

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ*

*Х.М. РАХИМЯНОВ, доктор техн. наук, профессор
Ю.С. СЕМЕНОВА, ассистент
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Статья поступила 10 сентября 2012 г.

Рахимьянов Х.М. – 630092, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет, e-mail: tms-ngtu@mail.ru

Представлены результаты исследования влияния условий и режимов обработки ультразвуковым пластическим деформированием на формирование микрорельефа и волнистости на обрабатываемой поверхности. Предложены технологические рекомендации по выбору режимных параметров, обеспечивающих необходимую геометрию обрабатываемой поверхности.

Ключевые слова: ультразвуковое поверхностное пластическое деформирование, микрогеометрия, шероховатость, волнистость.

Благодаря механофизическим особенностям ультразвукового пластического деформирования (УЗПД) данный метод обработки позволяет создавать на поверхности деталей регулярный или частично регулярный микрорельеф с возможностью управления его геометрическими параметрами в широком диапазоне. УЗПД заключается в приложении многократной ударной нагрузки к обрабатываемой поверхности, при этом за единичный удар деформируется лишь небольшой ее участок, поэтому необходимо задавать относительное перемещение инструмента и детали. При токарной схеме обработки детали сообщается вращательное движение, а инструменту поступательное.

В работах [1, 2] представлена модель формирования микрорельефа для расчета его геометрических параметров, определены условия формирования регулярного микрорельефа, показаны формы его фрагментов. Согласно исследованиям форма фрагмента может быть одной из четырех видов (четырёхугольная, правильная шестиугольная, неправильная шестиугольная с различным наклоном). При этом вид будет определяться в зависимости от дробной части числа отпечатков, укладываемых на один виток при вращении детали. Следует дополнить, что форма фрагментов в зависимости от соотношений кинема-

тических параметров обработки может быть в различной степени вытянутой, как показано на рис. 1, а, б. Так, фрагменты правильной шестиугольной формы получаются при следующем соотношении расстояний между соседними отпечатками в направлениях скорости и подачи:

$$\frac{l_V^2}{l_S^2} = \frac{4}{3}, \quad (1)$$

где l_S – расстояние между соседними отпечатками в направлении подачи, равное подаче за один оборот, мм; l_V – расстояние между соседними отпечатками в направлении линейной скорости вращения детали, мм:

$$l_V = \frac{\pi d n}{6 \cdot 10^4 \cdot f}, \quad (2)$$

где n – частота оборотов детали, об/мин; d – диаметр детали, мм; f – частота ультразвуковых колебаний инструмента, кГц.

При увеличении значения $l_V \left(l_V < 2l_S \sqrt{\frac{1}{3}} \right)$ фрагмент наклоняется в сторону, противоположную подаче, при уменьшении – по направлению подачи.

* Исследования проведены при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ в 2012 г. и в плановом периоде в 2013-2014 гг. (Шифр заявки 7.759.2011 «Повышение конструктивной прочности материалов конструкционного и инструментального назначения методами, основанными на высокоэнергетическом воздействии»).

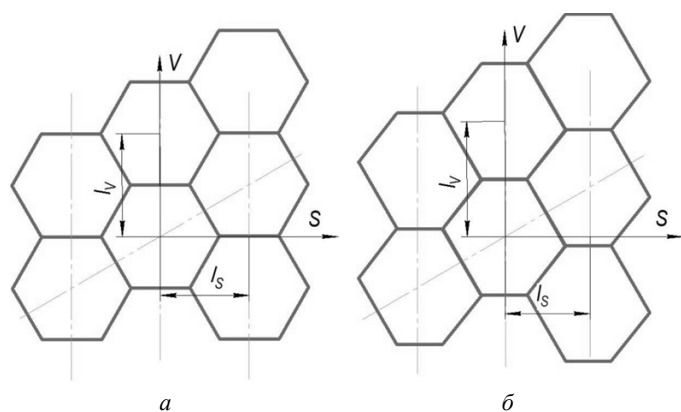


Рис. 1. Изменение формы фрагмента в зависимости от соотношения расстояний между соседними отпечатками в направлениях V и S

Соотношение высоты фрагмента к его ширине влияет на равномерность геометрических свойств поверхности (шага в направлении V и S), что необходимо учитывать при обеспечении требуемой шероховатости.

