

УДК 621.763:627.787.4

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПОСЛЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ В СОЧЕТАНИИ С ГИПЕРЗВУКОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ**

Коротин В. О. – аспирант гр. МТаз-181, III курс  
Научный руководитель: Блюменштейн В.Ю., д.т.н., профессор  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева (КузГТУ)

### **Введение**

Известно, что от качества поверхности зависят эксплуатационные свойства деталей машин – сопротивление усталости, износостойкость, коррозионная стойкость, сопротивление контактной усталости и пр. В связи с интенсификацией эксплуатационных процессов, увеличением скоростей перемещения рабочих органов, повышением температур и давлений роль качества поверхности значительно возрастает. Связь характеристик качества поверхности с эксплуатационными свойствами деталей свидетельствует о том, что оптимальная поверхность должна быть достаточно твердой, иметь сжимающие остаточные напряжения, мелкодисперсную структуру, сглаженную форму микронеровностей с большой площадью опорной поверхности.

В настоящее время широкое распространение получили методы плазменного и высокоскоростного напыления, которые позволяют наносить высокоплотные и коррозионностойкие покрытия на различные детали машин. Однако данные процессы характеризуются и недостатками, такими как низкая производительность, значительные затраты на реализацию, а также высокая стоимость присадочного материала и оборудования.

Существует ряд методов улучшения состояния поверхностного слоя (ПС), в частности, широко используется метод поверхностного пластического деформирования (ППД). При ППД обработка деталей осуществляется без удаления стружки, при которой пластически деформируется только их поверхностный слой, что положительно влияет на качество и свойства поверхностного слоя [1,2].

Высокую эффективность упрочнения поверхностного слоя деталей силовой гидравлики в процессе изготовления/ремонта показывает гиперзвуковая металлизация (ГМ). Данный метод заключается в формировании покрытий одновременным распылением разнородных металлов с образованием псевдосплавов, обладающих высокими триботехническими свойствами. Процесс ГМ объединяет преимущества методов традиционной электродуговой металлизации и высокоскоростного напыления благодаря наличию высокоэффективной камеры сгорания пропано-воздушной смеси. Прочность сцепления наносимого покрытия методом ГМ вдвое превышает прочность сцепления слоев, полученных традиционной электродуговой металлизацией.

Согласно публикациям М.А. Белоцерковского и А.В. Сосновского, хромовые покрытия на 30-40% уступают гиперзвуковой металлизации по износостойкости. Поэтому можно сказать, что при правильном подборе напыляемых материалов и режимов нанесения, можно успешно решать задачу восстановления деталей с изношенными хромовыми покрытиями [3].

### Описание экспериментальных исследований

После проведения гиперзвуковой металлизации поверхность образцов имеет высокую шероховатость  $Ra$  6,8...7,7 мкм и пористую поверхность. Такая поверхность не приемлема для проведения ППД. Для этого необходимо выполнять механическую обработку образца. Общая толщина напыляемого покрытия составила  $d \approx 1,5$  мм, толщина напыляемого слоя  $di \approx 0,5$  мм; количество ходов  $i = 3$ . Диаметр образцов после проведения ГМ составил  $d \approx 21,5 \pm 0,26$  мм. Образцы обрабатывались на всю длину. Обработка проводилась за несколько ходов, 2 черновых и 2 чистовых. Толщина снимаемого слоя за один ход составила  $t=0,2$  мм, последний чистовой ход  $t=0,1$  мм. Подача  $S=500$  мм/мин на всем этапе обработки, количество оборотов  $n=40$  мм/об. Схема обработки представлена на рисунке 1.

