

УДК 621.8
DOI: 10.12727/18098

В.Ф. Безъязычный, д.т.н.
(Рыбинский государственный авиационный технический университет
имени П. А. Соловьёва, Россия, г. Рыбинск, ул. Пушкина, д. 53)
E-mail: root@rsatu.ru

Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин на стадии подготовки производства

Изложена взаимосвязь параметров качества поверхностного слоя обработанной поверхности с технологическими условиями обработки, а также расчётное определение эксплуатационных свойств деталей машин: усталостной прочности, износостойкости, прочности прессовых соединений.

Ключевые слова: режимы резания; свойства материалов деталей машин; качество поверхностного слоя; эксплуатационные свойства.

V.F. Bezyazychny, D.Eng.
(Soloviyov State Aircraft Technical University of Rybinsk,
53, Pushkin Str., Rybinsk, Russia)

Technological support of machinery performance attributes

The relation of quality parameters in a surface layer of the surface worked with technological conditions of processing is stated, and also a computation definition of machinery performance attributes: fatigue resistance, durability, strength of press-fit connections are shown.

Keywords: cutting modes; material properties of parts; surface layer quality; performance attributes.

Для управления качеством поверхностного слоя с целью обеспечения эксплуатационных свойств деталей машин целесообразно иметь расчётные зависимости между параметрами, характеризующими качество поверхностного слоя, и условиями их механической обработки. Наиболее обобщёнными являются теоретические зависимости, полученные на основе учёта одновременного воздействия на поверх-

ностный слой силы и температуры в зоне обработки. В связи с этим установлена функциональная связь между режимами резания, геометрией инструмента и параметрами качества поверхностного слоя и точности обработки с учётом свойств обрабатываемого и инструментального материалов, жесткости технологической системы:

$$(t, S, v, r, \varphi) = f \left(\sigma_{\text{ост}}, h_n, Rz, T_p, \sigma_T, E_d, \tau_p, \mu, \beta_d, \beta_n, \lambda_{\text{ст}}, a, \lambda_d, \lambda_p, \right. \\ \left. c_p, \theta_{\text{пл}}, \gamma, \alpha, \varphi, \rho_1, \rho_1, j_{\text{сист.}}, B_1, H_1, L_p, H, \alpha_1, \alpha_p \right), \quad (1)$$

где T_p – допуск на обеспечиваемый при обработке размер; β_d и β_i – коэффициенты линейного расширения обрабатываемого и инструментального материалов; E_d и τ_p – модуль упругости и сопротивление обрабатываемого материала пластическому сдвигу, соответственно; λ_d и λ_p – коэффициенты теплопроводности обрабатываемого и инструментального материалов; $\theta_{пл}$ – температура плавления обрабатываемого материала; α и γ – задний и передний углы режущего инструмента; φ и φ_1 – главный и вспомогательный углы режущей части инструмента в плане; ρ_1 – радиус округления режущей кромки резца; B_1 и H_1 – ширина и высота сечения державки резца; L_p – длина выступающей части резца из суппорта; H – размер обрабатываемой детали; $\lambda_{ст}$ – теплопроводность материала державки инструмента; α_1 и α_p – коэффициенты теплопередачи обрабатываемого материала и материала державки инструмента; $j_{сист}$ – жесткость технологической системы; $ср$ – удельная объёмная теплоёмкость обрабатываемого материала; S – подача (скорость перемещения инструмента); t и v – глубина и скорость резания; r – радиус при вершине резца в плане; $\sigma_{ост}$ – величина остаточных напряжений на заданном уровне от поверхности детали; h_n – степень наклепа материала поверхностного слоя; Rz – высота неровностей на поверхности детали; δ – высота фаски износа на задней поверхности режущей части инструмента; a – температуропроводность обрабатываемого материала; σ_T – предел текучести материала обрабатываемой детали.

Таким образом, режимы резания и геометрия инструмента являются функцией характеристик поверхностного слоя обрабатываемой детали, точности обработки, свойств обрабатываемого и инструментального материалов, размеров обрабатываемой детали и режущего инструмента, жесткости технологической системы «станок – приспособление – инструмент – заготовка».

