

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ ТОЧЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКЕ\*

*Ж.Г. КОВАЛЕВСКАЯ, канд. техн. наук, доцент, ТПУ,  
ведущий инженер (ИФПМ СО РАН),  
П.В. УВАРКИН, ведущий инженер (ИФПМ СО РАН),  
А.И. ТОЛМАЧЕВ, гл. специалист (ИФПМ СО РАН),  
(г. Томск)*

Статья поступила 6 декабря 2011 года

**Ковалевская Ж.Г.** – 634021, г. Томск, пр. Академический, 2/4,  
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

С помощью профилографического анализа показано, что дефекты в виде наростов, формирующиеся на поверхности малоуглеродистой стали при точении со скоростью менее 21 м/мин, выглаживаются поверхностной ультразвуковой финишной обработкой при шаге подачи ультразвукового инструмента 0,05 мм/об.

**Ключевые слова:** точение, ультразвуковая финишная обработка, профилографический анализ.

## Введение

Как известно, для получения готовой детали используют различные способы финишной обработки с целью получения заданной чертежом геометрической точности и необходимой шероховатости. При этом зачастую не учитываются показатели качества поверхности, наследуемые от предыдущих операций резания. Микрогеометрия, глубина, степень и неоднородность деформационного упрочнения поверхностного слоя при точении зависят от свойств обрабатываемого материала и термомеханического режима обработки. Подача, скорость и глубина резания оказывают наиболее существенное влияние на состояние получаемой поверхности, так как эти параметры режима резания и задают условия термомеханического воздействия режущего инструмента на металл [1].

Для устранения технологической наследственности после точения обычно используют

шлифование или отделочно-упрочняющую обработку поверхностным пластическим деформированием – ОУО ППД [2]. Среди методов ОУО ППД особое место занимает метод ультразвуковой финишной обработки – УФО. Этот метод позволяет достичь эффективной обработки поверхности детали при значительном снижении силового воздействия на обрабатываемую деталь за счет изменения характера контактного взаимодействия инструмента и поверхности детали. При использовании ультразвукового воздействия для обработки поверхности обеспечивается существенное уменьшение трения и увеличение пластичности в очаге деформации, что обуславливает сглаживание шероховатости поверхности точения, способствует глубокой пластической и упругопластической проработке поверхностного слоя, созданию благоприятных сжимающих напряжений [3,4].

В настоящей работе исследовался микрорельеф поверхности стали 20 после точения,

\* Работа выполнена в рамках проекта Ш.20.2.1, программы Ш.20.2, фундаментальных исследований СО РАН, 2010–2012 гг.

оценивалось влияние параметров точения на формирование неоднородности морфологии поверхности и условия устранения дефектов на поверхности точения ультразвуковой финишной обработкой.

### Методы и материал исследования

В работе использовались данные о морфологии поверхности стали, полученные с помощью профилометра Micro Measure 3D Station: трехмерное изображение поверхности, изображение профиля поверхности, расчетные данные параметров шероховатости.

Образцы из стали 20 диаметром 21 и 50 мм обтачивались на токарном станке модели ИЖ 250 без охлаждения при числе оборотов шпинделя 315 и 1000 об/мин. Для точения использовался прямой проходной резец из сплава ВК8. Параметры резания назначались с учетом отсутствия охлаждения для полустойковой и чистой обработки по справочным данным [5]. Заданный диаметр заготовок и число оборотов шпинделя обеспечили линейную скорость резания  $V - 21$ , 66 и 155 м/мин. Глубина резания задавалась равной 0,5 мм. Подача  $S - 0,1$  мм/об; 0,15 мм/об; 0,2 мм/об; 0,25 мм/об.

УФО образцов проводили на токарном станке ультразвуковым комплектом, состоящим из генератора УЗГ 02/22 и магнитоотрикссионного преобразователя ПМС-063. Обработка осуществлялась сферическим индентором с радиусом закругления 5 мм на следующих режимах: мощность генератора 200 Вт, амплитуда колебания индентора 10 мкм, усилие прижима индентора 75 Н. Окружная скорость вращения детали задавалась равной 125 об/мин. Подача ультразвукового инструмента – 0,05, 0,1 и 0,2 мм/об.

### Результаты исследования и их обсуждение

По результатам профилографического анализа определено, что значительно всего на микрогеометрию поверхности стали 20 влияет скорость резания и подача. Зависимости  $Ra$  от параметров резания приведены на рис. 1.

