

ЛИТЕРАТУРА

Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 13 декабря 2005 г. № 1439 «О Государственной программе развития порошковой металлургии и сварки в Беларуси на 2003 - 2007 годы» / Под общей редакцией В. Левоневского - <http://www.pravoby.info/index.htm>/ 2. Конструкционные порошковые материалы/ Под общей редакцией Е. Быкова. - http://eugene980.narod.ru/new_mat/7.htm/ 3. Одинцов Л. Г. Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием. - М.: Машиностроение, 1981. - 160 с. 4. Папшев Д.Д. Упрочняющая технология в машиностроении. - М.: Машиностроение. 1978. - 152 с. 5. Каледин Б.А., Чепя П.А. Повышение долговечности деталей поверхностным пластическим деформированием. - Мн.: Наука и техника, 1974. - 232 с. 6. Баршай И.Л. Обеспечение качества поверхности и эксплуатационных характеристик деталей при обработке в условиях дискретного контакта с инструментом. - Мн., УП «Технопринт», 2003. - 246с. 7. Горячева Э.В. Спеченные материалы, их свойства и применение.-М.: Металлургия, 1979.-72 с. 8. Федорченко И.М. и др. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения // Справочник. - Киев: Наукова думка, 1985. - 624 с. 9. Федорченко И.М., Пугин Л.И. Композиционные спеченные антифрикционные материалы. - Киев, Наукова думка. 1980. - 404 с. 10. Алексеев П.П. Формирование шероховатости поверхности при обработке поверхностей пластической деформацией. Технология машиностроения. - Тула, 1977. - С. 13-17. 11. Ящерицын, П.И. Планирование эксперимента в машиностроении / П.И. Ящерицын, Е.И. Махаринский. - Минск: Высшая школа, 1985. - 286 с.

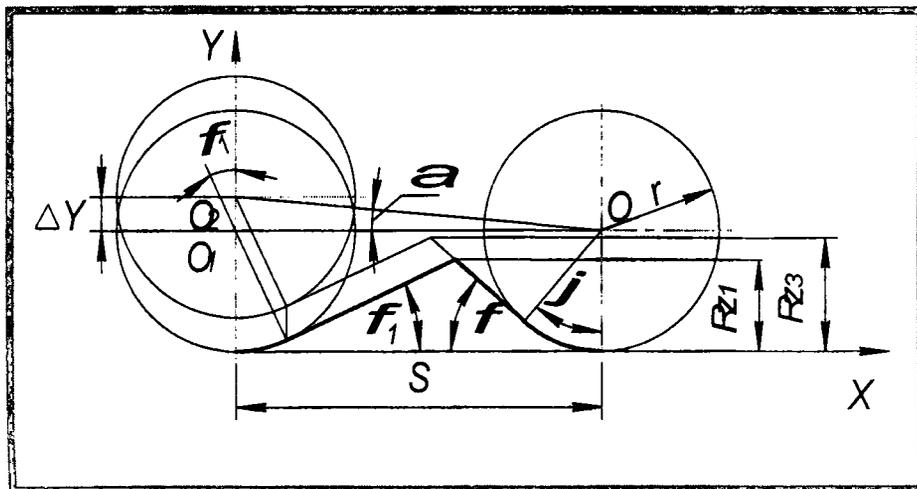
УДК 621.97

Шатуров Д. Г., Мрочек Ж. А., Жолобов А. А.

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ ШТОКОВ ГИДРОЦИЛИНДРОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Эксплуатационные характеристики материала поверхностных слоев деталей машин в основном определяются технологией их формообразования. Предварительная обработка рабочих поверхностей валов типа штоков гидроцилиндров преимущественно осуществляется точением, в том числе на токарных станках с ЧПУ, с последующим шлифованием и (или) обкатыванием. Правильный выбор не только финишных, но и предшествующих предварительных операций обработки позволяет значительно повысить эксплуатационные характеристики рабочих поверхностей валов. Практически погрешности формы и параметры качества поверхности, полученные при предшествующей обработке точением, с учетом наследственности частично сохраняются и при последующей обработке накатыванием или шлифованием.



