

УДК 621.9.047.7

DOI: 10.30987/article\_5c90a5971c3911.84627617

**Д.Н. Охлупин**, директор, **И.В. Синева**, к.ф.-м.н., **А.А. Шварцман**, зам., директора  
(ООО "ТехноТерм-Саратов", г. Саратов, проспект им. 50 лет Октября, д. 110А, корп. 6),  
**А.В. Королев**, д.т.н.  
(ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов, Политехническая, 77)  
E-mail: science7@bk.ru

## Влияние режима электротехнической обработки на степень удаления твердого покрытия с поверхности металлических деталей

*Описаны результаты опыта по электрохимическому удалению твердого антифрикционного покрытия с поверхности металлической детали. В качестве электролита использовался раствор азотной кислоты. Для проведения исследований применялся неполный трехфакторный эксперимент на двух уровнях. Установлено, что наибольшее влияние на степень удаления покрытия оказывает время обработки. Концентрация раствора азотной кислоты и величина электрического напряжения оказывают значительно меньшее влияние.*

**Ключевые слова:** электрохимическая обработка; покрытие; режим обработки; электролит.

**D.N. Okhlupin**, Director, **I.V. Sineva**, Can. Sc. Phys-Math., **A.A. Schwartzman**, deputy Director  
(PC "TechnoTherm-Saratov", Building 6, 110A, 50 Years of October Avenue, Saratov)  
**A.V. Korolyov**, Dr. Sc. Tech.  
(FSBEI HE "Gagarin State Technical University of Saratov", 77, Polytechnicheskaya Str., Saratov)

## Electro-technical treatment impact upon degree of hard coating removal from metal part surfaces

*The paper reports the description of tests on electro-chemical removal of hard anti-friction coating from a metal part surface. As an electrolyte there was used a solution of nitric acid. To carry out investigations there was used an incomplete three-factor experiment at two levels. It is defined that the highest impact upon a degree of coating removal is made by treatment time. The concentration of a nitric acid solution and a voltage value influence has a much smaller impact.*

**Keywords:** electro-chemical treatment; coating; processing mode; electrolyte.

Иногда при осуществлении твердого антифрикционного покрытия деталей появляется брак в виде недостаточно равномерного слоя покрытия несоответствующего внешнего вида, недостаточной толщины покрытия, наличия непокрытых участков, слабой адгезии покрытия к подложке и других погрешностей. В этом случае покрытие необходимо удалить, чтобы восстановить первоначальное состояние подложки и подготовить ее к повторному нанесению покрытия. Особенно это касается высокоточных деталей, изготовление которых связано с большими материальными и трудовыми затратами.

Среди различных методов удаления твердых антифрикционных покрытий наиболее часто используется электрохимическая обработка [1 – 6]. Деталь, с которой удаляется по-

крытие, используется в качестве анода. При удалении никелевого, серебряного, медного и многих других металлических покрытий используются растворы различных кислот, обычно серная и азотная кислоты высокой концентрации – более 10...30 %, высокая плотность тока – 5..10 А/дм<sup>2</sup> при температуре электролита 20...40 °С.

Проблемой является удаление твердых покрытий, которые не растворяются в электролитах. К таким покрытиям относятся графитовые, молибденовые и алмазоподобные износостойкие антифрикционные покрытия. Для удаления этих покрытий используются трудоемкие механические методы обработки, либо деталь относят к неисправимому браку, что влечет за собой большие финансовые потери.

Для решения проблемы удаления твердых

антифрикционных покрытий был использован метод электрохимической обработки с низкой концентрацией электролита. Предварительно было установлено, что при концентрации электролита более 0,5 % процесс удаления покрытия резко затормаживается, а деталь покрывается черным налетом. С целью поиска рационального режима удаления покрытия были использованы следующие условия электрохимической обработки.

