

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ И ЛАЗЕРНОЕ ТЕКСТУРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ СКОЛЬЖЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ УПЛОТНЕНИЙ

© 2012 Б. Антошевский¹, В. Б. Тарельник², В. С. Марцинковский²

¹Политехнический университет, г. Кельце, Польша

²Сумский национальный аграрный университет, Украина

Представлены результаты текстурирования металлической поверхности лазерным и электроэрозионным методами. Определена перспектива их использования в торцовых уплотнениях бесконтактного типа.

Бесконтактное торцовое уплотнение, контактная поверхность, текстурирование, металлографическое исследование.

Постановка проблемы в общем виде.

Классическая теория уплотнения в отношении к торцовым уплотнениям основана на решении модели течения жидкости через плоскую щель с небольшой высотой. В настоящее время эти модели не являются источником современных представлений, касающихся объяснения процессов, протекающих в щели, а их практическое значение ограничивает значительная зависимость от её высоты. Определение высоты щели сводится к использованию эмпирических формул, применяемых для определённых материалов, а также технологий поверхностной обработки. В отдельных случаях целесообразно принимать высоту щели как переменную величину. Такой подход позволяет рассматривать модель уплотнения с постоянной либо переменной высотой щели, а также с эксцентриситетом относительно работающих поверхностей и их шероховатостью. Эти факторы могут рассматриваться как совместно, так и раздельно. Практическая ценность модели, связывающей многие факторы, влияющие на геометрию щели, имеет ограничения из-за трудностей в определении воздействия этих факторов. В настоящее время при исследовании процессов, протекающих в щели торцевого уплотнения, всё чаще используют модели с неоднородными поверхностями. В качестве неоднородных поверхностей понимают поверхности, содержащие отдельные регулярные области, которые можно описать иными, чем остальные части поверхности, геометрическими, физико-механическими и физико-химическими свойствами. При создании областей с неоднородными поверхностями используются другие технологии, чем для ос-

тальной поверхности. Неоднородности могут быть представлены как:

- углубления в поверхности колец скольжения (канавки, шлицы), сформированные фрезерованием, химическим травлением, лазерной обработкой;

- области, обладающие другими физико-химическими и механическими свойствами, например поверхности с различной местной твёрдостью и механической прочностью, полученные путём локальной поверхностной обработки: лазером, электроэрозионным легированием (ЭЭЛ), химико-термической обработкой;

- области с разной микрогеометрией поверхности, например эродированные в точке (лазерная обработка) или имеющие сформированную микрогеометрию поверхности в пределах её несущей области (лазерные и электроэрозионные технологии).

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время в соответствии с новыми технологиями (лазерные, электроэрозионные) наблюдается повышенная заинтересованность в текстурировании поверхности. Этот метод всё чаще применяется с целью увеличения несущей способности пары трения скольжения и уменьшения сопротивления при трении. Метод имеет широкое применение при изготовлении уплотнений [1].

Различают много различных методов текстурирования поверхности. Основными из них являются методы химического травления через маску (оболочку), эрозионные и электроэрозионные методы, а также методы с использованием лазерной техники. На рис. 1 указана схема эрозионного и лазерного методов текстурирования поверхности. Каж-

дый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки.

В случае использования лазерной техники, которая может применяться в различных вариантах при единичном импульсе лазерного излучения в зависимости от параметров лазерного пучка, а также свойств материала, возможным становится формирование углублений в виде S, V и W (рис. 2).

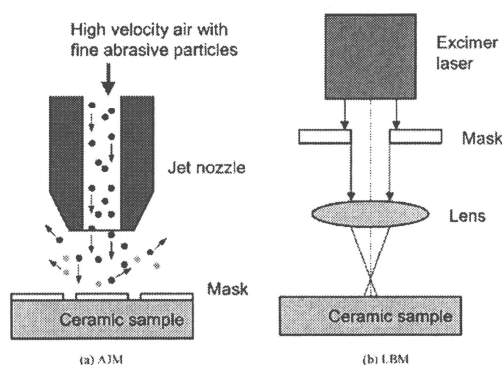


Рис. 1. Схема эрозионного и лазерного методов текстурирования поверхности [2]

