

ложен ряд конструкций, позволяющих значительно снизить указанные потери. После промышленных испытаний выбор был сделан в пользу полых конических хвостовиков HSK (рис.1), которые можно применять для любого обрабатывающего центра, работающего при 12000 об/мин и выше.

В заключение можно сказать, что успех ВСО целиком зависит от технолога-программиста, хорошо владеющего САМ-системой, поскольку сложность программ для ВСО значительно больше, чем при традиционной обработке. Внедрение новых подходов и стратегий, разработанных для ВСО, в обычную обработку благоприятно скажется на качестве обработки и снизит вероятность поломки инструмента. Освоение технологий ВСО обеспечит такое качество обработки, которое позволит исключить финишные операции ручной полировки, а также даст возможность выполнять работы, которые при традиционных методах вызывали определенные проблемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Насад, Т.Г., Игнатъев, А.А. Высокоскоростная обработка труднообрабатываемых материалов с дополнительными потоками энергии в зоне резания. Саратов: Изд-во Саратовского ГТУ, 2002. – 112 с.
2. Режимы резания металлов: Справочник / Ю.В. Барановский, Л.А. Брахман, А.И. Гдалевич и др. – М.: НИИТ автопром, 1995. – 456 с.
3. Hans, V. Kief // CNC for Industry. 2000. - p. 198.
4. Aronson, R. // Modern Machine Shop. 2001. v. 74. Nr.5.
5. Krieg, T. // Perspektiven der Zerspantechnik. Aachen, 2002. - p.147.
6. Gühring, D. // International Journal of Machine Tools & Manufacture. 2002. V. 42. Nr.6.

УДК 621.923

Кривко Г.П.

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОПРОФИЛЯ БОЧКООБРАЗНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РОЛИКОВ НА ШЛИФОВАЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЯХ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Рассмотрены особенности обеспечения в условиях реального производства минимальной шероховатости ($Ra\ 0,2$) образующей поверхности бочкообразных роликов роликовых радиальных сферических подшипников.

The paper considers the peculiarities of assurance of the minimum roughness ($Ra0,2$) of element of Barrel-type roller surface of roller radial spherical bearing in actual production.

В деталях подшипников существует много фасонных рабочих поверхностей, механическая обработка которых осуществляется на специальном оборудовании. Специальное оборудование дорогостоящее и практически не изготавливается для обработки деталей подшипников в Республике Беларусь.

Такое оборудование выпускают ряд машиностроительных заводов стран СНГ, а также много иностранных фирм: "Лядинс" (США), "Томпсон" (США), "Цинтинатти" (США), "Супфина" (ФРГ), "Джустина" (Италия), "НСК" (Япония), "СКФ" (Швеция) и др. Стоимость единицы такого оборудования превышает 500 тыс. долларов.

От схемы обработки [1,2] фасонных поверхностей колец и роликов, используемого абразивного и алмазного инструментов зависит качество обработанной поверхности и себестоимость операции. Существует определенная проблема обеспечения шероховатости поверхности в пределах $Ra\ 0,16-0,32$ мкм методом шлифования из-за дороговизны абразивного и алмазного инструментов.

Для обеспечения вышеуказанного параметра была принята классическая методика планирования эксперимента с использованием станка SWAATM-63A. Данный станок позволяет производить независимое варьирование подач инструмента, времени выхаживания поверхности, число оборотов ведущего круга и времени правки круга.

С целью анализа полученных результатов эксперимента в производственных условиях ставилась задача получить степенные зависимости шероховатости поверхности от вышеуказанных факторов.

Для проведения эксперимента использовались бочкообразные ролики, образующая которых обрабатывалась кругами ПП 500×35×203 63 С10СТВ ГОСТ2424-83.

Определялась зависимость шероховатости R_a , машинного времени T_m , стойкости круга C_m от времени выхаживания $t_{\text{вых}}$, величины врезной подачи $S_{\text{вр}}$, частоты вращения ведущего круга $n_{\text{в.кр}}$.

