

# ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ГЛИЦЕРИНА НА РАСТВОРЕНИЕ И ОКИСЛЕНИЕ МАЛОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ АНОДНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ

А.В. Жиров\*, А.О. Комаров\*, В.В. Данилов\*\*, С.А. Шорохов\*\*

\*Костромской государственной университет им. Н.А. Некрасова,  
ул. 1 Мая, 14, г. Кострома, 156961, Россия, [belkinp@yandex.ru](mailto:belkinp@yandex.ru)

\*\*Костромской государственной технологический университет,  
ул. Дзержинского, 17, г. Кострома, 156005, Россия, [info@kstu.edu.ru](mailto:info@kstu.edu.ru)

Показана возможность улучшения шероховатости малоуглеродистых сталей после их анодной цементации при пониженном содержании хлорида аммония и глицерина в рабочем электролите. Использован метод обтекания деталей распределенными продольными потоками, позволяющий снизить разброс толщины цементованного слоя по вертикали. Приведены примеры практического использования анодной цементации.

УДК 621.785.53; 621.3.035.183

Достоинства и недостатки электролитно-плазменных технологий существенно зависят отлярности обрабатываемого изделия. Катодная обработка приводит к повышению шероховатости изделий из-за воздействия электрических разрядов [1], имеется опасность перегрева кромок и даже их оплавления. При анодном процессе закругляются кромки изделий, удаляются заусенцы, образуется оксидный слой, обладающий защитными свойствами [2], но тормозящий насыщение бором [3] или углеродом [4]. Совокупность процессов окисления и растворения, зависящих от состава электролита, определяет некоторые особенности анодной обработки, в частности цементации. В данной работе рассматривается влияние концентрации глицерина на твердость и шероховатость сталей, цементуемых в электролите на основе трехмолярного водного раствора хлорида аммония.

Цементация образцов из сталей 10 и 20 (диаметром 12 мм и длиной 14 мм) проводилась на установке, описанной в [4]. Температура электролита составляла  $(25\pm 2)^\circ\text{C}$  при скорости его подачи 3 л/мин. Температура образца поддерживалась равной  $900^\circ\text{C}$  при обработке в течение 10 минут. Масса образцов измерялась до их нагрева, после нагрева, после удаления оксидного слоя до осветления на торцевой поверхности, не погружавшейся в электролит, и после полного удаления оксидного слоя на модифицированной поверхности. По результатам этих измерений определялась масса железа, перешедшего в электролит, и масса железа в оксидном слое [5].

Установлено, что добавление в электролит глицерина до концентрации 50 мл/л приводит к существенному увеличению растворения железа при резком уменьшении его массы в оксидном слое (табл. 1). При дальнейшем увеличении концентрации глицерина наблюдается ослабление как растворения, так и оксидирования стального образца. По нашему мнению, обнаруженные закономерности связаны со следующими реакциями. При нагреве стальных образцов в растворе хлорида аммония без глицерина эмитированные в парогазовую оболочку ионы хлора участвуют в анодном растворении железа [6]. Оксидный слой образуется в результате двух процессов: высокотемпературной коррозии и электрохимического оксидирования железа, причем решающую роль при этом играет кислород [4]. Продукты испарения и разложения глицерина в оболочке взаимодействуют с хлором и кислородом, что снижает их активность на поверхности обрабатываемой стальной детали. По-видимому, результатом суперпозиции этих реакций являются экстремальная зависимость содержания железа в электролите и монотонно убывающая зависимость количества железа в оксидном слое от концентрации глицерина. После закалки в электролите с глицерином анод практически весь остается светлым.

Таблица 1. Характеристики цементации образцов из стали 10 (масса  $11,5\pm 0,3$  г)

$C$ , мл/л	$m_{el}$ , мг	$m_{ox}$ , мг	$\Delta m$ , мг	$Q$ , Кл	$\chi$ , мг/Кл
0	$294\pm 25$	$119\pm 10$	$413\pm 35$	$4560\pm 137$	$0,064\pm 0,008$
50	$605\pm 30$	$32\pm 5$	$637\pm 51$	$4080\pm 122$	$0,148\pm 0,018$
100	$434\pm 27$	$26\pm 5$	$459\pm 36$	$3240\pm 97$	$0,134\pm 0,016$
150	$318\pm 25$	$11\pm 4$	$330\pm 27$	$2580\pm 77$	$0,123\pm 0,015$

Примечание:  $C$  – концентрация глицерина;  $m_{el}$  – масса железа, перешедшего в электролит;  $m_{ox}$  – масса железа в оксидном слое;  $\Delta m$  – общая потеря массы образца;  $Q$  – количество пропущенного заряда;  $\chi$  – скорость растворения.

