

УДК 621.787.6

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ, ФОРМИРУЕМОГО ПРИ ИНЕРЦИОННО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ

В. В. АФАНЕВИЧ, В. М. ПАШКЕВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Важным фактором, влияющим на износостойкость поверхностей пар трения, является микротвердость их поверхностного слоя.

Микротвердость поверхности формируется в числе прочего на этапе ее окончательной обработки. В случае применения инерционно-импульсного раскатывания [1] внутренняя цилиндрическая поверхность детали подвергается поверхностно-пластическому деформированию. В связи с этим важно знать, какое влияние оно оказывает на микротвердость обработанной поверхности.

Исследование такого влияния выполнялось на втулках, выполненных из специального высокопрочного чугуна с механическими свойствами, близкими к чугуну марки ВЧ60.

При исследовании принимались во внимание следующие факторы, оказывающие влияние на изменение микротвердости поверхности:

- исходная шероховатость поверхности;
- подача инструмента за оборот заготовки, влияющая на плотность следов от деформирующих шаров на обработанной поверхности;
- частота вращения заготовки (шпинделя станка), обеспечивающая необходимую скорость деформирующего шара в момент нанесения удара по обрабатываемой поверхности.

Обработка поверхностей велась в следующей последовательности: черновое растачивание, чистовое растачивание, инерционно-импульсное раскатывание. Режимы чистового растачивания были подобраны таким образом, что одна группа заготовок имела среднее значение шероховатости поверхности по параметру  $Ra = 1,984$  мкм (при рассеивании измеренных значений в диапазоне  $1,82...2,26$  мкм), а вторая группа –  $Ra = 6,413$  мкм (при рассеивании измеренных значений в диапазоне  $5,83...7,24$  мкм).

Исследования проводились по методике полного факторного эксперимента, обеспечивающей все возможные комбинации уровней факторов. Для этого обработка заготовок велась с использованием комбинации следующих режимов, соответствующих верхнему и нижнему уровням факторов:

- частота вращения заготовки –  $n_{\min} = 630$  мин<sup>-1</sup>,  $n_{\max} = 1000$  мин<sup>-1</sup>;
- подача инструмента –  $S_{o_{\min}} = 0,05$  мм/об;  $S_{o_{\max}} = 0,2$  мм/об.

Далее из обработанных втулок вырезались сегменты, в которых поперечный срез предварительно шлифовался, а затем полировкой доводился до зеркального блеска по стандартной методике.

Затем поперечные срезы подвергались измерениям микротвердости в поверхностном слое. У каждого образца на глубинах 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300 и 350 мкм от обработанной поверхности проводилось не менее пяти

измерений, из которых потом на основе критерия Диксона выбирались серии из пяти отсчетов, не содержащие промахов. За величину микротвердости поверхности на исследуемой глубине принимались средние значения по серии проведенных на данной глубине измерений.

Анализ проведенных измерений показал, что на результаты инерционно-импульсной обработки в значительной мере влияет исходное состояние поверхности.

Также было выявлено, что результаты измерения микротвердости поверхностного слоя после инерционно-импульсной обработки распадаются на две группы, имеющие принципиально различные свойства.

Так, наилучший результат был достигнут на образцах, имевших исходную шероховатость  $Ra \approx 6,3$  мкм.

Вероятно такие результаты определяются большими пластическими деформациями микрорельефа поверхности с большим размахом микронеровностей и, соответственно, меньшей величиной относительной опорной длины профиля.

В то же время у образцов, имевших исходную шероховатость  $Ra \approx 2$  мкм, значения микротвердости имеют значительный статистический разброс и изменение тренда микротвердости не столь велико.

По-видимому, такой результат, в отличие от предыдущей группы образцов, определяется большей контактной жесткостью поверхности, когда энергия деформирующих шаров распределяется по поверхности материала заготовки и не приводит к значительным пластическим деформациям (энергия в большей степени подвержена диссипации в материале).

По результатам исследований микротвердости построена эмпирическая модель с использованием методики, описанной в [2]. В ней в качестве факторов выбраны три параметра:  $h$  – глубина залегания подповерхностного слоя, мкм;  $S_0$  – подача инструмента, мм/об;  $n$  – частота вращения заготовки (шпинделя станка), мин<sup>-1</sup>. Переменная отклика модели – микротвердость по Виккерсу HV.

Результаты исследований показали, что в наибольшей мере микротвердость поверхностного слоя зависит от параметра глубины (следовательно, упрочнение поверхности относительно исходного состояния материала является статистически значимым), а также от фактора частоты вращения шпинделя (определяющего кинетическую энергию деформирующих шаров). Не оказывает статистически значимого прямого влияния фактор подачи (фактически он оказывает опосредованное воздействие на густоту следов обработки в виде парного взаимодействия с частотой вращения).

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инерционно-импульсный раскатчик: пат. ВУ 12381 / В. М. Пашкевич, В. В. Афаневич. – Опубл. 30.08.2020.
2. Пашкевич, В. М. Эмпирическая модель шероховатости, обеспечиваемой при инерционно-импульсной обработке / В. М. Пашкевич, В. В. Афаневич // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2020. – № 4. – С. 41–49.