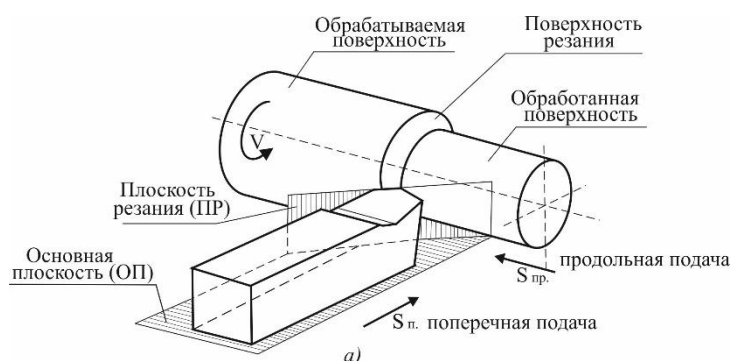


Рисунок 1 – Схема обработки образцов

После обработки образцы имеют диаметр  $d \approx 21 \pm 0,26$  мм. Поверхность сплошная, не пористая,  $Ra$  1,0-1,2, пригодная для проведения обкатывания (рисунок 2).



Рисунок 2 – Образцы после механической обработки

Вторым этапом проведения экспериментальных исследований было обкатывание образца.

В качестве приспособления использовалась однороликовая головка для обкатывания. Приспособление состоит из трех основных узлов: корпуса (базового агрегата), сменной роликовой головки с роликом и штока с пружиной.

На рисунке 3 представлен образец, установленный для проведения обкатывания на станке с ЧПУ 16K20Ф3.



Рисунок 3 – Фото установленного образца

Для обкатывания использовался ролик из стали ШХ 15 (ГОСТ 801-78) с радиусом закругления 3 мм (рисунок 4).



$d=65$  мм

Рисунок 4 – Ролик для обкатывания с  $R_{np}=3$  мм

Усилие обкатывания  $P$  составляло 200 кгс, 150 кгс и 125 кгс, подача  $S=600$  мм/мин. В качестве СОЖ использовалось масло индустриальное И20.

После проведения экспериментальных исследований было проведено измерение шероховатости поверхности, твердости и сравнение результатов с образцом-свидетелем.

### Результаты и обсуждение

Измерение шероховатости осуществлялось на профилографе-профилометре «*Talysurf – 5M*» фирмы *Rank Taylor-Hobson*.

Результаты измерения представлены на графике (рисунок 5).

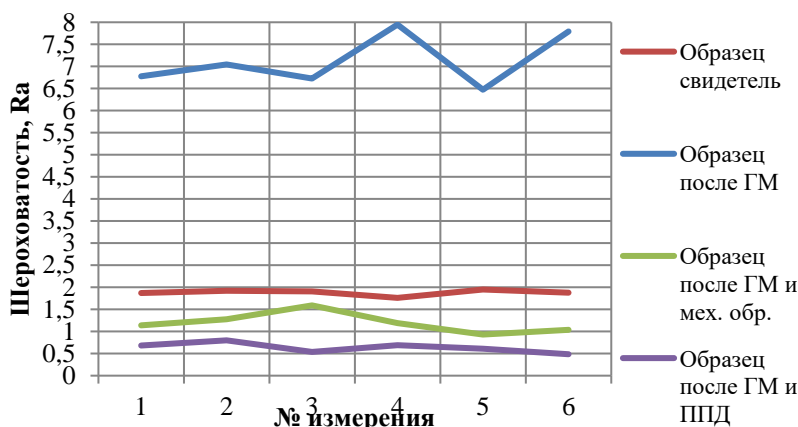


Рисунок 5 – График измерения шероховатости

Из графика видно, что исходная шероховатость образца составляла **Ra** 1,7...1,9; такая поверхность является приемлемой для проведения гиперзвуковой металлизации. Шероховатость после ГМ составила **Ra** 6,8...7,7. Такая шероховатость обусловлена тем, что на поверхность образца напыляются частицы расплавленного металла при скорости до 500 м/с и температуре 1850 °С. Это позволяет формировать покрытие, имеющее плотность около 600 А/мм<sup>2</sup> и прочность сцепления – 650 Мпа. После проведения гиперзвуковой металлизации выполнялась обработка резанием; шероховатость после обработки составила **Ra** 1,0...1,2. Такая шероховатость является пригодной для ППД. После обкатывания шероховатость составила **Ra** 0,5...0,6. Такая шероховатость говорит о том, что произошло упрочнение поверхностного слоя.