Если в процессе обработки необходимо обеспечить требуемое качество поверхностного слоя, целесообразно определять режимы резания, обеспечивающие в зоне резания оптимальную температуру, работа при которой даёт минимальный относительный размерный износ, а, следовательно, максимальную стойкость режущего инструмента. Скорость резания, соответствующая оптимальной температуре, называется оптимальной и может быть определена расчётом по формуле, полученной

на основе теоретического анализа физических явлений, обусловленных процессом резания [1]:

$$v_0 = \frac{K^2 \lambda_d c_p a_1 b_1^2 \left(\frac{a_1}{\rho_1}\right)^{0,2}}{4 \sin^{0,1} \alpha} \left(\frac{\theta}{P_Z}\right)^2 \times \left[1 + \frac{2,65 \lambda_p \beta \varepsilon \left(\frac{a_1}{b_1}\right)^{0,3} P_Z}{K^2 a_1 b_1 \lambda_d c_p \left(\frac{a_1}{\rho_1}\right)^{0,025} \sin^{0,065} \alpha \cdot \theta} \right], \quad (2)$$

где P_Z – сила резания; θ – температура в зоне резания; K – коэффициент, зависящий от скорости резания и подачи, а также свойств обрабатываемого материала; a_1 и b_1 – толщина и ширина среза в зоне резания; ρ_1 – радиус округления режущей кромки инструмента; β и ε – угол заострения и угол при вершине резца в плане.

Работа при оптимальной скорости резания обеспечивает наиболее благоприятные параметры качества поверхностного слоя. Так, при оптимальной скорости резания наблюдается минимальная высота неровностей обработанной поверхности и максимальное значение контактной жесткости, что соответствует минимуму сближения контактирующих поверхностей под нагрузкой (рис. 1).

При обработке на оптимальных режимах резания наблюдается минимум износа обработанной поверхности. Исследование проводилось при трении качения под нагрузкой 1470 Н (рис. 2). Такая закономерность объясняется тем, что при оптимальной скорости резания обработанная поверхность имеет наиболее равномерное распределение неровностей (рис. 3).

Для управления формированием поверхностного слоя обрабатываемой детали были получены расчётные зависимости для определения остаточных напряжений в поверхностном слое $\sigma_{ост}$, степени N и глубины налёпа h_n , параметров шероховатости поверхности Rz и др. Примеры некоторых из них приведены ниже.

Так например, осевые остаточные напряжения в поверхностном слое, обу-

словленные тепловым воздействием $\sigma_{o,ост}$, при $r > r_{ог}$ и $\sigma_{o,о max} < 2\sigma_T$ определяются по формуле

$$\sigma_{o,ост} = -\sigma_T + \left\{ \left(\frac{r_H - r + a_1}{a_1} \right)^{X_2} + \frac{2}{a_1^{X_2} (r_H^2 - r_B^2)} \left[\frac{r_H + a_1}{1 + X_2} [a_1^{1+X_2} - (r_H - r_B + a_1)^{1+X_2}] - \frac{1}{2 + X_2} [a_1^{2+X_2} - (r_H - r_B + a_1)^{2+X_2}] \right] \right\} \frac{\beta_d A_1 E_d}{1 - \mu}$$

где r – радиус детали от центра, в котором определяются значения остаточных напряжений; r_H и r_B – наружный и внутренний радиусы обрабатываемой детали; μ – коэффициент Пуассона материала детали; A_1 и X_2 – величины, определяемые технологическими условиями процесса обработки [2].

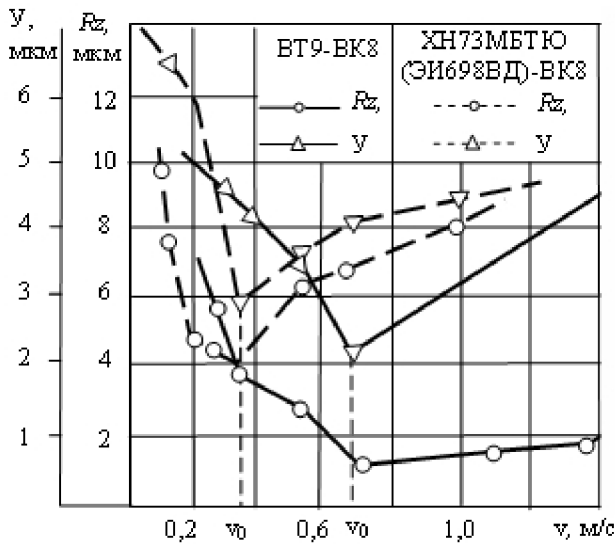


Рис. 1. Зависимость сближения контактирующих поверхностей Y от скорости резания при их обработке. Усилие загрузки $P = 1470$ Н. При обработке сплава BT9: $\alpha = 10^\circ$, $\gamma = 0^\circ$, $\phi = 45^\circ$, $\phi_1 = 15^\circ$, $r = 1$ мм, $S = 0,2$ мм/об; при обработке сплава XH73MBTЮ те же условия, кроме $\gamma = 10^\circ$

$$A_1 = C_0 \theta_A (BB)^{X_1} \left(\frac{\rho_1}{a_1} \right)^{X_3 - d} \sin \alpha^{0,05 - 0,042 X_4} \sin \gamma^{-0,021 X_4}$$

где $B = \frac{va_1}{a}$ – безразмерный комплекс процесса резания, характеризующий степень влияния на температуру в поверхностном слое режимных условий обработки по сравнению с влиянием теплофизических свойств обрабатываемого материала;

$B = \frac{1}{tg\beta_1}$ – безразмерный комплекс, характеризующий степень пластических деформаций материала снимаемого припуска и материала поверхностного слоя обрабатываемой детали; β_1 – угол наклона условной плоскости сдвига; C_0, X_1, X_3, X_4 и d – величины, зависящие от технологических условий обработки [2].

