

**Формирование остаточных напряжений
при восстановлении деталей электролитическим хромированием**

С. В. Малыш¹, И. М. Ковенский^{2*}, Л. З. Чаугарова²

¹ПАО «Тюменские моторостроители», г. Тюмень, Россия

²Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

*e-mail: kovenskijim@tyuiu.ru

Аннотация. Рассмотрено влияние электролиза на характер и величину остаточных напряжений в стальной основе и хромовом покрытии в процессе восстановления деталей. Показано, что при увеличении сжимающих напряжений на поверхности основы наблюдаются снижение растягивающих напряжений в осадках хрома и переход их в сжимающие вблизи с границей основы. Значения растягивающих остаточных напряжений в осадках хрома уменьшаются при увеличении сжимающих остаточных напряжений основы. Установлена корреляция параметров кристаллической решетки гальванического хрома и стальной основы.

Ключевые слова: остаточные напряжения; электролитическое хромирование; параметр кристаллической решетки

**Formation of residual stresses
during the restoration of parts by chrome electroplating**

Sergey V. Malysh¹, Ilya M. Kovenskiy^{2*}, Larisa Z. Chaugarova²

¹Tyumen Engine Builders PAO, Tyumen, Russia

²Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

*e-mail: kovenskijim@tyuiu.ru

Abstract. As the title implies the influence of the electrolysis on the nature and magnitude of residual stresses in the steel base and the chrome coating during restoration of parts has been considered. It has been shown that with an increase in compressive stresses on the surface, a decrease in tensile stresses in the chromium deposit and transition of tensile stresses to compressive ones near the boundary of the base are observed. A correlation between the parameters of the crystal lattice of electroplated chromium and the steel base has been established. The values of the

tensile residual stresses in the chromium deposit decrease with increasing the compressive residual stresses in the base.

Key words: residual stresses; chrome electroplating; crystal lattice parameter

Введение

Применяемые при ремонте деталей нефтегазового оборудования гальванические хромовые покрытия позволяют восстановить размеры стальной детали, но при этом могут ухудшать другие важные характеристики стали, и в первую очередь предел выносливости (на 20–70 %) [1–4].

В работах [5–7] показано, что на формирование физико-механических свойств материала восстанавливаемых деталей влияют толщина слоя хрома, условия электроосаждения, наводороженность, способы и режимы механической обработки, характер нагружения детали. В ряде публикаций рассмотрено влияние электролиза на характер и величину внутренних напряжений, отмечено также влияние подложки на структурные характеристики электроосажденного хрома [8–12]. Последнее обусловлено, вероятно, высокой адгезией хромовых покрытий, осаждаемых со значительными остаточными напряжениями растяжения. В связи с этим представляется актуальным рассмотреть хромируемую деталь как систему «стальная подложка — хромовое покрытие» и изучить влияние подготовки основы на остаточные напряжения, которые, как свидетельствует [13], весьма чувствительны к состоянию поверхности. В частности, показано, что в хромовых осадках, полученных методом гибкого катода, растягивающие внутренние напряжения стабилизируются на глубине 6–8 мкм и в дальнейшем остаются постоянными, составляя приблизительно 50 кгс/мм².

Объект и методы исследования

В данной работе построение эпюр остаточных напряжений по глубине образца проводили по методу Н. Н. Давиденкова. Для проведения исследований был подготовлен образец по технологии [14] с обработкой микрошариками в течение 25 минут, на поверхность которого был нанесен гальванический хром толщиной 40 мкм.

После записи кривой деформации образца при травлении и обработки результатов была получена эпюра распределения остаточных напряжений по глубине образца (рисунок).

Результаты и их обсуждение

На рисунке отчетливо наблюдается граница между хромом и основой на глубине 40 мкм. В этом месте происходит смена знака напряжения, то есть изменение растягивающих напряжений в хrome на сжимающие в основе. На поверхности хромового осадка значение растягивающих остаточных напряжений составляет 5 кгс/мм², которые уменьшаются до нуля на глубине 40 мкм и в дальнейшем под действием основы переходят в сжимающие. В основе сжимающие остаточные напряжения плавно достигают максимума (–27 кгс/мм² на общей глубине порядка 80 мкм) и затем медленно уменьшаются, переходя в растягивающие напряжения на глубине основы около 110 мкм. Данные о распределении остаточных напряжений, которые

были получены в [15] для образца без хромового покрытия с обработкой поверхности микрошариками в течение 20 минут, составляют -50 кгс/мм^2 на глубине 10 мкм и уменьшаются до нуля на глубине около 110 мкм.

