

## ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РЕЗЬБОНАРЕЗАНИИ

© 2016 В.В. Головкин

Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 20.09.2016

В статье приведены результаты исследования влияния вынужденных ультразвуковых колебаний различного направления на шероховатость и деформационное упрочнение поверхностного слоя нарезаемой резьбы.

*Ключевые слова:* ультразвуковые колебания, деформационное упрочнение, резьба, шероховатость.

В современном машиностроении все более широкое применение находят методы механической обработки основанные на комбинированном воздействии нескольких видов энергии. К одному из таких методов относится обработка с введением в зону резания вынужденных ультразвуковых колебаний. Применение ультразвука позволяет существенно повысить производительность процесса, стойкость инструмента, а также качество и надежность изделия. Особенно эффективным стало применение ультразвука при резбонарезании. При этом ультразвук оказывает значительное влияние на качество поверхностного слоя резьбы, а именно, шероховатость, остаточные напряжения, деформационное упрочнение и другие. Для изучения влияния различных видов ультразвуковых колебаний (тангенциальных, осевых, радиальных) на деформационное упрочнение поверхности резьбового профиля были проведены специальные исследования.

Исследование влияния ультразвука на деформационное упрочнение проводили на резьбовых образцах из титанового сплава ВТ16, изготовленных с различными технологическими параметрами.

Микротвердость измеряли по ГОСТ 9450-76 на микротвердомере ПМТ-3 вдавливанием алмазной пирамиды при нагрузке 0,981 Н и выдержке 5 с. Ручной разрезкой образцов, а также их полированием исключали появление дополнительного упрочнения в процессе подготовки образцов. Микротвердость измеряли в точках, показанных на рис. 1, в средней части резьбы шпильки в четырех направлениях: А-А – во впадине резьбы; Б-Б – от вершины резьбы; В-В – перпендикулярно к середине боковой поверхности; Г-Г – параллельно боковой стороне профиля резьбы.

На рис. 2 приведены результаты измерения микротвердости резьбы М6×1 на образцах из

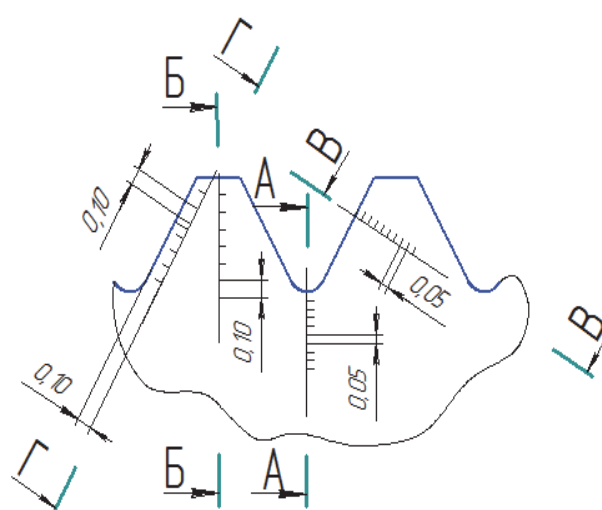


Рис. 1. Схема измерения микротвердости на профиле резьбы

титанового сплава ВТ16 в зависимости от различных режимов ультразвуковой обработки.

