

УДК 621.9.048.4

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНОГО СЛОЯ ИЗ МЕДИ, ПОВЫШАЮЩЕГО КАЧЕСТВО ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

**В.С. Марцинковский**  
ООО «ТРИЗ»

*В статье разработана методика определения оптимальных режимов формирования методом электроэрозионного легирования переходного слоя из меди, который повышает прочность сцепления подложки из стали 20 и антифрикционного баббитового слоя. Получено уравнение прогнозирования производительности процесса электроэрозионного легирования стали 20 медью. Определены константы уравнения производительности процесса электроэрозионного легирования стали 20 медью.*

### ВВЕДЕНИЕ

Решение проблемы, связанной с увеличением сроков службы машин, напрямую зависит от повышения износостойкости и надежности узлов трения. При большом разнообразии условий работы деталей наиболее нагруженным у них является поверхностный слой. Поэтому реальный ресурс работы машины напрямую зависит от несущей способности поверхностей деталей, которая определяется качеством их поверхностного слоя.

Таким образом, создание поверхностных слоев с особыми свойствами для узлов трения-скольжения в данном случае подшипников скольжения (ПС) является актуальной задачей.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Повышение качества ПС возможно как за счет совершенствования технологии их изготовления, так и путем улучшения их конструкции.

В [1] установлено, что одним из наиболее перспективных методов повышения качества ПС является электроэрозионное легирование (ЭЭЛ). Так, формирование в защитной среде аргона методом ЭЭЛ промежуточного слоя из меди повышает прочность сцепления стальной подложки и антифрикционного слоя из баббита на 35%.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что для каждого режима работы установки ЭЭЛ существует рациональное время легирования, необходимое для получения наиболее качественного покрытия. В данном случае критерием выбора времени легирования являлось получение покрытий 100% сплошности.

Исследования проводили на установке ЭЭЛ модели «ЭИЛ – 8А».

Основные показатели процесса ЭЭЛ (производительность, толщина слоя, равномерность, сплошность сформированной поверхности и т.п.)

определяются энергией разряда  $W_p$ , под которой понимается энергия, запасенная в рабочем конденсаторе и определяемая по формуле

$$W_p = k \cdot \frac{C \cdot U^2}{2}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий потери в цепи ( $k = 0,5-0,6$ ). В табл.1 приведены значения энергии разряда при  $k = 0,6$ .

Следует отметить, что при энергии разряда  $W_p > 0,4$  Дж качество легируемой поверхности снижается, как при легировании на воздухе, так и в защитной среде аргона. На поверхности появляются прижоги, электроды механически разрушаются и отдельные частички размером до 0,2-0,5 мм «привариваются» к легируемой поверхности. Особенно это проявляется при легировании в воздушной среде. К практическому применению рекомендуются режимы, соответствующие энергии разряда  $W_p = 0,2 - 0,4$  Дж, обеспечивающие 100% сплошность, шероховатость  $Rz = 9$  мкм, толщину слоя  $\Delta h = 0,02 - 0,03$  мм.

Качественные параметры поверхностного слоя при ЭЭЛ образца стали 20 (размерами 10x10x10 мм) медью представлены в табл. 1.

*Таблица 1 - Результаты качественных параметров формируемых поверхностных слоев при ЭЭЛ стали 20 в среде аргона*

Режим	Емкость накопительного конденсатора $C$ , мкФ	Энергия разряда $W_p$ , Дж	$T_{\text{рац}}$ , мин.	Шероховатость $Rz$ , мкм	Прирост $\Delta h$ , мм
			аргон	аргон	аргон
3	150 мкФ	0,04	2,50	7	0,01
5		0,1	0,90	8	0,02
7		0,2	0,65	9	0,02
9		0,34	0,55	10	0,03
3	300 мкФ	0,08	1,1	7	0,01
5		0,2	0,70	8	0,02
7		0,4	0,53	9	0,03
9		0,68	0,50	15	0,04

В настоящее время как в Украине, так и в странах ближнего и дальнего зарубежья используется большое количество установок ЭЭЛ, например, «УИЛ-6», «УИЛ-7», «УИЛ-8» (Украина), «Элитрон-14», «Элитрон-22», «Элитрон-52», «Элитрон-347» (Молдова), «Tusadur 2000» (Италия), «HSR-FS» (Швейцария), «F-5» (США) и др., отличающихся как конструктивно, так и технологически режимами легирования. В связи с этим возникает необходимость определения оптимальных режимов легирования на той или иной установке, в данном случае режимов для формирования поверхностного слоя из меди на подложке из стали 20. Под режимами понимается энергия разряда  $W_p$  и производительность  $T$ , определяемая как мин/см<sup>2</sup>.

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Таким образом, целью работы является разработка методики определения оптимальных режимов легирования на той или иной установке ЭЭЛ при формировании переходного слоя из меди, повышающего прочность сцепления подложки из стали 20 и антифрикционного баббитового слоя.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исходя из экспериментальных данных (табл. 1), можно построить зависимость времени легирования (производительности ЭЭЛ), затраченного на получение 100% сплошности покрытия, поверхности образца из стали 20 медью от энергии разряда (рис. 1).