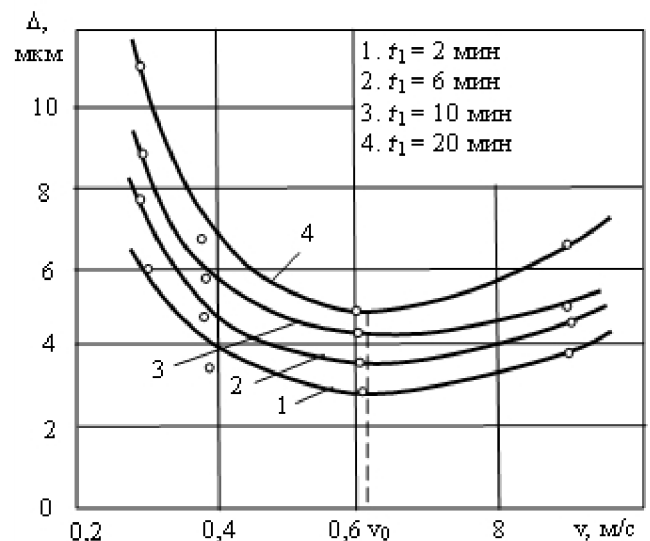


Рис. 2. Зависимость величины износа от скорости резания при точении сплава BT9: $S = 0,2$ мм/об; $t = 2$ мм; $r = 0,5$ мм; $\alpha = 10^\circ$; $\phi = 45^\circ$; $\phi_1 = 15^\circ$; $\rho_1 = 30$ мкм. Резец из BK8. Δ – величина износа обработанной поверхности; t_1 – время трения

Глубина наклёпа обработанной поверхности, как доказано рядом исследований [3], определяется глубиной залегания пластических деформаций в поверхностном слое. Следовательно, глубина наклёпа в поверхностном слое определяется из условия равенства

$$\sigma_y + \sigma_H = -\sigma_T$$

где σ_y – напряжения, обусловленные силовым воздействием на поверхностный слой; σ_H –

напряжения, обусловленные тепловым воздействием на поверхностный слой.

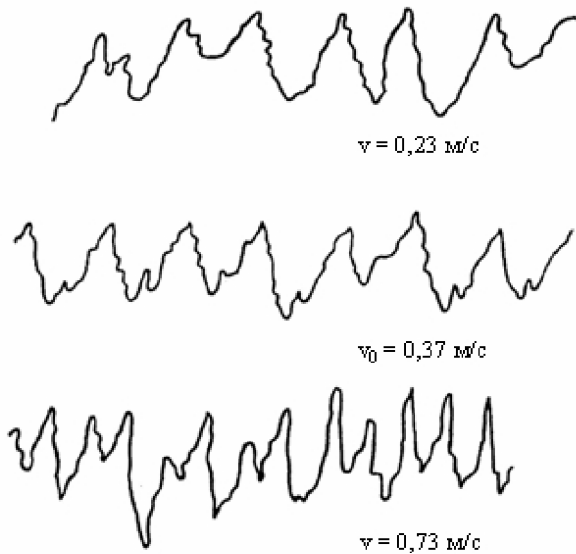


Рис. 3. Профилограммы шероховатости обработанной поверхности при точении сплава ХН77ТЮР резцом из ВК8: $S = 0,2$ мм/об; $t = 2$ мм; $r = 0,5$ мм; $\rho_1 = 30$ мкм, $\varphi = 45^\circ$; $\gamma = \alpha = 10^\circ$. Увеличение вертикальное – 2000, горизонтальное – 80

$$\sigma_y = \left[\frac{\tau_p}{2\pi} \cdot \psi \left(B; \frac{y}{h}; \frac{h}{a_1} \right) - \frac{\tau_p b}{2\pi b_1 \cos \alpha} E \left(\frac{y}{h}; B; \frac{\Delta}{\Delta_1}; \gamma \right) \right] \times \frac{1}{1 - \mu^2};$$

$$\sigma_H = \frac{\beta_d A_1 E_d}{a_1^{X_2} (1 - \mu)} \left\{ - (r_H - r + a_1)^{X_2} + \frac{1}{0,5(r_{OH}^2 - r_B^2) E_d} \times \right.$$

$$\times \left[E_d (r_H - r_{OH} + a_1)^{1+X_2} \left(\frac{r_H - r_{OH} + a_1}{2 + X_2} - \frac{r_H + a_1}{1 + X_2} \right) + (r_H - r_B + a_1)^{1+X_2} \times \left(\frac{r_H + a_1}{1 + X_2} - \frac{r_H - r_B + a_1}{2 + X_2} \right) E_d \right] - \frac{0,5 a_1^{X_2} \sigma_T}{\beta_d A_1} (r_H^2 - r_{OH}^2) \left. \right\},$$