С увеличением скорости резания до 155 м/мин параметры шероховатости поверхности значительно снижаются, достигая значений чисто-

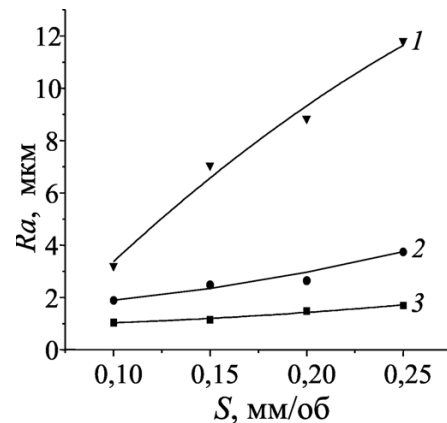


Рис. 1. Зависимость шероховатости поверхности стали 20, полученной точением, от подачи  $S$  при скорости резания  $V$ : 1 – 21 м/мин; 2 – 66 м/мин; 3 – 155 м/мин

вого точения. Повышение шероховатости при скорости резания 21 м/мин обусловлено тем, что такой пластичный материал, как малоуглеродистая сталь 20, на малых скоростях резания адгезионно-диффузионно взаимодействует с режущим инструментом. В результате образуются вырывы и задиры, значительно повышающие шероховатость поверхности (рис. 2, а). Кроме того, низкая скорость резания приводит к схватыванию между обрабатываемой поверхностью и режущим инструментом с образованием наростов. Наросты характерны для поверхности точения, полученной при скорости резания 21 м/мин. Они формируют выступы шероховатости, превышающие среднюю высоту выступов, и тем самым увеличивают значения  $Rz$  и  $Ra$ .

Увеличение скорости резания приводит к снижению коэффициента трения в контакте «обрабатываемая поверхность – режущий инструмент», улучшению качества поверхности и снижению шероховатости. На поверхности, полученной при резании со скоростью 66 м/мин и выше, наростов не наблюдается. Формируются лишь отдельные вырывы в виде бороздок, характерные для поверхности резания пластичных материалов (рис. 2, б). Увеличение подачи также снижает наростообразование.

Подача влияет на шероховатость поверхности, прежде всего, как геометрический фактор. С увеличением подачи от 0,1 до 0,6 мм/об шероховатость поверхности увеличивается (рис. 1) без значительного изменения морфологии микрорельефа поверхности. При увеличении скорости резания влияние подачи на шерохова-

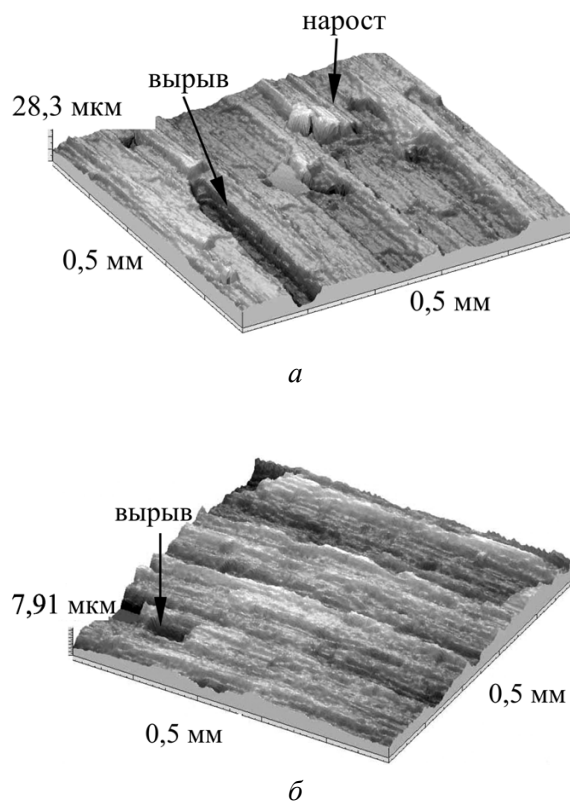


Рис. 2. Трехмерное изображение поверхности стали 20 с характерными дефектами точения при  $S = 0,15$  мм/об и  $V$ : а – 21 м/мин; б – 155 м/мин

тость уменьшается. Так, при скорости резания 155 м/мин в интервале подачи  $0,1 \dots 0,25$  мм/об шероховатость  $Ra$  изменяется незначительно в пределах от 1 до 1,7 мкм (рис. 1, кривая 3).

На основе приведенных данных профилографического анализа подтверждено, что при точении можно сформировать поверхность, имеющую одинаковые параметры шероховатости, но разный микрорельеф.

Рассмотрим влияние выше описанных особенностей микрорельефа поверхности точения на формирование микрорельефа поверхности УФО. Микрорельеф поверхности после УФО образуется как след, сформированный после наложения друг на друга канавок, оставляемых на поверхности детали деформирующим инструментом с учетом искажений, вызываемых пластическим течением металла от каждого отдельного удара инструмента, а также формы и состояния поверхности самого инструмента [6].