Предполагалось, что искомые зависимости определяются уравнением:

$$\Phi = K \cdot t_{\text{вых}}^\alpha \cdot S_{\text{вр}}^\beta \cdot n_{\text{в.кр}}^\gamma \quad (1)$$

Логарифмируя уравнение (1) получим:

$$y = B_0 + B_1 x_1 + B_2 x_2 + B_3 x_3. \quad (2)$$

Коэффициенты B_0, B_1, B_2, B_3 имеют свои величины в зависимости от режимных факторов $t_{\text{вых}}, S_{\text{вр}}, n_{\text{в.кр}}$. Определение коэффициентов уравнения (2) являются целью анализа.

Логарифмические преобразования независимых переменных в статистические коды приведены в уравнениях.

$$X_1 = \frac{2(\ln t - \ln t_{\text{max}})}{\ln t_{\text{max}} - \ln t_{\text{min}}} + 1 = 1,443 \ln t - 2,8643, \quad (3)$$

$$X_2 = \frac{2(\ln S - \ln S_{\text{max}})}{\ln S_{\text{max}} - \ln S_{\text{min}}} + 1 = 1,442 \ln S - 0,57, \quad (4)$$

$$X_3 = \frac{2(\ln n - \ln n_{\text{max}})}{\ln n_{\text{max}} - \ln n_{\text{min}}} + 1 = 1,4727 \ln n - 6,5413. \quad (5)$$

В табл. 1 представлены уровни варьирования независимых переменных $t_{\text{вых}}, S_{\text{вр}}, n_{\text{в.кр}}$ и их кодовые обозначения, а в табл. 2 матрица планирования эксперимента.

Таблица 1. Уровни варьирования независимых переменных

Уровень	t, с	S, мм/об	n, об/мин	Кодовые обозначения		
				X ₁	X ₂	X ₃
нижний	3	1,5	36	-1	-1	-1
основной	6	3	71	0	0	0
верхний	12	6	140	1	1	1

Таблица 2. Матрица планирования эксперимента

№ опыта	$t_{\text{вых}}$, с	$S_{\text{вр}}$, мм/мин	$V_{\text{в.кр.}}$, м/мин	Уровни независимых переменных			R_a , мкм	$\ln R_a$	$T_{\text{маш.}}$, с	$\ln T_{\text{маш.}}$	C_m , шт	$\ln C_m$
				X ₁	X ₂	X ₃						
1	12	1,5	36	+1	-1	-1	0,2	-1,609	19,4	2,965	70	4,2485
2	3	6	36	-1	+1	-1	0,27	-1,309	7,1	1,960	53	3,9703
3	3	1,5	140	-1	-1	+1	0,29	-1,238	10,4	2,342	302	5,7104
4	12	6	140	+1	+1	+1	0,24	-1,427	16,1	2,7788	275	5,6167
5	6	3	71	0	0	0	0,16	-1,833	11,2	2,4159	140	4,9916
6	6	3	71	0	0	0	0,21	-1,561	11,2	2,4159	160	5,0757

Значение коэффициента B_0 определяем по формуле:

$$B_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad (6)$$

а коэффициентов B_1, B_2, B_3 по формуле:

$$B_i = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot k \cdot y_i}{n}, \quad (7)$$

где i – номер независимой переменной;

k – номер эксперимента;

n – число экспериментов.

Формула (7) для подсчета каждого коэффициента принимает виды:

$$B_1 = 1/4(y_1 + y_4 - y_2 - y_3), \quad (8)$$

$$B_2 = 1/4(y_2 + y_4 - y_3 - y_1), \quad (9)$$

$$B_3 = 1/4(y_3 + y_4 - y_1 - y_2). \quad (10)$$

В результате получим уравнения регрессии для искомых зависимостей:

$$y_1 = 1,4961 - 0,122x_1 + 0,0277x_2 + 0,063x_3, \quad (11)$$

$$y_2 = 2,4797 + 0,3605x_1 + 0,142x_2 - 0,049x_3, \quad (12)$$

$$y_3 = 4,9354 + 0,46x_1 - 0,093x_2 + 0,777x_3. \quad (13)$$

Подставим статистические коды (3...5) в уравнения (11...13) получим искомые зависимости от режимных факторов:

$$Ra = \frac{0,185 \cdot S^{0,04} \cdot n^{0,09}}{t^{0,18}}, \quad (14)$$

$$T_m = \frac{7,6 \cdot t^{0,52}}{S^{0,2} \cdot n^{0,07}}, \quad (15)$$

$$C_m = \frac{t^{0,07} \cdot n^{1,14}}{2,117 \cdot S^{0,13}}. \quad (16)$$

Приведем оценку доверительных интервалов полученных зависимостей (14...16) с использованием t-распределения Стьюдента.

