

ВІСНИК

Технологічного

університету

Поділля

Засновано в липні 1997р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2002, №4 Ч.1 (42)

Засновник і видавець : Технологічний університет Поділля (м. Хмельницький)

Головний редактор академік АН України, д.т.н. Сілін Р.І.
Заступник головного редактора д.т.н. Каплун В.Г.
Відповідальний секретар Гуляєва В.О.

Члени редколегії

Технічні науки

д.т.н. Костоґриз С.Г., д.т.н. Ройзман В.П., д.т.н. Локазюк В.М., д.т.н. Ковтун В.В.,
д.т.н. Шевеля В.В., д.т.н. Кіницький Я.Т., к.т.н. Драпак Г.М., д.т.н. Параска Г.Б.,
к.т.н. Баннова І.М., к.т.н. Троцишин І.В., к.т.н. Косенков В.Д., д.т.н. Мазур М.П.,
д.т.н. Гладкий Я.М., д.т.н. Калда Г.С., д.т.н. Мичко А.А., д.т.н. Стечишин М.С.,
д.т.н. Кузьменко А.Г., д.т.н. Рудницький В.Б., д.т.н. Камбург В.Г., д.т.н. Мясищев О.А.

Відповідальний за випуск к.т.н. Ковальчук С.С.
Технічний редактор Горященко К.Л.
Редактор-коректор Мільман В.І.

Адреса редакції :
Україна, 29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 11, Технологічний університет Поділля,
редакція журналу "Вісник Технологічного університету Поділля"
☎ (03822) 2-51-08
e-mail: patent_1@beta.tup.km.ua

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ №2362 від 27 грудня 1996 року

© Технологічний університет Поділля, 2002
© Редакція журналу "Вісник Технологічного університету Поділля", 2002

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ ПУТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ МАСЛОУДЕРЖИВАЮЩЕГО ПРОФИЛЯ

Разработан технологический процесс формирования маслоудерживающего профиля применительно к повышению износостойкости сопряжений "цилиндр – плоскость". Использование метода планирования эксперимента – рототабельного планирования 2-го порядка – позволило исследовать влияние 4-х основных параметров технологического процесса: диаметра шарика обкатки, усилия обкатки, шага канавок и угла наклона канавок. Получены коэффициенты уравнений регрессии и приведены зависимости величины износа от технологических параметров и характеристик маслоудерживающего профиля. Найдены оптимальные технологические режимы и параметры профиля.

Применение поверхностно-пластического деформирования с целью формирования масла удерживающего профиля для повышения долговечности узлов трения [1] ставит задачу определения таких технологических режимов, при которых получается максимальный эффект. Учитывая, что процесс поверхностно – пластической обработки при формировании маслоудерживающего профиля позволяет варьировать свойствами полученных поверхностей путем изменения легкоуправляемых технологических параметров, имеется возможность их оптимизации по контрольным параметрам.

Основными технологическими параметрами, определяющими характеристики маслоудерживающего профиля и эксплуатационные свойства трибосопряжений, является диаметр шарика накатника $d_{ш}$, усилие накатывания $P_{нак}$, шаг канавок $S_{нак}$, угол накатывания канавок $\alpha_{нак}$.

В качестве контрольных параметров целесообразно использовать эксплуатационные характеристики, в частности износ. Именно износостойкость сопряжения или величина износа определяет долговечность узла трения.

Таким образом, целесообразно ставить задачу непосредственного определения зависимости износа от технологических параметров в виде:

$$U_w = f_1(d_{ш}, P_{нак}, S_{нак}, \alpha_{нак}) \quad (1)$$

Установить зависимость (1) не представляет трудностей, поскольку технологические параметры легко и точно регулируются и контролируются. В связи с тем, что теоретически установить зависимость (1) невозможно, поэтому оптимальным является экспериментальный путь с применением методов математического планирования, анализа и оптимального эксперимента.