Как видно из графика (рис. 1), зависимость производительности процесса ЭЭЛ от энергии разряда при легировании стали 20 медью в первом приближении экспоненциально убывающая, а от величины обратной энергии разряда – экспоненциально возрастающая (рис. 2).

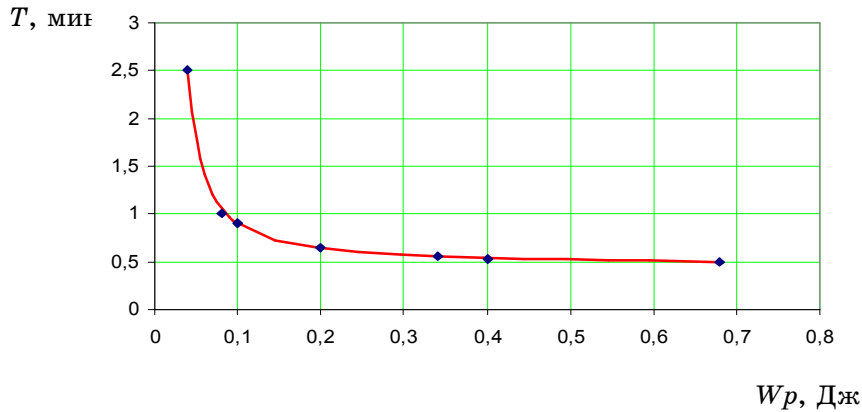


Рисунок 1 - Зависимость производительности процесса ЭЭЛ от энергии разряда при легировании стали 20 медью

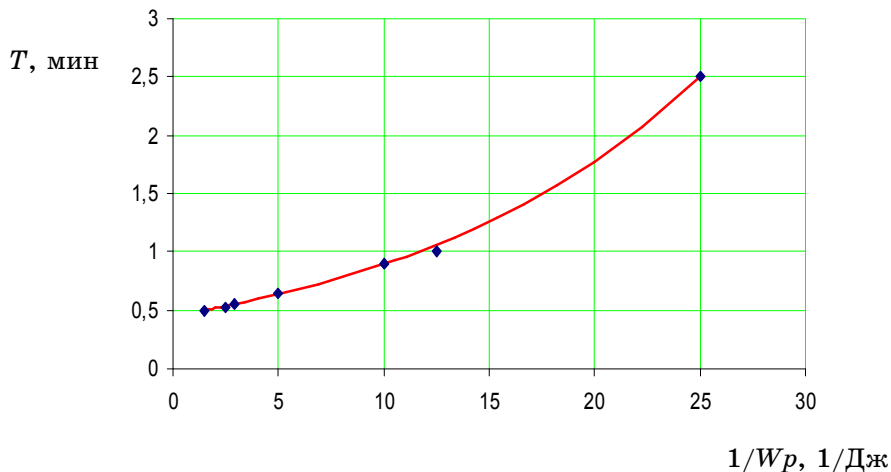


Рисунок 2 - Зависимость производительности процесса ЭЭЛ от величины обратной энергии разряда при легировании стали 20 медью

Исходя из зависимости  $T=f(W_p^{-1})$ , можно сказать, что  $\ln T$  пропорционально величине обратной энергии разряда ( $W_p^{-1}$ ) и энергии активации процесса ЭЭЛ медью 100% площади поверхности образца из стали 20 – ( $E_A$ ):

$$\ln T \sim W_p^{-1} \cdot E_A \quad (2)$$

Переходя от приближенного равенства к точному, имеем

$$T = C \cdot e^{\frac{E_A}{W_p}}, \quad (3)$$

где  $C = T_{min}$  ( $T_{min}$  – минимальное время покрытия медью 100% площади поверхности образца из стали 20).

$$T = T_{min} \cdot e^{\frac{E_A}{W_p}}. \quad (4)$$

Уравнение (4) назовем уравнением прогнозирования производительности ( $T$ ) при ЭЭЛ медью 100% площади поверхности образца из стали 20.

Уравнение (4) имеет две константы  $T_{min}$  и  $E_A$ .

При  $W_p \rightarrow \infty$  уравнение (4) примет вид

$$T = T_{min}. \quad (5)$$

Таким образом, предэкспоненциальный фактор уравнения (4)  $T_{min}$  можно определить по отрезку, отсекаемому на оси ординат прямой зависимости  $\ln T = f(W_p^{-1})$ , продолженной (экстраполированной) до значения абсциссы  $W_p^{-1} = 0$  (рис. 3). Зависимость  $\ln T = f(W_p^{-1})$  строим по экспериментальным данным табл. 2.