В качестве объекта экспериментальных исследований использовался процесс удаления твердого алмазоподобного антифрикционного покрытия с металлических деталей. Предметом исследований являлось определение зависимости степени удаления твердого антифрикционного покрытия от условий электрохимической обработки. Образцами служили детали, изготовленные из закаленной до твердости 60...61 HRC стали ШХ15 ГОСТ 801-78, покрытые тонким слоем толщиной 1,5...2,0 мкм твердым алмазоподобным материалом.

Был выполнен дробный факторный эксперимент  $2^{3-1}$ . Число параллельных опытов составляло три. За показатель обработки была принята доля очищенной от покрытия поверхности  $S$ . Кроме того, замерялась величина электрического тока. Переменными факторами являлись время обработки  $t$ , концентрация раствора азотной кислоты  $k$  и электрическое напряжение  $U$ . Численные значения варьируемых факторов представлены в табл. 1.

**Значения варьируемых факторов**

Значения	$t$ , мин	$k$ , %	$U$ , В
Минимальное	0,5	0,125	6
Максимальное	1,5	0,25	12
Среднее	1,0	0,1875	9

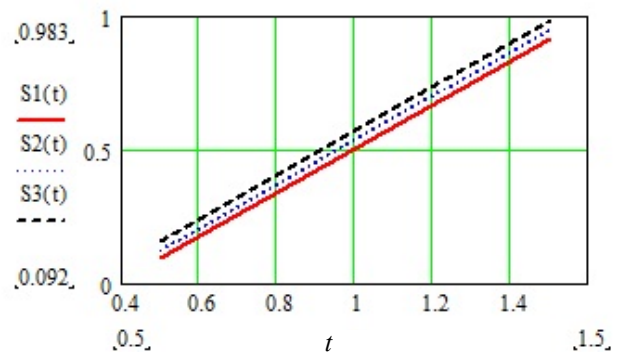
Статистическая обработка результатов исследований осуществлялась по методике, изложенной в работе [7]. Однородность дисперсий определялась по критерию Кохрена. Значимость коэффициентов регрессии определялась по критерию Стьюдента. Адекватность модели определялась по критерию Фишера. Во всех этих случаях использовался уровень значимости 5 %.

В результате обработки экспериментальных данных было получено уравнение регрессии в следующем виде:

$$S = -0,3875 + 0,825t + 0,2k + 0,0069U$$

Указанная зависимость наглядно представлена на рис. 1 – 3.

На рис.1 показана зависимость доли очищенной от покрытия поверхности от времени обработки при максимальных, средних и минимальных значениях двух других факторов. Как видно (см. рис. 1), с увеличением времени обработки доля очищенной поверхности резко возрастает. Механизм этого влияния можно объяснить следующим образом. Электролит в процессе обработки проникает через поры покрытия к материалу подложки и осуществляет травление ее металлической поверхности. В результате этого адгезионные связи покрытия с подложкой ослабевают, и материал покрытия осыпается.



**Рис. 1. Зависимость доли удаленного покрытия  $S(t)$  от времени обработки  $t$  при минимальных  $S1(t)$ , средних  $S2(t)$  и максимальных  $S3(t)$  значениях концентрации раствора  $k$  и электрического напряжения  $U$**

Чем больше время обработки, тем электролит более глубоко проникает в покрытие, и большая часть поверхности подложки подвергается травлению. Это приводит к увеличению доли удаленного покрытия.

Концентрация раствора и электрическое напряжение при принятых значениях оказывают на результаты обработки значительно меньшее влияние, чем время. На рис. 2 показана зависимость доли удаленного с подложки покрытия от концентрации раствора азотной кислоты.

Как видно на рис. 2, с возрастанием концентрации раствора степень очистки поверхности от покрытия слабо возрастает. Такое слабое влияние концентрации раствора на получаемый результат объясняется тем, что она оказывает двойственное влияние на процесс удаления покрытия.

