



# ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ НА ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ УПРОЧНЯЮЩЕ-ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

*А.И. БЕЗНЕДЕЛЬНЫЙ, канд. техн. наук, доцент  
В.Б. АСАНОВ, канд. техн. наук, доцент  
В.П. ГИЛЕТА, канд. техн. наук, доцент  
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Статья поступила 29 октября 2012 года

Безнедельный А.И. – 630092, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,  
Новосибирский государственный технический университет, e-mail: tms-ngtu@mail.ru

Рассмотрены вопросы влияния предшествующих обработок на формирование качества поверхностного слоя деталей из закаленных сталей при их поверхностно-пластическом деформировании с наложением на инструмент ультразвуковых колебаний.

**Ключевые слова:** качество поверхностного слоя, шлифование, ультразвуковая обработка, шероховатость поверхности, микротвердость, остаточные напряжения.

Рядом авторов установлено [1,2], что на формирование качества поверхности при механических обработках влияет качество поверхности, полученное на предшествующих операциях. Особенно это касается финишных операций, формирующих конечное качество поверхности. Одной из разновидностей финишных обработок является поверхностное пластическое деформирование (ППД), где особое место занимает ППД с наложением на инструмент ультразвуковых колебаний (УЗО) [3,4]. Влияние предшествующих обработок на формирование качества поверхностного слоя при ППД, в том числе УЗО, в настоящее время недостаточно изучено, что сказывается на выборе режимов и оптимизации процесса УЗО. Особенно это касается обработок закаленных сталей.

Цель настоящей работы – установление влияния предшествующей обработки (технологической наследственности) шлифования на формирование качества поверхностного слоя при УЗО.

Для исследования была выбрана легированная сталь, широко используемая в подшипниковой и других отраслях промышленности. При

шлифовании ШХ15 состояние поверхностного слоя существенно определяется его режимами. В частности, возможно получение физико-механического состояния поверхностного слоя от слоя со структурой вторичной закалки до слоя с наклепом. При вторичной закалке преобладают тепловые факторы процесса шлифования, а при наклепе – силовые.

В связи с этим были выбраны три режима шлифования в целях последующего исследования их влияния на обработку УЗО. Для первого режима характерно преобладание теплового фактора, обеспечивающего получение образцов со структурой вторичной закалки и низкого отпуска. Для второго режима характерно преобладание силового фактора и получение образцов с наклепом. Третий режим является промежуточным между первым и вторым и обеспечивает понижение твердости в поверхностном слое. Для образцов, обработанных шлифованием в соответствии с тремя режимами, условно разделенных на предварительный, чистовой и тонкий, были исследованы микротвердость, остаточные напряжения первого рода и их распределения по глубине, а также шероховатость

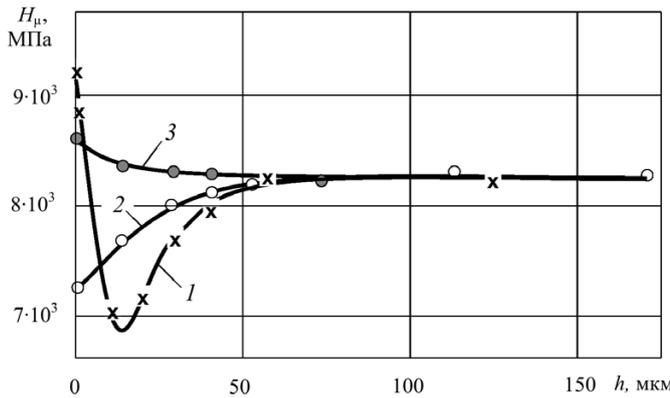


Рис. 1. Распределение микротвердости  $H_{\mu}$  по глубине  $h$ : 1 – шлифование предварительное; 2 – шлифование чистовое; 3 – шлифование тонкое

поверхности. Числовые значения шероховатости поверхности (ШП) приведены в табл. 1. Зависимость изменения микротвердости представлена на рис. 1, остаточных напряжений первого рода – на рис. 2.

Из графиков распределения микротвердости по глубине (см. рис. 1) видно, что значения микротвердости и их характер распределения разные для различных режимов шлифования. При чистовом шлифовании минимальная микротвердость наблюдается на поверхности, а при тонком шлифовании – максимальная, и она по абсолютной величине несколько меньше, чем при предварительном шлифовании. Такие характеры изменения  $H_{\mu}$  хорошо согласуются с данными [1]

Таблица 1

Характеристики поверхностного слоя после шлифования

Вид обработки	Шероховатость $R_a$ , мкм	Радиус выступов $r_{в}$ , мкм	Радиус впадин $r_{вп}$ , мкм	Микротвердость $H_{\mu}$ , МПа	Остаточные напряжения $\sigma_{остр}$ , МПа	Остаточный аустенит $A$ , %
Шлифование черновое	0,50	20	17	8900	+760	31
Шлифование чистовое	0,22	23	10	7600	+398	17
Шлифование тонкое	0,08	35	8	8600	-264	14

и объясняются следующим образом. При предварительном шлифовании имеется зона вторичной закалки, ниже которой расположена зона отпуска (см. впадину кривой 1, рис. 1). При чистовом шлифовании температуры недостаточны для вторичной закалки, и поверхностный слой формируется с пониженной твердостью (рис. 1, кривая 2). Тонкое шлифование с преобладанием силового фактора дает незначительное повышение микротвердости (рис. 1, кривая 3).