При известной зависимости (1) возможно выполнение оптимизации технологического процесса формирования маслоудерживающего профиля по экономическим критериям или по экстремальным значениям эксплуатационных характеристик.

В данном случае для оптимизации технологического процесса ставится задача определения оптимальных значений технологических факторов $d_{ш}$, $P_{нак}$, $S_{нак}$, $\alpha_{нак}$ обеспечивающих минимальный износ, т.е. максимальную износостойкость, а значит и долговечность, и минимальный коэффициент.

Проведенные исследования влияния технологических параметров на эксплуатационные характеристики поверхностей трения, показывают нелинейный характер зависимости (1). В связи с этим при решении задачи оптимизации для описания зависимости (1) и рационального проведения испытаний применялся метод планирования эксперимента – рототабельного планирования второго порядка [2, 3]. Математическое описание исследуемой зависимости выполнялось с помощью регрессионной модели в виде полных квадратичных полиномов.

В развернутом виде для четырехфакторного эксперимента, уравнения регрессии (1) имеет вид:

$$U_w(x_1, x_2, x_3, x_4) = \beta_{0w} + \beta_{1w}x_1 + \beta_{2w}x_2 + \beta_{3w}x_3 + \beta_{4w}x_4 + \beta_{11w}x_1^2 + \beta_{22w}x_2^2 + \beta_{33w}x_3^2 + \beta_{44w}x_4^2 + \beta_{12w}x_1x_2 + \beta_{13w}x_1x_3 + \beta_{14w}x_1x_4 + \beta_{23w}x_2x_3 + \beta_{24w}x_2x_4 + \beta_{34w}x_3x_4 \quad (2)$$

Значения коэффициентов регрессии определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} b_{0i} &= a_i \sum_{u=1}^N y_u - a_2 \sum_{i=1}^k \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u, \\ b_{1i} &= a_3 \sum_{u=1}^N x_{iu} y_u, \quad b_{ij} = a_4 \sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} y_u, \\ b_{ii} &= a_5 \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u + a_6 \sum_{i=1}^k \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u - a_7 \sum_{u=1}^N y_u, \end{aligned} \quad (3)$$

где $a_1 = 0,1428$; $a_2 = 0,0357$; $a_3 = 0,0417$; $a_4 = 0,0625$; $a_5 = 0,0312$; $a_6 = 0,0037$; $a_7 = 0,0357$ [3].

На основе выполненных предварительных исследований принимаются доверительные изменения входных факторов в следующих интервалах: $d_{ш} = 2 \dots 10$ мм; $P_{шак} = 100 \dots 500$ Н; $S_{шак} = 2 \dots 10$ мм; $\alpha_{шак} = 0 \dots 40^\circ$. Матрица планирования эксперимента представлена в табл. 1.

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

№ режима	Значения кодированных переменных и параметров технологического процесса							
	Первый фактор		Второй фактор		Третий фактор		Четвертый фактор	
	X_1	$d_{ш}, \text{мм}$	X_2	$P_{шак}, \text{Н}$	X_3	$S_{шак}, \text{мм}$	X_4	$\alpha_{шак}, \text{град}$
1	1	8	1	400	1	8	1	30
2	-1	4	1	400	1	8	1	30
3	1	8	-1	200	1	8	1	30
4	-1	4	-1	200	1	8	1	30
5	1	8	1	400	-1	4	1	30
6	-1	4	1	400	-1	4	1	30
7	1	8	-1	200	-1	4	1	30
8	-1	4	-1	200	-1	4	1	30
9	1	8	1	400	1	8	-1	10
10	-1	4	1	400	1	8	-1	10
11	1	8	-1	200	1	8	-1	10
12	-1	4	-1	200	1	8	-1	10
13	1	8	1	400	-1	4	-1	10
14	-1	4	1	400	-1	4	-1	10
15	1	8	-1	200	-1	4	-1	10
16	-1	4	-1	200	-1	4	-1	10
17	-2	2	0	300	0	6	0	20
18	2	10	0	300	0	6	0	20
19	0	6	-2	100	0	6	0	20
20	0	6	2	500	0	6	0	20
21	0	6	0	300	-2	2	0	20
22	0	6	0	300	2	10	0	20
23	0	6	0	300	0	6	-2	0
24	0	6	0	300	0	6	2	40
25	0	6	0	300	0	6	0	20
26	0	6	0	300	0	6	0	20
27	0	6	0	300	0	6	0	20
28	0	6	0	300	0	6	0	20
29	0	6	0	300	0	6	0	20
30	0	6	0	300	0	6	0	20
31	0	6	0	300	0	6	0	20

