

шин: Монографія /Тарельник В.Б., Марцинковский В.С., Антошевский Б.- Сумы: Издательство «Мак-Ден», 2012.-280 с.

**Тарельник В.Б., Антошевський Б. ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ШИЙОК ВАЛІВ РОТОРІВ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО ЛЕГУВАННЯ З ПОДАЛЬШИМ ПОВЕРХНЕВИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ.**

Представлена методика розрахунку геометричних параметрів осередку деформації для поверхневих шарів зі складною структурою, які отримують при електроерозійному легуванні (ЕЕЛ). Вона розроблена на підставі розрахунку головних геометричних параметрів осередку деформації для однорідних тіл - інженерного методу М.С. Дрозда і базується на понятті пластичної твердості (НД). Перехід від твердості по Бринеллю (НВ), параметра, що характеризує опір металу контактному навантаженню, до пластичної твердості НД, що інтерпретується як модуль зміцнення матеріалу, дозволяє також розглядати цю величину як характеристику опору матеріалу контактної пластичної деформації.

Проведено аналіз напружено-деформованого стану поверхневого шару деталі зі сталі 45, після ЕЕЛ твердими зносостійкими, м'якими антифрикційними металами, вуглецем і нанесеними комбінованими електроерозійними покриттями з подальшою поверхневою пластичною деформацією. Проведено аналіз структури і властивостей сформованих поверхневих шарів. На базі проведених досліджень розроблено технологію підвищення якості шийок валів роторів при їх виготовленні та ремонті. Наведено приклади застосування розробленої технології.

**Ключові слова:** електроерозійне покриття, зносостійкість, поверхнєве пластичне деформування.

**Tarelnik V.B., Antoshevsky B. SHAFT NECKS QUALITY IMPROVEMENT BY ELECTROEROSIVE ALLOY METHOD WITH THE SUBSEQUENT SUPERFICIAL PLASTIC DEFORMATION**

Presented the technique design of the center deformation geometrical parameters for surface layers with complex structure, which receive at an electroerosive alloy. It is developed on the basis of the main geometrical parameters of center deformation calculation for homogeneous bodies by M. Drozds engineering method and is based on concept of plastic hardness. Transition from Brinell hardness, the parameter describing resistance of metal to a contact stressing, to the plastic hardness interpreted as the material hardening module, allows to consider this value as the characteristic of contact plastic deformation material resistance.

Lead the analysis of the is intense-deformed condition of a surface layer of a part from steel 45, after electroerosive alloy by firm wearproof, soft antifrictional metals, carbon and the put combined electroerosive coverings with the subsequent superficial plastic deformation. The assaying of structure and properties of the generated superficial courses is lead. On the basis of the lead explorations the technology of rotors shaft necks quality improvement is developed at their manufacture and repair. The developed technology examples application are resulted.

**Keywords:** electroerosive alloy, combined coverings, surface plastic deformation.

Стаття надійшла в редакцію: 25.09.2013р.

Рецензент: д.т.н., професор Кочмола М.М.

УДК 621.9.048

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПРЕССОВЫХ ПОСАДОК ОТ ФРЕТТИНГ-КОРРОЗИИ**

**В. Б. Тарельник**, д.т.н., професор,

**М. П. Братушак**, ст. преподаватель,

**С. Г. Никоноров**, ст. преподаватель.

Сумский национальный аграрный университет

Представлены результаты исследований качественных параметров поверхностных слоев, цементированных методом электроэрозионного легирования стальных деталей, а так же деталей, покрытых мягкими антифрикционными металлами, после безабразивной ультразвуковой финишной обработки. Поверхностные слои, сформированные по предлагаемым интегрированным технологиям, могут служить альтернативой покрытиям, используемым при защите контактирующих поверхностей деталей прессовых посадок против фреттинг-коррозии.

**Ключевые слова:** деталь, фреттинг-коррозия, обработка, электроэрозионное легирование.

**Постановка проблемы в общем виде.**

Одним из наиболее распространенных узлов в механизмах и машинах является прессовое

соединение или соединение с гарантированным натягом. Такие соединения широко применяются в машиностроении при изготовлении роторов

Вісник Сумського національного аграрного університету

турбин, компрессоров и насосов, валов с зубчатыми колесами редукторов, осей и валов сельскохозяйственных машин и др.

Наиболее характерными случаями отказов работы прессовых и прессово-шпоночных соединений являются нарушение прочности сопряжения, фреттинг-усталостные повреждения и поломки вследствие усталости. Поэтому повышение работоспособности этих соединений является одной из важнейших задач в обеспечении надежности и долговечности деталей машин.

Фреттинг-коррозия наблюдается при различных прессовых посадках на вращающихся валах, в местах посадки лопаток турбин, в шлицевых, шпоночных, болтовых и заклепочных соединениях.

#### Анализ последних исследований и публи-



Рис. 1. Фреттинг-коррозия внутренней поверхности защитной втулки (а) и шейки ротора (б).

Повреждения от фреттинг-коррозии зависят от многих факторов: амплитуды относительного проскальзывания, контактного давления, количества циклов, частоты колебаний, материала и окружающей среды.

Для существенного повышения несущей способности прессовых соединений в последнее время широкое развитие получило направление, связанное с введением в зону контакта мягких и твердых прослоек [2-6].