где τ_p – сопротивление обрабатываемого материала пластическому сдвигу; h, Δ, Δ_1 – размеры зоны пластически деформируемого материала в поверхностном слое; y – глубина рассматриваемого слоя от поверхности; r_{OH} – радиус, соответствующий границе раздела упругих и пластических деформаций в поверхностном слое при нагревании, $r_{OH} = r_H - r = y$.

Степень наклёпа на поверхности детали определяется по формуле

$$N = \frac{h_H}{1,25(\sigma_B / \sigma_{B\sigma})^{0,8}},$$

где σ_B – предел прочности обрабатываемого материала; $\sigma_{B\sigma}$ – предел прочности электротехнической стали, принятой за эталон.

Если скорость резания изменяется от скорости наибольшего наростообразования $v_{нар}$ до оптимальной v_0 , то при $r \left[1 - \sqrt{1 - (S/2r)^2} \right] \leq t \leq r(1 - \cos \varphi)$ высота неровностей, мм:

$$Rz = \frac{1}{8r} \left\{ \frac{1}{\tau_p \left[1 + \frac{1}{B} + \operatorname{tg}(\arctg B - \gamma) \right]} \left[\frac{a_1^{0,125} b_1^{0,7} c \rho \theta \rho_1^{0,1} a^{0,43}}{v \lambda \sin^{0,165} \alpha} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \left[2,85 \sin^{0,115} \alpha v^{0,57} a_1^{0,345} \lambda b^{0,3} + 0,6625 \lambda_p \beta \epsilon a_1^{0,57} \rho_1^{0,075} \right] - \left[-0,5 \tau_p \rho_1 b \left(\frac{\arccos \left(1 - a_2 B^{-b_2(1-\sin \gamma)^{-x}} \right) + a_2 B^{1-b_2(1-\sin \gamma)^{-x}}}{\sin \alpha (\cos \gamma + B \sin \gamma)} + \frac{\delta}{\rho_1} \right) \times \cos \alpha \right] \right\}^2.$$

Названные выше параметры качества поверхностного слоя, определяют эксплуатационные свойства для различных деталей (рис. 4).

С использованием предложенных ранее зависимостей для расчетного определения параметров качества поверхностного слоя получены зависимости для определения показателей эксплуатационных свойств деталей машин. Так, например, предел выносливости материала детали, обработанной лезвийным инструментом, определяется следующим образом:

– при точении $\sigma_{-1} = m \cdot (\sigma_B / \sigma_{B3})^K \cdot Rz^{-0,05} \cdot h_H^{0,147} \cdot \sigma_{ост}^{-0,09}$;

– при фрезеровании $\sigma_{-1} = n \cdot (\sigma_B / \sigma_{B3})^L \cdot Rz^{-0,067} \cdot h_H^{0,139} \cdot \sigma_{ост}^{-0,063}$,

где m, n, K, L – величины, зависящие от вида обработки [2]; σ_B / σ_{B3} – отношение предела прочности обрабатываемого материала к пределу прочности электротехнической стали, принятой за эталон.

