

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гарретт Б., Дюссож П. Стратегические альянсы: Пер. с англ. — М.: ИНФРА-М, 2002. — 344 с.
2. Gugler P. Les alliances strategiques transnationales, Editions Universitaires Fribourg Suisse, 1991. — 270 p.
3. Инновационный подход при производстве наукоемкой высокотехнологичной медицинской продукции / А. Г. Гудков и др. // Инновации, 2003. — № 2—3. — С. 57—60.
4. Карпухина Е. А. Международные стратегические альянсы. Опыт исследования. — М.: Изд-во Дело и Сервис, 2004. — 176 с.
5. Товстых Л. Е. Новая инновационная сфера в экономике третьего тысячелетия и новые задачи. // Инновации, 2003. №6. — С. 39—45.
6. Рук А., Windrum P. The self-organisation of strategic alliances. Berlin, Dunker and Humboldt, 2001. — 34 p.
7. Williamson O. The economics of organization: the transaction cost approach // American Journal of Sociology. — № 87. — 1981. — P. 548—577.
8. Deeds D. L. and Hill C.W.L. Strategic alliances and the rate of new product development: an empirical study of entrepreneurial biotechnology firms. // Journal of Business Venturing, 1996. — № 11. — P. 41—55.
9. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер.с англ. — М.: Радиосвязь, — 1993. — 320 с.
10. О'Шонесси Дж. Конкурентный маркетинг: стратегический подход / Пер. с англ. Под ред. Д.О. Ямпольской. — СПб: Питер, 2001. — 846 с.
11. Бушминский И. П. Формирование наследственных свойств микроэлектронных изделий СВЧ // Наука производству, 2000. №7. — С. 32—38.
12. Гудков А. Г. Наследственность в технологическом процессе // Машиностроитель, 2002. — Вып. 7. — С. 45—49.
13. Гудков А. Г. Эволюционное развитие технологии. XX Международный форум «Медико-экологическая безопасность, реабилитация и социальная защита населения», Турция, Кемер, 2002. — С. 119—121.
14. Бушминский И. П., Гуков А. Г. Технология создания и выпуска нового наукоемкого продукта // Инженер, технолог, рабочий, 2001. № 11. — С. 14—18.
15. Гудков А. Г., Ветрова Н. А., Горлачева Е. Н. Учет наследуемых свойств при проведении комплексной технологической оптимизации // Машиностроитель, 2006. — Вып.2. — С. 35—40.
16. Dosi G. Sources, procedures and microeconomic effects of innovation // Journal of Economic Literature. — 1988. — № 26. — P. 1120—1171.

621.795.2

ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПЛОСКОМ ГЛУБИННОМ ШЛИФОВАНИИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА

Д-р техн. наук, проф. В. А. НОСЕНКО, ассист. А. А. ВАСИЛЬЕВ, студ. С. В. НОСЕНКО

Рассмотрены некоторые методические особенности определения шероховатости при плоском глубинном шлифовании в связи с наличием этапа выхода инструмента. Приведены результаты исследования поверхности, обработанной указанным методом, с использованием высокопористого абразивного инструмента при определенных условиях и на разных этапах шлифования.

Some methodical features of roughness evaluation in abrasive flat grinding on the final stage of the process were observed. Results of experiments on the surface processed by the specified method using a coarse abrasive disc under certain conditions at different variants and stages of grinding are presented in this article.

Глубинное шлифование (ГШ) является одним из наиболее производительных и высокоточных методов обработки деталей машин. По сравнению с обычным многопроходным маятниковым шлифованием с глубиной резания 0,005—0,05 мм на ход стола ГШ позволяет за один проход снимать припуск до нескольких десятков миллиметров. Погрешность получения линейных размеров при ГШ на современных станках составляет 1—3 мкм, а режущая способность 1500 мм³/мин·мм. Детальный анализ процесса и последние достижения в области ГШ даны в фундаментальной работе В. К. Старкова [1].