Согласно предложенной математической модели был рассчитан параметр высоты микронеровностей, близкий к параметру Rz (ГОСТ 2789-73). Расчетный параметр определялся как максимальная глубина единичного фрагмента микрорельефа, представляющего собой участок сферы, ограниченный линиями пересечения соседних отпечатков ультразвукового инструмента. На рис. 2 представлены зависимости значений высоты микронеровностей, полученных расчетом из математической модели.

Помимо возможности управления микрогеометрией поверхности следует отметить возможность создания волнистости на изначально гладкой поверхности. Проведенные исследования показали, что факторами, оказывающими наибольшее влияние на геометрические параметры поверхности при УЗПД, являются исходная шероховатость и твердость обрабатываемого материала, а также режимы обработки.

В работах [3–5] представлена модель формирования волнистости, позволяющая рассчитать ее геометрические параметры (шаг и угол наклона волн) в зависимости от режимов обработки, выявлены условия и закономерности формирования волнистости для различных обрабатываемых материалов. В работе [5] приведены результаты исследования влияния условий УЗПД на стабильность формирования рисунка волнистости. Следует отметить, что в ходе экспериментов были выявлены случаи, когда на поверхности возникали

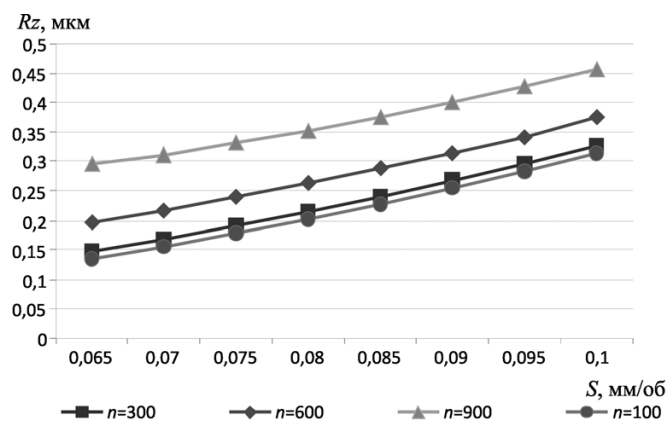


Рис. 2. Изменение параметра шероховатости Rz в зависимости от режимов обработки: $n = 100 \dots 900$ об/мин; $S = 0,06 \dots 0,11$ мм/об; $F_{ст} = 15$ кг; $2A = 25$ мкм; $f = 22,4$ кГц; $d = 45$ мм

волны, характеризующиеся нестабильностью геометрических параметров. Анализ модели формирования рисунка волнистости показал, что причиной нестабильности может оказаться дрейф частоты ультразвуковых колебаний. При исследовании изменения данной величины за время работы генератора выяснилось, что при его нагреве в течение первых 10 мин работы происходит падение частоты на 67...75 Гц, после чего процесс стабилизируется (рис. 3).

График изменения угла наклона волн α в зависимости от частоты ультразвуковых колебаний f , полученный с использованием разработанной модели формирования волнистости (рис. 4) показывает, что даже при изменении f на 50 Гц угол α действительно изменяется в широком диапазоне своих значений. Это подтверждает работоспособность модели в условиях нестабильности частотных параметров обработки. Для устранения нестабильности формирования рисунка волнистости предложено применение предварительной выдержки работающего генератора в течение 10 мин перед обработкой.

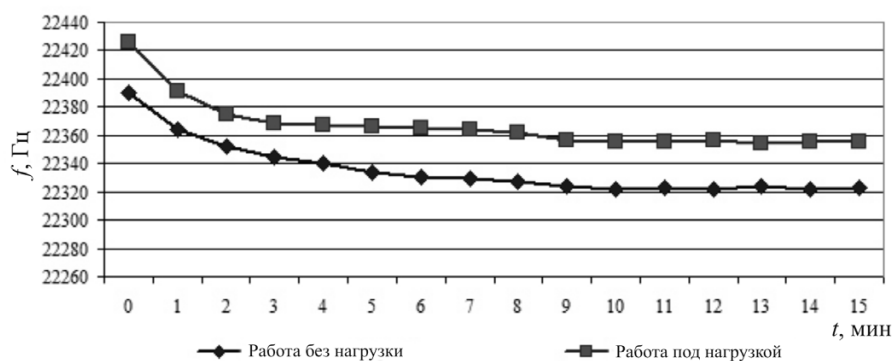


Рис. 3. Дрейф частоты генератора ультразвуковых колебаний в течение первых минут работы

