. 1 структурная модель может быть использована для определения рациональных условий обработки при формообразовании любых поверхностей деталей, однако в этом случае в управляемые параметры должны быть введены рассматриваемые (сопоставляемые) виды обработки.

Возмущающие параметры процесса резания, как отмечено в работе [2], делятся на систематические и случайные. К систематическим возмущающим параметрам относят

закономерное изменение скорости, глубины резания, геометрии инструмента, которые вызваны конструктивными особенностями обрабатываемых заготовок и кинематикой резания, закономерно изменяющиеся износ инструмента и температурные деформации системы. К возмущающим параметрам, имеющим случайную природу, относятся неконтролируемые изменения физико-механических свойств заготовки и инструмента, припуска на обработку, статических и динамических характеристик оборудования и системы СПИД в целом и т.д.

На основе использования входных параметров и зависимостей, описывающих целевую функцию и технические ограничения (блоки 5, 6), в том числе и ограничения, связанные с результатами исследования кинетики тепловых процессов, в блоке 7 при помощи разработанных программных продуктов производится расчет условий формообразования заданной цилиндрической или конической поверхности при различных вариантах управляемых параметров. В процессе расчета в этом блоке определяются условия обработки либо для процессов точения и круглого наружного шлифования, либо для процессов растачивания и круглого внутреннего шлифования. После проведения всех расчетов, осуществленных при различных вариантах управляемых параметров, в блоке 8 производится определение рациональных условий обработки для каждого рассматриваемого вида формообразования, после чего в блоке 9 осуществляется окончательный выбор вида и условий обработки.

Оптимизация при токарной обработке и шлифовании осуществлялась в детерминированной постановке, поэтому действие возмущающих параметров во внимание не принималось.

Математические модели для определения рациональных условий обработки при чистовом точении и растачивании, а также круглом наружном и внутреннем шлифовании были получены на основе усовершенствования моделей, приведенных соответственно в работах [4, 5].

Усовершенствованная модель для определения рациональных условий обработки при точении и растачивании отличается от базовой [4] тем, что в ней в техническом ог-

раничении, связанном с точностью обработки, учтены температурные деформации резца и его размерный износ, а в ограничении, связанном с предельно допустимой шероховатостью поверхности, учтена возможность обработки заготовок резцами с отрицательными передними углами. Кроме того, в эту модель, как отмечалось ранее, введено ограничение, связанное с результатами исследования кинетики тепловых процессов.

В усовершенствованной математической модели для определения рациональных условий формообразования ограничение, связанное с точностью обработки при первой и последующих итерациях имеет вид:

- при первой

$$n_3^{z_{P_y}} (100S)^{y_{P_y}} (100t_p)^{x_{P_y}} \leq \frac{318^{z_{P_y}} 100^{(x_{P_y} + y_{P_y})} k_3 \delta_p}{2C_{P_y} D_3^{z_{P_y}} \left[ \frac{1}{j_{заг}} + \frac{1}{j_{см}} + \frac{1}{j_p} \right]}; \quad (1)$$

- при последующих

$$n_3^{z_{P_y}} (100S)^{y_{P_y}} (100t_p)^{x_{P_y}} \leq \frac{318^{z_{P_y}} 100^{(x_{P_y} + y_{P_y})} [k_3 \delta_p - 2(\Delta_{\theta.p} - \Delta_{из.p})]}{2C_{P_y} D_3^{z_{P_y}} \left[ \frac{1}{j_{заг}} + \frac{1}{j_{см}} + \frac{1}{j_p} \right]}; \quad (2)$$

где  $n_3$  - частота вращения заготовки, об/мин;  $S$  - подача, мм/об;  $t_p$  - глубина резания, мм;  $C_{P_y}$  - коэффициент, отражающий влияние условий обработки на составляющую силы резания  $P_y$ ;  $x_{P_y}$ ,  $y_{P_y}$ ,  $z_{P_y}$  - показатели степени, характеризующие интенсивность влияния соответственно  $t_p$ ,  $S$  и  $v$  на величину силы  $P_y$ ;  $D_3$  - диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, мм;  $\frac{1}{j_{заг}}$ ,  $\frac{1}{j_{см}}$ ,  $\frac{1}{j_p}$  - податливость соответственно заготовки, станка и резца, мм/Н;  $k_3$  - коэффициент, показывающий, в какую часть допуска должна укладываться погрешность, вызванная деформацией заготовки, составляющих станка и резца,  $k_3 = 0,7 \dots 0,8$ ;  $\delta_p$  - допуск на размер обрабатываемой поверхности, мм;  $\Delta_{\theta.p}$  - погрешность обусловленная температурной деформацией

резца, мм;  $\Delta_{из.р}$  - погрешность вызванная линейным износом резца, мм.