В [7] автор приводит результаты работ А. Тума и Ф. Вундерлиха в которых отмечается значительный эффект повышения предела выносливости валов с напрессованными деталями путем цементации. Было установлено, что на предел выносливости образцов диаметром 12 мм с запрессованными втулками влияла поводка их при закалке. После принятия мер против поводки предел выносливости повысился с 137,3 до 412,0 МПа. По данным Э. Лера предел выносливости цементированных образцов диаметром 60 мм в запрессовке повысился более чем в два раза.

Анализ литературных источников показывает отсутствие единого механизма защиты от фреттинг-коррозии. Уменьшить фреттинг-коррозию можно за счет повышения твердости поверхностного слоя одной из деталей сопряжения, так как повышение твердости поверхности способствует снижению взаимного внедрения

#### ликаций.

Изнашивание при фреттинг-коррозии возникает при малых колебательных, циклических, возвратно-поступательных перемещениях с малыми амплитудами.

В результате фреттинг-коррозии снижается усталостная прочность деталей, что может явиться причиной серьезных аварий. На рис. 1 показаны внутренние поверхности защитной втулки и шейки вала ротора воздушного компрессора 101JT, пораженные фреттинг-коррозией. В результате фреттинг-коррозии в районе шпоночного паза зародилась усталостная трещина, которая впоследствии развилась до 180°C. Благодаря своевременному обнаружению авария была предотвращена [1].

деталей и, как результат, - меньшему износу.

Установлено также, что фреттинг-коррозию деталей можно уменьшить или полностью исключить, изменяя качественные параметры их поверхностных слоев, например, нанесением коррозионно-стойких защитных покрытий требуемой твердости, толщины и коэффициента трения, прочно соединенных с основной деталью и не снижающих их усталостную прочность.

Одним из наиболее перспективных способов формирования поверхностных слоев деталей с требуемыми свойствами является метод электроэрозионного легирования (ЭЭЛ) [8]. Метод имеет ряд специфических особенностей, одной из которых является то, что процесс легирования может происходить без переноса материала анода на поверхность катода и не образовывать прирост материала, например, при ЭЭЛ графитовым электродом.

Способ ЭЭЛ графитовым электродом основан на процессе диффузии (насыщении поверхностного слоя детали углеродом) и имеет определенное сходство с разновидностью химико-термической обработки - цементацией.

По сравнению с обычной цементацией, способ цементации стальных деталей электроэрозионным легированием не только обладает всеми достоинствами сравниваемого метода, то есть упрочнение поверхности детали осуществ-

ляется при сохранении свойств ее исходного материала, но, кроме того, не происходит ее коробления, а малогабаритные установки позволяют выполнять упрочнение на любом имеющемся оборудовании. Производительность процесса при этом составляет 1-5 мин /см<sup>2</sup>.

При ЭЭЛ графитовым электродом упрочнение поверхности детали происходит за счет диффузионно-закалочных процессов, заключающихся в локальном насыщении ее углеродом, при достаточно высокой температуре (до 10000°С), с последующим быстрым охлаждением до практически комнатной температуры самой детали.

Цементацию стальных деталей электроэрозийным легированием (ЦЭЛ) можно выделить в отдельное направление, позволяющее формировать на деталях машин поверхностные слои повышенной износостойкости без изменения исходного размера детали [9].

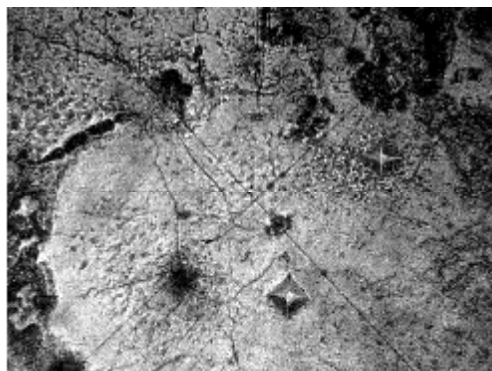
При ЦЭЛ стальных деталей толщина упрочненного слоя зависит от энергии разряда и времени легирования (производительности процесса). С увеличением энергии разряда и времени легирования толщина упрочненного слоя увеличивается. При этом возрастает и шероховатость

поверхности. Так при ЭЭЛ углеродом среднеуглеродистой легированной стали 40X (Ra = 0,5мкм) с производительностью 5 мин/см<sup>2</sup> при энергии разряда 6,8 Дж толщина слоя повышенной твердости составляет более 1,15 мм. Шероховатость поверхности при этом соответствует Ra = 11,7-14,0 мкм.

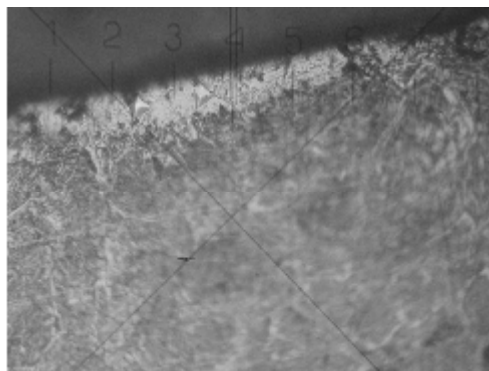
С целью снижения шероховатости поверхности после ЦЭЛ применяют, как правило, методы поверхностно-пластического деформирования (ППД).

Среди методов ППД особого внимания заслуживают: обкатывание шариком и ультразвуковое упрочнение - метод безабразивной ультразвуковой финишной обработки (БУФО).

Следует отметить, что применение методов ППД не всегда приводит к желаемым результатам. Так, при обкатке шариком, незначительное превышение (на 10%) необходимого удельного усилия обкатки, обуславливает возникновение в поверхностном слое, предварительно ЭЭЛ углеродом, микротрещин (рис. 1) [3]. Микротрещины, являясь концентраторами напряжений, могут привести к разрушению деталей, особенно тех, которые в процессе работы подвергаются знакопеременным нагрузкам.