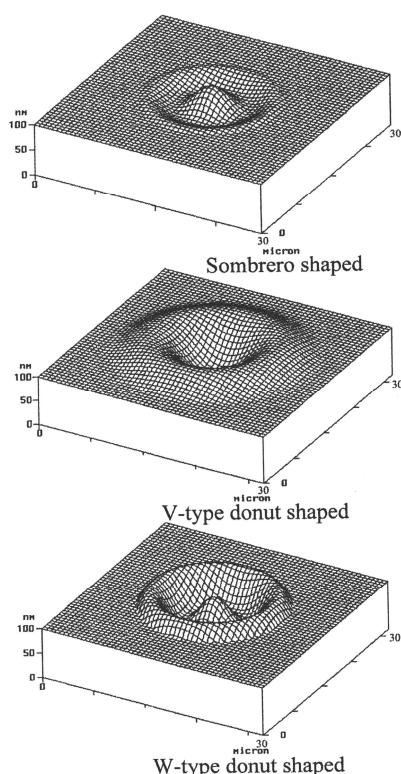


Рис. 2. Модельные формы углублений, полученные в результате единичного импульса лазера [3]

Независимо от формы углубления и окружающей среды возникают изменения свойств материала, вызывающие, в свою очередь, изменения реакции на нагрузку.

Довольно широкие возможности для создания текстуры имеет электроэрозионный метод, однако до настоящего времени он недостаточно изучен. В [4] после электроэрозионной обработки и последующего обкатывания поверхности роликами получали структуру, удобную с точки зрения смазывания (рис. 3).

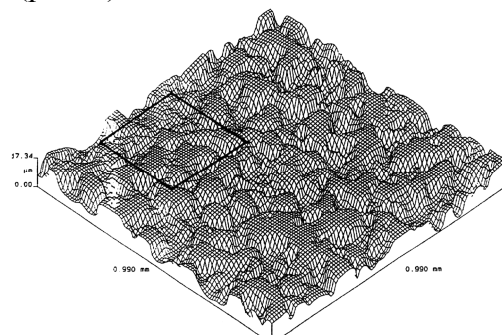


Рис. 3. Топография текстуры поверхности с электроэрозионным покрытием после обкатки роликами

Известен способ ЭЭЛ, когда первоначально наносят слой покрытия антифрикционным легкоплавким металлом, выбираемым из группы In, Sn, Cd, Pb. Затем на полученное покрытие наносят слой износостойкого высокотвёрдого металла или его карбида, выбираемого из группы Ti, V, W.

Данный порядок нанесения слоёв покрытия способствует расплавлению первоначально нанесённого покрытия из легкоплавкого металла при нанесении второго слоя, заполнению им микронеровностей и пор основного покрытия. Кристаллизация второго слоя происходит медленнее за счёт аккумуляции тепла расплавом легкоплавкого металла. Шероховатость поверхности снижается до значений $Ra = 0,6-0,8$ мкм. Одновременно в 3 – 6 раз повышается износостойкость поверхности [5].

В [6] было установлено, что использование в качестве технологического покрытия легкоплавких металлов, выбираемых из группы In, Cd, Sn, Pb, при последующем их ЭЭЛ износостойкими тугоплавкими материалами приводит к снижению не только шероховатости поверхностного слоя, но и микротвёрдости и что микротвёрдость КЭП в значительной мере зависит от количества мягкого, более легкоплавкого материала в технологическом подслое (первоначально нанесённом слое из мягкого антифрикционного металла).

Учитывая то, что наиболее стабильные результаты по массопереносу обеспечиваются при ЭЭЛ металлических поверхностей медью, металлографические исследования по определению влияния количества мягкой составляющей в КЭП на микротвёрдость поверхностного слоя проводились с использованием технологического подслоя из меди.

В результате проведённых исследований предлагается для повышения микротвёрдости и снижения шероховатости в поверхностном слое упрочняемых деталей первоначально наносить слой «технологического» покрытия мягким, антифрикционным металлом медью при энергии разряда 0,016-0,019 Дж, а затем наносить слой покрытия из износостойкого высокотвёрдого металла или его карбида, выбираемого из группы Ti, V, W при энергии разряда 0,354-0,425 Дж.