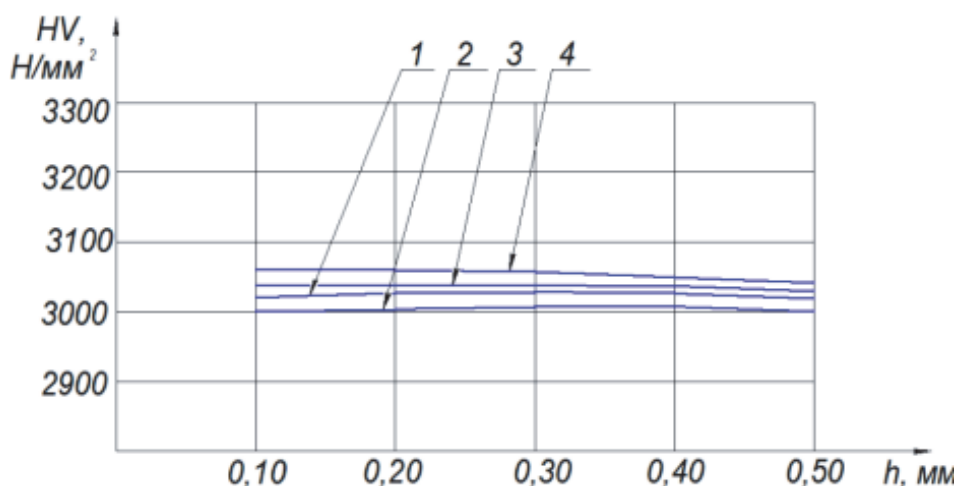
Из данных приведенных на рис. 2 видно, что увеличение микротвердости резьбы не наблюдается, так как силовое воздействие на вершину профиля резьбы при нарезании резьбы не оказывается.

Анализируя данные, представленные на рис. 3 можно сделать следующие выводы. Наибольшее значение микротвердости в поверхностном слое впадин резьбы имеет место при нарезании резьбы с радиальными ультразвуковыми колебаниями, несколько меньшие значения получены при обработке с осевыми ультразвуковыми колебаниями, а при тангенциальных ультразвуковых колебаниях микротвердость уменьшилась по сравнению с резанием без ультразвука.

Измерение микротвердости в поверхностном слое на боковой поверхности резьбы (рис. 4) показало, что максимальные значения формируются при осевых и радиальных ультразвуковых колебаниях, а уменьшение микротвердости также происходит при тангенциальных ультразвуковых колебаниях.

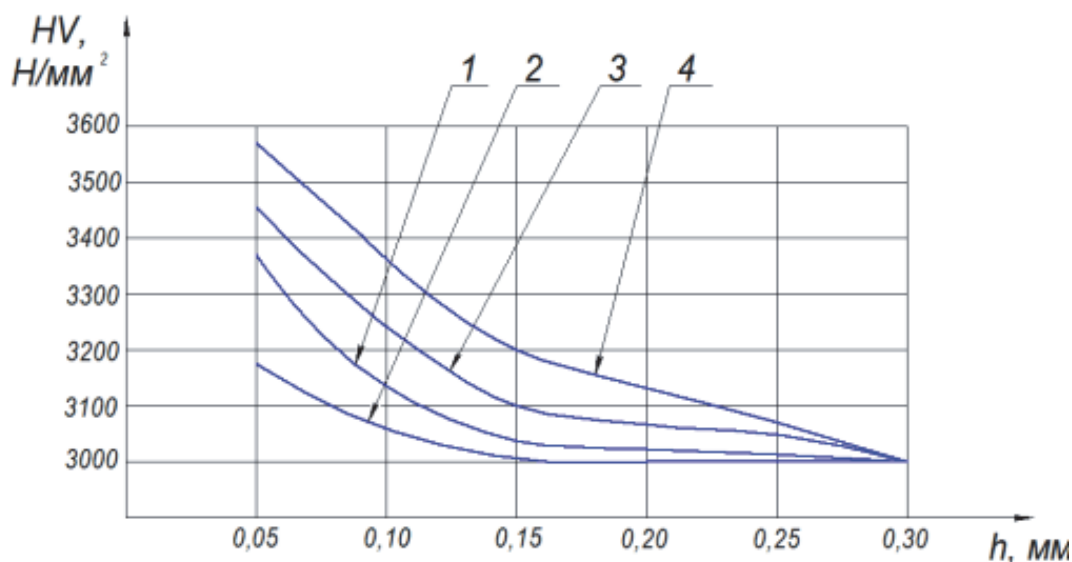
Головкин Валерий Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортные процессы и технологические комплексы».