С одной стороны, с увеличением концентрации азотной кислоты травление подложки осуществляется более активно. С другой сто-

роны, с возрастанием концентрации раствора увеличивается активность образования на поверхности подложки окисной пленки, которая препятствует проникновению электролита в зону адгезии покрытия с подложкой, что приводит к уменьшению степени очистки поверхности. Действие такого механизма, в частности, подтверждается тем, что при концентрации раствора азотной кислоты, равной 0,25 % и времени обработки 1,5 мин на поверхности образца появляется слабый серый налет окисной пленки.

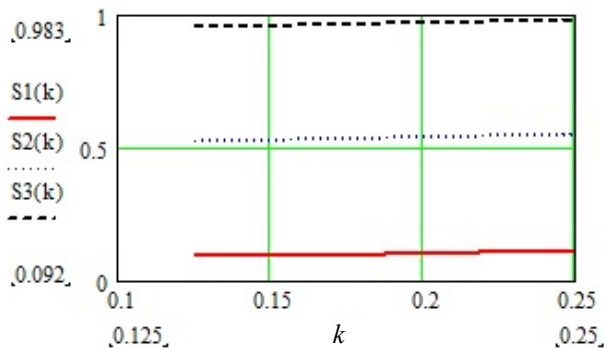


Рис. 2. Влияние концентрации раствора азотной кислоты  $k$  на долю удаленного покрытия при минимальных  $S1(t)$ , средних  $S2(t)$  и максимальных значениях времени обработки  $t$  и электрического напряжения  $U$

Такое же слабое влияние на процесс удаления покрытия оказывает и электрическое напряжение. Как видно на рис. 3, изменение напряжения в 2 раза приводит к увеличению доли удаленного покрытия при минимальном значении времени и концентрации раствора почти на 50 %, а при максимальном времени обработки и максимальной концентрации раствора – всего на 4 %.

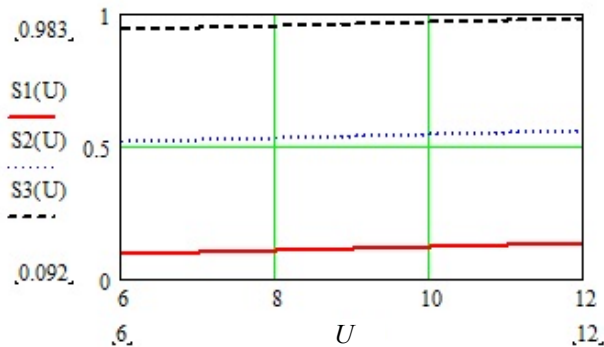


Рис. 3. Зависимость доли удаленного покрытия от величины электрического напряжения  $U$  при минимальных  $S1(U)$ , средних  $S2(U)$  и максимальных  $S3(U)$  значениях времени обработки  $t$  и концентрации раствора  $k$

На взгляд авторов, электрическое напряжение на степень удаления твердого покрытия оказывает такое же двойственное влияние, как и концентрация электролита. С увеличением электрического напряжения, с одной стороны, увеличивается активность травления покрытия, с другой стороны, появляется окисная пленка, которая повышает электрическое сопротивление системы и снижает активность процесса. Об этом, в частности, свидетельствует и тот факт, что с увеличением электрического напряжения в 2 раза величина электрического тока возрастает лишь на 47 % – с 0,17 А до 0,25 А.

### Выводы

На основе выполненных исследований можно сделать вывод, что в данных условиях эксперимента следует использовать максимальные значения времени обработки  $t = 1,5$  мин; максимальные значения концентрации раствора азотной кислоты  $k = 0,25$  % и электрического напряжения  $U = 12$  В.

