

ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ РЕЗЬБОНАРЕЗАНИИ

В.В. Головкин, О.В. Ромашкина

BLANKET FORMATION AT ULTRASONIC CARVING MANUFACTURING

V.V. Golovkin, O.V. Romashkina

Приведены результаты исследования влияния ультразвука на формирование качества поверхностного слоя при нарезании резьбы с наложением на инструмент ультразвуковых колебаний.

Ключевые слова: ультразвук, резьбонарезание, остаточные напряжения, деформационное упрочнение, шероховатость.

Results of research of influence of ultrasound on formation of quality of a blanket are resulted at carving formation with imposing on the tool of ultrasonic fluctuations.

Keywords: ultrasound, carving formation, residual pressure, deformation hardening, a roughness.

Перспективным направлением повышения эффективности механической обработки является разработка и внедрение качественно новых технологий, в том числе основанных на совместном воздействии нескольких видов энергии. Наряду с другими методами физико-химической обработки всё более широкое распространение находят и различные процессы ультразвуковой технологии, в том числе обработка с наложением на инструмент ультразвуковых колебаний. Одним из наиболее эффективных направлений применения ультразвука при механической обработке является процесс нарезания резьб. Установлено, что применение ультразвука при резьбонарезании позволяет механизировать и частично автоматизировать процесс обработки и сократить ручной труд, повысить производительность труда и работоспособность инструмента, а также улучшить качественные характеристики поверхностного слоя и точность нарезанных резьб.

Эксплуатационные характеристики резьбовых соединений в значительной степени зависят от качества поверхностного слоя резьбы, формируемого в процессе изготовления. Качество поверхностного слоя характеризуется макро- и микронеровностями, степенью и глубиной деформационного упрочнения, величиной и знаком остаточных напряжений, а также физическими параметрами, связанными с искажением кристаллической решётки, плотностью дислокаций и другими.

Поскольку большинство резьбовых соединений работает в условиях знакопеременных нагрузок, доминирующее влияние на работоспособность резьбы оказывают остаточные напряжения.

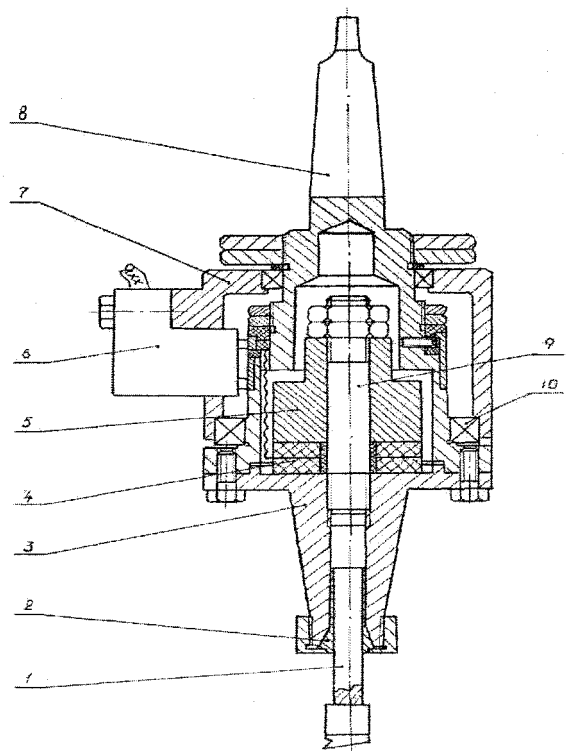


Рис. 1. Ультразвуковое устройство для нарезания резьбы резцом

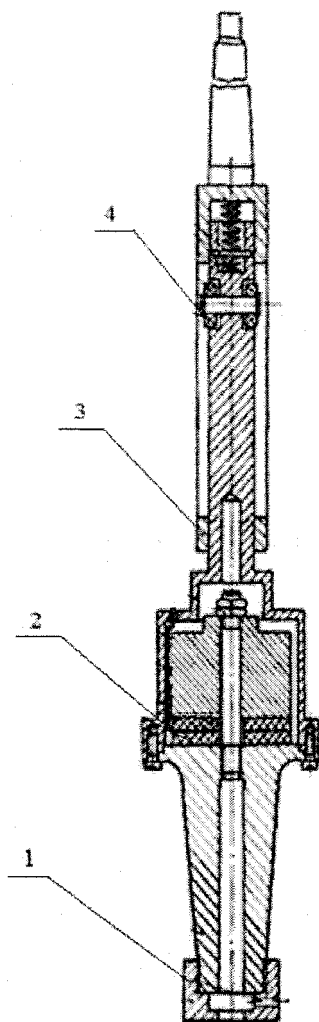


Рис. 2. Ультразвуковое устройство для нарезания резьб М4-М12 круглыми плашками

Для реализации ультразвукового метода нарезания резьб были разработаны ультразвуковые резьбонарезные устройства [1], представленные на рис. 1 и 2.