E-mail: valerii.golovkin1962@mail.ru



**Рис. 2.** Влияние направления ультразвуковых колебаний на микротвердость вершины профиля резьбы (по Б-Б):

1 – нарезание резьбы без ультразвуковых колебаний; 2 – нарезание резьбы с тангенциальными ультразвуковыми колебаниями; 3 – нарезание резьбы с осевыми ультразвуковыми колебаниями; 4 – нарезание резьбы с радиальными ультразвуковыми колебаниями



**Рис. 3.** Влияние направления ультразвуковых колебаний на микротвердость во впадине резьбы (по А-А):

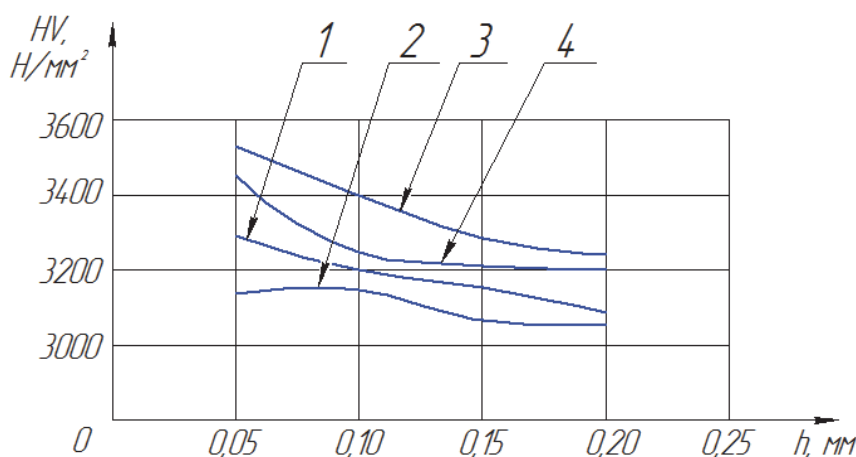
1 – нарезание резьбы без ультразвуковых колебаний; 2 – нарезание резьбы с тангенциальными ультразвуковыми колебаниями; 3 – нарезание резьбы с осевыми ультразвуковыми колебаниями; 4 – нарезание резьбы с радиальными ультразвуковыми колебаниями

Интересные данные получены при измерении микротвердости вдоль поверхности резьбы от вершины к впадине (рис. 5). Из приведенных зависимостей видно, что во всех случаях обработки имеет место увеличение микротвердости по мере приближения к впадине резьбы, что связано с более тяжелыми условиями формирования окончательного профиля резьбы в ее впадине. При этом также наибольшие значения микротвердости получены при обработке с осевыми и радиальными ультразвуковыми колебаниями.

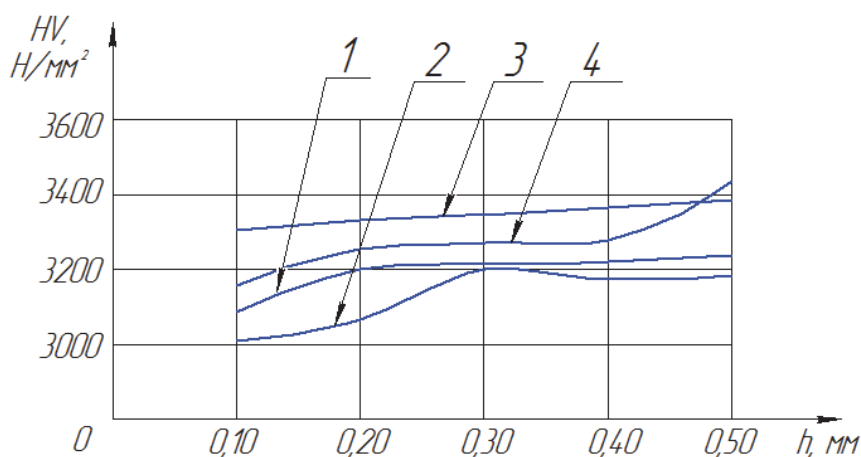
Таким образом, во всех случаях наложение на инструмент тангенциальных ультразвуковых колебаний приводит к уменьшению глубины и степени деформационного упрочнения, а обработка

с радиальными или осевыми ультразвуковыми колебаниями увеличивает степень деформационного упрочнения поверхностного слоя.