Металлографические исследования КЭП по предлагаемому способу показывают, что их микротвёрдость находится на сравнительно высоком уровне (8400... 12300 МПа). Следует отметить, что сверху покрытия находится плёнка меди толщиной 1...2 мкм. Все покрытия, сформированные предлагаемым способом, имеют характерный цвет меди. Наличие меди как на поверхности, так и по глубине покрытия подтверждается рентгеноструктурным анализом.

Медь имеет более низкую температуру плавления ($T_{пл} = 1083^{\circ}\text{C}$), чем металлы основного покрытия ($T_{пл} = 1672...3410^{\circ}\text{C}$). В процессе кристаллизации образуется структура типа механической смеси с частичным образованием твёрдого раствора.

Данный порядок нанесения слоёв покрытия способствует расплавлению первоначально нанесённого покрытия из более легкоплавкого металла меди при нанесении второго слоя, заполнению им микронеровностей и пор основного покрытия. Кристаллизация второго слоя происходит медленнее за счёт аккумулялирования тепла расплавом меди, при этом шероховатость поверхности снижается до $Ra = 0,5...0,9$ мкм.

Ниже приведены результаты исследований, проводимых в соответствии с договором о научном сотрудничестве между Сумским национальным аграрным университетом (Украина) и Политехникой Свентокржской в Кельцах (Польша), предметом кото-

рого является общая деятельность и взаимный обмен научными результатами в области формирования трибологических свойств покрытий и в области динамики машин.

Целью работы являлась изначальная оценка текстурирования поверхностей скольжения торцевых уплотнений.

Изложение основного материала исследований. Локальная лазерная обработка, основанная на лазерной эрозии, производилась на лазере Nd:YAG (тип BSL 720) при следующих параметрах процесса:

- диаметр лазерной точки $d = 0,7$ мм;
- мощность лазера $P = 10; 20; 30; 40; 50; 100; 150$ Вт;
- фокусное расстояние $f = 1$ мм;
- время одного импульса $ti = 0,8; 1,2; 1,48; 1,8; 5,5; 8$ мс;
- скорость движения образца $V = 1200$ мм/мин;
- частота повтора $f = 8$ Гц.

Исследования эффекта лазерной эрозии касались в основном измерений диаметров и глубин полученных углублений в зависимости от различных значений мощности лазера. Результаты этих исследований представлены на рис. 4 и 5.

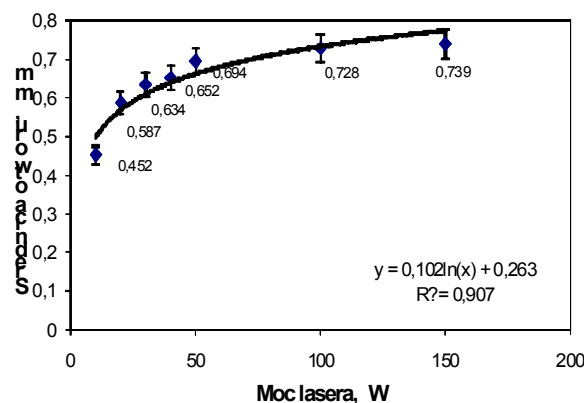


Рис. 4. Зависимость диаметра отверстия от мощности лазера

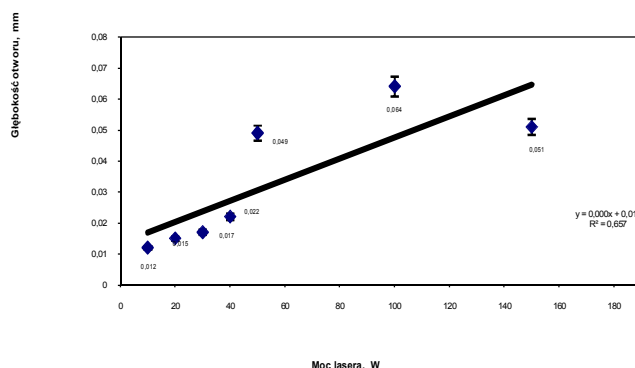


Рис. 5. Зависимость глубины отверстия от мощности лазера

Из графиков, приведённых на рис. 4 и 5, видно, что вместе с увеличением мощности лазерного пучка увеличивается диаметр и глубина полученных отверстий. Исключением является полученное значение глубины отверстия при мощности лазера 150 Вт, которое меньше значения при мощности 100 Вт (рис. 5). Вероятно, причиной проявления такого эффекта является более длительное время воздействия импульса ($t_i = 8$ мс) при мощности лазера 150 Вт, в отличие от времени длительности импульса $t_i = 5,5$ мс при мощности лазера 100 Вт.