При числе степеней свободы $k = n - 1 = 5$ и доверительной вероятности

$$\beta = 0,95, \quad t_\beta = 2,57.$$

Тогда доверительный интервал будет представлен уравнением:

$$\hat{y}_\beta = \hat{y} \pm \varepsilon, \quad (17)$$

$$\text{где } \varepsilon = t_\beta \sqrt{D[y]} \quad (18)$$

При условии некоррелированности дисперсий B_0, B_1, B_2, B_3 имеем:

$$\begin{aligned} D[y] &= x_0^2 \cdot D[B_0] + x_1^2 \cdot D[B_1] + x_2^2 \cdot D[B_2] + x_3^2 \cdot D[B_3] = \\ &= S^2/6 + S^2/4 + S^2/4 + S^2/4 = 11/12 S^2, \end{aligned} \quad (19)$$

$$\text{где } S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y)^2}{4}. \quad (20)$$

Тогда уравнение (18) примет вид:

$$\varepsilon = t_\beta \sqrt{\frac{11}{12} S^2}. \quad (21)$$

Выполненные расчеты параметров Ra, Tm, Cm по формулам (14...16) показали совпадения данных параметров с параметрами полученными экспериментальным путем. Это подтверждает адекватность математических моделей (14...16) результатом эксперимента. Графически зависимость Ra, Tm, Cm от величины выхаживания поверхности, врезной подачи рабочего круга, числа оборотов ведущего круга, вычисленные по формулам (14...16) представлены на рис.1,2,3.

Анализ результатов расчета и экспериментальных данных показал, что наибольшее влияние на величину шероховатости оказывает время выхаживания поверхности, оптимальная величина находится в пределах 8-10с. Уменьшение числа оборотов ведущего круга уменьшает шероховатость поверхности, но при этом снижается стойкость шлифовального круга по количеству обрабатываемых деталей между правками круга. Влияние рекомендуемой врезной подачи шлифовального круга в диапазоне от 1 до 3 мм/мин незначительно на шероховатость поверхности по сравнению со временем выхаживания поверхности.

Для обеспечения шероховатости бочкообразной поверхности роликов в пределах Ra 0,16-0,32мкм при $T_{маш.}=13с$ и стойкости шлифовального круга 90 шт. обрабатываемых деталей между правками рекомендуются следующие режимы обработки: $t_{вых.}=10с$, $S_{вр.}=3$ мм/мин, $n_{в.кр.}=71$ мин⁻¹.

Результаты получены при использовании шлифовальных кругов ПП 500×35×203 63 С10СТВ ГОСТ2424-83.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кривко, Г.П. Основы совершенствования способов и технологических процессов механической обработки деталей подшипников. - Мн.: УП «Технопринт», 2001.-220с. 2. Ящерицын, П.И., Кривко, Г.П., Еременко, М.Л. Новое в технологии шлифования сферических поверхностей. - Мн.: Выш. Школа, 1982.-144с. ил.