а



б

Рис. 2. Структура и микротвердость стали 40X на поверхности (а) и по глубине слоя (б) после ЭЭЛ (графитом ЭГ-4) + ППД (обкатка шариком Ø 10 мм с максимальным удельным усилием P = 1650 Н).

В последнее время, с целью снижения шероховатости поверхности, применяют метод БУФО (рис. 3).

Несмотря на то, что последующая обработка БУФО значительно снижает шероховатость поверхности, для многих деталей машин это явля-

ется недостаточным.

Применение после ЦЭЛ шлифовки не представляется возможным, так как в данном случае удаляется, как минимум 50-100 мкм поверхностного слоя, причем слоя с наибольшей твердостью.

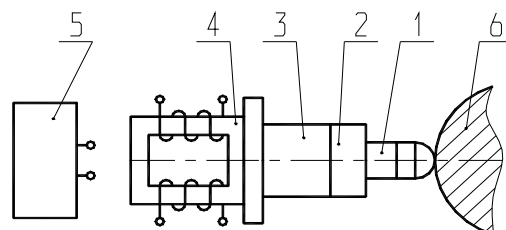


Рис. 3. Схема ультразвуковой установки с деформирующим инструментом в виде полусферы: 1 – деформирующий инструмент; 2 – концентратор УЗК; 3 – волновод; 4 – преобразователь УЗК; 5 – генератор; 6 – обрабатываемая деталь.

**Формулирование цели статьи.** Таким образом, целью работы является повышение качества ЦЭЛ поверхностного слоя деталей технологичными методами.

**Изложение основного материала исследований.**

Качество цементированного слоя можно повысить как за счет выбора наиболее рациональных режимов обработки, так и за счет нанесения на цементированный слой мягких антифрикционных материалов, например, меди, серебра и др. и последующей обработки БУФО.

**Повышение качества цементированного слоя путем выбора наиболее рациональных режимов ЭЭЛ**

С целью снижения шероховатости поверхности деталей машин, с сохранением качества поверхностного слоя (отсутствие микротрещин, наличие слоя повышенной твердости, 100%-я

сплошность и др.) и таким образом расширения области их применения, предлагается после ЭЭЛ углеродом (графитовым электродом) производить легирование этим же электродом, но поэтапно. На каждом последующем этапе необходимо использовать режим ЭЭЛ с такой энергией разряда, при которой шероховатость поверхности этого же, но нелегированного (исходного) материала была бы в 2-3 раза ниже, чем на предыдущем этапе. При этом если величина шероховатости снижается в два раза, то легирование проводить за 1 проход, а если в три раза, то за 2 прохода. Один проход соответствует 100% обработки всей поверхности изделия с производительностью, соответствующей используемой энергии разряда.

Производительность процесса ЭЦ, в зависимости от режима легирования представлена в табл. 1.

Таблица 1. Производительность процесса ЦЭЛ, в зависимости от режима легирования

|  |     |      |      |     |      |     |     |
|--|-----|------|------|-----|------|-----|-----|
| Энергия разряда ( $W_p$ ), Дж            | 0,1 | 0,31 | 0,53 | 0,9 | 2,83 | 3,4 | 6,8 |
| Производительность ЭЦ, м/см <sup>2</sup> | 2,0 | 1,0  | 1,0  | 1,0 | 0,5  | 0,5 | 0,5 |

Ниже приведена методика и результаты проведенных исследований.

ЭЦ выполнялась на переносных установках ЭЭЛ с ручным вибратором, обеспечивающих энергию разряда в диапазоне 0,1...0,53 Дж «Элитрон - 22А» и установки электроэрозионного легирования большей мощности - «Элитрон - 52А» с энергией разряда до 6,8 Дж.

Процесс ЦЭЛ проводился в автоматическом режиме с помощью специального приспособления на различных режимах в диапазоне энергий разряда ( $W_p$ ) от 0,1 до 6,8 Дж.

Для исследований использовали специальные образцы, изготовленные из сталей 38ХМЮА, 40ХН2МА в виде катушки, состоящей из двух дисков, диаметром 50 мм и шириной 10 мм, соединенных между собой проставкой диаметром 15 мм и имеющей два технологических участка такого же диаметра (рис 4, а). Поверхности дисков перед ЭЦ шлифовались до Ra = 0,5 мкм. Об-

разцы закреплялись в патроне токарного станка, после чего производилась ЦЭЛ (рис. 5) и обработка БУФО. Кроме того, для исследований использовались плоские образцы из стали 20, размером 20x40x5 мм. На всех этапах обработки измерялась шероховатость поверхности на приборе профилографе-профилометре мод. 201 завода «Калибр». Дальше круглые образцы разрезались на отдельные диски (диаметром 50 мм и шириной 10 мм) (рис. 4, б). Из дисков, в свою очередь, вырезались отдельные сегменты, а из плоских образцов параллелепипеды размером 10x10x5 мм из которых изготавливались шлифы для металлографических и дюрOMETрических исследований. Кроме того плоские образцы исследовались на электронном микроскоп-анализаторе "PEM - 106 И" производства ОАО «SELMI», г. Сумы, где проводилась оценка качества и топографии поверхностного слоя.



а



б

Рис. 4. Стальные образцы для исследования результатов ЦЭЛ.



Рис. 5. ЦЭЛ с использованием токарного станка.