Одна из особенностей ГШ заключается в наличии большой дуги контакта инструмента с заготовкой, которая зависит от глубины шлифования и размера абразивного инструмента. Например, при шлифовании кругом диаметром 500 мм с глубиной 3 мм номинальная длина дуги контакта составляет почти 39 мм, что на порядок больше, по сравнению с маятниковым шлифованием. Поэтому существенное влияние на показатели процесса ГШ оказывают этапы врезания и выхода, длина которых соизмерима с длиной обрабатываемой заготовки. При шлифовании достаточно большого количества деталей обработанная поверхность формируется только на этапе выхода, например глубинное зубошлифование и шлифование замков турбинных лопаток. Кроме обязательных этапов врезания и выхода могут быть еще этапы постоянной длины дуги контакта и набора глубины, условия существования которых определены в [2].

На этапах врезания и выхода по мере шлифования постоянно изменяется длина дуги контакта, объем материала, удаляемого в единицу времени, средняя толщина сечения срезаемого слоя и фактическая глубина резания [3]. Естественно, что эти изменения должны отражаться на качестве обработанной поверхности и, в частности, шероховатости.

Учитывая особенности процесса ГШ, в частности, большую протяженность этапов врезания и выхода, на которых фактическая глубина шлифования изменяется практически от нулевого значения до максимума, соответствующего величине снимаемого припуска, параметр R_a был определен в различных участках поверхности. Образец из титанового сплава ОТ4 (размер обрабатываемой поверхности 100×50 мм) шлифовали кругом типоразмера 1 500×63×203 характеристики 64С 10 М1 12 К на режимах: $v_k = 24$ м/с, глубина шлифования 1,5 и 3,0 мм, скорость попутной подачи стола 50 мм/мин, подача правящего ролика 0,3 мкм/об. Использовали СОЖ — 2 % водный раствор концентрата «Конвекс».

Шероховатость поверхности оценивали параметром R_a в сечении, перпендикулярном направлению царапин (длина базовой линии 3 мм). Измерения R_a выполняли в определенных участках поверхности. Для этого обработанную поверхность условно размечали взаимно перпендикулярными линиями, в пересечении которых определяли R_a .

Этап выхода делили пятью линиями, проведенными перпендикулярно направлению подачи, расстояние между линиями 10 мм. В качестве базы использовали длину этапа выхода при шлифовании на глубине 3 мм. Первую линию проводили в двух миллиметрах от края заготовки со стороны выхода круга. На оставшемся участке (этап постоянной длины дуги контакта) R_a определяли еще в двух сечениях. По длине шлифования на обработанной поверхности условно выделили пять линий, расстояние между которыми равно 10 мм. Первую линию проводили на расстоянии 5 мм от края. Таким образом, по длине заготовки получали 7 сечений, в которых измеряли R_a с выборкой из пяти значений. Результаты измерений для глубины шлифования 1,5 и 3,0 мм приведены в табл. 1. Начало образца выбрано со стороны выхода круга.

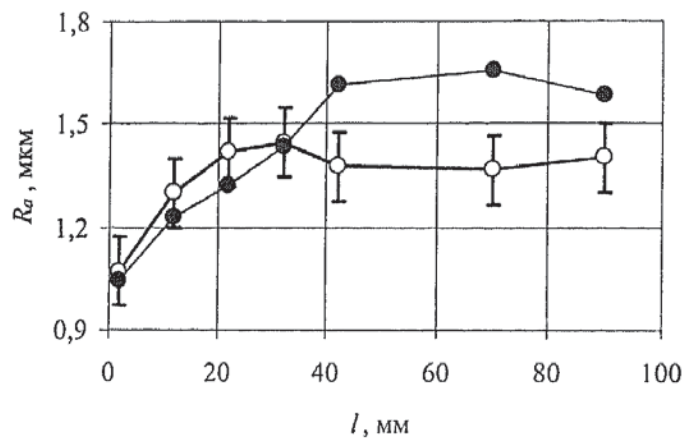
Для каждой глубины шлифования групповые дисперсии S^2 или дисперсии результатов измерений шероховатости в сечениях по длине образца l проверены на однородность по критерию Бартлетта (в табл. 1 приведены стандартные отклонения S). Установлено, что для каждой из рассмотренных глубин расчетное значение критерия меньше табличного. Например, при $l = 3$ мм расчетное значение критерия $F_p = 0,6632$, табличное значение $F_{(0,95;7;4)} = 0,4307$; $F_p < F_{(0,95;7;4)}$. На основании этого принята гипотеза об однородности дисперсий и определена средняя дисперсия по сечениям (в табл. 1 — среднее стандартное отклонение S_c) и доверительный интервал ΔR_a .