Шероховатость цементованной поверхности снижается на протяжении 2 мин обработки, после чего остается неизменной (табл. 2). Эта особенность анодного нагрева вместе с уменьшением толщины оксидного слоя позволила разработать технологию упрочнения нитепроводников прядильных машин. Снижение их шероховатости резко уменьшает обрывность нитей и увеличивает производительность станка. После обработки в электролите, содержащем 5% хлорида аммония и 5% глицерина (900°C, 5 мин), получены значения поверхностной твердости  $64 \pm 1$  HRC и микротвердости –  $6,3 \pm 0,3$  ГПа. Параметр шероховатости  $R_{\max}$  снизился с  $0,62 \pm 0,02$  до  $0,22 \pm 0,02$  мкм. Отпуск изделий после закалки не проводился, их поверхность оставалась светлой. По данным испытаний опытной партии в количестве 12 штук на фабрике № 3 Оршанского льнокомбината (Беларусь) упрочненные изделия позволяют снизить обрывность нитей в 1,5–2 раза и увеличить ресурс нитепроводников.

Таблица 2. Зависимость параметров шероховатости от продолжительности цементации в электролите, содержащем 10% хлорида аммония и 10% глицерина

Параметр шероховатости	Время обработки, мин									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	10
$R_a$ , мкм	1,20	0,20	0,16	0,15	0,14	0,15	0,16	0,16	0,14	0,15
$R_{\max}$ , мкм	1,21	0,24	0,16	0,16	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16

Анодная обработка оказалась эффективной для упрочнения деталей штампов и пресс-форм благодаря повышению качества изделий и экономии энергии. По базовой технологии Костромского инструментального завода термическую обработку колонок и фиксаторов пресс-форм осуществляют закалкой при нагреве в муфельных печах с последующим отпуском. Процесс нагрева занимает относительно большой промежуток времени, в случае небольших партий изделий он невыгоден из-за больших энергетических затрат на работу печи. Скоростной нагрев таких изделий в условиях распределенного продольного обтекания позволяет ускорить процесс упрочнения. Цементация в условиях распределенного обтекания цилиндрических изделий дает возможность повысить равномерность слоя в хлоридно-глицериновом электролите. Толщина перлитного слоя, изменявшаяся от 30 до 220 мкм на детали длиной 60 мм при сосредоточенном продольном обтекании электролитом, находится в пределах 80–160 мкм при распределенном обтекании (275 В; 5 мин, охлаждение на воздухе). Влияние режимов цементации на характеристики получаемых слоев представлено в табл. 3.

Таблица 3. Характеристики мартенситных слоев после цементации и закалки

Напряжение	200	200	200	200	275	275	275	275
Наличие отпуска	Нет	Нет	Да	Да	Нет	Нет	Да	Да
Время цементации, мин	2	7	2	7	2	7	2	7
Толщина слоя, мкм	60	100	50	90	100	150	110	140
Твердость слоя, ГПа	6–7	6–7	4–5	4–5	5,5–7	5,5–7	4,5–5	4,5–5

Обнаруженное влияние концентрации глицерина в электролите для анодной цементации на изменение массы и шероховатости обрабатываемого изделия можно объяснить одновременным протеканием реакций глицерина с хлором и кислородом параллельно с анодным растворением и окислением стального изделия. Разработаны и испытаны на производстве технологии упрочнения малогабаритной технологической оснастки штампов и текстильных машин, позволяющие повысить их качество и ресурс. Разработанная технология скоростного анодного упрочнения колонок и фиксаторов пресс-форм ЗАО «Костромской инструментальный завод» ЛТД позволила сократить продолжительность нагрева под закалку от 15 минут до 1 минуты и снизить на 30% затраты энергии на каждое изделие.

Работа выполнена по программе государственного задания при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Nie X., Wang L., Yao Z.C., Zhang L., Cheng F. Sliding Wear Behaviour of Electrolytic Plasma Nitrided Cast Iron and Steel. *Surf. Coat. Technol.* 2005, **200**(5–6), 1745–1750.
- Ревенко В.Г., Чернова Г.П., Паршутин В.В., Богдашкина Н.Л., Томашов Н.Д., Белкин П.Н., Пасинковский Е.А. Влияние процесса азотирования в электролите на защитные свойства конверсионных покрытий. *Защита металлов.* 1988, **24**(2), 204–210.

3. Bejar M.A., Henriquez R. Surface Hardening of Steel by Plasma-electrolysis Boronizing. *Materials and Design*. 2009, **30**, 1726–1728.
4. Belkin P.N., Dyakov I.G., Zhirov A.V., Kusmanov S.A., Mukhacheva T.L. Effect of Compositions of Active Electrolytes on Properties of Anodic Carburization. *Prot. Met. Phys. Chem. Surf.* 2010, **46**(6), 715–720.
5. Кусманов С.А., Жиров А.В., Дьяков И.Г., Белкин П.Н. Влияние оксидного слоя на характеристики анодной цементации малоуглеродистых сталей. *Упрочн. технол. покр.* 2011, **76**(4), 15–21.
6. Ганчар В.И., Згардан И.М., Дикусар А.И. Анодное растворение железа в процессе электролитного нагрева. *Электронная обработка материалов*. 1994, (4), 69–77.

*Поступила 13.02.12*  
*После доработки 01.03.12*

### **Summary**

Possibility of roughness improvement of the low-carbon steels after its anode carburizing by decrease of the ammonia chloride and glycerol concentrations is shown. It is used the method of the difference decreasing of the carburized layer thickness by the distributed axial flow around sample. Examples of practical applications of the anode carburizing are presented.

---