ЦЭЛ производилась графитовыми электродами марки ЭГ-4 с производительностью 5 мин/см<sup>2</sup>. При ЦЭЛ круглых образцов из сталей 38ХМЮА и 40ХН2МЮА с энергией разряда  $W_p = 0,53$  Дж шероховатость поверхности (Ra) повышается с 0,5 до 1,4-1,7 мкм. Окончательная обработка БУФО снижает шероховатость поверх-

ности до Ra = 0,6 мкм. Толщина упрочненного слоя в этом случае не превышает 35 мкм, а микротвердость, соответственно 950 и 800 HV.

С увеличением режима ЦЭЛ до  $W_p = 0,9$  Дж глубина упрочненного слоя увеличивается до 150 – 170 мкм (рисунки 5 и 6). Микротвердость на поверхности составляет, соответственно, для сталей 38ХМЮА и 40ХН2МЮА 1350 и 760 HV. По мере углубления микротвердость снижается и плавно переходит в твердость основы, соответственно, для сталей 38ХМЮА и 40ХН2МЮА 225 и 260 HV. Шероховатость поверхности в свою очередь увеличивается до Ra = 1,6 – 2,0 мкм. Последующая обработка БУФО снижает шероховатость поверхности до Ra = 0,8-0,9 мкм, что является недостаточным для многих деталей машин. Дальнейшее увеличение толщины слоя повышенной твердости сопровождается формированием еще большей шероховатости поверхности.

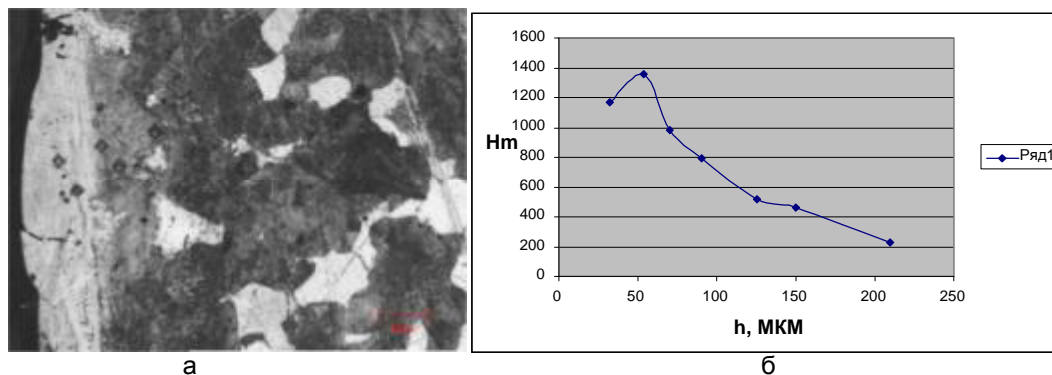


Рис. 6. Распределение микротвердости по глубине слоя при ЭЭЛ стали 38ХМЮА углеродом ( $W_p = 0,9$  Дж).

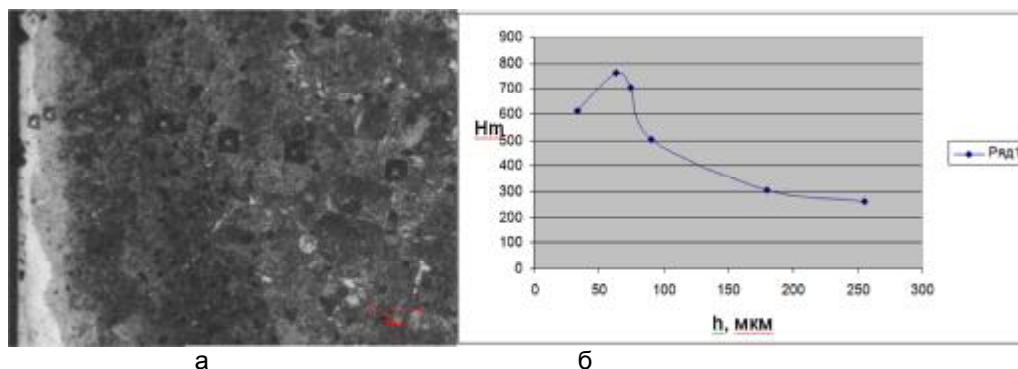


Рис. 7. Распределение микротвердости по глубине слоя при ЭЭЛ стали 40ХН2МЮА углеродом ( $W_p = 0,9$  Дж).

Результаты исследований параметров качества поверхностного слоя (общей толщины слоя повышенной твердости; максимальной микротвердости на поверхности, HV; шероховатости после ЭЦ и БУФО) сталей 38ХМЮА и 40ХН2МЮА сведены в табл. 2.

В табл. 3 представлены результаты максимального снижения величины шероховатости образцов после ЦЭЛ при использовании режимов легирования с различной энергией разряда. Так, например, после ЦЭЛ стали 38ХМЮА при энергии разряда 2,83 Дж шероховатость поверх-



ности составляет  $Ra = 5,7-6,9$  мкм. После ЭЛ графитовым электродом с производительностью  $2 \text{ мин/см}^2$  (2 прохода с производительностью  $1 \text{ мин/см}^2$ ) и использованием режима с энергией разряда  $0,9 \text{ Дж}$  шероховатость поверхности со-

ставляет  $Ra = 1,7-2,2$  мкм. Дальнейшее увеличение производительности легирования (числа проходов) не способствует снижению величины шероховатости поверхности.