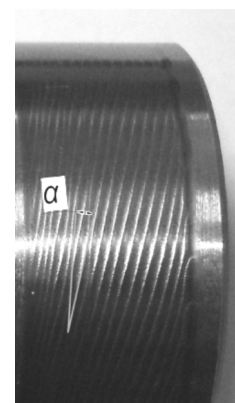
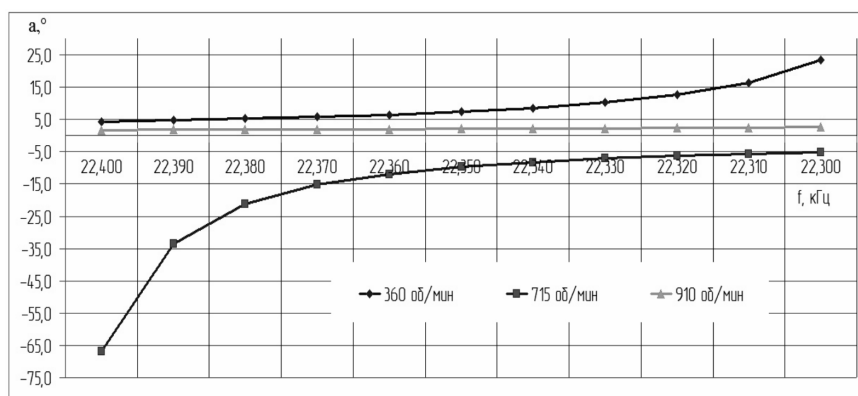


Рис. 4. Изменение угла наклона волн α в зависимости от частоты колебаний инструмента при частотах вращения детали 360, 715 и 910 об/мин

Установлено влияние жесткости технологической системы на формирование волнистости. В частности, замена заднего центра на более жесткий привела к уменьшению разброса значений геометрических параметров волнистости.

В практике упрочняюще-отделочных обработок появления волнистости стараются избегать. В работе [4] показано, что для обеспечения гладкого рельефа без волнистости необходимо увеличивать значение подачи и скорости, что, в свою очередь, приводит к снижению упрочняющего эффекта.

Увеличение упрочняющего эффекта в этом случае обеспечивается применением многопроходной обработки.

В результате анализа проведенных исследований предложены технологические рекомендации, представленные в виде номограммы (рис. 5). Номограмма позволяет в зависимости от твердости материала и исходной шероховатости поверхности подобрать необходимое статическое усилие, обеспечивающее отсутствие следов предшествующей обработки и определяющее необходимую величину подачи для получения рельефа без волн пластического течения. Значение подачи определяется через ограничивающий параметр – диаметр пластического отпечатка инструмента ($D_{пл}$). Так, при исходной шероховатости 10 мкм поверхности детали, изготовленной из материала с твердостью 2000 МПа, при амплитуде колебаний ультразвукового инструмента $2A = 25$ мкм необходимое статическое усилие составит 165 Н, при этом диаметр пластического отпечатка 567 мкм. В этом случае минимально допустимая величина подачи, при которой волны не будут образовываться, составит 0,07 мм/об.

Таким образом, проведенные исследования позволяют выбирать необходимые режимы обработки для обеспечения требуемого геометрического состояния поверхности и упрочняющего эффекта для материалов различной твердости. В частности, технологические рекомендации дают возможность управлять шероховатостью поверхности в широком диапазоне и фор-