Изменение средних значений R_a в сечениях по длине образца показано на рис. 1.

Таблица 1

Среднее арифметическое и стандартное отклонение выборок измерений R_a по длине образца l

$l, \text{ мм}$	$t = 1,5 \text{ мм}$				$t = 3,0 \text{ мм}$			
	$R_a, \text{ мкм}$	$S, \text{ мкм}$	$S_c, \text{ мкм}$	$\pm \Delta R_{ac}, \text{ мкм}$	$R_a, \text{ мкм}$	$S, \text{ мкм}$	$S_c, \text{ мкм}$	$\pm \Delta R_{ac}, \text{ мкм}$
2	1,07	0,088	0,114	0,10	1,04	0,077	0,118	0,10
12	1,30	0,118			1,23	0,127		
22	1,42	0,120			1,32	0,138		
32	1,45	0,115			1,44	0,113		
42	1,38	0,132			1,61	0,103		
70	1,37	0,111			1,66	0,142		
90	1,40	0,111			1,59	0,119		

Рис. 1. Изменение среднего арифметического отклонения профиля R_a в сечениях по длине заготовки l со стороны выхода при различной глубине шлифования $t, \text{ мм}$: \circ — 1,5 мм; \bullet — 3,0 мм

Обработанную поверхность по длине заготовки в соответствии с этапами шлифования, во время которых происходит формирование поверхности, можно разбить на два участка: участок постоянной длины дуги контакта и участок выхода. Длина этапа выхода в соответствии с фактическим значением диаметра круга для глубины шлифования 1,5 мм равна 27,4 мм, для 3 мм — 38,6 мм. Наиболее интенсивное изменение R_a для каждой глубины шлифования происходит на участке выхода. Рост R_a согласуется с увеличением длины дуги контакта и фактической глубины шлифования [2]. Как показано в [3], на этапе выхода наработка за оборот круга, мгновенная режущая способность и фактическая глубина шлифования определяются только длиной дуги контакта и не зависят от заданной глубины шлифования. Если при шлифовании на глубине 1,5 и 3,0 мм режимы шлифования и правки обеспечивают стабильное состояние рельефа рабочей поверхности круга, то и шероховатость обработанной поверхности, формируемая на этапе врезания при равной длине дуги контакта, должна быть одинаковой. С погрешностью, не превышающей 1,0 — 1,5 % в зависимости от глубины шлифования, длину дуги контакта на этапе выхода можно считать равной оставшейся длине шлифования. За начало отсчета длины шлифования на рисунке принят конец заготовки, т.е. фактически отсчитывается расстояние, оставшееся до завершения процесса. Поэтому можно считать, что в пределах этапа выхода координата по оси абсцисс определяет длину дуги контакта.

Анализ графического материала позволяет утверждать, что при различной исходной глубине шлифования шероховатость обработанной поверхности на этапе врезания действительно зависит только от длины дуги контакта. Для доказательства этого положения был выполнен дисперсионный анализ выборок измерений R_a в пределах 27,4 мм по оси ординат, что соответствует максимальной дуге контакта для глубины шлифования 1,5 мм. В этот диапазон для каждой глубины шлифования попадают выборки измерений трех сечений на расстоянии 2, 12 и 22 мм от конца заготовки. Дисперсионный анализ показал, что изменение R_a по длине этапа выхода следует считать значимым для обеих глубин шлифования; различия в средних значениях R_a , полученных при шлифовании на различных глубинах, но в одинаковых по длине шлифования сечениях не установлено. Это означает, что с уменьшением длины дуги контакта и фактической глубины шлифования на этапе выхода шероховатость обработанной поверхности снижается и при одинаковой длине дуги контакта не зависит от глубины шлифования.

На первый взгляд результаты данных исследований не согласуются с ранее полученными, в которых не удалось установить влияние глубины шлифования на R_a [4]. В предыдущих испытаниях шероховатость определяли по результатам 5 — 7 измерений в произвольных участках поверхности. Суть испытаний может заключаться даже не в количестве измерений, а в выбранных участках. Например, объединяя все измерения R_a на данной глубине шлифования в одну выборку, получим следующие средние значения R_a , стандартного отклонения S_j и доверительного интервала ΔR_a (табл. 2).

