

УДК 621.7/620.3

DOI:10.30987/2223-4608-2021-11-38-41

**А.Г. Суслов, д.т.н.,**

**М.Г. Шальгин, д.т.н.**

(Брянский государственный технический университет, 241035, г. Брянск, б-р 50 лет Октября, 7)

E-mail: migshalygin@yandex.ru

## **Управление наногеометрией деталей методом поверхностного упрочнения**

*Рассмотрена проблема управления наногеометрией (субшероховатостью) поверхности технологическими методами поверхностного упрочнения. Показана возможность изменять субшероховатость технологическими методами. Установлено, что параметры субшероховатости поверхности уменьшаются при использовании диффузионного силицирования.*

**Ключевые слова:** наногеометрия; субшероховатость; технологическая обработка; поверхностное упрочнение; технология машиностроения.

**A.G. Suslov, Dr. Sc.Tech.,**

**M.G. Shalygin, Dr. Sc.Tech.**

(Bryansk State Technical University, 7, b-r 50 years of October, Bryansk, 241035)

## **Control of nanogeometry of parts by the method of surface hardening**

*The problem of controlling the nanogeometry (sub-roughness) of the surface by technological methods of surface hardening is considered. The possibility of changing the sub-roughness by technological methods is shown. It is established that the surface roughness parameters decrease when using diffusion silicification.*

**Keywords:** nanogeometry; sub-roughness; processing; surface hardening; mechanical engineering technology.

В настоящее время к машиностроительной продукции предъявляются все более высокие требования. Ставится задача повышения надежности изделий и узлов машиностроения при снижении или сохранении себестоимости изготовления деталей. Наряду с традиционными способами обеспечения надежности узлов и деталей все большее значение приобретают методы повышения качества поверхностного слоя деталей и узлов на основе комбинированных и комплексных технологических методов. Данные методы позволяют формировать поверхностный слой с требуемыми геометрическими и физико-механическими свойствами и применять такие детали в прецизионных узлах трения.

На основе последних исследований удалось установить, что на эксплуатационные свойства активное влияние оказывает такая наногеометрическая характеристика, как субшероховатость, описание которой дано в работе [1]. О влиянии субшероховатости на одно из эксплуатационных свойств деталей – износостойкость подробно описано в работах [2, 3].

За основу исследований взята работа [4], в которой показано изменение субшероховатости поверхности при применении упрочняющей поверхностный слой технологии, однако не было показано данное изменение для материалов с различной поверхностной структурой. Корреляция субшероховатости и фазового и структурного состава поверхностного слоя

описана в работе [5].

Формированию наногеографии поверхности технологическими методами воздействия посвящен ряд работ. В работе [6] показано формирование нанорельефа на поверхности алюминия, обработанного в плазме разрядов атмосферного давления. Показано, что на поверхности формируются вертикальные структуры с характерными размерами (диаметром у основания 300...500 нм и высотой 50...80 нм), при этом шероховатость поверхности остается на уровне  $Ra = 10...15$  нм (без учета влияния армирующих вертикальных структур). В работе [7] исследуется нанорельеф поверхности после различной электрохимической обработки. Известно об уменьшении наношероховатости поверхности полиметилметакрилата вакуумным ультрафиолетом [8]. Исследования показали, что с помощью обработки вакуумным ультрафиолетом с длиной волны излучения  $\lambda = 123,6$  нм и интенсивностью порядка  $7 \text{ мДж} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  возможно достаточно эффективно изменять толщину пленки и наношероховатость поверхности полиметилметакрилата.


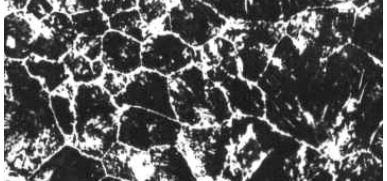
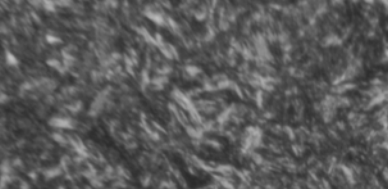
Исследование влияния распределения ско-

рости по траектории движения обрабатываемого инструмента показало возможность формировать наногеографию поверхности за счет устранения вибраций при использовании криволинейной траектории перемещения обрабатываемого инструмента [9]. В работе [10] на основе анализа субшероховатости, полученной различными методами: лезвийной обработкой (строгание широким резцом) и абразивной обработкой, отличающейся направлением следов абразива (шлифование и притирка), делается вывод о том, что различие в направлениях следов обработки отражается при определении как микрошероховатости, так и наношероховатости. Исследуется влияние наношероховатостей на структуру замкнутого вихревого потока [11].