Одним из существенных параметров качества обработанной поверхности является величина шероховатости, которая при точении зависит от геометрии рабочей части инструмента, величины нарастания износа лезвия резца во время его работы, жесткости элементов технологической

системы, вибраций, режимов резания, материала заготовки и чистоты лезвий инструмента, формируемых при их заточке.

Известные зависимости [1] для определения геометрических параметров микрорельефа поверхности не учитывают многие из указанных выше факторов, что не позволяет на стадии проектирования технологического процесса проводить общую экспертную оценку выбора оптимальных параметров процесса, обеспечивающих необходимое качество обработки.

Высота микронеровностей обрабатываемой поверхности, зависящая от геометрических параметров инструмента, при точении призматическим резцом, может быть аналитически определена из рис. 1

$$R_{z1} = \frac{S}{\cos \lambda_1} \cdot \frac{\sin \varphi \cdot \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)} - rK_R, \quad (1)$$

где

$$K_R = \frac{\sin \varphi + \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)} - 1;$$

$$\lambda_1 = \arctg(\gamma / \sin \varphi);$$

где S - величина подачи, мм/об; λ_1 - угол наклона вспомогательного лезвия резца; φ, φ_1 - главный и вспомогательный соответственно углы в плане главного и вспомогательного лезвий резца; γ - передний угол заточки резца; r - радиус сопряжения главного и вспомогательного лезвий резца.

Положив в (1) $r = 0$ и $\lambda_1 = 0$, получим известную зависимость для определения высоты шероховатости обработанной острой резцом [1].

Для уменьшения шероховатости обычно уменьшают подачу S . Так при подачах

$$S \leq 2r \cdot \sin \varphi_1$$

микрорельеф будет формироваться только радиусным участком лезвия, а высоту шероховатости поверхности можно определить по формуле профессора В. Л. Чебышева [1].

$$R_{z1} = r - \sqrt{r^2 - \frac{S^2}{4}} \approx \frac{S^2}{8r} \quad (2)$$

Наибольшее влияние на величину шероховатости оказывает подача S и радиус r при вершине резца. С увеличением подачи высота микронеровностей увеличивается, а с увеличением радиуса r уменьшается по гиперболической зависимости. Влияние углов φ и φ_1 на качество обработки одинаково и пропорционально.

Процесс отделения стружки от основы при резании металлов сопровождается пластической и упругой деформацией обработанной поверхности, совершаемой радиусной, переходной между передней и задней поверхностями, частью резца. После прохода резца и снятия нагрузки упругая часть не срезанного металла восстанавливается, увеличивая высоту микронеровностей обработанной поверхности. С увеличением износа лезвия резца увеличивается переходный радиус ρ округления лезвия, увеличивая высоту шероховатости. Высота шероховатости поверхности, связанная с величиной радиуса округления ρ , равна

$$R_{z2} = \rho(1 - \cos \beta), \quad (3)$$

где

$$\rho = \rho_0 + h_3 \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \gamma} \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\gamma}{2} \right);$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\cos \gamma}{K_i - \sin \gamma};$$

ρ_0 ρ - радиус соответственно начальный и текущий округления лезвия резца; β - угол сдвига при резании; K_i - усадка стружки; h_3 - величина износа задней поверхности резца.

Так для резца $\varphi = 45^\circ, \varphi_1 = 10^\circ, \gamma_3 = 10^\circ, r = 2 \mu\text{m}, K_i = 2,1$ при обработке стали 45 увеличение шероховатости с увеличением износа h_3 задней поверхности представлено в таблице 1.