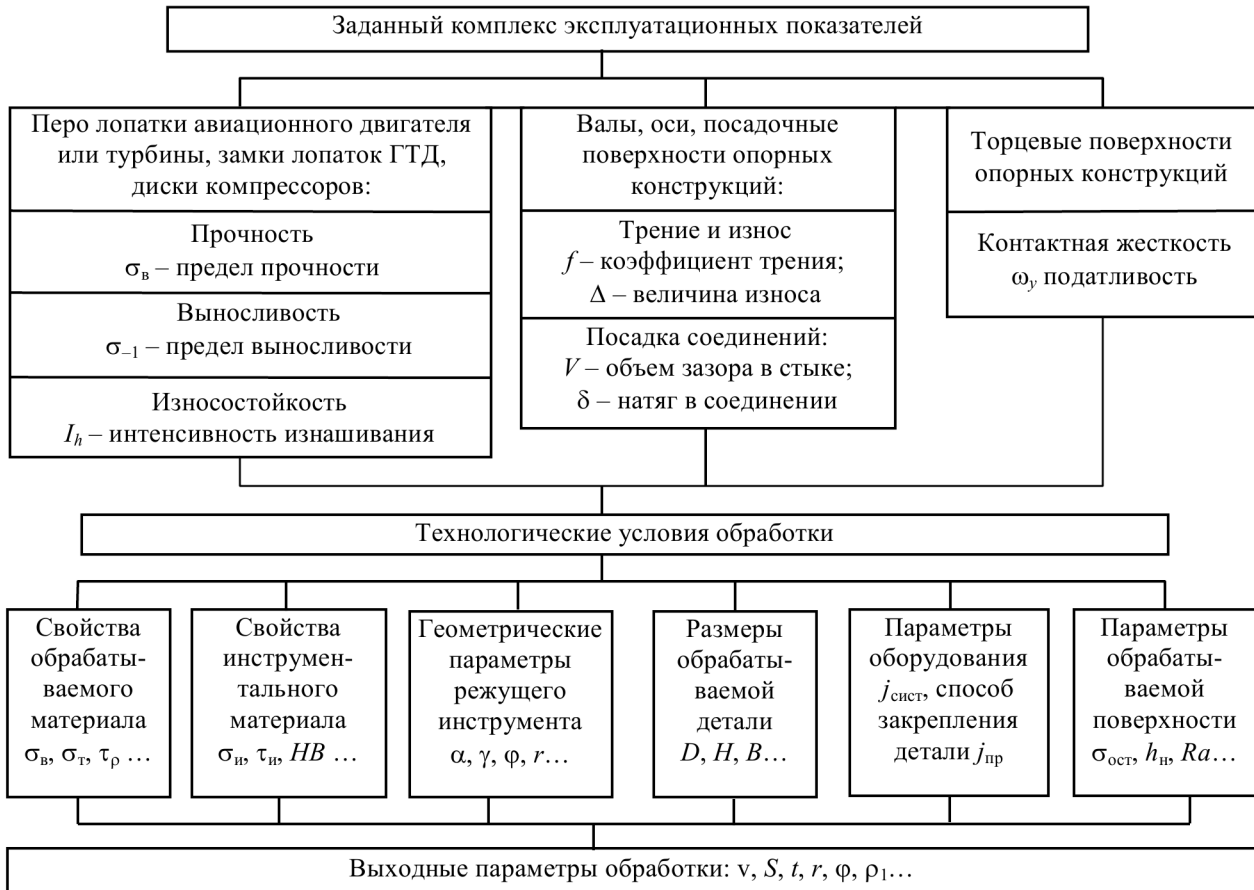


Рис. 4. Схема технологического обеспечения эксплуатационных показателей деталей ГТД

Интенсивность изнашивания обработанной поверхности при обработке с оптимальной скоростью резания:

$$J_h = \frac{0,0316 \cdot 3,7^{v+1} \alpha^{0,5} b Rz^{0,719-0,2(v+1)+5,2t_y}}{(v+1) \left(\frac{34,64\sigma_0}{Kf_m} \right)^{t_y} \left(\frac{N}{A_c} \right)^{0,323(v+1)+0,161-0,16t_y} \left(\frac{1-\mu^2}{E} \right)^{0,161+0,84t_y-0,323(v+1)}}$$

где Rz – высота неровностей профиля контактной поверхности, мм; v и b – параметры кривой аппроксимации опорной поверхности; σ_0 – действующее напряжение в зоне контакта сопрягаемых поверхностей, МПа; N – действующая нагрузка на контакт, Н; A_c – номинальная площадь, очерченная размерами соприкасающихся тел, мм²; μ – коэффициент Пуассона материала детали; E – модуль упругости материала, который быстрее изнашивается, Па; t_y – параметр кривой фрикционной усталости [3]; K – коэффициент, характеризующий напряженное состояние на контакте (для хрупких материалов $K = 5$, для высокопластичных материалов $K = 3$); f_m – величина молекулярной составляющей коэффициента трения.

В общем случае:

$$J_h = 0,0316 \cdot 3,7^{v+1} \alpha_2^{0,5} b \times \left\{ \frac{1}{8r} \times \left[\frac{0,6625 a_1^{0,125} c p \theta_0 \times \left(4,3 \sin^{0,115} \alpha v^{0,57} a_1^{0,345} \lambda \left(\frac{t}{m} \right)^{0,3} + \lambda_p \beta \varepsilon a^{0,57} \rho_1^{0,075} \right)^{\frac{2}{1-n_0}}}{\tau_p a^{-0,43} \sin^{0,05} \alpha v_0 t^{0,25} c_0 m^{0,74-n_0} \times b^{0,04} \rho_1^{n_0-0,1} (1-0,45 \sin \gamma)} \right] \right\}^{0,719-0,2(v+1)+5,2t_y} \times \frac{1}{(v+1) \left(\frac{34,64 \sigma_0}{k f_M} \right)^{t_y} \left(\frac{N}{A_c} \right)^{-0,323(v+1)+0,161-0,16t_y} \left(\frac{1-\mu^2}{E} \right)^{0,161+0,84t_y-0,323(v+1)}}$$

Таким образом, интенсивность изнашивания поверхности является функцией условий ее обработки, а также свойств материала детали.