Для формирования маслоудерживающего профиля использовалась рычажная одношариковая обкатка (рис. 1), которая закрепляется на токарный станок (рис. 2), а также может устанавливаться на строгальные и на карусельные станки. Достоинством данного инструмента является то, что большое давление обеспечивается при незначительной жесткости пружины.

Для исследования оптимальных параметров режимов формирования маслоудерживающего профиля использовались цилиндрические ролики из стали 45, чугуна СЧ18 и пластины из стали 45 и чугуна СЧ18. Испытания проводились на универсальной машине трения УМТ – 1 с использованием специального приспособления. Испытания проводились при скоростях относительного скольжения 1,5 и 2,0 м/с, при путях трения 100, 200, 300 км. Испытания в каждом опыте повторялись 5 раз.

Результаты проведенных испытаний после статистической обработки представлены в табл. 2, 3.

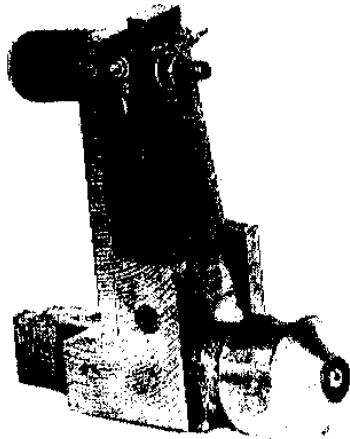


Рис. 1 - Рычажная одно-шариковая обкатка (общий вид)

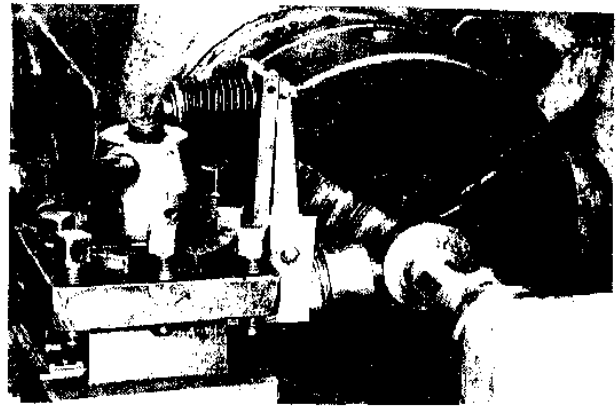


Рис. 2 - Технологическая схема станок-обкатка

Таблица 2

Результаты испытаний на износ сопряжения "вращающийся цилиндр – плоскость" для материалов сталь - сталь