Ультразвуковое устройство (рис. 1) состоит из корпуса с коническим хвостовиком 8, который жёстко связан с пьезокерамическим преобразователем, включающим концентратор 3, пьезокерамические пластины 4 и частотопонижающую накладку 5. С помощью шпильки 9 детали 3, 4, 5 стягиваются в пакет и образуют пьезокерамический преобразователь.

Электрические сигналы подаются от ультразвукового генератора на токосъёмные кольца через щёткодержатель 6. Для закрепления устройства на резцедержателе была изготовлена специальная державка. С помощью державки ультразвуковое устройство устанавливается в резцедержателе токарного станка, например 16Б16КП, и позволяет нарезать наружную резьбу на болтах и шпильках. Сменные резцы (или другой инструмент) 1 устанавливаются в цанге 2, которая обеспечивает хороший акустический контакт соединяемых деталей.

Ультразвуковое устройство для нарезания резьб М4-М12 круглыми плашками с осевыми колебаниями представлено на рис. 2.

При помощи данных устройств проводилось нарезание резьб при сообщении резьбообразующему инструменту радиальных, осевых и тангенциальных колебаний. Для сопоставления результатов проводилось также нарезание резьб без сообщения инструменту ультразвуковых колебаний.

Остаточные напряжения в резьбе определялись по специально разработанной методике [2], основанной на удалении химическим травлением части поверхности исследуемого образца и измерении возникающих при этом деформаций $f(a)$ (рис. 3). Деформации возникают при удалении напряжённого поверхностного слоя некоторой толщины a во впадинах резьбы, являющихся концентраторами напряжений.

На рис. 3 σ_ϕ - меридиональные, σ_p - радиальные, σ_Θ - окружные остаточные напряжения. Эти напряжения считаются постоянными по угловой координате ϕ

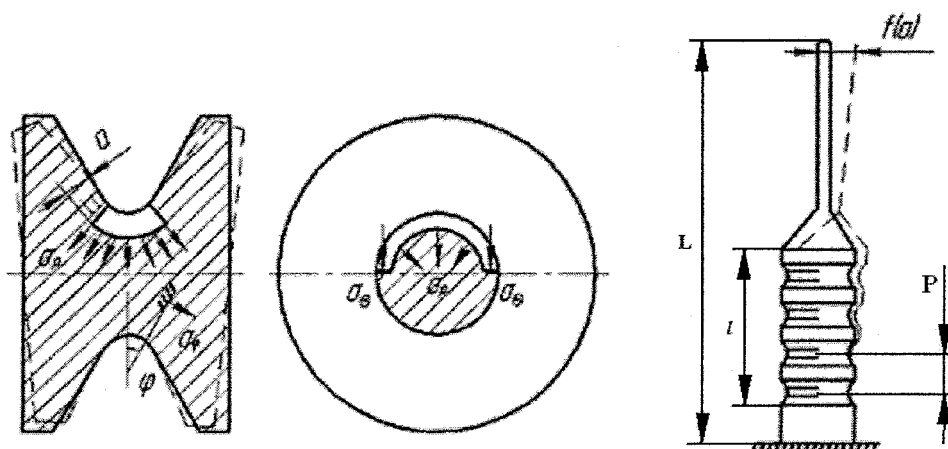


Рис. 3. Схема удаления слоев материала с половины поверхности впадин и измерение перемещении

Меридиональные остаточные напряжения σ_φ , являющиеся ответственными за повышение сопротивления усталости, определялись по следующей формуле:

$$\sigma_\varphi = \frac{C}{x_p(a)} \left[\frac{df(a)}{da} \right],$$

где C - коэффициент, зависящий от материала и геометрических параметров образца; $x_p(a)$ - коэффициент, учитывающий масштабный фактор.

Значения $x_p(a)$ приведены в [1].

Коэффициент C определяется следующим образом:

$$C = \frac{E}{(1 + \mu)(1 - 2\mu) \left[(L - l) \frac{l}{P} + \frac{l^2}{2P} \right]},$$

где E - модуль продольной упругости; μ - коэффициент Пуассона; L - длина образца с удлинителем; l - длина участка травления; P - шаг резьбы.

На рис. 4 приведены графики влияния ультразвуковых колебаний на формирование остаточных напряжений во впадинах резьбы М6х1. Обрабатываемый материал - титановый сплав ВТ 16, скорость резания $V = 0,6$ м/мин, частота $f = 20$ кГц, технологическая среда - сульфозрезол.