Твердость определялась по Виккерсу на стационарном твердомере **Duravision**. В качестве наконечника использовалась алмазная пирамида с углом при вершине в 136°. График измерения твердости представлен ниже (рисунок 6).

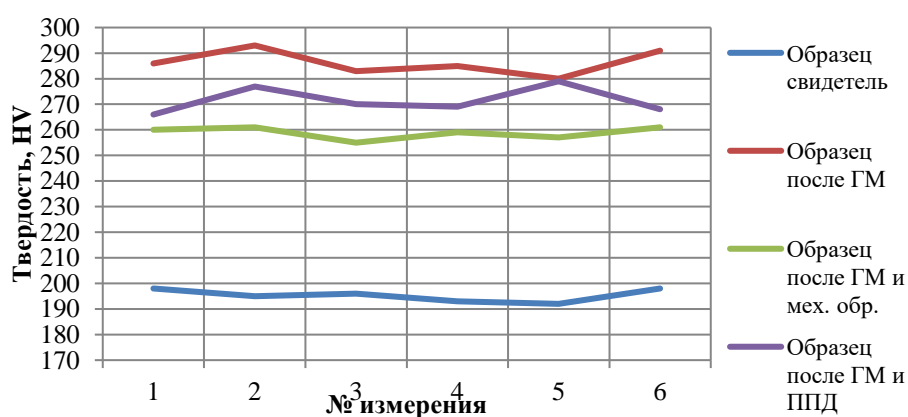


Рисунок 6 – График измерения твердости

Твердость исходного образца составила 190-198 **HV**; это твердость в состоянии поставки. Твердость после ГМ выше исходной практически в 1,5 раза. Это говорит о том, что поверхность образца стала прочнее, в поверхностном слое образовался мартенсит. Кроме этого высокая пористость покрытия обеспечивает длительные сроки службы деталей, работающих в усло-

виях трения скольжения со смазочным материалом, но она вредна для покрытий, предназначенных для защиты изделий от коррозии. Твердость после механической обработки составила около 260 *HV*. Твердость после ППД немного ниже твердости, чем после ГМ. Как известно, при ППД увеличиваются прочностные характеристики и понижаются пластичность и вязкость, с увеличением степени деформации предел текучести растет быстрее предела прочности.

Таким образом, можно сказать, что твердость после ППД в сочетании с ГМ и твердость после ГМ отличаются незначительно, но имеют разные прочностные характеристики. Также за счет увеличения поверхностной твердости можно существенно увеличить ее износостойкость при трении. Это можно объяснить уменьшением взаимного внедрения поверхностных слоёв трущихся деталей и снижением их совместной пластической деформации [4].

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-00587.*

### **Список литературы**

1. Смелянский В.М., Блюменштейн В.Ю., Кречетов А.А. Информационная поддержка жизненного цикла упрочненных ППД деталей машин. функциональная модель механики технологического наследования//Упрочняющие технологии и покрытия. – 2005. № 1. – С. 14-23.
2. Blumenstein V., Mahalov M., Ostanin O. Simulation and calculation of residual stresses in mining machines components//сборник: E3S Web of Conferences. 3rd International Innovative Mining Symposium, IIMS 2018: Electronic edition. 2018.
3. Белоцерковский М.А. Технологические особенности и области использования гиперзвуковой металлизации / М.А. Белоцерковский, А.С. Прядко, А.Е. Черепко // Инновации в машиностроении: междунар. науч. конф., Минск, 30–31 окт. 2008 / редкол.: М.С. Высоцкий [и др.]. — Минск: ОИМ НАН Беларуси, 2008.
4. Блюменштейн В.Ю., Кречетов А.А., Махалов М.С. Современные конкурентоспособные технологии отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием/Упрочняющие технологии и покрытия. – 2012. – № 7. С. – 7-12.