Исследования электроэрозионного текстурирования реализовались с использованием механизированной установки ELFA-541. На данном этапе работы изучалось влияние параметров процесса на величину шероховатости поверхности, а также исследовалась возможность изменения механических и стереометрических свойств электроэрозионных покрытий за счёт применения последующей лазерной обработки.

Лазерные и электроэрозионные технологии. Электроэрозионные покрытия имеют некоторые недостатки, которые снижают их эксплуатационные свойства. Применение последующей лазерной обработки направлено на устранение этих недостатков.

Лазерный пучок может быть использован с целью выглаживания сформированной электроэрозионным методом геометрии поверхности уплотнения, доведения до однородности химического состава нанесенных покрытий.

Анализ изменений макрогеометрии проводили для комбинированных покрытий состава Cu-Ti, нанесённых электроэрозионным методом на кольца из стали 45 в исходном состоянии (рис. 6). Покрытия подвергались последующему воздействию лазера Nd:YAG при следующих параметрах процесса:

- диаметр лазерной точки $d = 0,7$ мм;
- мощность лазера $P = 20$ Вт;
- фокусное расстояние $f = 1$ мм;
- время одного импульса $t_i = 0,8$ мс;
- скорость движения образца $V = 1200$ мм/мин;

-частота повтора $f = 8$ Гц.

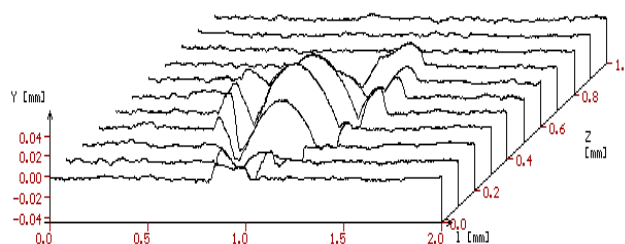


Рис. 6. Профилограмма поверхности покрытия, нанесенного из Cu-Ti (вид 3D)

Микроструктура покрытия состава Cu-Ti до и после воздействия лучом лазера, а также распределение микротвёрдости в отверстии, сформированном импульсным действием лазера, показаны соответственно на рис. 7 - 9.

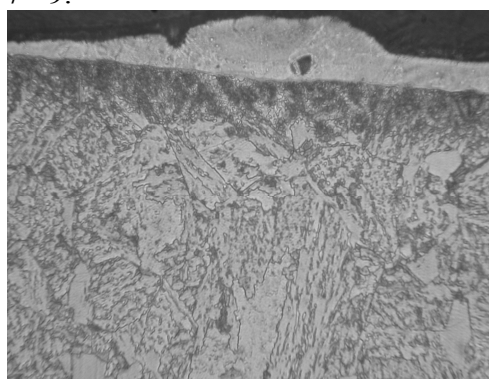


Рис. 7. Микроструктура покрытия Cu-Ti (ув. $\times 500$)



Рис. 8. Микроструктура покрытия Cu-Ti после лазерной обработки (ув. $\times 500$)