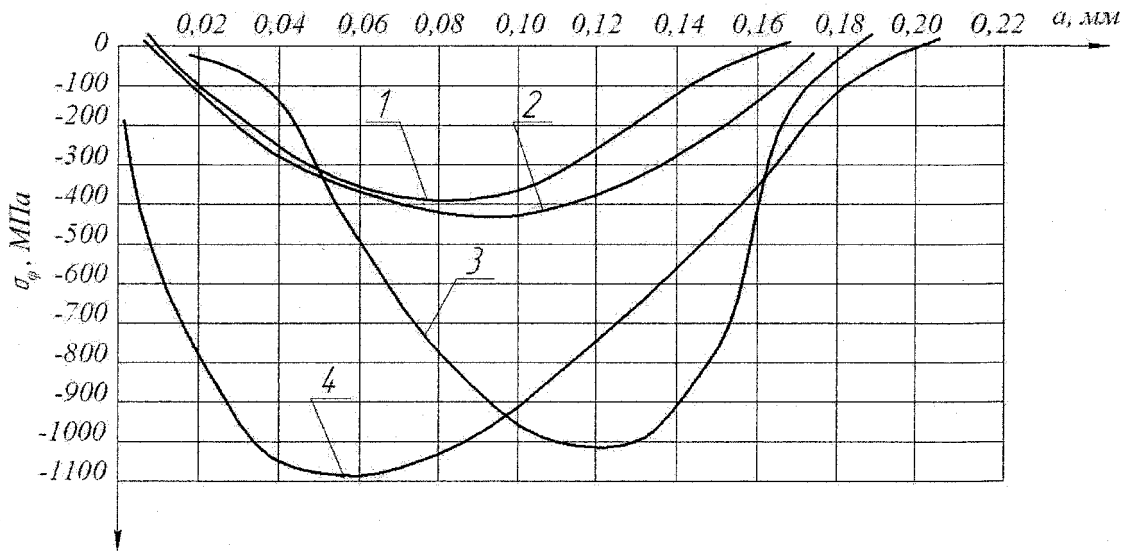


Рис. 4. Влияние ультразвуковых колебаний на формирование остаточных напряжений во впадинах резьбы М6х1, ВТ-16: 1 – резание с тангенциальными колебаниями; 2 – обычное резание; 3 – резание с осевыми колебаниями; 4 – резание с радиальными колебаниями

Из представленных графиков видно, что при обычном резании и обработке с тангенциальными колебаниями на поверхности остаточные напряжения отсутствуют, а при обработке с осевыми и радиальными ультразвуковыми колебаниями формируются незначительные по величине сжимающие остаточные напряжения. Максимальные по модулю сжимающие остаточные напряжения формируются в подповерхностном слое на глубине 0,05...0,12 мм. Следует отметить, что максимальные сжимающие напряжения формируются при сообщении резьбонарезающему инструменту радиальных ультразвуковых колебаний. В этом случае подповерхностный максимум остаточных напряжений располагается ближе к поверхности, чем при обработке с тангенциальными или осевыми ультразвуковыми колебаниями. Таким образом, при наложении на инструмент радиальных колебаний остаточные напряжения увеличиваются, а при обработке с тангенциальными уменьшаются. Снижение остаточных напряжений можно объяснить тем, что ультразвуковые колебания интенсифицируют дислокационные процессы и изменяют процесс стружкообразования.

Увеличение остаточных напряжений при резании с радиальными ультразвуковыми колебаниями связано с упрочняющим эффектом.

Следовательно, с точки зрения формирования в поверхностном слое благоприятных сжимающих остаточных напряжений предпочтительными являются радиальные колебания, однако, при этом имеет место интенсивный износ режущих кромок инструмента. Сообщение резьбообразующему инструменту осевых колебаний позволяет получить во впадинах резьбы максимальные по модулю сжимающие остаточные напряжения на глубине 0,12 мм, а при обработке с радиальными колебаниями максимум остаточных напряжений формируется на глубине 0,05 мм.

При наложении на резьбообразующий инструмент тангенциальных колебаний имеет место снижение значений сжимающих остаточных напряжений, однако, при этом существенно повышается работоспособность инструмента. Для формирования в поверхностном слое благоприятных максимальных сжимающих напряжений следует производить только окончательную обработку (для уменьшения износа инструмента) с радиальными колебаниями или нарезать резьбу с осевыми колебаниями.

Исследование влияния ультразвука на деформационное упрочнение проводили путём измерения микротвёрдости на образцах, изготовленных с различными технологическими параметрами (рис. 5).

Микротвёрдость измеряли в четырёх 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.