Таблица 2. Результаты исследования стальных образцов после ЦЭЛ и БУФО

| Маркастали | Энергия разряда, $W_p$ , Дж | Общая глубина слоя, мкм | Максимальная микротвердость на поверхности, HV | Шероховатость, $Ra$ , мкм |            |
|------------|-----------------------------|-------------------------|--|---------------------------|------------|
|            |                             |                         |  | после ЭЦ                  | после БУФО |
| 38ХМЮА     | 0,1                         | 10                      | 900  | 0,8-0,9                   | 0,2        |
|            | 0,31                        | 20                      | 900  | 0,9-1,0                   | 0,3        |
|            | 0,53                        | 35                      | 950  | 1,4-1,7                   | 0,6        |
|            | 0,9                         | 170                     | 1350   | 1,6-2,0                   | 0,8        |
|            | 2,83                        | 215                     | 980  | 5,7-6,9                   | 1,5        |
|            | 3,4                         | 230                     | 960  | 8,3-8,5                   | 2,3        |
|            | 6,8                         | 370                     | 1010   | 11,9-14,0                 | 3,2        |
| 40ХН2МЮА   | 0,1                         | 10                      | 900  | 0,8-0,9                   | 0,2        |
|            | 0,31                        | 20                      | 900  | 0,9-1,0                   | 0,3        |
|            | 0,53                        | 37                      | 800  | 1,4-1,7                   | 0,6        |
|            | 0,9                         | 163                     | 760  | 1,7-2,0                   | 0,9        |
|            | 2,83                        | 245                     | 1002   | 5,7-6,7                   | 1,5        |
|            | 3,4                         | 262                     | 1006   | 8,6-8,9                   | 2,3        |
|            | 6,8                         | 380                     | 1070   | 11,9-14,1                 | 3,2        |

Таблица 3. Результаты максимального снижения шероховатости поверхности стальных образцов после ЦЭЛ при использовании режимов легирования с различной энергией разряда

| Маркастали | Энергия разряда, $W_p$ , Дж | Шероховатость, $Ra$ , мкм             |                             |                      |                     |                     |                       |                       |
|------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
|            |                             | Производительность, $\text{мин/см}^2$ |                             |                      |                     |                     |                       |                       |
|            |                             | после ЭЦ                              | Энергия разряда, $W_p$ , Дж |                      |                     |                     |                       |                       |
|            |                             |                                       | 0,1                         | 0,31                 | 0,53                | 0,9                 | 2,83                  | 3,4                   |
| 38ХМЮА     | 0,1                         | 0,8-0,9                               |                             |                      |                     |                     |                       |                       |
|            | 0,31                        | 0,9-1,0                               | $\frac{0,8-0,9}{2}$         |                      |                     |                     |                       |                       |
|            | 0,53                        | 1,4-1,7                               | $\frac{0,8-0,9}{2}$         | $\frac{0,9-1,0}{1}$  |                     |                     |                       |                       |
|            | 0,9                         | 1,7-2,1                               | $\frac{0,9-1,0}{2}$         | $\frac{1,0-1,1}{1}$  | $\frac{1,4-1,7}{1}$ |                     |                       |                       |
|            | 2,83                        | 5,7-6,9                               | $\frac{1,1-1,2}{14}$        | $\frac{1,2-1,3}{6}$  | $\frac{1,6-1,9}{3}$ | $\frac{1,7-2,2}{2}$ |                       |                       |
|            | 3,4                         | 8,3-8,9                               | $\frac{1,3-1,6}{18}$        | $\frac{1,4-1,7}{7}$  | $\frac{2,0-2,3}{4}$ | $\frac{2,3-2,7}{3}$ | $\frac{5,7-6,7}{0,5}$ |                       |
|            | 6,8                         | 11,9-14,0                             | $\frac{1,6-1,9}{25}$        | $\frac{1,8-2,1}{13}$ | $\frac{2,4-2,6}{8}$ | $\frac{2,6-3,1}{5}$ | $\frac{6,3-6,9}{0,5}$ | $\frac{8,5-9,0}{0,5}$ |
| 40ХН2МЮА   | 2,83                        | 5,7-6,7                               | $\frac{1,0-1,1}{14}$        | $\frac{1,2-1,3}{6}$  | $\frac{1,5-1,8}{3}$ | $\frac{1,7-2,1}{2}$ |                       |                       |
| 12Х18Н10Т  | 2,83                        | 2,9-3,7                               | $\frac{0,8-0,9}{14}$        | $\frac{1,0-1,2}{6}$  | $\frac{1,5-1,8}{3}$ | $\frac{1,7-2,0}{2}$ |                       |                       |

После ЭЛ стали 38ХМЮА графитовым электродом с использованием режимов с энергиями разряда  $0,53$ ;  $0,31$  и  $0,1 \text{ Дж}$  и производительностью, соответственно  $3$ ;  $6$  и  $14 \text{ мин/см}^2$  шероховатость поверхности составляет, соответственно  $Ra = 1,6-1,9$ ;  $1,2-1,3$  и  $1,1-1,2$  мкм. Дальнейшее увеличение производительности легирования на исследованных режимах не способствует снижению величины шероховатости поверхности.