Целью настоящей статьи является установление корреляции наногеографии поверхности – субшероховатости и технологии повышения качества поверхностного слоя.

Исследования проводились на партии образцов (табл. 1), изготовленных из стали 45 термически обработанных и подвергнутых шлифованию до шероховатости  $Ra = 1,0$  мм.

### 1. Параметры исследуемых образцов, изготовленных из стали 45

Образец №	Термическая обработка	Фактическая шероховатость		Фактическая субшероховатость		Структура
		$Ra$ , мкм	$Sm$ , мм	$Ra_c$ , нм	$Sm_c$ , нм	
1	–	0,993	0,073	39,16	56,8	
2	Закалка – 850 °С; отпуск – 550 °С	0,977	0,059	21,65	64,12	
3	Закалка – 840 °С; выдержка – 230 °С в течение 1 ч; охлаждение в воде	0,970	0,067	4,67	31,45	

Параметры фактической шероховатости, полученной в процессе шлифовки и структура поверхностного слоя приведены в табл. 1. Различные режимы термической обработки выбраны с целью получения разных фазовых и структурных составляющих поверхностного

слоя образцов. Структура определялась методом металлографии на микроскопе Leica DM на образцах-свидетелях.

Как видно из табл. 1 в результате шлифования образцы имели фактическую шероховатость в диапазоне  $Ra = 0,97...1,0$  мкм;

$Sm = 0,59...0,73$  мм. Структура поверхностных слоев образцов была различна: образец 1 имел феррито-перлитную структуру; 2 – аустенитную; 3 – мартенситную. Измерение субшероховатости на базовой длине  $l = 0,4$  мкм на АСМ Femtoscan показало (рис. 1), что образец с феррито-перлитной структурой имеет параметры субшероховатости  $Ra_c = 39,16$  нм,  $Sm_c = 56,8$  нм; с аустенитной структурой –  $Ra_c = 21,65$  нм,  $Sm_c = 64,12$  нм; с мартенситной структурой –  $Ra_c = 4,67$  нм,  $Sm_c = 31,45$  нм.

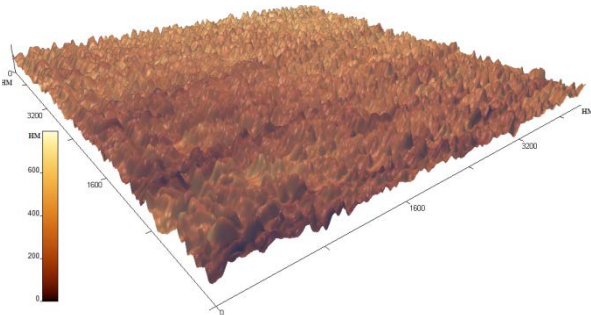


Рис. 1. Поверхность поверхности образца 1 до применения диффузионного силицирования

Описание и методика расчета параметров субшероховатости приведена в работе [3].

В качестве технологического метода повышения качества поверхностного слоя использовалось диффузионное силицирование. Оно используется для повышения коррозионной стойкости деталей машин и не предназначено для повышения износостойкости. Однако технологические операции диффузионного силицирования подходят для управления субшероховатостью поверхности. Силицирование осуществлялось в камере, в которой поддерживалась температура 230 °С. В камеру помещался образец полностью покрытый порошкообразным карбидом кремния. Нахождение образца в камере составляло 30 мин, после чего камера открывалась и образец остывал на воздухе.

Очевидно, что температурный режим диффузионного силицирования не приведет к изменению фазового и структурного состава поверхностного слоя в связи с использованием при силицировании температур ниже значений критических точек стали 45. По этой причине структурные исследования в дальнейшем не проводились. Измерения параметров фактической шероховатости образцов (рис. 2, табл. 2) позволило установить незначительные различия до и после технологического упрочнения поверхностного слоя в пределах 17 %.