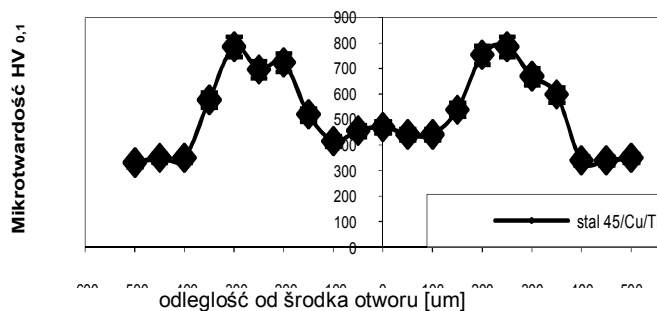


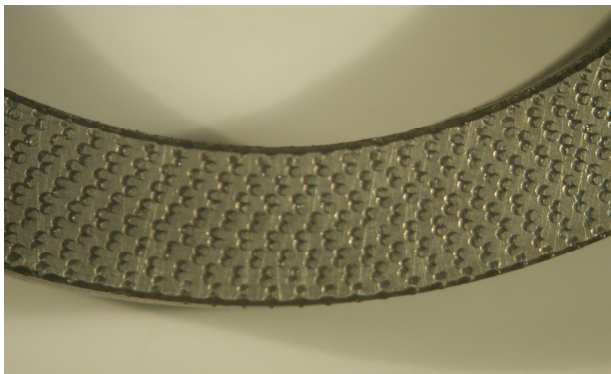
Рис. 9. Распределение микротвёрдости в покрытии Cu-Ti после импульсного действия лазера (отверстие)

Таким образом, используя лазерную и электроэрозионную обработку поверхности, можно изменять стереометрические и механические свойства её приповерхностных слоёв.

Исследования торцовых уплотнений.

Исследования уплотнений проводили методом сравнения для проверки эффекта текстурирования. В качестве модели использовали уплотнения типа A1 производства фирмы ANGА, а исследования проводили на установке, схема которой показана на рис. 10.

Контртела уплотнений подвергались лазерному текстурированию путём получения на поверхности углублений, профилограмма которых показана на рис. 11.



а

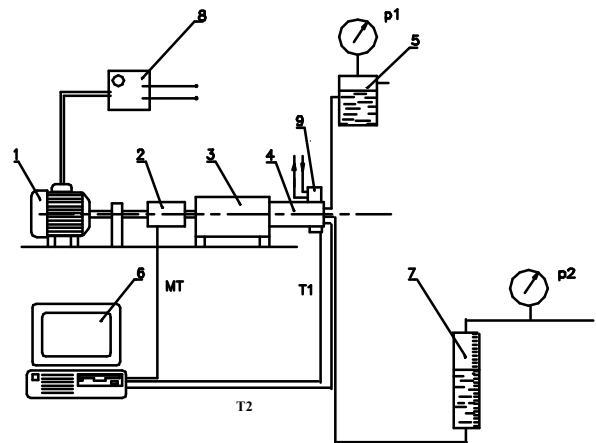
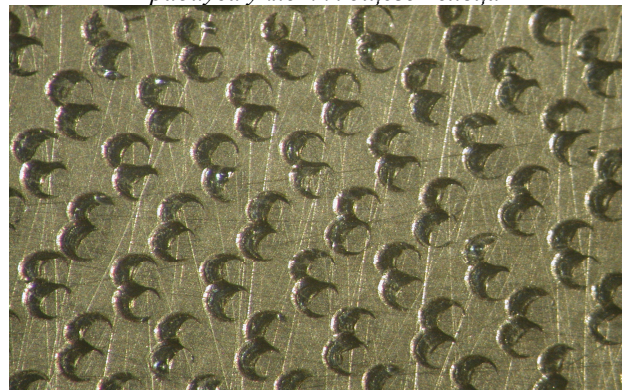


Рис. 10. Схема установки для исследований: 1-двигатель, 2-измеритель момента, 3-шпиндель, 4-камера для исследований, 5-уравнительная емкость, 6-компьютер, 7-измеритель утечек, 8-волномер, Мт - путь измерения момента трения; T1, T2-пути измерения температуры постоянного кольца и среды; p1, p2 - давления на входе и выходе радиуса уплотняющего кольца



б

Рис. 11. Вид фрагмента поверхности текстурированного лазером кольца: а) $\times 6,3$; б) $\times 25$

Текстурирование было основано на прохождении вступительных ходов для различных скоростей $n = 500, 1500, 3000, 4500$ об/мин, при постоянном давлении среды уплотнения, составляющем $p = 0,35$ МПа и $0,2$ МПа. Опыты проводились для колец с текстурой и без текстуры. Результаты испытаний показаны на рис. 12.