№ опыта	Величина износа, мкм					
	Скорость относительного скольжения, м/с					
	1,5			2,0		
	Путь трения, км			Путь трения, км		
	100	200	300	100	200	300
1	1212	2411	3614	1621	3214	4844
2	1234	2465	3695	1632	3232	4912
3	1196	2394	3585	1617	3219	4796
4	1212	2433	3594	1592	3251	4773
5	1226	2418	3615	1613	3226	4854
6	1238	2437	3646	1634	3254	4832
7	1227	2445	3652	1592	3232	4893
8	1196	2396	3621	1615	3242	4812
9	1085	2162	3255	1454	2972	4354
10	1091	2194	3286	1476	2956	4392
11	1093	2183	3274	1448	2894	4363
12	1102	2218	3312	1462	2915	4417
13	1084	2195	3281	1457	2894	4382
14	1115	2217	3323	1481	2935	4428
15	1086	2175	3268	1442	2893	4346
16	1102	2196	3285	1465	2924	4393
17	1085	2362	3546	1623	3153	4724
18	1094	2194	3292	1464	2911	4383
19	1086	2178	3267	1455	2896	4355
20	1152	2294	3444	1546	3092	4626
21	1141	2293	3456	1537	3117	4578
22	1062	2122	3203	1438	2877	4292
23	1197	2397	3574	1582	3116	4753
24	1223	2452	3682	1633	3314	4926
25	1032	2078	3108	1384	2816	4147
26	1051	2064	3112	1372	2792	4142
27	1046	2063	3113	1394	2812	4155
28	1045	2072	3124	1395	2812	4151
29	1037	2065	3112	1392	2818	4132
30	1035	2077	3095	1416	2816	4135
31	1042	2083	3096	1378	2792	4149

Результаты испытаний на износ сопряжения "вращающийся цилиндр – плоскость" для материалов чугуна - чугун

№ опыта	Величина износа, мкм					
	Скорость относительного скольжения, м/с					
	1,5			2,0		
	Путь трения, км			Путь трения, км		
	100	200	300	100	200	300
1	902	1932	3071	1221	2568	4017
2	927	1977	3148	1234	2584	4075
3	897	1916	3042	1258	2560	3976
4	908	1924	3056	1196	2561	3959
5	915	1938	3076	1215	2576	4026
6	923	1949	3091	1223	2603	4009
7	914	1950	3105	1195	2563	4059
8	893	1917	3066	1265	2592	3992
9	811	1738	2767	1102	2325	3610
10	812	1755	2791	1154	2360	3644
11	818	1741	2784	1074	2318	3619
12	825	1775	2811	1091	2328	3660
13	810	1753	2793	1095	2312	3635
14	837	1779	2825	1110	2344	3669
15	812	1747	2774	1098	2314	3602
16	824	1752	2795	1091	2336	3646
17	809	1892	4165	1211	2523	3918
18	817	1754	2791	1097	2322	3638
19	813	1743	2778	1089	2313	3617
20	863	1833	2923	1165	2472	3835
21	855	1837	2934	1152	2482	3793
22	795	1691	2726	1078	2296	3561
23	897	1915	3030	1193	2480	3943
24	913	1962	3136	1236	2665	4063
25	781	1662	2643	1042	2248	4066
26	781	1654	2644	1041	2232	3436
27	788	1653	2642	1040	2240	3445
28	788	1655	3634	1032	2246	3447
29	781	1664	3632	1034	2241	3428
30	772	1672	2646	1035	2246	3422
31	772	1675	2642	1047	2233	3434

Обработка результатов экспериментов по плану второго порядка и оптимизация технологических параметров процесса формирования маслодерживающего профиля по экспериментальным значениям выходного параметра выполнялась на ЭВМ с использованием программных продуктов Microsoft Excel и Mathcad.

В результате проведенных исследований по определению износа установлены значения коэффициентов регрессии, которые определялись для пути трения 300 км и скорости относительного скольжения 2,0 м/с. Другие опыты использовались в качестве контрольных для идентификации установившегося режима изнашивания, оценки влияния скорости относительного скольжения.

В соответствии с (2) аналитические зависимости с учетом значимости коэффициентов регрессии можно представить в виде:

- для пары "сталь - сталь":

$$U_w(x) = 4138,3 - 33,8X_1 + 31,3X_2 - 27,1X_3 + 164,7X_4 + 14,4X_1X_4 + 96,0X_1^2 + 79,8X_2^2 + 66,0X_3^2 + 164,6X_4^2 \quad (4)$$

- для пары "чугун - чугун":

$$U_w(x) = 3524,0 - 331,0X_1 + 25,4X_2 - 22,6X_3 + 136,3X_4 + 12,3X_1X_2 - 320,0X_1^2 + 120,6X_2^2 + 108,4X_3^2 + 189,8X_4^2 \quad (5)$$

Выполненная проверка полученных моделей по критерию Фишера, показала их адекватность.