При ультразвуковой обработке деталей, полученных чистовым точением на высоких скоростях резания, глубина канавки деформации

УФО обычно больше глубины впадин микропрофиля, остающегося после точения, и поэтому при перемещении индентора происходит полное заглаживание исходного микрорельефа [6]. Такая обработка, по классификации А.Г. Сулова, в зависимости от функционального назначения поверхности детали является упрочняющей обработкой [2].

Однако наличие на обрабатываемой поверхности большой шероховатости и дефектов точения, значительно превышающих средний уровень выступов шероховатости, приводит к изменению условий формирования микрорельефа новой поверхности. На поверхности может частично сохраняться либо исходный микрорельеф, либо дефекты точения, т. е. поверхность, формируемая после УФО, наследует характеристики исходной поверхности. Такая обработка, по классификации А.Г. Сулова, относится к отделочно-упрочняющей [2].

При наличии на поверхности дефектов точения, значительно превышающих средний уровень выступов микропрофиля – задиров и наростов, дальнейшая УФО не полностью их заглаживает, что увеличивает значение шероховатости обработанной поверхности. Формирующиеся при точении вырывы имеют меньшее, чем наросты, отклонение от среднего значения шероховатости и заглаживаются ультразвуковым инструментом. На рис. 3 показано влияние исходной шероховатости поверхности стали 20,

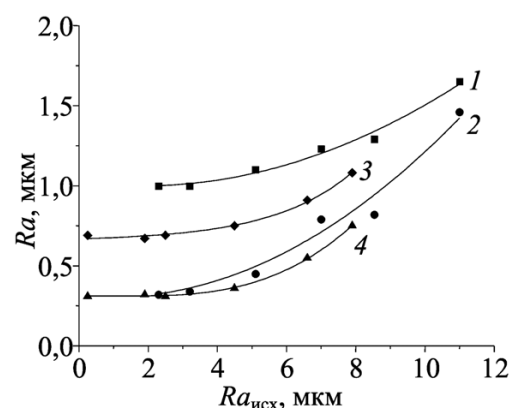


Рис. 3. Влияние исходной шероховатости поверхности стали 20, полученной точением при скорости резания 21 м/мин (кривые 1 и 2) и 66 м/мин (кривые 3 и 4), на шероховатость поверхности, полученной УФО со скоростью подачи ультразвукового инструмента 0,2 мм/об (кривые 1 и 3) и 0,05 мм/об (кривые 2 и 4)

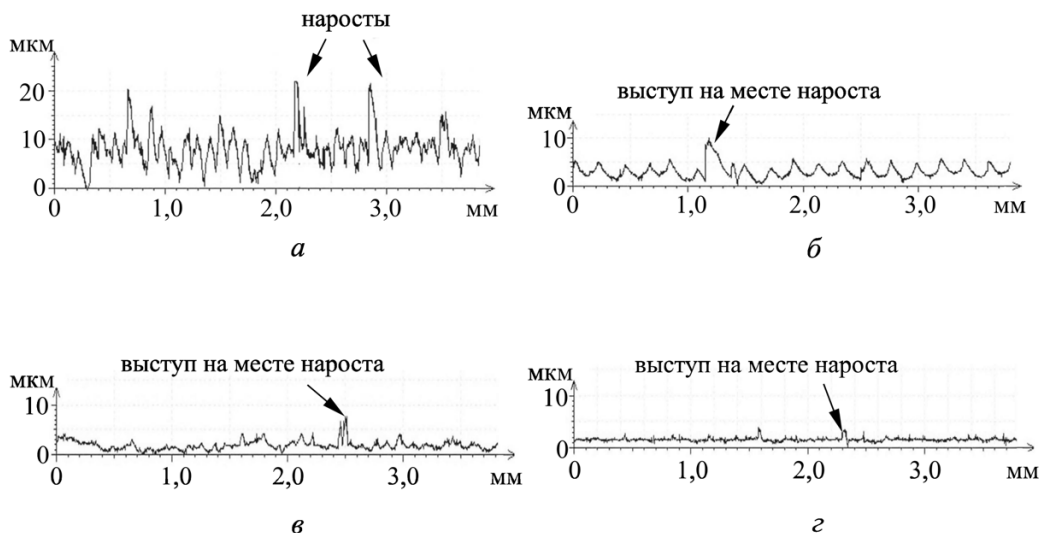


Рис. 4. Профилограммы поверхности стали 20 после точения со скоростью 21 м/мин (а) и УФО с подачей: 0,2 мм/об (б); 0,1 мм/об (в); 0,05 мм/об (г)

полученной при разной скорости точения, на шероховатость поверхности после УФО. Как видно, при скорости точения 66 м/мин последующая УФО с подачей 0,2 мм/об обеспечивает формирование новой поверхности с шероховатостью  $Ra$  от 0,69 мкм (кривая 3). Снижение скорости резания до 21 м/мин при той же исходной шероховатости приводит к повышению шероховатости после УФО до 1 мкм (кривая 1). Причина повышения значения шероховатости описывается рис. 4.