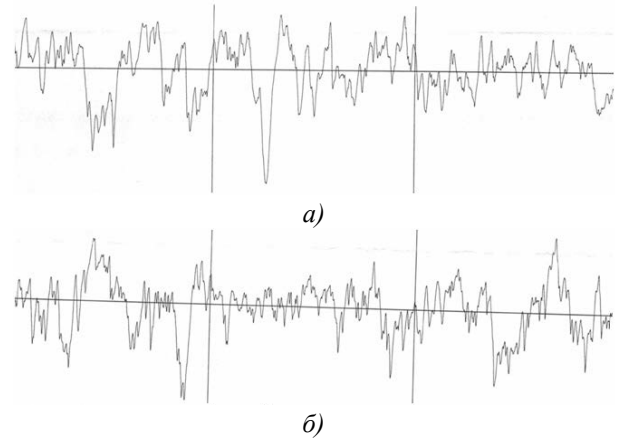


Рис. 2. Шероховатость поверхности образца 1, измеренная на 3-х базовых длинах  $l = 0,8$  мм: а – исходная шероховатость; б – шероховатость после поверхностного упрочнения

## 2. Изменения параметров геометрии образцов

Образец №	Фактическая шероховатость		Фактическая субшероховатость	
	$Ra$ , мкм	$Sm$ , мм	$Ra_c$ , нм	$Sm_c$ , нм
1	0,821	0,044	30,23	29,94
2	0,887	0,040	20,12	34,17
3	0,911	0,047	4,47	12,54

Изменения параметров субшероховатости образцов приведены на рис. 3.

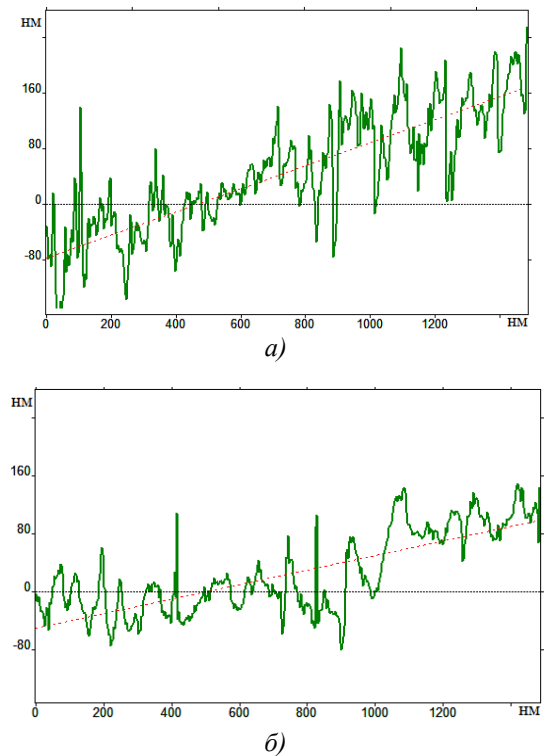


Рис. 3. Субшероховатость поверхности образца 1 на базовой длине  $l = 0,004$  мм: а – исходная субшероховатость; б – субшероховатость после поверхностного упрочнения

В результате исследования установлено, что на изменение субшероховатости изменение шероховатости влияния не оказывает. На значения параметров субшероховатости влияют в большей степени фазовый и структурный состав поверхностного слоя [2] до 57%, метод поверхностного упрочнения и режимы и наногометрия обрабатываемого инструмента механической обработки. Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1) наногометрией поверхности можно управлять технологическими методами;

2) наногометрия поверхности изменяется различно при различных технологических методах;