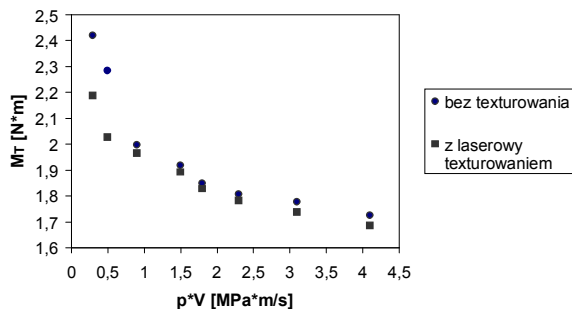


Рис. 12. Зависимость сопротивления трению от скорости вращения

Выводы. Таким образом, проведённые исследования открывают широкие возможности для применения текстурирования поверхности лазерным и электроэрозионным методами. В ходе исследований установлено, что путём текстурирования можно достичь снижения силы трения и улучшения условий смазывания, что может быть использовано в торцовых уплотнениях с высоким давлением, а также в тех случаях, когда имеется вероятность возникновения доминирующих адгезионных сил.

Библиографический список

1. Edison, I. Analytical and experimental investigation of laser- textured mechanical seal faces [Text] / I. Edison, Y. Klingerman, G. Halperin // Trib. Trans. No 42, PP. 511-516.
2. Effect of surfach texturing on friction reduction between ceramic and steel materiale under lubricated slipping contact [Text] / M. Wa-

kula, Y. Yamauchi, S. Kanzaki [et al.]. Wear № 254, 2003. - PP. 356-363.

3. Chlamakuri, S. Effect of peak radius on design of W-type donut shaped laser textured surfaces [Text] / S. Chlamakuri, H. Bhushan // Wear, 1999. №230. - PP. 118-123.

4. Surface texture transfer in simulated tandem and temper mill rolling using electrical discharge textured rolls [Text] / J. Simao, D.K. Aspinwall, M.L.Weise [et al.] // Journal of Materials Processing Technology, 1996, № 56. - PP. 177-189.

5. А.с. 1734968 СССР, В 23 Н 9/00. Способ электроэрозионного легирования [Текст] / В.Б. Тарельник, Е.А. Коломыцев, Л.А. Иванов [и др.] - заявл. 20.09.88; опубл. 23.05.92, Бюл. № 19.

6. Тарельник, В.Б. Управление качеством поверхностных слоев комбинированным электроэрозионным легированием [Текст] / В.Б. Тарельник. – Сумы: МакДен, 2002. - 324с.

EDM LASER ALLOYING AND TEXTURING THE SLIDING SURFACE MECHANICAL SEALS

© 2012 B. Antoshevskiy¹, V. B. Tarelnik², V. S. Martsinkovskiy²

¹Technical University of Kielce, Poland,

²Sumy NAU, Ukraine

The results of texturing the metal surface by laser and electrical discharge method. The prospects of their use in non-contact face seal type.

Non-contact face seal, texturing the metal surface, discharge method.

Информация об авторах

Антошевский Богдан, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации машин, Политехнический университет, г. Кельце, Польша. E-mail: ktrba@tu.kielce.pl. Область научных интересов: бесконтактные уплотнения, металлографические исследования.

Тарельник Вячеслав Борисович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технического сервиса, Сумский национальный аграрный университет, Украина. E-mail: tarelnik@i.ua. Область научных интересов: бесконтактные уплотнения.

Марцинковский Василий Сигизмундович, кандидат технических наук, доцент, Сумский национальный аграрный университет, Украина. E-mail: mbc@triz.sumy.ua. Область научных интересов: бесконтактные уплотнения.

Antoshevsky Bogdan, Doctor of Science, Professor, Head of Department of machine operation. Polytechnic University, Kielce, Poland. E-mail: ktrba@tu.kielce.pl. Area of research: Non-contact face seal, texturing the metal surface.

Tarelnik Vyacheslav Borisovich, Doctor of Science, Professor, Head of Department of Technical Services. Sumy NAU, Ukraine. E-mail: tarelnik@i.ua. Area of research: Non-contact face seal.

Martsinkovsky Vasily Sigizmundovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Sumy NAU, Ukraine. E-mail: mbc@triz.sumy.ua. Area of research: Non-contact face seal.