Таблица 2

l , мм	R_a , мкм	S_j , мкм	ΔR_a , мкм
1,5	1,35	0,162	0,06
3,0	1,40	0,239	0,08

Сравнение дисперсий позволяет считать их различие значимым:

$$F_{\text{экс}} = 2,19; F(0,05;34;34) = 1,78; F_{\text{экс}} > F,$$

где $F_{\text{экс}}$ — значение критерия при сравнении дисперсий, рассчитанного по выборкам измерений; $F_{(0,05;34;34)}$ — табличное значение распределения Фишера для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и числа степеней свободы выборок измерений, имеющих соответственно наибольшую и наименьшую дисперсии.

Сравнение средних свидетельствует о том, что нулевую гипотезу о равенстве средних следует принять:

$$Z_{\text{экс}} = 1,35; \Phi(Z_{\text{кр}}) = 0,475; Z_{\text{кр}} = 1,96; Z_{\text{экс}} < Z_{\text{кр}},$$

где $Z_{\text{экс}}$ — значение критерия при сравнении средних, рассчитанного по выборкам измерений; $Z_{\text{кр}}$ — табличное значение аргумента функции Лапласа, которому соответствует значение функции $\Phi(Z_{\text{кр}}) = (1-\alpha)/2$.

Таким образом, даже при достаточно большом числе измерений можно не получить различия в средних значениях R_a .

Для выяснения влияния глубины шлифования шероховатость можно измерять только на этапе постоянной длины дуги контакта. С этой целью из представленной выборки следует взять R_a , полученные на участке, сформированном при шлифовании с постоянной длиной дуги контакта. Для глубины 1,5 и 3,0 мм это будут значения R_a в последних соответственно трех и двух сечениях. В табл. 3 приведены средние зна-

чения шероховатости R_{an} , стандартное отклонение S_m , доверительный интервал ΔR_{an} и объем каждой выборки n :

Таблица 3

t , мм	R_{an} , мкм	S_p , мкм	ΔR_{an} , мкм	n
1,5	1,41	0,118	0,06	15
3,0	1,62	0,122	0,05	20

Сравнение дисперсий выборок измерений свидетельствует об их однородности: $F_{\text{экс}} = 1,01$; $F_{(0,05;19;14)} = 2,33$; $F_{\text{экс}} < F$.

Сравнение средних доказывает их существенное отличие:

$$Z_{\text{экс}} = 5,29; \Phi(Z_{\text{кр}}) = 0,475; Z_{\text{кр}} = 1,96; Z_{\text{экс}} > Z_{\text{кр}}$$

Таким образом, при измерении шероховатости поверхности только на этапе постоянной длины дуги контакта, даже при меньшем объеме выборки, фактор глубины шлифования оказывается значимым.

Выводы

При шлифовании заготовок, обработанная поверхность которых формируется на этапах постоянной длины дуги контакта и выхода, шероховатость поверхности необходимо измерять на каждом из этапов.

Шероховатость поверхности на этапе выхода зависит от длины дуги контакта (фактической глубины шлифования). С увеличением фактической глубины шлифования шероховатость обработанной поверхности увеличивается.

Наибольшая шероховатость поверхности получена на участке обработанной поверхности, сформированной при шлифовании с постоянной длиной дуги контакта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Старков В. К. Шлифование высокопористыми кругами. — М.: Машиностроение, 2007. — 688 с.
2. Носенко В. А., Жуков В. К., Авилов А. В. Площадь и толщина сечения срезаемого слоя на операции плоского глубинного шлифования // Справочник. Инженерный журнал, 2006. № 1. С. 22—27.
3. Носенко В. А., Жуков В. К. Некоторые аспекты кинематики плоского глубинного шлифования // Проблемы машиностроения и надежности машин, 2007. — № 1. — С. 78—94.
4. Носенко В. А., Авилов А. В. Сила резания при однопроходном глубинном шлифовании // Современные тенденции развития транспортного машиностроения и материалов: сб. статей IX междунар. науч.-техн. конф. — Пенза, 2004. — С. 158—160.