При выполнении соединений с натягом значения осевой силы P_0 и крутящего момента $M_{кр}$, обеспечивающие прочность таких соединений, определяются по формулам:

– при изготовлении соединяемых деталей из различных материалов:

$$P_0 = \pi \cdot l \cdot f_{oc} \cdot \frac{\delta_n - 1,2(Rz_1 + Rz_2)}{\frac{C_1 W_1}{2(1+\mu_1) \cdot \left(\frac{N_1 \sigma'_{0,2}}{\alpha_1} \right)^2} + \frac{C_2 W_2}{2(1+\mu_2) \cdot \left(\frac{N_2 \sigma''_{0,2}}{\alpha_2} \right)^2}},$$

$$M_{кр} = \pi \cdot d \cdot l \cdot f_{кр} \cdot \frac{\delta_n - 1,2(Rz_1 + Rz_2)}{\frac{C_1 W_1}{(1+\mu_1) \cdot \left(\frac{N_1 \sigma'_{0,2}}{\alpha_1} \right)^2} + \frac{C_2 W_2}{(1+\mu_2) \cdot \left(\frac{N_2 \sigma''_{0,2}}{\alpha_2} \right)^2}};$$

– при изготовлении соединяемых деталей из одного материала:

$$P_0 = \pi \cdot l \cdot f_{oc} \cdot \frac{2(1+\mu) \cdot \sigma_{0,2}^2}{\alpha^2} \cdot \frac{\delta_n - 1,2(Rz_1 + Rz_2)}{\frac{C_1 W_1}{N_1^2} + \frac{C_2 W_2}{N_2^2}},$$

$$M_{кр} = \pi \cdot d \cdot l \cdot f_{кр} \cdot \frac{(1+\mu) \cdot \sigma_{0,2}^2}{\alpha^2} \cdot \frac{\delta_n - 1,2(Rz_1 + Rz_2)}{\frac{C_1 W_1}{N_1^2} + \frac{C_2 W_2}{N_2^2}},$$

где l – длина участка контакта сопрягаемых деталей; d – номинальный диаметр сопряжения; f_{oc} и $f_{кр}$ – коэффициенты трения при запрессовке и запрессовке с кручением; δ – величина номинального натяга; Rz_1 и Rz_2 – высота неровностей на контактируемых поверхностях; N_1 и N_2 – степени наклёпа на поверхностях сопрягаемых деталей; $\sigma'_{0,2}$ и $\sigma''_{0,2}$ – условные пределы текучести материалов сопрягаемых деталей; W_1 и W_2 – значения накопленной энергии в поверхностном слое материалов первой и второй сопрягаемых деталей; μ_1 и μ_2 – коэффициенты Пуассона материалов сопрягаемых деталей [2]; C_1 и C_2 – коэффициенты, зависящие от размеров деталей и коэффициентов Пуассона материалов сопрягаемых деталей.

Предложена методика назначения технологических условий обработки, обеспечивающая требуемые эксплуатационные и технико-экономические показатели, структура которой показана на рис. 5 [4].