3) на параметры наногометрии направление следов механической обработки оказывает косвенное влияние, в силу наногометрии обрабатываемого инструмента.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Григорьев, А.Я. Зависимость формы неровностей технических поверхностей от масштаба // Трение и износ. – 2015. – Т. 36. – №5. – С. 477-482.
2. Суслов, А.Г., Порошин, В.В., Шалыгин, М.Г., Кузнецов, С.В. Взаимосвязь нанонеровностей (субшероховатости поверхности деталей и зернистости материала) // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2015. – №11 (53). – С. 3-7.
3. Суслов, А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
4. Шалыгин, М.Г. Изнашивание субшероховатости поверхностей трения в водородсодержащей среде: монография. – М.: Инновационное машиностроение, 2018. – 92 с.
5. Шалыгин, М.Г. Параметры субшероховатости поверхности при различных технологиях обработки и их влияние на износ // Трение и износ. – 2019. – Т. 40. – №3. – С. 272-277.
6. Формирование нанорельефа и активация металлической поверхности плазмой высоковольтных атмосферных разрядов для создания соединений металл-пластик повышенной прочности / П.А. Цыганков, Д.В. Духопельников и др. // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия приборостроение. – 2010. – №5. – С. 161-168.
7. Нгуен, Т.Х. Нанорельефы поверхностей образцов из нержавеющей стали X18N10T после электрохимической обработки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – №1. – С. 146-151.
8. Сглаживание наношероховатостей поверхности полиметилметакрилата вакуумным ультрафиолетом / Р.В. Лапшин, А.П. Алехин и др. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2010. – №1. – С. 5-16.
9. Горенко, М.В. Проблема устранения вибраций при формировании микро и наношероховатости трибоскопических поверхностей для повышения прецизионности обработки // Проблемы трибологии. – 2011. – №3 (61). – С. 65-69.
10. Копылов, В.В. Исследование микро- и наношероховатости поверхности после механической обработки // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2009. – №2. – С. 24-32.
11. Наумов, И.В. Экспериментальное исследование влияния нано- и микрошероховатостей на интенсивность закрученного потока / И.В. Наумов, Н.В. Окулова и др. // Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. – 2021. – Т. 497. – №1. – С. 65-68.

### REFERENCES

1. Grigoriev, A.Ya. Scale dependence of shape of the irregularities of technical surfaces // Friction and wear, 2015, Vol. 36, no.5, pp. 477-482.
2. Syslov A.G., Poroshin V.V., Shalygin M.G., Kuznetsov S V. Interconnection of nanoroughness (subroughness of parts surfaces and material granularity) // Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering, 2015, № 11(53), pp. 3-7.
3. Suslov, A.G. The quality of the surface layer of machine parts, M.: Mashinostroeniye, 2000, 320 p.
4. Shalygin, M.G. Wear of the subroughness of friction surfaces in a hydrogen-containing medium, monograph, M.: Innovatsionnoe mashinostroenie, 2018, 92 p.
5. Shalygin, M.G. Parameters of surface roughness in various processing technologies and their effect on wear // Friction and wear, 2019, vol. 40, no. 3, pp. 272-277.
6. Tsygankov P.A., Dukhopelnikov D.V. et al. Formation of a nanorelief and activation of a metal surface by plasma of high-voltage atmospheric discharges to create metal-plastic compounds of increased strength // Vestnic of the Bauman Moscow State Technical University, Instrumentation series, 2010, no. 5, pp. 161-168.
7. Nguyen, T.H. Nanorelief surfaces of stainless steel samples X18N10T after electrochemical treatment // Izvestiya of Tula State University, Technical sciences, 2014, no. 1, pp. 146-151.
8. Lapshin R.V., Alekhin A.P., et al. Smoothing of nanosheavings of the surface of polymethylmethacrylate by vacuum ultraviolet // Surface. X-ray, synchrotron and neutron studies, 2010, no. 1, pp. 5-16.
9. Gorlenko, M.V. The problem of eliminating vibrations during the formation of micro and nanosheaviness of triboscoptic surfaces to increase the precision of processing // Problems of tribology, 2011, no.3 (61), pp. 65-69.
10. Smoothing of nanosheavings of the surface of polymethylmethacrylate by vacuum ultraviolet / R. V. Lapshin, A. P. Alekhin et al., Surface. X-ray, synchrotron and neutron studies, 2010, no. 1, pp. 5-16.
11. Naumov, I.V. Experimental study of the effect of nano- and micro-roughness on the intensity of swirling flow , I.V. Naumov, N.V. Okulova et al. // Reports of the Russian Academy of Sciences. Physics, technical sciences, 2021, vol. 497, no. 1, pp. 65-68.

Рецензент д.т.н.  
Роман Владимирович Гуров