Из графиков распределения остаточных напряжений первого рода после шлифования, представленных на рис. 2, видно, что числовые значения и характер распределения напряжений для различных режимов шлифования не одинаков и зависит от режимов шлифования. При предварительном и чистовом шлифовании возникают остаточные напряжения с максимумом на поверхности. При тонком шлифовании на поверхности формируются незначительные напряжения сжатия (рис. 2, кривая 3).

Шлифованные образцы в дальнейшем подвергались УЗО на фиксированном режиме: статическая нагрузка  $F_{ст} = 300$  Н; скорость  $V = 50$  м/мин; подача  $S = 0,07$  мм/об; частота ультразвуковых колебаний  $f = 18$  кГц; радиус инструмента  $r = 5$  мм. Обработка УЗО производилась, как и шлифование, по бесцентровой схеме.

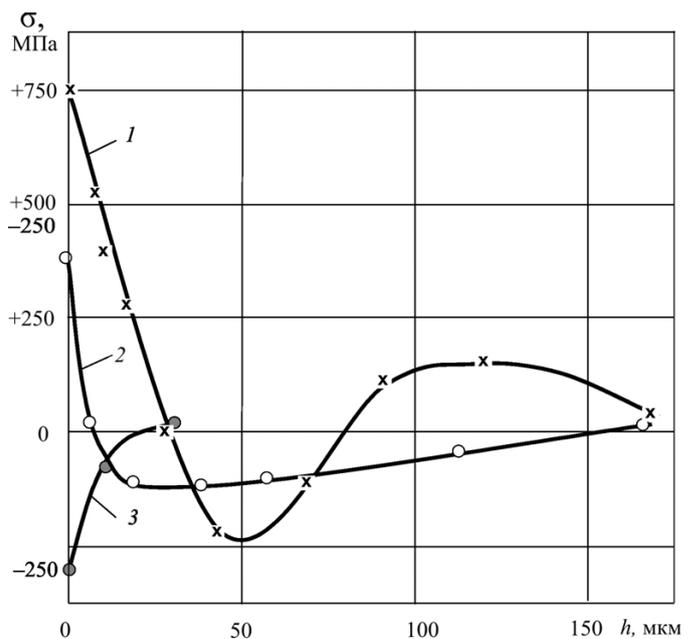


Рис. 2. Распределение остаточных напряжений первого рода  $\sigma$  по глубине  $h$  после шлифования: 1 – шлифование предварительное; 2 – шлифование чистовое; 3 – шлифование тонкое



Таблица 2

**Характеристики поверхностного слоя после шлифования +УЗО**

Вид обработки	Шероховатость $Ra$ , мкм	Радиус выступов $r_b$ , мкм	Радиус впадин $r_{вп}$ , мкм	Микротвердость $H_{\mu}$ , МПа	Приrost микротвердости $H_{\mu}$ , МПа	Остаточные напряжения $\sigma_{ост}$ , МПа	Остаточный аустенит $A$ , %
Шлифование предварительное + УЗО	0,12	180	40	9800	900	-627	8
Шлифование чистовое + УЗО	0,08	200	19	10000	2400	-620	8
Шлифование тонкое + УЗО	0,05	240	17	10500	1900	-638	8

Результаты измерений ШП, микротвердости, остаточных напряжений после шлифования +УЗО представлены в табл. 2, а распределение микротвердости и остаточных напряжений по глубине представлены на рис. 3 и 4.

Анализируя полученные данные, можно констатировать:

- $Ra$  образцов после УЗО снижается до значений 0,12; 0,08; 0,05 мкм соответственно после предварительного, чистового и тонкого шлифования.

- После УЗО на всех образцах наблюдается повышение микротвердости  $H_{\mu}$  по глубине до 0,2 мм, однако характер распределения микротвердости зависит от предварительной обработки (шлифования). После предварительного шлифования кривая распределения микротвердости существенно отличается от кривых 2, 3 (рис. 3), соответствующих шлифованию чистовому +УЗО

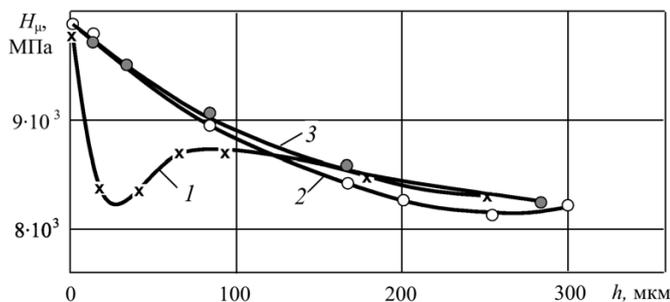


Рис. 3. Распределение микротвердости  $H_{\mu}$  по глубине  $h$  после шлифования +УЗО:

1 – шлифование предварительное +УЗО; 2 – шлифование чистовое +УЗО; 3 – шлифование тонкое +УЗО

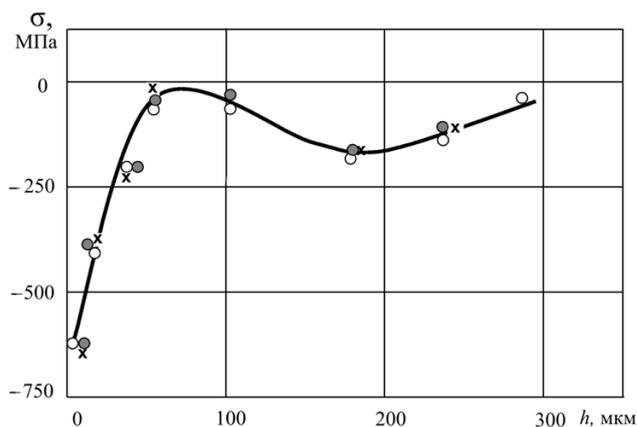


Рис. 4. Распределение остаточных напряжений первого рода  $\sigma$  по глубине  $h$  после шлифования +УЗО:

x – шлифование предварительное+УЗО; o – шлифование чистовое +УЗО; • – шлифование тонкое +УЗО

и тонкому +УЗО. При УЗО после чистового и тонкого шлифования происходит равномерное понижение микротвердости от поверхности в глубь металла. После предварительного шлифования в зоне отпуска сохраняется пониженная микротвердость. Наибольшее изменение  $H_{\mu}$  наблюдается при УЗО после предварительного шлифования.

- При УЗО у всех образцов образуются остаточные напряжения сжатия независимо от величины исходных напряжений предшествующей обработки (шлифования), и характер распределения остаточных напряжений по глубине практически одинаков.

**Анализ результатов исследований**

Сравнивая результаты изменения шероховатости поверхности образцов после УЗО с предварительным, чистовым и тонким шлифованием, следует отметить, что наблюдается влияние исходной ШП на конечную.

Наблюдаемая связь исходных и конечных параметров  $Ra$  близка к линейной и при статистической обработке описывается уравнением, адекватным экспериментальным данным:

$$y = 0,035 + 0,127x,$$

что подтверждает существование наследственной связи.

Проверка адекватности производилась по критерию Фишера  $F$ , ( $F_p < F_T$ ) при расчетном  $F_p = 0,5$  и табличном значении  $F_T = 19,37$  при 5 %-м уровне значимости.

Анализируя кривые распределения  $H_{\mu}$  после шлифования и УЗО, видно, что УЗО не изменяет характера распределения микротвердости после предварительного и тонкого шлифования. УЗО после чистового шлифования изменяет характер распределения  $H_{\mu}$  по глубине, причем значения  $H_{\mu}$  приближаются к значениям  $H_{\mu}$ , полученным после тонкого шлифования.

Таким образом, по параметру микротвердости наблюдается наследственная связь при определенных режимах обработки шлифованием, в частности, при подготовке поверхности под УЗО предварительным и тонким шлифованием.

### Выводы

1. Исследованиями установлено, что шероховатость поверхности, формируемая ультразвуковым инструментом, зависит от исходной шероховатости, полученной шлифованием. Явление наследования проявляется в явном виде. Характер наследования по параметру  $Ra$  носит линейный характер, описываемый уравнением

$$y = 0,035 + 0,127x.$$

2. По микротвердости наблюдается наследственность после предварительного и тонкого

шлифования. После чистового шлифования наличие отпущенного слоя (см. кривую) оказывает сложное влияние на изменение микротвердости после УЗО (кривая 2, рис. 3).

3. Технологическая наследственность по остаточным напряжениям первого рода не наблюдается.

### Список литературы

1. Ящерицын П.И., Зайцев А.Г., Барботько А.И. Тонкие доводочные процессы обработки деталей машин и приборов. – Минск: Наука и техника, 1972. – 326 с.
2. Блюменштейн В.Ю., Смелянский В.М. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин. – М.: Машиностроение, 2007. – 400 с.
3. Муханов И.И. Импульсная упрочняюще-чистовая обработка деталей машин ультразвуковым инструментом. – М.: Машиностроение, 1978. – 44 с.
4. Гилета В.П., Асанов В.Б., Безнедельный А.И. Технологические возможности поверхностного пластического деформирования с использованием ультразвуковых колебаний // Труды междунар. науч.-практ. конф. «Инженерия поверхностного слоя деталей машин». – Кемерово, 2009. – С. 75–79.

### Technological inheritance influence on surface layer forming in condition of ultrasonic plastic deformation of hardened steels

A.I. Beznedelnyy, V.B. Asanov, V.P. Gileta

Problems of previous treatment influence on surface quality of machine parts made of hardened steels are observed in conditions of surface plastic deformation with ultrasonic oscillation superposition on instrument.

**Key words:** surface quality, grinding, ultrasonic plastic deformation, surface roughness, microhardness, residual stresses.