На практике с целью повышения надежности процесса обработки, особенно при увеличении толщины удаляемого покрытия, более целесообразно повышать время обработки, а концентрацию раствора и электрическое напряжение использовать в указанных выше значениях.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. SU 1807099 Способ удаления никелевых покрытий со стальных изделий, кл. F 25 C5/00, 1993.
2. Коробочкин, В.В. Разрушение никеля и кадмия при электролизе переменным током промышленной частоты // Известия Томского политехн. ун-та. – 2003. – № 1. – С. 23–24.
3. Никифорова, Е.Ю., Килимник, А.Б. Электрохимическое поведение воздушно окисленного никеля в концентрированных растворах гидроксида натрия // Вестник Тамбовского гос. техн. ун-та. – 2009. – Т.15. – № . – С. 147–153.
4. Бойко, А.В. Электронная обработка металлов // Электрохимия. – 1975. – № 1. – С. 60–65.
5. RU 2460869. Установка для удаления покрытий и способ ее эксплуатации, кл. C25F 5/00, C25F 7/00, 2012г.
6. RU 2405070. Способ электрохимического удаления металлических покрытий с конструктивной детали, кл. C25F 5/00, 2010г.
7. Спиридонов, А.А. Планирование экспериментов при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184с.

## REFERENCES

1. SU 1807099 Method for nickel coatings from steel products, class F 25 C5/00, 1993.
2. Korobochkin, V.V. Nickel and cadmium destruction at electrolysis with alternating current of industrial frequency // *Proceedings of Tomsk Polytechnic University*. – 2003. – No.1. – pp. 23-24.
3. Nikiforova, E.Yu., Kilimnik, A.B. Electro-chemical behavior of air-oxidized nickel in concentrated solutions of sodium hydroxide // *Bulletin of Tambov State Technical University*. – 2009. – Vol.15. – No. – pp. 147-153.
4. Boiko, A.V. Metal electronic treatment // *Electrochemistry*. – 1975. – No.1. – pp. 60-65.
5. RU 2460869 Plant for coating removal and method for its operation, class C25F 5/00, C25F 7/00, 2012.
6. RU 2405070. Method for electrochemical removal of metal coatings from design parts, class C25F 5/00, 2010.
7. Spiridonov, A.A. *Experiment Planning at Engineering Process Investigation*. – М.: Mechanical Engineering, 1981. – pp. 184.

Рецензент д.т.н. А.А. Королев

УДК 621.7

DOI: 10.30987/article\_5c90a5975f16e2.52962755

**М.В. Ягодкин**, аспирант  
(Институт конструкторско-технологической информатики РАН,  
127055 Москва Вадковский пер. 18, стр. 1а)  
E-mail: yagodkin.maksim.513@mail.ru

## Особенности пакетирования стружки в стружечных канавках метчика в процессе резьбонарезания в отверстиях сверхмалых диаметров

*Рассмотрен процесс нарезания резьбы в отверстиях сверхмалых диаметров. Выявлено, что ужесточение условий резания возникает из-за сложности отвода сходящей стружки и невозможности её полного пакетирования вследствие недостаточного объёма стружечных канавок.*

**Ключевые слова:** метчик; сверхмалый диаметр; нарезание резьбы; формирование стружки; надёжность; сечение стружки.

**M.V. Yagodkin**, Post graduate student  
(Institute of Design-Technological Informatics of RAS, Building 1a, 18, Vadkovsky Alleyway, Moscow 127055)

## Peculiarities of chip piling in tap chip grooves during thread-cutting in ultra-small holes

*There is considered a thread-cutting process in ultra-small holes. It is revealed that cutting condition toughening arises because of the chip removal complexity and impossibility of chip complete filing in consequence of insufficient chip grooves volume.*

**Keywords:** tap; ultra-small diameter; thread-cutting; chip formation; reliability; chip section.

В современном машиностроении нарезание резьбы метчиком в отверстиях сверхмалых диаметров является сложной технологической задачей. Трудности обусловлены пониженной прочностью инструмента, сложностью подвода смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ)

в зону резания [1, 2]. В работе [3] установлено что, количество отказов метчиков увеличивается с увеличением длины нарезаемой резьбы и доходит до 80 %, а при реверсе до 40 %.

Как было установлено в работе [4], в процессе резьбонарезания в отверстиях сверхма-