На первой профилограмме представлена поверхность после точения. Хорошо видны участки микропрофиля, значительно выступающие над средним уровнем неровностей – это наросты, образующиеся на поверхности точения. В процессе УФО материал нароста при пластическом течении металла распределяется по поверхности, но не выглаживается полностью. Это связано с тем, что усилие, приложенное к инструменту, создает волну пластической деформации ниже высоты наростов, что недостаточно для полного и равномерного выглаживания поверхности. Чем меньше шаг подачи УФО, тем в меньшей степени новая поверхность наследует дефекты старой (рис. 4, б–г). С уменьшением шага подачи до 0,05 мм/об количество проходов инструмента по участку с наростом увеличивается, что дает возможность в большей степени выровнять поверхность (рис. 5).

Как видно из кривых (рис. 3), при УФО стали 20 с исходной шероховатостью  $Ra$  менее 4,7 мкм и при скорости подачи ультразвукового инструмента 0,05 мм/об (кривые 2 и 4) формируется поверхность, имеющая одинаковую шероховатость как при предварительном точении с образованием наростов (при скорости резания 21 м/мин), так и при точении без образования наростов (при скорости резания 66 м/мин). Следовательно, устранение таких дефектов точения, как наросты и задиры, возможно при УФО за счет уменьшения шага подачи ультразвукового инструмента. В этом случае на получаемой после УФО поверхности сглаживаются следы технологической наследственности.

При формировании поверхности резания с шероховатостью более 4,7 мкм УФО на выбран-

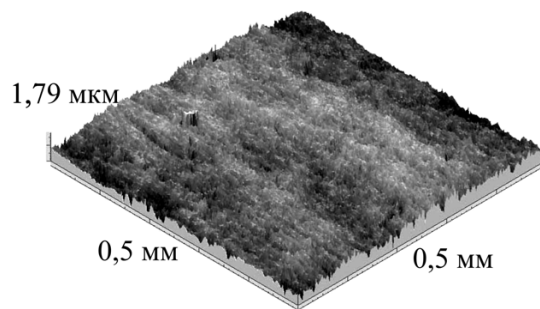


Рис. 5. Трехмерное изображение поверхности стали 20 после УФО с шагом подачи 0,05 мм/об



ных в работе режимах не обеспечивает полного выглаживания исходного профиля поверхности, выступов и впадин точения, что приводит к повышению значений формирующейся шероховатости (рис. 3).

### Выводы

Дефекты в виде наростов, формирующиеся на поверхности стали 20 при точении, могут быть устранены УФО при шероховатости поверхности точения  $Ra$  менее 4,7 мкм и при шаге подачи ультразвукового инструмента 0,05 мм/об. В этом случае УФО может быть отнесена к упрочняющей обработке, обеспечивающей устранение технологической наследственности от операции точения.

### Список литературы

1. Сулима А.М., Шулов В.А., Ягодкин Ю.Д. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.

2. Сулов А.Г., Гуров Р.В., Тишевский Е.С. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием // Упрочняющие технологии и покрытия – 2008. – № 9. – С. 20–22.

3. Марков А.И. Ультразвуковая обработка материалов. – М.: Машиностроение, 1980. – 237 с.

4. Клименов В.А., Ковалевская Ж.Г., Каминский П.П. и др. Ультразвуковая поверхностная обработка – перспективный способ повышения ресурса работы деталей железнодорожного транспорта // Вестник СХУ им. В. Даля. – 2010. – Т. 152, № 10. – С. 117–121.

5. Фомин С.Ф. Справочник мастера токарного участка. – М.: Машиностроение, 1964. – 300 с.

6. Уваркин П.В., Ковалевская Ж.Г., Толмачев А.И. Формирование морфологии поверхности при ультразвуковой обработке конструкционной углеродистой стали // Современные проблемы машиностроения. Труды IV Международ. науч.-техн. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – С. 189–193.

### Investigation of the influence of turning defects on the formation of the surface micro relief of steel at ultrasonic finishing treatment

Zh.G. Kovalevskaya, P.V. Uvarkin, A.I. Tolmachov

Profilometric method shows that defects in the form of protuberances, formed on the surface of low-carbon steel at turning at the speed of less than 21 m/min are smoothing by surface ultrasonic finishing treatment at the speed ultrasonic instrument of 0.05 mm/speed.

**Key words:** turning, ultrasonic finishing treatment, profilometric method.