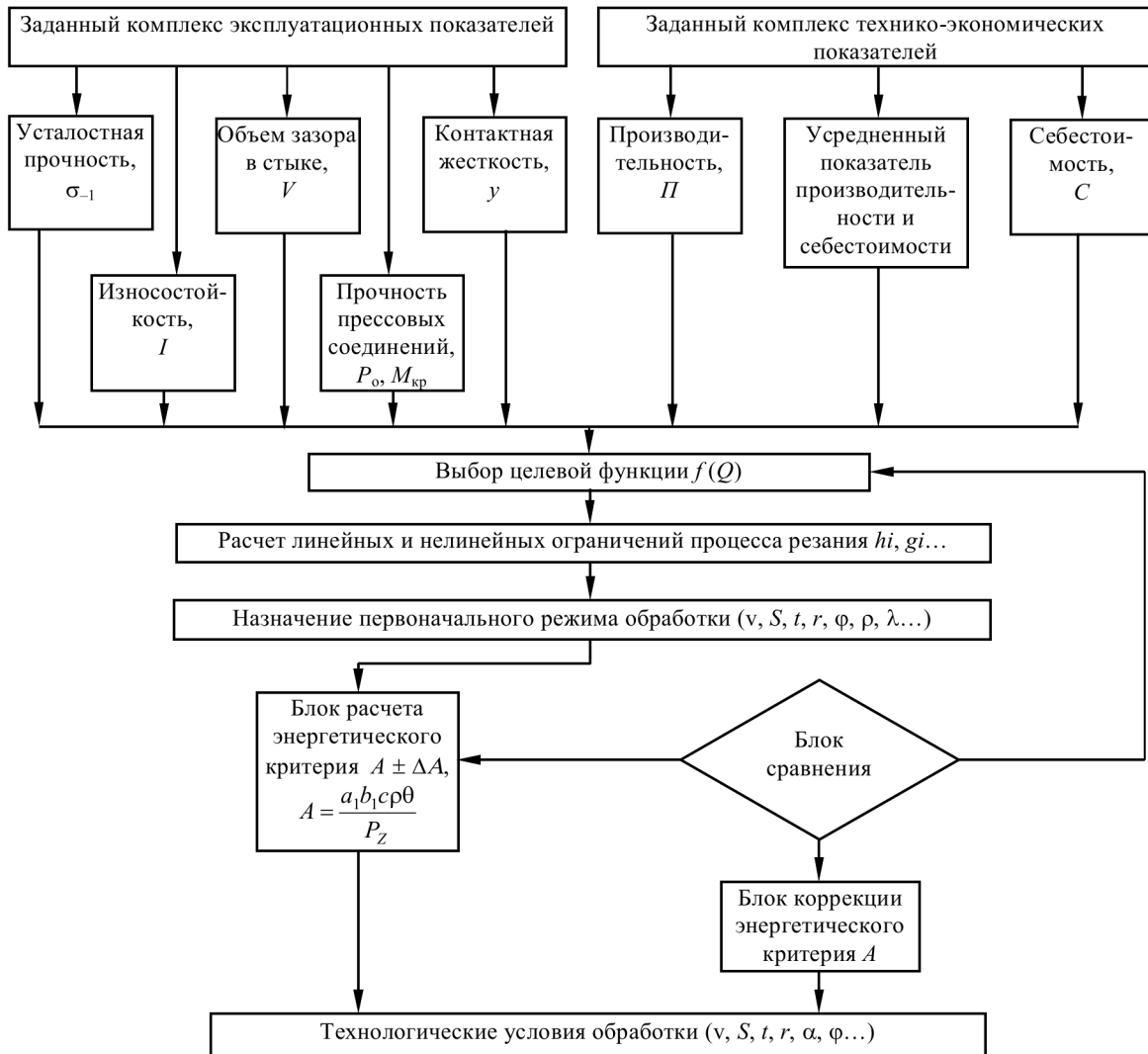


Рис. 5. Структура обобщенной методики назначения технологических условий обработки

Так, например, если необходимо обеспечить комплекс эксплуатационных показателей $\{\sigma_{-10}, y_0, V_0, P_0, I_0\}$, то целевая функция примет вид:

$$f(\sigma_{-1}, y, I) = c_1 \cdot \left(\frac{\sigma_{-1} - \sigma_{-10}}{\sigma_{-10}} \right) + c_2 \cdot \left(\frac{y - y_0}{y_0} \right)^2 + c_3 \cdot \left(\frac{I - I_0}{I_0} \right)^2 + c_4 \cdot \left(\frac{V - V_0}{V_0} \right) + c_5 \cdot \left(\frac{P - P_0}{P_0} \right),$$

где σ_{-1} и σ_{-10} – текущее и требуемое значения предела выносливости; y и y_0 – текущее и требуемое значения величины сближения контактируемых поверхностей; I и I_0 – текущая и требуемая величины интенсивности изнашивания трущихся поверхностей; V и V_0 – текущее и требуемое значения объема зазора в стыке сопрягаемых деталей; P и P_0 – текущее и требуемое значения осевой силы, обеспечивающей натяг в сопряжении.

В оптимальном случае величина целевой функции должна равняться нулю.

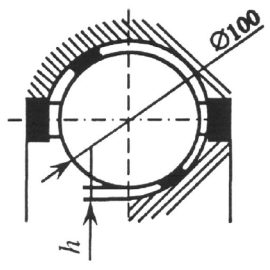
Дальнейший расчёт связан с решением задачи оптимизации выбранной целевой

функции при наличии ряда линейных и нелинейных ограничений, которые обусловлены технологией, физикой и механикой процесса резания (например, ограничения по подаче и скорости резания, исходя из возможностей оборудования), а также выбранным экономическим критерием. Количество и вид ограничений определяется в каждом конкретном случае отдельно.

Наиболее эффективным при решении подобных задач оптимизации является алгоритм, построенный на базе метода штрафных функций, использующий метод деформируемого многогранника и называемый методом нежесткого допуска.

Целью является определение первоначального режима обработки. Затем находится соответствующая величина энергетического критерия A и назначается допустимый диапазон его изменения. В процессе обработки значение критерия A удерживается в этом диапазоне путём изменения подачи и скорости резания. Последовательность расчёта технологических условий обработки с обеспечением эксплуатационных показателей деталей ГТД представлена на рис. 5. В качестве примера представлены результаты расчётов, выполненных с использованием данной методики (табл. 1 и 2).