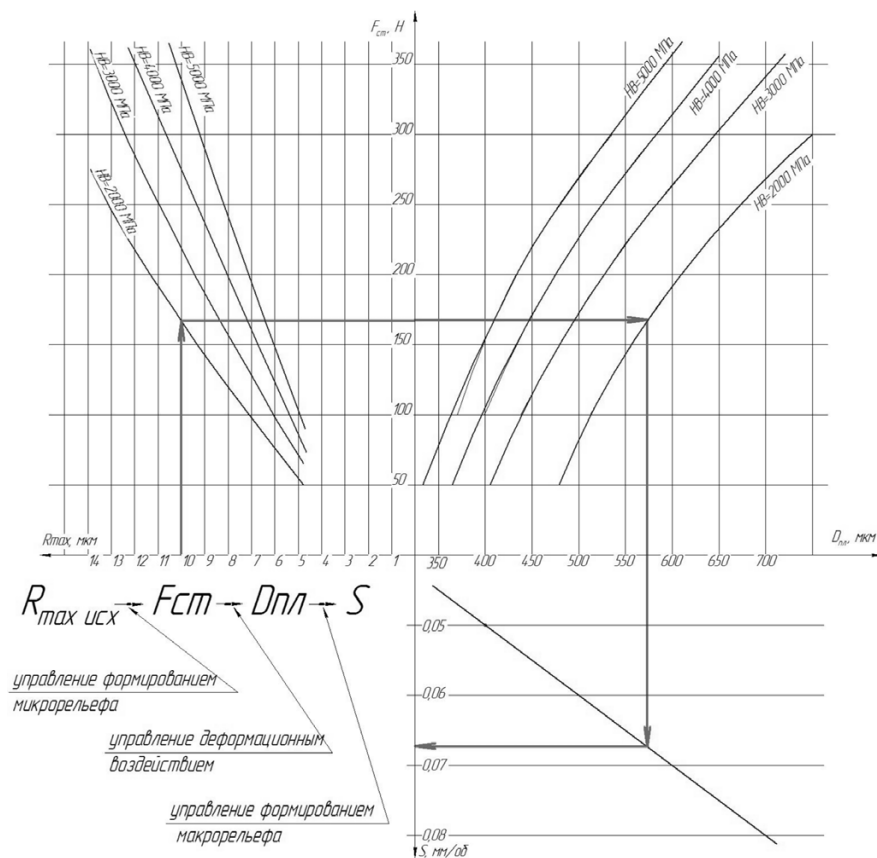


Рис. 5. Номограмма для определения параметров обработки при известных HB, R_{max} исходной поверхности и фиксированных параметрах $2A = 25$ мкм, $D_c = 8$ мм, $f = 22,4$ кГц

мой фрагментов микрорельефа, а также получать рисунок волнистости с заданным значением шага и угла наклона волн.

Список литературы

1. *Высокоэнергетические* процессы обработки материалов / О.П. Солоненко, А.П. Алхимов, Х.М. Рахимьянов и др. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000 – 425 с., [0.4] л. вкл. – (Низкотемпературная плазма. Т. 18).
2. *Рахимьянов Х.М.* Моделирование процесса формирования регулярного микрорельефа при ультразвуковом пластическом деформировании / Х.М. Рахимьянов, Ю.С. Семенова // Упрочняющие технологии и покрытия. – М.: Машиностроение. – 2010. – № 2. – С. 3–9.
3. *Рахимьянов Х.М.* Повышение качества поверхностного слоя деталей с покрытиями малой толщины из нанокристаллических порошков ультразвуковым пластическим деформированием / Х.М. Рахимьянов, Ю.С. Семенова, М.А. Третьяков // Обработка металлов: Технология. Оборудование. Инструменты. – 2011. – № 3 (52). – С. 18–22.
4. *Рахимьянов Х.М.* Условия образования волнистости поверхности при ультразвуковом пластическом деформировании металлических материалов / Х.М. Рахимьянов, Ю.В. Никитин, Ю.С. Семенова // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2012. – № 1 (54). – С. 4–9.
5. *Рахимьянов Х.М.* Влияние условий обработки при ультразвуковом деформировании пластичных материалов на стабильность формирования макрогеометрии поверхности / Х.М. Рахимьянов, Ю.С. Семенова // Инновации в машиностроении: сб. тр. 2-й междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 6–8 окт. 2011 г. – Кемерово : Изд-во КузГТУ, 2011. – С. 419–424.

Technological support of geometrical parameters of surface quality with ultrasonic plastic deformation

Kh. M. Rakhimyanov, Y. S. Semenova

Research results of influence of conditions and processing modes on microrelief and waviness formation by ultrasonic plastic deformation are presented. Technological recommendations about a choice of the regime parameters, providing necessary geometry of the processed surface, are offered.

Key words: ultrasonic surface plastic deformation, microgeometry, roughness, waviness.