Одним из основных показателей качества обработанной поверхности является её шероховатость. Поскольку соединение резьбовых деталей производится по боковым сторонам профиля, то весьма немаловажное значение имеет шероховатость по этим поверхностям. Сложность изучения микропрофиля поверхности по боковым сторонам профиля резьбы обусловлена сложным пространственным расположением этих поверхностей, а так же малой протяженностью их в радиальном направлении по отношению к оси детали, что не позволяет использовать «щуповые»



**Рис. 4.** Влияние направления ультразвуковых колебаний на микротвердость боковой поверхности резьбы (по В-В):  
 1 – нарезание резьбы без ультразвуковых колебаний; 2 – нарезание резьбы с тангенциальными ультразвуковыми колебаниями; 3 – нарезание резьбы с осевыми ультразвуковыми колебаниями; 4 – нарезание резьбы с радиальными ультразвуковыми колебаниями



**Рис. 5.** Влияние направления ультразвуковых колебаний на микротвердость боковой поверхности резьбы (по Г-Г):  
 1 – нарезание резьбы без ультразвуковых колебаний; 2 – нарезание резьбы с тангенциальными ультразвуковыми колебаниями; 3 – нарезание резьбы с осевыми ультразвуковыми колебаниями; 4 – нарезание резьбы с радиальными ультразвуковыми колебаниями

средства измерения. В связи с чем измерение микропрофиля проводилось оптическим методом на двойном микроскопе Линника. Для установки исследуемого сечения в горизонтальной плоскости использовалась специальная оснастка, позволяющая скомпенсировать угол профиля и угол наклона винтовой спирали резьбы. Схема измерения представлена на рис. 6.

Для исключения «затемнения» исследуемого профиля соседний виток резьбы срезался. Средняя высота микронеровностей оценивалась по параметру шероховатости  $R_z$ , как среднее арифметическое из измерений в 3-х равноотстоящих сечениях на длине винтового профиля детали (шпильки).

Исследование проводилось на образцах (шпильках) из титанового сплава BT3-1 с резьбой M8 нарезанной резьбовым резцом с твердосплавной пластиной BK8 на токарном станке 1K62. Резьба нарезалась за три прохода с глубиной ре-

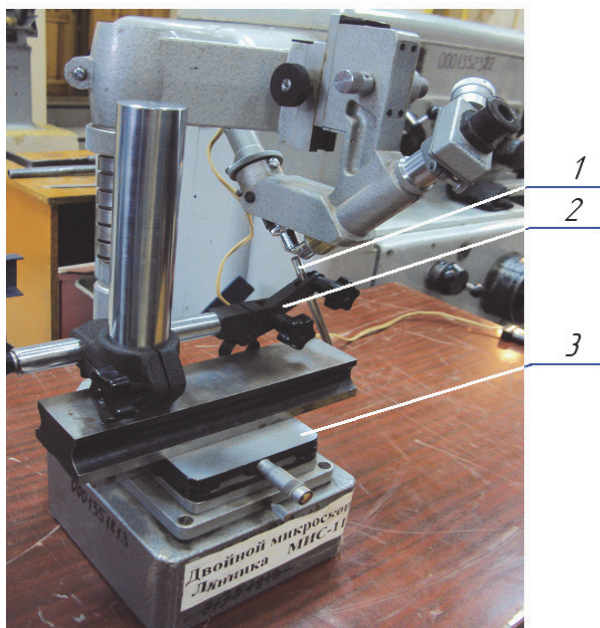
зания  $t_1 = 0,27$  мм;  $t_2 = 0,2$  мм;  $t_3 = 0,2$  мм; скорость резания  $V = 1,2$  м/мин. При этом осуществлялось наложение на резец тангенциальных, осевых и радиальных ультразвуковых колебаний.