1. Назначение технологических условий обработки в зависимости от требуемой величины объема зазора в стыке

		<p align="center">УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ сборочный узел – ротор на подшипниках; $D_{ш} = 2,381$ мм; $V = 2 \cdot 10^{-11}$ м³; $h = 2,5 \cdot 10^{-6}$ м; масло МС-20</p>		
Результаты расчета				
Материал обрабатываемой детали	Объем зазора в стыке V , мм ³	Режим обработки		
		S , мм/об	v , м/с	t , мм
ХН73МБТЮ	1,72	0,25	0,6	0,4
	1,05	0,2	0,7	0,25
	1,86	0,3	0,4	0,25

2. Результаты расчета режимов обработки в зависимости от требуемого предела выносливости и заданного экономического показателя

Инструментальный материал – Т15К6 $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$; $\alpha = 10^\circ$; $\gamma = 10^\circ$; $r = 0,5$ мм; $\rho_1 = 30$ мкм; $\Delta_{изн} = 0$ мкм					
Материал обрабатываемой детали	Требуемый предел выносливости σ_{-1} , МПа	Экономический показатель	Режим обработки		
			S , мм/об	v , м/с	t , мм
13Х12НВМФА (ЭИ961Ш)	315	C_{min}	0,18	0,6	0,25
		P_{max}	0,17	0,8	0,27
ХН77ТЮР (ЭИ437БУВД)	390	C_{min}	0,2	0,48	1,0
		P_{max}	0,2	0,71	0,32

Таким образом, представлена методика расчёта режима обработки, обеспечивающего заданные эксплуатационные свойства деталей,

что позволяет контролировать процесс механической обработки, тем самым обеспечивая получение надёжной и долговечной продукции, а сам

процесс изготовления делаю наукоёмким и рентабельным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Силин С.С. Метод подобия при резании материалов. М.: Машиностроение, 1979. 152 с.
2. Безъязычный В.Ф. Метод подобия в технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2012. 320 с.
3. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение, 1970. 400 с.
4. Волков С.А. Технологическое обеспечение заданных эксплуатационных свойств деталей путём оптимизации маршрута и условий обработки / Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Рыбинск, 2003. 215 с.

REFERENCES

1. Silin, S.S., *Similarity Method at Material Cutting*. M.: Mechanical Engineering, 1979. pp. 152.
2. Bezyazychny, V.F., *Similarity Method in Engineering Techniques*. M: Mechanical Engineering, 2012. pp. 320.
3. Malinin, N.N., *Applied Theory of Plasticity and Creep*. M.: Mechanical Engineering, 1970. pp. 400.
4. Volkov, S.A., Technological support of specified performance attributes of parts through route and processing conditions optimization / *Thesis for the Competition of Can.Eng. Degree*. Rybinsk, 2003. pp. 215.

Рецензент д.т.н. В.П. Фёдоров

УДК 621.9.06.
DOI: 10.12727/18099

Б.М. Базров, д.т.н.
(ФГБУН ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, Россия, 101990,
Москва, Малый Харитоньевский пер., д. 4)
E-mail: modul_lab@mail.ru

Проблема обеспечения технологичности изделия

Приводится анализ состояния вопроса технологичности конструкции изделий, показана необходимость разработки теоретических основ обеспечения технологичности изделий и их содержание.

Ключевые слова: технологичность; конструкция; изделие; деталь; метод; трудоемкость; себестоимость.

B.M. Bazrov, D.Eng.
(Blagonravov FSBEISMASH RAS,
4, Maly Kharitonievsky Alleyway, 101990, Moscow, Russia,)

Problem in product manufacturability

The article shows the lack of a systematic approach to ensure manufacturability design products taking into account all phases of its life cycle (production, operation and disposal), the shortcomings of evaluation of technological design, found that certain factors manufacturability not reflect an explicit connection between the characteristics of product design and processing index ; shows the need to develop the theoretical foundations for the realization of the technological design of products, taking into account all stages of the life cycle, established the link between technological performance, design characteristics and technologies of each stage of the product lifecycle.

Keywords: manufacturability; design; product; part; method; labour-intensiveness; cost price.

Технологичность изделия оказывает большое влияние на его эффективность на всех этапах жизненного цикла.

Вопросу технологичности изделия посвящены многочисленные работы [1–3] и др., основное количество которых опубликовано в XX веке.

Их анализ показал наличие разных формулировок понятия «технологичность», слабое раскрытие связей между характеристиками конструкции изделия и его технологичностью. Многие коэффициенты технологичности от-

ражают их связь с характеристиками конструкции в неявном виде, приводимые многочисленные рекомендации по повышению технологичности конструкции носят частный характер. Большинство работ посвящено технологичности изделия на этапе его изготовления и очень мало работ, посвященных технологичности изделия на этапах его эксплуатации и утилизации.

Кроме того, перечисленная информация разбросана по множеству источников и не объединена в единую систему. Все это суще-