Таблица 1. Величина высоты микрорельефа поверхности от величины износа задней поверхности резца.

h_3 , мкм	0	10	50	100	200	300	400	500
ρ , мкм	10	11,5	17,5	25	40	55	70	85
R_{z2} , мкм	1,1	1,265	1,925	2,75	4,4	6,05	7,7	9,35

При тчении под действием силы резания непрерывно изменяется величина упругих перемещений оси вала в зависимости от местоположения резца. В результате чего смежные траектории лезвия резца, отстоящие друг от друга в направлении подачи на величину подачи и ответственные за геометрическую форму и величину образующего при тчении микрорельефа, расположены смещенными друг относительно друга в радиальном относительно оси обрабатываемой поверхности вала направлении. Это радиальное смещение последующего и предыдущего положений лезвия резца приводит к формированию неодинаковой величины шероховатости обрабатываемой поверхности при его перемещении вдоль оси вала.

Упругое смещение оси вала относительно лезвия резца при его перемещении на величину подачи за один оборот заготовки, из-за своей малости, не приводит к дополнительному удалению металла при формировании очередного профиля микрорельефа поверхности, а только пропорционально увеличивает высоту неровностей рельефа.

Таким образом, высота неровностей рельефа поверхности, увеличиваясь на величину Δy упругой деформации, меняется адекватно этой деформации и равна (рис. 1).

$$R_{x3} = \Delta y = S \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

где
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2P_y}{l} \left[(w_{\eta a} + w_{oa}) \frac{v}{l} - w_{\eta a} \right] + \frac{2P_y}{3EI} l^2 \left[\frac{v}{l} \left(1 - \frac{v}{l} \right) \left(1 - 2 \frac{v}{l} \right) \right],$$

P_y - радиальная составляющая силы резания; l - длина вала; E - модуль упругости материала заготовки; I - момент инерции сечения заготовки; w_{36} , $w_{\eta 6}$ - податливость соответственно задней и передней бабки станка (опор вала); x - расстояние от начала обработки (торца заготовки) до расположения резца.

В случае профилирования микрорельефа поверхности радиусным участком лезвия имеем

$$R_x = \frac{S^2}{8r} + R_{x2} + S |\operatorname{tg} \alpha|.$$

На величину шероховатости поверхности оказывают влияние свободные и вынужденные колебания технологической системы (вала и его опор) в процессе обработки. Так на вал с центром масс в точке O_1 действует радиальная составляющая сила P_y , смещая центр масс в точку O_2 на величину статического упругого отжатия Y_x [2]. Это смещение в процессе обработки происходит с некоторым ускорением центра масс и возникающей при этом силой инерции, заставляющей совершать дополнительные колебательные движения вокруг нового центра равновесия O_2 на величину Y_i . Тогда дифференциальное уравнение колебаний центра масс имеет вид

$$m \ddot{\sigma} = -P_y (\sigma_o + \sigma_i) + P_o,$$

где m - масса вала; C_y - жесткость эквивалентной технологической системы; Y_i - дополнительное перемещение центра масс.

Поскольку $P_o = P_y \sigma_o = \sigma_o / w_p$, то окончательно получим

$$\ddot{\sigma} + \kappa^2 \sigma = 0, \tag{4}$$

где
$$\kappa^2 = \frac{P_o}{m \sigma_o} = \frac{2g}{w_p Q},$$

$$w_p = w_{\eta a} \left(1 - \frac{v}{l} \right)^2 + w_{oa} \left(\frac{v}{l} \right)^2 + \frac{l^3}{3EI} \left(\frac{v}{l} \right)^2 \left(1 - \frac{v}{l} \right)^2,$$

κ - угловая частота собственных колебаний вала (число колебаний, совершаемых в течение 2π сек), с^{-1} ; w_c - податливость эквивалентной технологической системы, $w_c = 1/C_y$; Q - вес вала; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