Таким образом, чтобы максимально снизить шероховатость поверхности, например, стали 38ХМЮА после ЦЭЛ с энергией разряда  $6,8 \text{ Дж}$ , которая составляет  $Ra = 11,9-14,0 \text{ Дж}$  необходимо:

- на первом этапе произвести ЭЛ графитом при  $W_p = 2,83 \text{ Дж}$  (т.е. с энергией разряда, обеспечивающей снижение величины шероховатости

при ЭЦ ~ в 2 раза с  $11,9-14,0$  до  $5,7-6,9$  мкм) с производительностью  $0,5 \text{ мин/см}^2$ . Шероховатость поверхности после ЭЛ на первом этапе составляет  $Ra = 6,3-6,9$  мкм;

- на втором этапе произвести ЭЛ графитом при  $W_p = 0,9 \text{ Дж}$  (т.е. с энергией разряда, обеспечивающей снижение величины шероховатости при ЭЦ ~ в 3 раза с  $6,3-6,9$  до  $1,7-2,1$  мкм) с производительностью  $2 \text{ мин/см}^2$ . Шероховатость поверхности после ЭЛ на втором этапе составляет  $Ra = 1,7-2,2$  мкм;

- на третьем этапе произвести ЭЛ графитом при  $W_p = 0,1 \text{ Дж}$  (т.е. с энергией разряда, обеспечивающей снижение величины шероховатости при ЭЦ ~ в 2 раза с  $1,7-2,2$  до  $0,8-0,9$  мкм) с производительностью  $2 \text{ мин/см}^2$ . Шероховатость поверхности после ЭЛ на третьем этапе со-

ставляет  $R_a = 0,8-0,9$  мкм.

Следует отметить, что одноэтапное ЭЭЛ графитовым электродом, с целью снижения шероховатости поверхности этой же стали после ЭЦ с энергией разряда 6,8 Дж, на любом режиме не позволяет достичь аналогичных результатов. Так например, последующее легирование при  $W_p = 0,1$  Дж с производительностью 25 мин/см<sup>2</sup> позволяет снизить шероховатость поверхности до

$R_a = 1,6-1,9$  мкм.

Для сравнения в табл. 3 приведены результаты поэтапного снижения шероховатости сталей 40ХН2МЮА и 12Х18Н10Т после ЭЦ с мощностью разряда  $W_p = 2,83$  Дж.

Аналогичные исследования проводились на плоских образцах из стали 20. Результаты измерения шероховатости поверхности образцов до упрочнения сведены в табл. 4.

Таблица 4. Исходная шероховатость поверхности образцов из стали 20

| Значение шероховатости поверхности в отдельных точках, мкм |      |      |      |      |      | Среднее значение параметра шероховатости, мкм |       |
|--|------|------|------|------|------|---|-------|
| $R_a$  |      |      |      |      |      | $R_a$   | $R_z$ |
| 0,70   | 0,39 | 0,51 | 0,59 | 0,67 | 0,45 |   |       |
| $R_z$  |      |      |      |      |      |   |       |
| 2,00   | 1,11 | 1,46 | 1,58 | 1,96 | 1,35 | 0,55  | 1,58  |

Таблица 5. Шероховатость поверхности образцов из стали 20 после ЦЭЛ с энергией разряда  $W_p = 2,83$  Дж

| Значение шероховатости поверхности в отдельных точках, мкм |       |       |       |       |       |       | Среднее значение параметра шероховатости, мкм |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|-------|
| $R_a$  |       |       |       |       |       |       | $R_a$   | $R_z$ |
| 5,10   | 5,00  | 4,64  | 4,43  | 4,49  | 5,20  | 4,70  |   |       |
| $R_z$  |       |       |       |       |       |       |   |       |
| 14,42  | 14,14 | 13,40 | 12,50 | 12,70 | 14,70 | 13,52 | 4,79  | 13,62 |

Образец № 1 подвергался ЦЭЛ, при этом энергия разряда составляла  $W_p = 2,83$  Дж. Результаты измерения шероховатости поверхности после упрочнения сведены в табл. 5.

Образец № 2 подвергался ЦЭЛ поэтапно при

энергиях разряда  $W_p = 2,83; 0,9$  и  $0,1$  Дж с производительностью, соответственно, 0,5; 2,0 и 2,0 мин/см<sup>2</sup>. Результаты измерения шероховатости поверхности сведены в табл. 6.

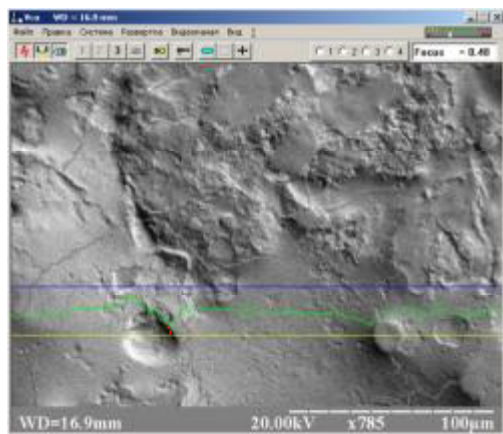
Таблица 6. – Шероховатость поверхности образцов из стали 20 после поэтапной цементации с энергиями разряда  $W_p = 2,83; 0,9$  и  $0,1$  Дж

| Значение шероховатости поверхности в отдельных точках, мкм |      |      |      |      |      |      | Среднее значение параметра шероховатости, мкм |       |
|--|------|------|------|------|------|------|---|-------|
| $R_a$  |      |      |      |      |      |      | $R_a$   | $R_z$ |
| 1,10   | 1,14 | 0,98 | 1,21 | 0,90 | 1,29 | 1,11 |   |       |
| $R_z$  |      |      |      |      |      |      |   |       |
| 3,05   | 3,23 | 2,77 | 3,42 | 2,56 | 3,76 | 3,18 | 1,10  | 3,14  |

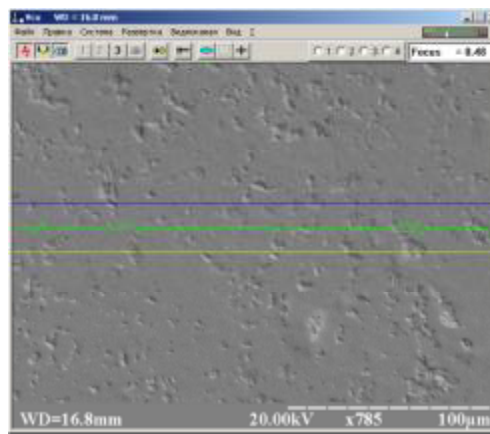
Ниже приведены результаты исследований на электронном микроскопе-анализаторе "РЕМ - 106 И", где проводилась оценка качества и топографии поверхностного слоя.