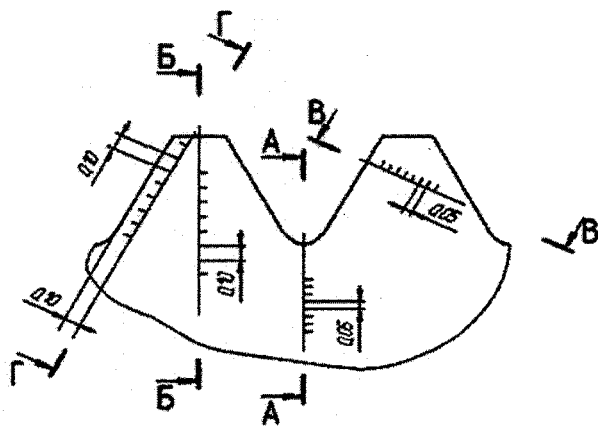


Рис. 5. Схема измерения микротвёрдости на профиле резьбы

Установлено, что при наложении на инструмент радиальных ультразвуковых колебаний наблюдалось увеличение микротвёрдости во впадине резьбы, что связано с высокочастотным ударно-циклическим взаимодействием инструмента с обрабатываемой поверхностью впадины резьбы.

При введении в зону резания тангенциальных колебаний происходит уменьшение микротвёрдости, так как в этом случае формирование поверхностного слоя происходит при меньших силах резания. Следует также отметить, что с увеличением амплитуды колебаний до значений 5 мкм эффект ультразвукового воздействия увеличивается. Измерение микротвёрдости боковой поверхности резьбы показало, что при обработке с радиальными и осевыми колебаниями также имеет место увеличение микротвёрдости, причём более значительно по мере приближения к впадине резьбы, что, по-видимому, связано с более тяжёлыми условиями формирования окончательного профиля резьбы. Таким образом, во всех случаях по сравнению с обычной обработкой наложение на инструмент тангенциальных ультразвуковых колебаний приводит к уменьшению глубины и степени деформационного упрочнения, а обработка с радиальными колебаниями увеличивает степень деформационного упрочнения поверхностного слоя.

Введение в зону резания ультразвуковых колебаний позволяет также снизить шероховатость обработанной поверхности, причём лучшие результаты получены при тангенциальных колебаниях инструмента. Снижение высоты микронеровностей поверхности происходит главным образом до значений амплитуд колебаний 4-5 мкм, а затем наблюдается стабилизация получаемых значений.

Улучшение микрогеометрии обработанной поверхности при нарезании резьбы с наложением на инструмент ультразвуковых колебаний связано с комплексом взаимосвязанных факторов, таких как снижение сил резания, исчезновение нароста, изменение напряжённо-деформиро-

ванного состояния в зоне резания, более стабильное протекание процесса резания. Следует также отметить, что при этом на обработанной поверхности отсутствуют такие дефекты как наволакивания, надиры, характерные для обработки вязких материалов. Снижение микронеровностей при ультразвуковой обработке также способствует повышению усталостной прочности резьбовых деталей.

Таким образом, определены оптимальные технологические параметры ультразвуковой обработки резьбовых деталей, позволяющие обеспечить более высокие качественные характеристики поверхностного слоя и повысить ресурс работы резьбовых соединений.

Литература

1. *Повышение работоспособности резьбовых соединений путем применения ультразвука при обработке и сборке: моногр. /Б.Л. Штриков, В.В. Головкин, ВТ. Шуваев, И.В. Шуваев. — М.: Машиностроение, 2009. -125 с.*

2. *Технологические остаточные напряжения и сопротивление усталости авиационных резьбовых деталей /Иванов СИ, Павлов В.Ф., Коновалов Г.В., Минин Б.В. - М., 1992. - 192 с. (Отраслевая библиотека «Технический прогресс и повышение квалификации» МАП).*

Поступила в редакцию 9 июня 2010 г.

Головкин Валерий Викторович. Кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальные системы и сервис автомобилей», Самарский государственный технический университет. Область научных интересов - повышение эффективности механической обработки путем применения ультразвука. Тел.: (846)332-10-90.

Valery V. Golovkin. The doctor of engineering sciences, associate professor of «Instrumental systems and service of cars» department of Samara State Technical University. The area of scientific interests — increase of efficiency of tooling by application of ultrasound. Tel.: (846) 332-10-90.

Ромашкина Оксана Викторовна. Ассистент кафедры «Инструментальные системы и сервис автомобилей», Самарский государственный технический университет. Область научных интересов — повышение эффективности механической обработки путем применения ультразвука.

Oksana V. Romashkina. The assistant of «Instrumental systems and service of cars» department of Samara State Technical University. The area of scientific interests - increase of efficiency of tooling by application of ultrasound.