В результате решения дифференциального уравнения (4) находим закон колебаний центра масс

$$\Sigma_p = -\Sigma_o \cos \kappa \tau,$$

где
$$\Sigma_o = P_o w_c, \quad \tau - \text{время}.$$

Период собственных колебаний вала в секундах и частота колебаний в герцах соответственно равны:

$$T = \frac{2\pi}{K} = 2\pi \sqrt{\frac{Qw_c}{2g}}, \quad v = \frac{1}{T}.$$

Поскольку перемещение вала в направлении расположения резца им же и ограничено, то величина шероховатости поверхности в результате колебаний увеличится на половину разности положений оси вала для момента времени τ и $\tau_1 = (\tau - 60/n)$, при котором шпиндель станка сделал на один оборот меньше, чем в момент времени τ .

$$R_{z4} = \frac{1}{2} \sigma_v \left[\cos \kappa \left(\tau - \frac{60}{n} \right) - \cos \kappa \tau \right]. \quad (5)$$

В этом случае имеем общую зависимость для определения величины шероховатости поверхности с учетом рассмотренных параметров процесса.

$$R_{z0} = R_{z1} + R_{z2} + R_{z3} + R_{z4}.$$

С учетом зависимости (5) можно определить высоту шероховатости как вдоль образующей (по окружности), так и вдоль направляющей (вдоль оси вала).

В таблице 2 представлены расчеты по величинам частот, периода колебаний вала и величин шероховатости в зависимости от расположения резца. Как следует из результатов расчета величину R_{z3} для жестких валов ($l/\Delta < 12$) можно не учитывать.

Таблица 2. Величины частот, периоды колебаний и шероховатости поверхности при обработке штока гидроцилиндра (материал сталь 45, материал резца - 15К6.

$$w_{\text{в}} = 0,3 \text{ мкм/н}; w_{\text{н}} = 0,06 \text{ мкм/н}; P_y = 211 \text{ Н}; t = 1,0 \text{ мм}; S = 0,5 \text{ мм/об}; \\ D = 100 \text{ мм}; l = 1000 \text{ мм}; n = 600 \text{ об/мин}; \varphi = 45^\circ; \varphi_1 = 10^\circ; \gamma_3 = 10^\circ; r = 2 \text{ мм}; \\ \kappa_1 = 2,1; h_s = 200 \text{ мкм}; n_o = 0,792; T_o = 74 \text{ мин}.$$

$\frac{v}{l}$	0	0,25	0,5	0,75	0,833	1,0
K_1, ρ^{-1}	1027	1160	1690	2220	2368	2297
$T \cdot 10^{-3}, \rho$	6,11	5,414	3,716	2,83	2,652	2,734
$v, \text{Гц}$	163,5	184,7	269,1	353,5	377	365,7
$N_{\text{кол/об}} \text{ заготовки}$	16,35	18,47	26,91	35,35	37,7	36,57
$w_p, \frac{\mu\text{км}}{N}$	0,3	0,235	0,1108	0,0642	0,0565	0,06
$\sigma_v, \mu\text{км}$	63	49,6	23,4	13,6	11,91	12,66
$R_{z1}, \mu\text{км}$	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6
$R_{z2}, \mu\text{км}$	4,38	4,49	4,59	4,68	4,7	4,77
$R_{z3} \cdot 10^{-3}, \mu\text{км}$	0,13	0,09	0,054	0,014	0	0,025
$R_{z4}, \mu\text{км}$	71,0	28,3	17,7	19,4	16,72	17,7
$R_{z0}, \mu\text{км}$	90,98	48,39	37,89	39,68	37,02	38,07

Таким образом, приведенные расчетно-аналитические зависимости позволяют на стадии проектирования технологического процесса, исходя из имеющихся параметров инструмента, жесткости технологической системы, параметров обработки, произвести экспертную оценку по влиянию каждого параметра процесса на качество обработки и определить, например, подачу, обеспечивающую необходимое качество обрабатываемой поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маталин А. А., Технология машиностроения./А. А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985 – 496 с.
2. Шатуров Г. Ф. Прогрессивные процессы механической обработки поверхностей/Г. Ф. Шатуров, Ж. А. Мрочек. – Минск: Техопринт, 2001 – 460 с.