Поскольку длина участка измерения была меньше стандартных величин (0,8; 2,5 мм) по ГОСТ 2789-73, то оценка шероховатости проводилась в пределах всей длины светового сечения поверхности бокового профиля по формуле:

$$R_z = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 y_{p_i} - \sum_{i=1}^5 y_{v_i} \right),$$

где  $y_{p_i}$  – высота  $i$ -го наибольшего выступа;  
 $y_{v_i}$  – глубина  $i$ -ой наибольшей впадины.

Зависимости влияния амплитуды и направления вынужденных ультразвуковых колебаний на высоту микронеровностей представлены на рис. 7.



**Рис. 6.** Измерение шероховатости поверхности на двойном микроскопе МИС-11:  
 1 – резбовой образец; 2 – приспособление для установки образца под необходимым углом;  
 3 – измерительный стол микроскопа

Рассмотрение представленных на рис. 7 зависимостей показывает, что наилучшие результаты достигнуты при наложении на инструмент тангенциальных колебаний. В этом случае наблюдается уменьшение высоты микронеровностей почти в 1,5 раза, по сравнению с обработкой при наложении радиальных колебаний.

При обработке с тангенциальными колебаниями установившаяся высота неровностей 6 мкм формируется при амплитуде колебаний порядка 4 мкм, а при радиальных колебаниях 9 мкм – также при амплитуде колебаний порядка 4 мкм. Очевидно, что для всех трех вариантов наложения ультразвуковых колебаний заметно

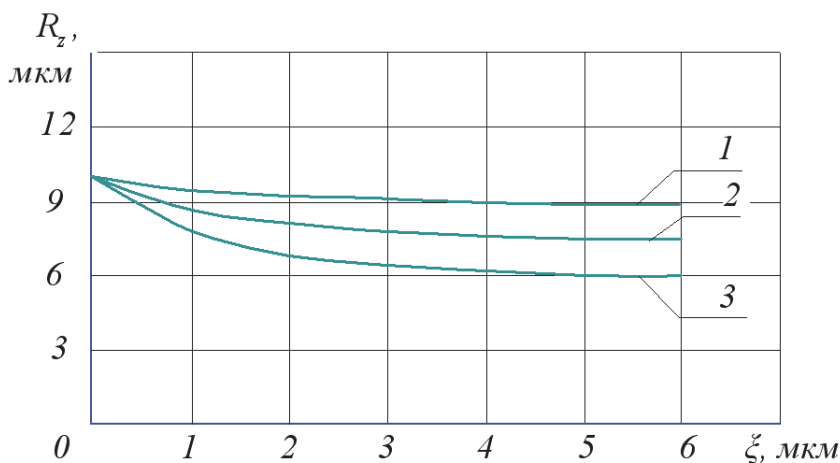
снижение шероховатости обработанной поверхности, по сравнению с обработкой без наложения ультразвуковых колебаний.

Известно, что на высоту неровностей обработанной поверхности влияют режимные параметры и износ инструмента. Поскольку подача обусловлена шагом нарезаемой резьбы, а формирование её профиля производится на калибрующих проходах, т.е. практически при постоянной глубине резания, то наиболее интересным для изучения является влияние скорости резания и износа по задней поверхности резца на высоту микропрофиля поверхности.

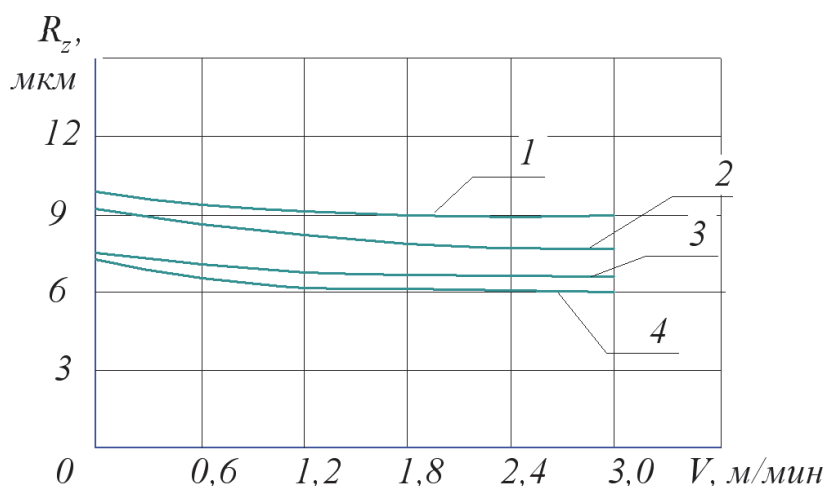
Экспериментальные результаты указанных зависимостей представлены на рис. 8 и 9.