На основе полученных уравнений регрессии были построены графики зависимости износа от комбинации технологических параметров (рис. 3 – 6).

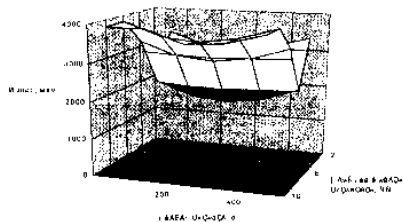


Рис. 3 - Зависимость износа от усилия обкатки и диаметра шарика обкатника (чугун-чугун)

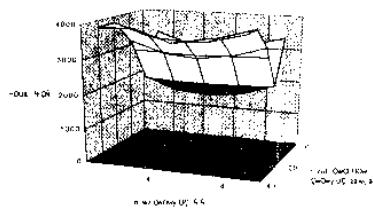


Рис. 4 - Зависимость износа от шага и угла наклона маслоудерживающих канавок (чугун-чугун)

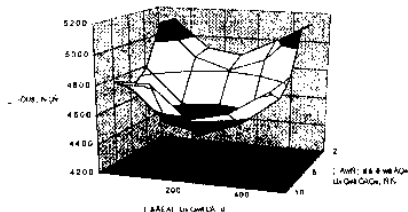


Рис. 5 - Зависимость износа от усилия обкатки и диаметра шарика обкатника (сталь-сталь)

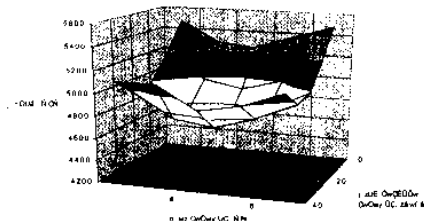


Рис. 6 - Зависимость износа от шага и угла наклона маслоудерживающих канавок (сталь-сталь)

Оптимальные значения параметров технологического процесса приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчета оптимальных режимов формирования маслоудерживающего профиля

Марка материалов	Оптимальные параметры технологического процесса			Износ		
	$d_{шк}$, мм	$P_{шк}$, Н	$S_{шк}$, мм	$\alpha_{шк}$, °	Без профиля	С профилем
Сталь-сталь	6,4	283,1	6,5	14,9	6637	4211
Чугун-чугун	5,0	288,8	6,2	16,6	4788	3492

Из полученных данных следует, что значения технологических параметров формирования маслоудерживающего профиля для выбранных условий эксплуатации находятся внутри предварительно заданных интервалов. Таким образом, можно утверждать о существовании оптимальных интервалов значений технологических параметров процесса формирования маслоудерживающего профиля значительно более узких, чем выбранные интервалы их изменения.

Полученное уменьшение износа в 1,58 раза для пары сталь-сталь и в 1,37 раза для пары чугун-чугун подтверждает рациональность проведенной обработки.

Выводы:

1. Разработан технологический процесс формирования маслоудерживающего профиля применительно к повышению износостойкости сопряжений "цилиндр – плоскость". При этом использовались универсальные токарно-винторезные станки и специально разработанная обкатка.

2. Использование метода планирования эксперимента – рототабельного планирования 2-го порядка – позволило исследовать влияние 4-х основных параметров технологического процесса: диаметра шарика обкатки, усилия обкатки, шага канавок и угла наклона канавок.

3. Получены коэффициенты уравнений регрессии и приведены зависимости величины износа от технологических параметров и характеристик маслоудерживающего профиля в виде квадратичного полинома и графических зависимостей для пар трения сталь – сталь и чугун – чугун. Анализ полученных зависимостей показывает, что технологические параметры существенно влияют на величину износа.