Таблица 2 - Зависимость  $\ln T$  от величины, обратной энергии разряда

Номер режима	$W_p$	$W_p^{-1}$	$T$	$\ln T$
1	0,04	25	2,5	0,916
2	0,08	12,5	1,1	0,095
3	0,10	10	0,9	- 0,105
4	0,2	5	0,65	- 0,430
5	0,34	2,94	0,55	- 0,597
6	0,40	2,5	0,51	- 0,673
7	0,68	1,47	0,5	- 0,693

Для определения  $E_A$  примем

$$E_A = W_p \quad (6)$$

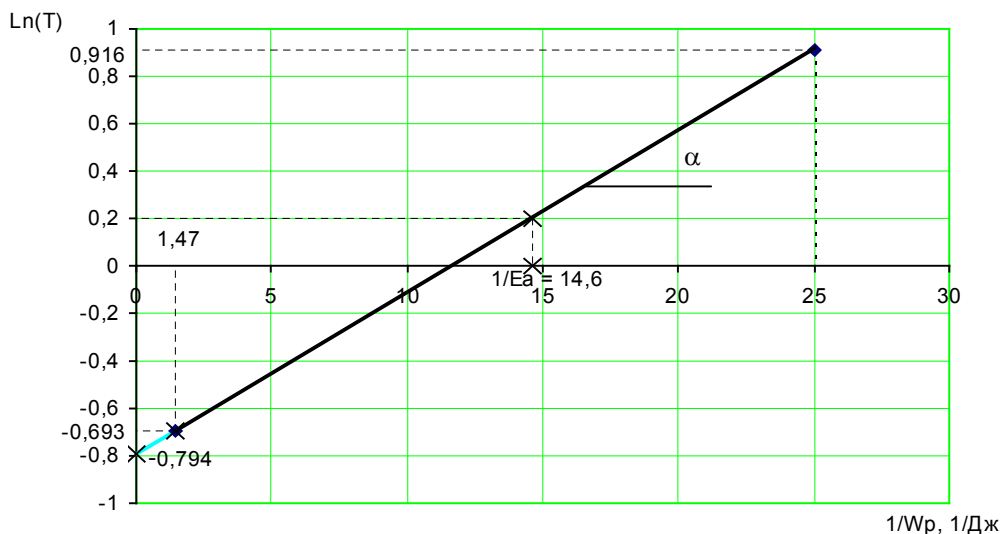
Тогда уравнение (4) примет вид

$$T = T_{min} \cdot e. \quad (7)$$

Отсюда  $E_A$  – это физическая величина, равная такой энергии разряда, при которой  $T_{min}$  меньше  $T$  в  $e$  раз. Назовем ее константой ЭЭЛ медью поверхности стали 20. Размерность  $[E_A]$  - Дж.

Энергию активации  $E_A$  можно определить как

$$E_A = \operatorname{tg} \alpha, \quad (8)$$



где  $\alpha$  - угол наклона прямой зависимости  $\ln T = f(W_p^{-1})$  (рис. 3).

Рисунок 3 - Зависимость  $\ln T = f(W_p^{-1})$

Значения констант уравнения (4) - минимального времени ЭЭЛ медью 100% площади поверхности образца из стали 20 ( $T_{min}$ ) и энергии активации этого процесса  $E_A$  приведены в табл. 3.

Таблица 3 - Вычисленные константы уравнения (4)  $T_{min}$  и  $E_A$

$T_{min}$ , мин.	$E_A$ , Дж
0,452	0,0684

Таким образом, зная константы уравнения прогнозирования производительности ( $T$ ), при ЭЭЛ медью стали 20 можно определить оптимальный режим легирования и оптимальную производительность процесса на любой установке ЭЭЛ.

Оптимальный режим легирования на конкретной установке должен обеспечивать энергию разряда, максимально приближенную, но меньшую 0,4 Дж.

Зная энергию разряда  $W_p$ , по уравнению (4) определяется оптимальная производительность процесса ЭЭЛ стали 20 медью.

## ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1 Разработана методика определения оптимальных режимов формирования методом ЭЭЛ переходного слоя из меди, повышающего прочность сцепления подложки из стали 20 и антифрикционного баббитового слоя.

2 Получено уравнение прогнозирования производительности процесса ЭЭЛ стали 20 медью.

3 Определены константы уравнения прогнозирования производительности процесса ЭЭЛ, при легировании медью поверхности

стали 20 (минимальное время легирования  $T$  и энергия активации процесса  $E_A$ ).

## SUMMARY

### OPTIMIZATION OF ELECTRO-EROSIONAL ALLOYING REGIMES FOR TRANSITION LAYER FORMING FROM COPPER, WHICH INCREASES QUALITY SLIDING BEARINGS

*Martsinkovskyi V.S.*

*The technique of optimum definition modes of a copper transitive layer formation by electroerosive alloying method is developed. Transitive layer is increases durability of coupling of a steel 20 backing and antifrictional babbit layers. The equation of productivity forecasting of process electroerosive alloying steel 20 by copper is received. Constants of the productivity equation of the process electroerosive alloying steel 20 by copper are certain.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковский, Б. Антошевский. Повышение качества подшипников скольжения: Монография.- Сумы: Издательство «МагДен», 2006.-160 с.

**Марцинковский В.С., академик УТА**  
**ООО «ТРИЗ»**

*Поступила в редакцию 11 апреля 2007 г.*