

ВЫБОР ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДОМ КОМПОНЕНТНОГО АНАЛИЗА

От высоты микронеровностей, их формы, частоты, ориентации, относительного расположения зависят эксплуатационные свойства обработанных поверхностей [1–3]. Для количественной оценки микропрофиля используются характеристики шероховатости, определяемые ГОСТ 25142–82. Кроме того, в исследовательских целях вводятся негостированные параметры. Однако в практике конструирования число параметров шероховатости, как правило, ограничивается. Это связано, с одной стороны, с недостаточной изученностью зависимости эксплуатационных свойств поверхностей от негостированных параметров шероховатости. С другой стороны, как показывают исследования, значения некоторых из них взаимозависимы при определенных способах обработки. В связи с этим актуальна задача выбора минимального количества представительных параметров шероховатости, всесторонне характеризующих микропрофиль поверхности.

В данной работе предлагается решение указанной задачи с использованием одного из методов многомерного статистического анализа – метода главных компонент [4]. В его основу положено ортогональное линейное преобразование матрицы корреляций параметров к совокупности некоррелированных нормированных переменных, называемых главными компонентами, что позволяет перейти к меньшему числу переменных путем отбрасывания компонент, имеющих малые дисперсии.

Использование предлагаемой методики показывается на примере анализа шероховатости поверхности образца из порошковой карбидостали, обработанного точением при различных режимах резания. Параметры шероховатости, измеренные с помощью профилометра TALYSURF-5M ("Taylor-Hobson", Великобритания), приведены в табл. 1. Для обработки результатов использован пакет научных программ для ЕС ЭВМ.

Корреляционный анализ выявил значимую связь между рядом параметров, в первую очередь амплитудных: $Ra-Rq$ ($r = 0,98$), $Rq-R_p$ ($r = 0,96$), $R_{max}-R_t$ ($r = 0,94$), $Ra-R_{3tm}$ ($r = 0,92$), а также шаговых: $Sm-HSC$ ($r = 0,98$). Результаты компонентного анализа представлены в табл. 2. Выявлено, что 98 % суммарной дисперсии параметров распределены между шестью главными компонентами. Анализ факторных нагрузок показывает, что I компонента связана с амплитудными параметрами шероховатости Ra , Rq , Rz , R_{max} , R_p , R_p , R_{3tm} , II – с шаговыми параметрами Sm и HSC . На эти компоненты приходится более 78 % суммарной дисперсии всех измеренных параметров, что подтверждает обоснованность сложившегося в практике использования параметров Ra , Rz , R_{max} , Sm . Главная III компонента связана с волновыми параметрами λ_q и Δq , характеризующими развитость поверхности микропрофиля. Максимальная факторная нагрузка IV компоненты связана с параметром R_{sk} – асимметрией распределения амплитуды микропрофиля относительно

Табл. 1. Параметры шероховатости поверхности образца из карбидостали после точения при различных режимах резания

Ra , мкм	Rq , мкм	$Rmax$, мкм	R_p , мкм	R_t , мкм	Rz , мкм	R_{3tm} , мкм	R_{sk}	Sm , мкм	S , мкм	HSC	Δq	λ_{φ} , мкм
2,09	2,59	12,6	7,04	13,5	11,0	8,75	0,28	137	82	28	0,258	63,0
1,76	2,39	13,7	9,99	16,7	10,1	6,68	0,18	127	115	30	0,183	81,0
1,44	1,84	9,9	4,30	10,1	8,7	6,35	-0,62	96	81	81	0,180	64,1
1,51	1,89	10,4	5,32	10,4	8,7	5,90	0,06	113	83	35	0,198	59,9
2,19	2,61	13,8	6,67	13,8	10,9	8,32	-0,06	121	104	33	0,211	77,7
1,51	1,94	11,4	4,50	11,8	9,5	5,27	-0,34	156	93	24	0,179	68,2
1,12	1,36	7,7	3,03	7,9	6,4	4,81	-0,14	152	78	25	0,168	51,0
2,06	2,60	14,7	7,43	15,3	11,9	8,75	0,28	120	102	32	0,244	66,9
1,22	1,51	8,7	4,12	9,3	7,2	5,41	0,04	84	78	46	0,189	50,0
1,59	2,04	11,6	6,12	14,0	9,2	5,82	-0,31	132	97	29	0,183	70,2
2,00	2,36	12,2	5,60	12,2	10,0	7,50	0	135	123	28	0,205	72,3
1,71	2,08	10,9	5,08	11,7	9,3	6,56	-0,12	183	115	19	0,209	62,4
1,76	2,19	12,6	6,93	14,0	10,6	7,91	0,31	106	80	36	0,228	60,3
1,37	1,77	13,4	5,86	13,3	9,0	5,51	-0,07	109	96	36	0,205	54,0
1,26	1,60	9,4	2,95	9,4	8,0	5,04	-0,92	115	94	33	0,184	54,5