4. Найден оптимальные технологические режимы и параметры профиля, обеспечивающие максимальное уменьшение износа сопряжения "цилиндр – плоскость".

Литература

1. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. - Л.: Машиностроение, Л., 1982. - 248 с., ил.
 2. Балакин В.А., Сергиенко В.П. Испытания на фрикционную теплостойкость // Трение и износ. – 1992.

Т.13. - №1. - С. 48-53.

3. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности).- М.: Легкая индустрия, 1974. - 262с.

Надійшла 16.3.2002 р.

УДК 658:562

В.Е. АЛЕХНОВИЧ, А.А. ПРОШИН
Технологический университет Подолья, г. Хмельницкий**К ВЫБОРУ ПАРАМЕТРОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДНАЛАДКИ СТАНКОВ***Решена задача выбора параметров автоматической подналадки металлорежущих станков моделированием технологических процессов на персональных компьютерах.*

Одним из видов активного контроля размеров в машиностроении являются устройства, которые через цепь обратной связи изменяют настройку станка, когда значение контролируемого параметра выходит за доступные пределы или отклоняются от заданного значения.

Задача управления такими системами состоит в выборе величины подналадочного импульса A , настройке станка и преобразователей на такие размеры, при которых рассеяние размеров в регулируемой партии деталей не превышало бы величины заданного допуска.

Погрешности размеров, возникающие при обработке деталей на металлорежущих станках, можно представить в виде трех составляющих:

- неслучайной функции времени, отражающей влияние на изменение размеров какого-либо преобладающего фактора, например, износа режущего инструмента;
- коррелированной составляющей - сравнительно медленных случайных колебаний настройки станка, вызванных, например, колебанием температуры или колебанием качества режущего инструмента;
- некоррелированной составляющей - собственно случайных погрешностей, вызванных в основном колебанием припусков и физико-механических свойств заготовок.

Задача выбора параметров подналадки моделированием процессов регулирования размеров на персональных компьютерах. Для этого были использованы точечные диаграммы реальных технологических процессов, статистические параметры которых приведены в табл. 1. Протяженность исходных процессов 220-250 деталей в каждой из партий. Разделение погрешностей проведено по методу наименьших квадратов, а расчет параметров выполнен в соответствии с [1].

Таблица 1

Параметры исходных технологических процессов обработки деталей на станках

Номер процесса	Обрабатываемый размер	Вид обработки	Модель станка	a	G_{μ}	G_{σ}	K
1	$\varnothing 21_{-0,21}^{-0,07}$	Наружное точение	КА-106	0,1	5,8	13,8	5
2	$\varnothing 30_{-0,07}^{-0,04}$	Бесцентровое шлифование	СЛ-510	0,05	2,84	3,9	6
3	$\varnothing 19,3_{-0,21}^{-0,07}$	Наружное точение	КА-106	0,58	9,5	13,6	4
4	$\varnothing 28_{0,035}$	Бесцентровое шлифование	СЛ-510	0,044	2,25	2,59	3
5	$\varnothing 8,7_{-0,022}$	Бесцентровое шлифование	SASL MIKROSA	0,1	1,89	2,83	9
6	$\varnothing 1_{-0,06}$	Наружное точение	1Б10В	0,14	1,22	0,98	4
7	$34_{-0,06}$	Шлифование торцов	СА-3	0,4	3,8	2,8	6
8	$8,2 \pm 0,18$	Отрезка	1Б10П	0,15	46,8	18,64	20
9	$\varnothing 1,7_{-0,06}$	Наружное точение	1Б10П	0,12	3,65	2,02	7
10	$41_{-0,07}^{-0,01}$	Шлифование торцов	СА-3	0,6	4,6	2,5	7
11	$\varnothing 140_{-0,018}$	Бесцентровое шлифование	6С133	0,2	2,24	0,8	14
12	$36,5_{-0,07}$	Шлифование торцов	СА-3	0,6	7,4	3,2	5