Из рассмотрения рис. 8 видно, что при нарезании резьбы с наложением ультразвуковых колебаний шероховатость поверхности меньше чем при обработке без колебаний, но при изменении скорости резания в рассмотренном диапазоне практически не меняется. Изменение же скорости резания с 0,6 до 3 м/мин приводит к снижению высоты микронеровностей приблизительно на 20%. Отсутствие изменений шероховатости поверхности для первого случая обусловлено, очевидно малым влиянием изменения скорости резания в суммарной скорости относительного перемещения обрабатываемой поверхности и режущей кромки инструмента. Лучшие результаты получены при наложении на инструмент осевых и тангенциальных ультразвуковых колебаний.

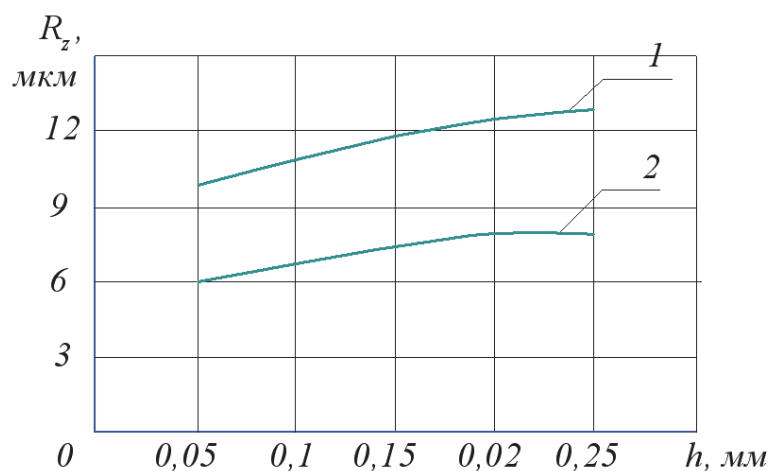
Изучение зависимостей шероховатости обработанной поверхности от износа по задним граням (рис. 9) приводит к традиционному выводу о том, что шероховатость увеличивается с увеличением износа резца, но при этом высота неровностей при ультразвуковом резании на всем диапазоне износа резца остается меньше приблизительно на 4-5 мкм.



**Рис. 7.** Изменение параметра шероховатости  $R_z$  в зависимости от величины амплитуды колебаний  $\xi$  (обрабатываемый материал ВТЗ-1):  
 1 – радиальные колебания; 2 – осевые колебания; 3 – тангенциальные колебания



**Рис. 8.** Изменение параметра шероховатости  $R_z$  в зависимости от скорости резания  $V$  (обрабатываемый материал ВТ3-1) с амплитудой  $\xi = 5$  мкм: 1 – обычное резание; 2 - радиальные колебания; 3 – осевые колебания; 4 - тангенциальные колебания



**Рис. 9.** Изменение параметра шероховатости  $R_z$  в зависимости от износа по задней поверхности  $h$ , амплитуда  $\xi = 5$  мкм, скорость  $V = 1,2$  м/мин: 1 – обычное резание; 2 – с тангенциальными колебаниями

### INFLUENCE OF ULTRASONIC VIBRATIONS ON DEFORMATION HARDENING AND SURFACE ROUGHNESS AT THE THREADING

© 2016 V.V. Golovkin

Samara State Technical University

In the article the results of research of influence of ultrasonic vibrations of various directions are forced on the roughness and deformation hardening of the surface layer of the THEAD.  
 Keywords: ultrasonic vibrations, strain hardening, thread, roughness.