На рис. 8. изображены участки поверхности образцов № 1 и № 2 при одинаковом увеличении. Поверхности изображены в режиме, который подчеркивает рельеф поверхности (режим «То-

ро»). Желтая линия соответствует 0, синяя 1 яркости. Зеленая линия показывает распределение контрастности вдоль желтой (базовой) линии. Поскольку изображение получено в режиме, когда контрастность формируется преимущественно микрорельефом поверхности, то можно по высоте зубьев на зеленой линии оценивать микронеровности данного микрорельефа.



а



б

Рис.8.Участки поверхности образца № 1 (а) и № 2 (б)

Нижче на рисунках 9 и 10 представленны микрошлифы и распределение микротвердости в поверхностном слое стали 20 образцов № 1 и № 2.

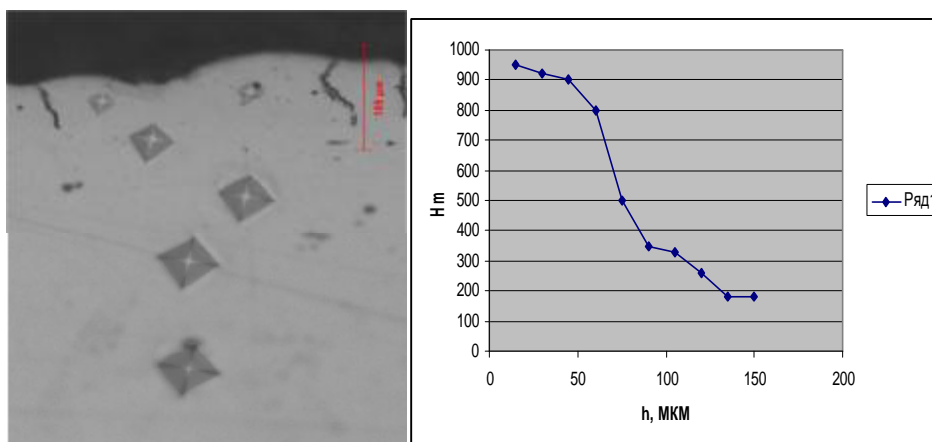


Рис. 9. Микрошлиф и распределение микротвердости в поверхностном слое стали 20 образца № 1

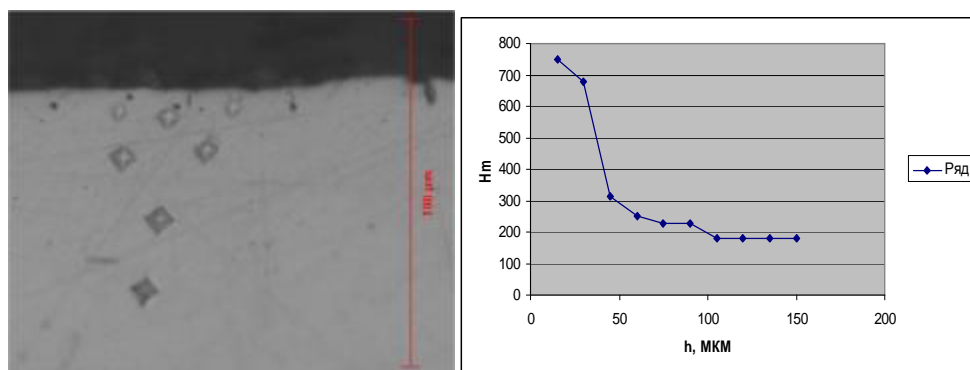


Рис. 10. Микрошлиф и распределение микротвердости в поверхностном слое стали 20 образца № 2

Анализируя распределение микротвердости в образцах №1 (цементация методом ЭЭЛ при  $W_p = 2,83$  Дж) и № 2 (поэтапная цементация методом ЭЭЛ при  $W_p = 2,83; 0,9$  и  $0,1$  Дж) можно сказать, что в обоих случаях наибольшая микротвердость отмечается в приповерхностных слоях.

Для образца № 1 она составляет 920 – 950 HV и глубиной распространения до 60 мкм, а для образца № 2, соответственно - 690 – 720 HV и 30 мкм. По мере углубления, для обоих образцов величина микротвердости плавно снижается, и на глубине 130 и 100 мкм соответствует микротвердости основы – 180HV.

Снижение глубины и микротвердости упрочненного слоя для образца № 2 можно объяснить тем, что при поэтапной ЦЭЛ поэтапно снижается энергия разряда с  $W_p = 2,83$  до  $0,9$  и  $0,1$  Дж, постепенно уменьшается зона термического влияния и в уже упрочненном слое происходит отпуск – нагрев закаленного сплава ниже температуры фазового превращения.