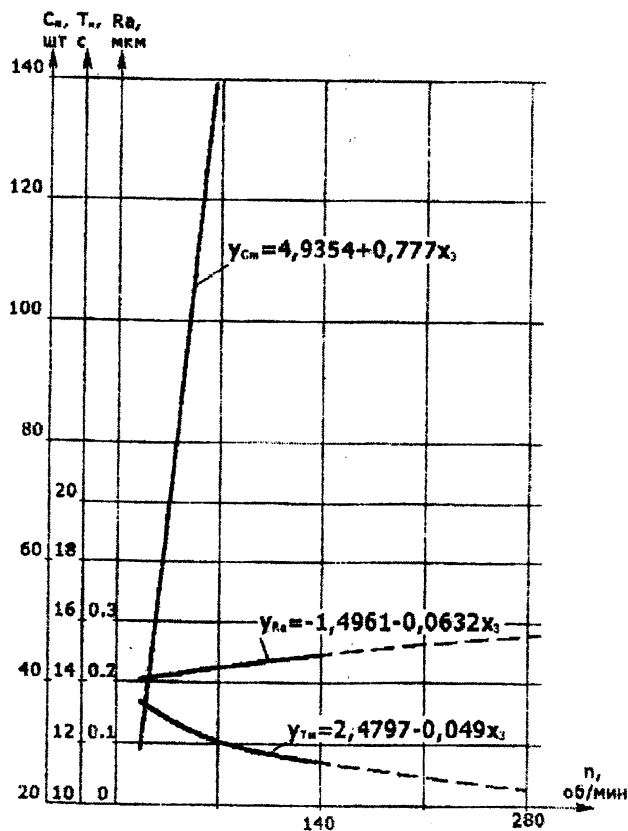


Рисунок 1 - Зависимость стойкости шлифовального круга, машинного времени и шероховатости от скорости ведущего круга

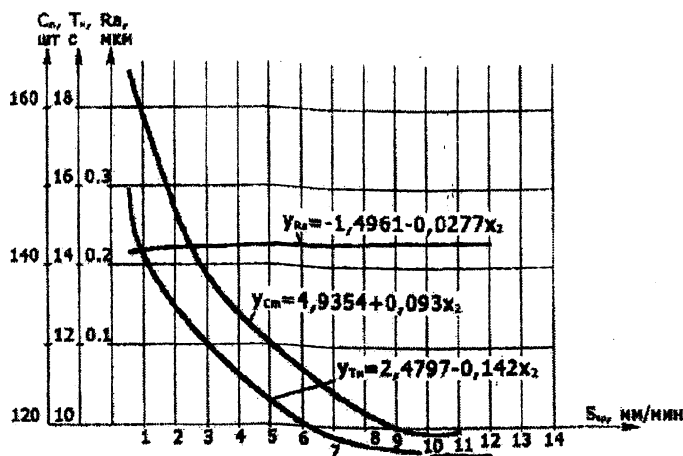


Рисунок 2 - Зависимость стойкости шлифовального круга, машинного времени и шероховатости от величины подачи

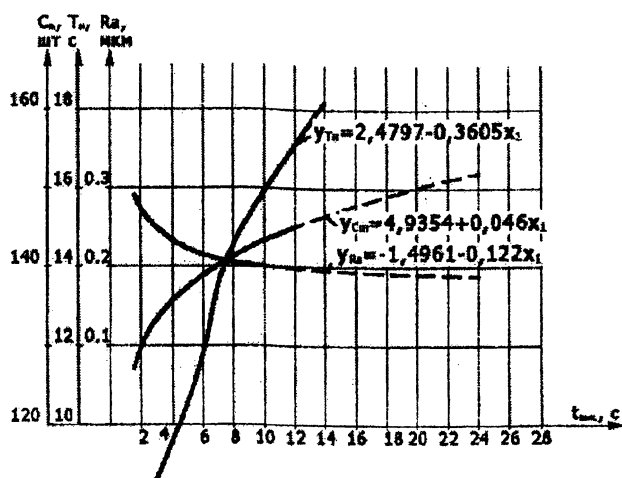


Рисунок 3. - Зависимость стойкости шлифовального круга, машинного времени и шероховатости от времени выхаживания

УДК 621.923

Кривко Г.П., Саковец А.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ НАРУЖНЫХ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ МЕТОДОМ «ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ» ОСЕЙ

Белорусский государственный технический университет
Минск, Беларусь

Из результатов усталостных испытаний двухрядных сферических роликоподшипников с несимметричными и симметричными роликами, проведенными на АП МПЗ видно, что они не обрабатывают расчетный ресурс времени.

Усталостному разрушению в 20% случаев подвержены ролики, в 45% - внутренние кольца, а в 35% - наружные кольца. Было замечено, что на работоспособность внутренних колец влияют величина монтажного натяга при посадке на вал, размер, форма и метод обработки галтелей, положения точек контакта роликовых дорожек относительно борта и сопря-