Величину  $\Delta_{\theta.p}$  можно определить по формуле, приведенной в работе [6]:

$$\Delta_{\theta.p} = \Delta'_{\theta.p} \left( 1 - e^{-\frac{\tau}{4}} \right),$$

где  $\tau$  - время обработки, мин;  $\Delta'_{\theta.p}$  (мм) для условий чистовой обработки определяется из выражения [6]:

$$\Delta'_{\theta.p} = 4,5 \cdot 10^{-4} \frac{l}{F} \sigma_a (t_p S)^{0,75} \sqrt{v},$$

где  $l$  - вылет резца, мм;  $F$  - поперечное сечение державки резца, мм<sup>2</sup>;  $\sigma_a$  - предел прочности обрабатываемого материала при растяжении, МПа;  $t_p$  - глубина резания, мм;  $S$  - подача, мм/об;  $v$  - скорость резания, м/мин.

В свою очередь погрешность, вызванная линейным износом резца, определяется по формуле [7]:

$$\Delta_{из.р} = \frac{2u_o \pi D_3 l_m n}{10^9 S},$$

где  $u_o$  - относительный износ резца, мкм/км;  $D_3$  - диаметр заготовки, мм;  $l_m$  - длина пути резца в направлении подачи, мм;  $n$  - количество деталей в партии, обрабатываемой в период между подналадками станка.

Обработка заданной поверхности заготовки с допуском шероховатостью поверхности в данной модели может быть осуществлена при условии, если:

$$(100S)(100t_p)^x \leq \frac{C_s R_z^y r^n (90 + \gamma)^{0,15} \alpha^{0,25} \cdot 100^{(x+1)}}{(\varphi \varphi_1)^z h_3^{0,2}} k_s, \quad (3)$$

где  $C_s, n, x, y, z$  - коэффициент и показатели степени, зависящие от обрабатываемого материала;  $R_z$  - высота неровностей по десяти точкам, мкм;  $r$  - радиус закругления вершины резца, мм;  $\gamma$  - главный передний угол, градус;  $\alpha$  - главный задний угол, градус;  $\varphi$  и  $\varphi_1$  - главный и вспомогательный углы в плане, градус;  $h_3$  - износ по задней поверхности резца, мм;  $k_s$  - коэффициент, учитывающий группу обрабатываемого материала.

Неравенство (3) получено на основании собственных экспериментальных дан-

ных и экспериментальных данных других авторов.

Возникновение структурных и фазовых превращений в поверхностном слое заготовок связано не только с температурой в зоне резания, но также со скоростью его нагрева и в большей степени со скоростью охлаждения. При механической обработке материалов скорость охлаждения заготовок зависит от скорости подачи СОЖ в зону резания и от скорости вращения заготовок. Увеличение скорости резания (скорости вращения заготовки) на операциях точения и растачивания, во-первых, приводит к повышению температуры в зоне резания за счет увеличения общего тепловыделения  $Q = P_z v$ , во-вторых, как правило, к небольшому уменьшению главной составляющей силы резания  $P_z$  [8] и, в-третьих, к росту скорости охлаждения.

Ограничение, связанное с результатами исследования кинетики тепловых процессов, получено на основе использования диаграмм связывающих метастабильные диаграммы состояния материалов со скоростью вращения заготовки (рис. 2). Исходя из этих диаграмм, производительная обработка материалов при гарантированном отсутствии структурных и фазовых изменений в поверхностном слое возможна в том случае, если выполняются условия

$$v \geq v_{пр.наим}; \quad (4)$$

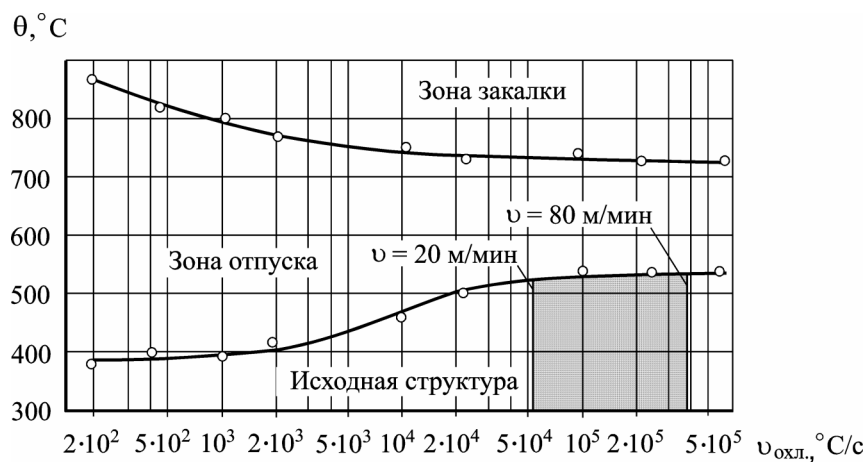
$$v \leq v_{пр.наиб}; \quad (5)$$

где  $v_{пр.наим}$  - наименьшая предельная допустимая скорость резания, м/мин;  $v_{пр.наиб}$  - наибольшая предельная допустимая скорость резания.