Таким образом, в результате поэтапной це-

ментации:

- снижается шероховатость поверхностного слоя с  $Ra = 4,79$  до  $Ra = 1,10$  мкм и с  $Rz = 13,62$  до  $Rz = 3,14$  мкм;

- снижается микротвердость в «белом слое» (приповерхностном слое повышенной твердости) с 920 – 950 HV до 690 – 720 HV;

- снижается с 130 до 100 мкм общая глубина зоны повышенной твердости поверхностного слоя.

#### ВЫВОДЫ:

1. В результате нанесения на поверхность, цементированных методом ЭЭЛ деталей, мягких антифрикционных металлов, например, меди или серебра, можно существенно повысить качество их поверхностного слоя. При последующей обработке БУФО можно получить износостойкий слой с требуемой шероховатостью.

2. Мягкие антифрикционные покрытия, наносимые на цементированные методом ЭЭЛ участки, можно использовать в парах трения для обработки поверхностей деталей.



### Список использованной литературы:

1. Тарельник В.Б. Модернизация и ремонт роторных машин: монография / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковский. - Сумы: Издательство «Казацкий вал», 2005.-364 с.
2. Гаркунов Д.Н. Триботехника / Гаркунов Д.Н. . – М.: Машиностроение, 1989. – 327с.
3. Уотерхауз Р.Б. Фреттинг – коррозия / Уотерхауз Р.Б. Пер. с англ. – Л.: Машиностроение, 1976. – 270 с.
4. Тарельник В.Б. Проблеми захисту деталей гнучких муфт турбокомпресорів від фретінг-корозії /Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Братушак М.П. // Вісник СНАУ. – Випуск 12, 2004.– с. 89-95.
5. Пат. 66105 Україна, МПК (2006) В23Н 5/00. Спосіб обробки сполучних поверхонь деталей (варіанти) / Марцинковський В.С., Тарельник В.Б.; заявл. 25.07.2003; опубл. 10.04.08, Бюл. № 7.
6. Пат. № 2410212 Российская Федерация, МПК В23Н 9/00.Способ обработки сопрягаемых поверхностей стальных или чугунных деталей / Марцинковский В.С., Тарельник В.Б., Коноплянченко Е.В., Олейник И.А.; заявл.24.02.09; опубл. 27.01.11, Бюл. № 3.
7. Л.Т. Балацкий. Прочность прессовых соединений /Л.Т. Балацкий. – К.: Техніка, 1982. – 152с.
8. Тарельник В.Б. Управление качеством поверхностных слоев деталей комбинированным электроэрозионным легированием / Тарельник В.Б. . – Сумы.: Изд-во «МақДен», 2002. – 323 с.
9. Пат. 2337796. Российская Федерация. МПК В 23Н 9/00. Способ цементации стальных деталей электроэрозионным легированием / Марцинковский В.С., Тарельник В.Б., Белоус А.В.; заявл. 05.10.2006; опубл. 10.04. 2008, Бюл. № 31.- 3с.

### **Тарельник В.Б., Братушак М.П., Ніконов С.Г. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ПРЕСОВИХ ПОСАДОК ВІД ФРЕТТИНГ-КОРОЗІЇ**

*Представлені результати досліджень якісних параметрів поверхневих шарів, цементованих методом електроерозійного легування сталевих деталей, а також деталей, покритих м'якими антифрикційними металами, після безабразивної ультразвукової фінішної обробки. Поверхневі шари, сформовані по пропонованих інтегрованих технологій, можуть служити альтернативою покриттях, використовуваним при захисті контактуючих поверхонь деталей пресових посадок проти фреттинга - корозії.*

**Ключові слова:** деталь, фреттинг-корозія, обробка, електроерозійне легування.

### **Tarelnik V.B., Bratuschak M.P.; Nikonov S.G. STUDY DETAILS TECHNOLOGY TO PROTECT SURFACES PRESSING LANDINGS FROM FRETTING**

**Abstract.** *The results of qualitative research of the surface layers which were cemented by EDM alloying of steel parts, as well as parts with a soft bearing metal after nonabrasive ultrasonic finishing were presented.*

*Surface layers formed on the proposed integrated technologies can serve as an alternative coatings used in the protection of the contacting surfaces of parts landings pressing against fretting corrosion .*

*One of the most common sites in the mechanisms and machines is forging connection or with guaranteed tension.*

*Such compounds are widely used in mechanical engineering in the manufacture of turbine rotors, compressors and pumps, shafts with gear wheels, axles and shafts and other agricultural machines.*

*The most characteristic of work refusal of pressing and pressing-keyed connections are a violation of the strength of coupling, fretting fatigue damage and breakage due to fatigue .*

*Therefore, improving the efficiency of these compounds is one of the most important tasks in ensuring the reliability and durability of machine parts.*

*Fretting corrosion is observed in various press fit on rotating shafts, landing in places turbine blades in splined, splined, bolted and riveted joints.*

*Wear when fretting occurs at low vibrational, cyclic reciprocating movements with small amplitudes.*

*As a result of applying the surface -hardened by alloying electroerosion parts of soft anti-friction metal, such as copper or silver, can significantly improve the quality of their surface layer. On the subsequent nonabrasive finish sonication can be wear layer with the desired roughness.*

*Soft anti-friction coatings deposited on cemented areas by spark-doping can be used in friction pairs for the running surfaces of the parts.*

**Key words:** *machine parts, fretting corrosion, processing, alloying electroerosion.*

Стаття надійшла в редакцію: 14.09.2013р.

Рецензент: д.ф.-м.н., професор Кузема О.С.