Табл. 2. Главные компоненты дисперсии параметров шероховатости и матрица факторных нагрузок

Параметры шероховатости поверхности	Факторные нагрузки					
	I	II	III	IV	V	VI
R_a	0,95	-0,01	-0,12	-0,22	-0,15	0,03
R_q	0,98	-0,01	-0,03	-0,15	-0,10	-0,05
R_{max}	0,92	-0,01	0,19	0,02	0,30	-0,03
R_p	0,88	-0,12	0,26	0,33	0	-0,07
R_t	0,91	0,02	0,27	0,20	0,20	-0,12
R_z	0,96	-0,12	-0,05	-0,15	0,07	-0,09
R_{3tm}	0,87	-0,32	-0,25	-0,22	-0,13	0,02
R_{sk}	0,65	-0,37	-0,25	0,54	-0,21	0,18
Sm	0,20	0,88	-0,40	0,12	0	-0,07
HSC	-0,29	0,87	0,37	-0,11	-0,03	0,10
Δq	0,69	-0,42	-0,53	-0,10	0,20	0,06
λ_q	0,78	0,33	0,42	-0,09	-0,28	-0,14
S	0,58	0,60	0,28	-0,11	0,07	0,45
	Главные компоненты					
	7,93	2,43	1,56	0,64	0,35	0,31
	61 %	19 %	9 %	5 %	3 %	2 %

но средней линии, характеризующей несущую способность поверхности; V компонента связана с максимальными отклонениями микропрофиля; VI — с шагом местных выступов профиля.

Шесть главных компонент могут использоваться, к примеру, для получения регрессионных зависимостей параметров шероховатости от режимов резания, которые будут иметь лучшие статистические характеристики благодаря ортогональности компонент. На основе полученной группировки могут быть предложены также представительные параметры шероховатости, выбранные из каждой группы по факторным нагрузкам. В данном примере для всесторонней характеристики шероховатости достаточно использовать 6 параметров: R_a , Sm , Δq , R_{sk} , R_{max} , S .

Таким образом, предлагаемая методика позволяет существенно уменьшить число параметров шероховатости, необходимых для всесторонней оценки микропрофиля поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыжов О.В., Суслов А.Г., Федоров В.Д. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. — М., 1979. — 176 с. 2. Ящерицын П.И. Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных дета-

лей. – Мн., 1971. – 210 с. 3. Дунин-Барковский И.В., Карташова А.Н. Измерение и анализ шероховатости, волнистости и некрутости поверхности. – М., 1978. – 231 с. 4. Андрукович П.Ф. Применение метода главных компонент в практике исследований. – М., 1978. – 123 с.

УДК 621.833.1:539.539.531

А.И. МЕДВЕДЕВ, М.М. КАНЕ,
Н.И. САВЧЕНКО

ИЗМЕНЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗУБЬЕВ КОЛЕС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМОВ ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИЯ

Выполненные ранее исследования [1] показали, что между значениями остаточных напряжений σ_1 (остаточные напряжения 1-го рода, или макронапряжения) в поверхностном слое зубьев цилиндрических зубчатых колес после различных операций механической и термической обработки существует достаточно тесная корреляционная зависимость (коэффициент корреляции $r_{xy} = 0,52...0,9$) и, таким образом, имеет место технологическая наследственность при изменении этих напряжений.

Для выяснения возможности целенаправленно влиять на уровень остаточных напряжений при зубофрезеровании цилиндрических зубчатых колес путем изменения режимов резания была исследована зависимость этих напряжений от скорости резания v и подачи S .

Материал деталей – стали 40Х, 25ХГТ и 20ХНЗА; модуль колес $m = 2...4$ мм; число зубьев $z = 38...65$. Рассматривались по три партии зубчатых колес (по 50 деталей) из каждого материала. Зубофрезерование заготовок осуществлялось на станке мод. 5Б312 при следующих режимах резания: $v = 25,2; 31,4; 35; 40,4$ м/мин; $S = 2,5; 5$ и 10 мм/мин для каждого из значений v . Измерения остаточных напряжений выполнялись рентгеновским методом на дифрактометре ДРОН-05 по методике, изложенной в работе [2].

Для получения математической модели рассматриваемого процесса использовано планирование эксперимента.

Выполнена соответствующая математическая обработка результатов эксперимента и получены следующие уравнения регрессии:

для зубчатых колес из стали 40Х

$$y = -726 + 67,4v + 63,9S + 1,11vS - 1,34v^2 - 68,5S^2; \quad (1)$$

из стали 25ХГТ

$$y = -956 + 83,5v + 79,7S + 1,15vS - 1,4v^2 - 82,8S^2; \quad (2)$$

из стали 20ХНЗА

$$y = -928 + 84,9v + 80,9S + 1,2vS - 1,35v^2 - 83,8S^2, \quad (3)$$

где y – остаточные напряжения, МПа.

Используя эти зависимости, можно с достаточной точностью управлять процессом зубофрезерования с целью обеспечения необходимого уровня оста-