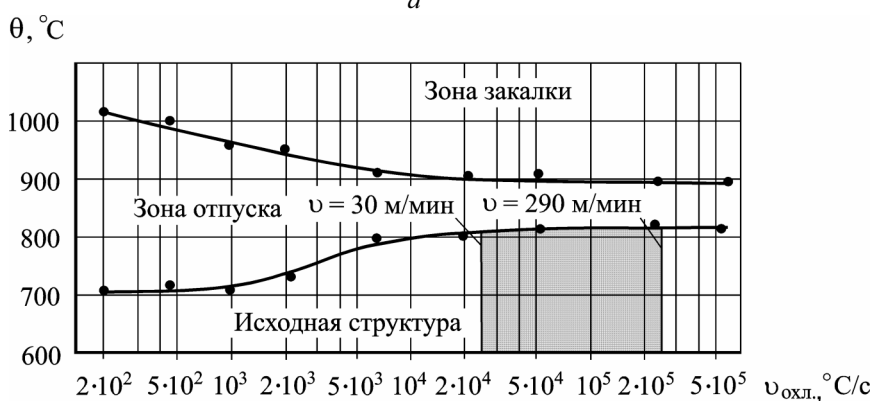
Решив неравенства (4) и (5) относительно  $n_3$ , предварительно представив в них  $v$ , как  $\frac{\pi D_3 n_3}{1000}$ , получим ограничения, связанные с результатами исследования кинетики тепловых процессов

$$n_3 \geq \frac{1000 v_{пр.наим}}{\pi D_3}; \quad (6)$$

$$n_3 \leq \frac{1000 v_{пр.наиб}}{\pi D_3}. \quad (7)$$



a



б

Рис. 2. Диаграммы, связывающие метастабильное состояние сталей 30XГСН2А (а) и ЭП517-Ш (б) со скоростью резания (скоростью вращения заготовки) при чистовом точении и растачивании заготовок

Математическая модель для определения рациональных условий обработки при круглом наружном и внутреннем шлифовании отличается от базовой [5] тем, что в технические ограничения по стойкости инструмента, мощности и температуры резания, шероховатости поверхности введены коэффициенты, учитывающие влияние высокоструктурных кругов на эти параметры, а также введено техническое ограничение, связанное с результатами исследования кинетики тепловых процессов (аналогично точению).

Таким образом, усовершенствованный метод определения рациональных условий обработки и математические модели для операций точения и растачивания, а также круглого наружного и внутреннего шлифования позволяют значительно упростить задачу поиска наиболее выгодных условий формообразования при обработке цилиндрических и конических и конических поверхностей заготовок.

### Список литературы

1. Скуратов Д.Л. Разработка и совершенствование технологических методов и средств, обеспечивающих повышение качества и снижение трудоемкости изготовления деталей ГТД. Дис... д-ра техн. наук. Самара, 2004. 337 с.
2. Старков В.К. Технологические методы повышения надежности обработки на станках с ЧПУ. М.: Машиностроение, 1984. 120 с.
3. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. М.: Машиностроение, 1989. 296 с.
4. Скуратов Д.Л. Разработка математической модели для определения рациональных условий обработки на операциях чистового точения и растачивания при изготовлении деталей авиакосмической техники // РК техника. Сер. XII. Расчет, проектирование, конструирование и испытания космических

систем: Науч.-техн. сб. Самара, 2001. Вып. 1. С. 182-193.

5. Скуратов Д.Л. Разработка математической модели для определения рациональных условий обработки на операциях круглого шлифования при изготовлении деталей авиационной техники // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. Сер. Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Самара, 2001. Вып. 5. Ч. 2. С. 115-130.

6. Технология машиностроения: В 2 кн. Кн. 1. Основы технологии машиностроения:

Учеб. пособ. для вузов /Э.Л. Жуков, И.И. Козарь, С.Л. Мурашкин и др.; Под ред. С.Л. Мурашкина. М.: Высш. шк., 2005. 278 с.

7. Проектирование технологических процессов в машиностроении: Учебное пособие для вузов /И.П. Филонов, Г.Я. Беляев, Л.М. Кожуро и др.; Под общ. Ред. И.П. Филонова. Минск: УП «Технопринт», 2003. 910 с.

8. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник /Я.Л. Гуревич, М.В. Горохов, В.И. Зайцев и др. М.: Машиностроение, 1986. 240 с.

## **MODERNISATION OF METHOD OF DEFINITION OF RATIONAL CONDITIONS OF PROCESSING AT FINISH OPERATIONS OF PROCESSING WORKPIECES**

© 2006 D.A. Lastochkin, D.L. Skuratov

Samara State Aerospace University

The advanced method of definition of rational conditions of processing and mathematical models for turning and boring operations and also the round external and internal grinding are submitted, allowing essentially simplify a problem of a finding of the optimal conditions of cutting at processing cylindrical and conic surfaces.