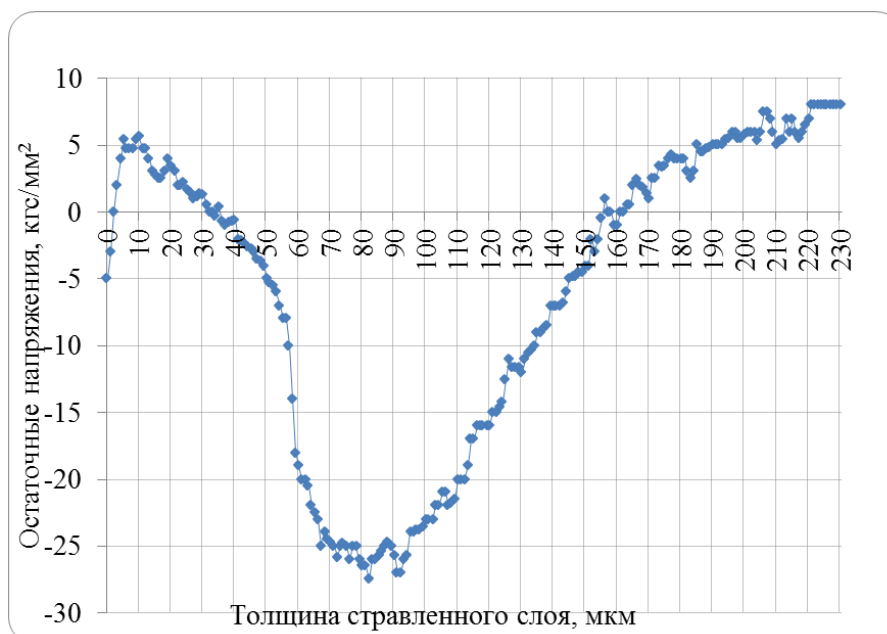


Рисунок. Эпюра остаточных напряжений в образце

Полученные результаты свидетельствуют о влиянии основы на остаточные напряжения хромового покрытия и о распределении остаточных напряжений в образце в целом. Изменение величины остаточных напряжений в основе приводит к изменению остаточных напряжений в слое гальванического хрома. Можно полагать, что изменение остаточных напряжений основы должно сопровождаться изменением параметров кристаллической решетки хромового покрытия.

С целью проверки данного предположения была проведена серия экспериментов, позволяющая установить существование зависимости параметра решетки от величины сжимающих напряжений (времени обработки основы микрошариками).

Для проведения экспериментов было подготовлено 6 образцов по методике, описанной в [15]. Один образец обработке микрошариками не подвергался, остальные образцы обрабатывались 5, 10, 15, 20 и 25 минут. Затем на образцы в стандартном электролите был нанесен слой хрома толщиной 40 мкм. После чего на рентгеновском дифрактометре ДРОН-7 определялись параметры кристаллической решетки хрома всех исследуемых образцов.

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что с увеличением времени обработки основы микрошариками происходит уменьшение параметра кристаллической решетки гальванических осадков хрома.

Зависимость параметра решетки от времени обработки микрошариками основы

Номер образца	Время обработки, мин	Постоянная решетки, Å
1	0	2,87863
2	5	2,87837
3	10	2,87822
4	15	2,87697
5	20	2,87682
6	25	2,87644

Проведенные нами ранее исследования [14, 15] показали, что с увеличением времени обработки образца микрошариками увеличиваются сжимающие остаточные напряжения и глубина их распространения, параметр решетки при этом уменьшается. Таким образом, наблюдается прямая зависимость параметра решетки гальванического хрома от параметра решетки основы. Значения растягивающих остаточных напряжений в осадках хрома, по крайней мере при толщине порядка 40 мкм, уменьшаются при увеличении сжимающих остаточных напряжений основы.

Выводы

Исследованиями поверхности основы для нанесения гальванического хрома установлено влияние основы на распределение остаточных напряжений в осадке гальванического хрома. При увеличении сжимающих напряжений на поверхности основы наблюдаются снижение растягивающих напряжений в осадках хрома и переход их в сжимающие вблизи с границей основы.

Библиографический список

1. Брондз, Л. Д. Технологии и обеспечение ресурса самолетов / Л. Д. Брондз. – Москва : Машиностроение, 1986. – 184 с. – Текст : непосредственный.
2. Молчанов, В. Ф. Эффективность и качество хромирования / В. Ф. Молчанов. – Киев : Техника, 1979. – 229 с. – Текст : непосредственный.
3. Рябой, А. Я. Повышение ресурса авиационных деталей из высокопрочных сталей / А. Я. Рябой, Л. Д. Брондз. – Москва : Машиностроение, 1977. – 103 с. – Текст : непосредственный.
4. Вихров, Н. М. Влияние проточного электролитического хромирования на предел выносливости стали / Н. М. Вихров, В. А. Голицын. – Текст : непосредственный // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2014. – №4 (26). – С. 59–67.
5. Аджиев, Б. У. Современная технология хромирования / Б. У. Аджиев, Б. У. Рогожин, З. А. Соловьева. – Текст : непосредственный // Материалы краткосрочного семинара (14–15 декабря) / Под ред. Л. Я. Богорада. – Ленинград : ЛДНТП, 1976. – 116 с.
6. Устюгов, А. Г. Исследование дефектов хромовых покрытий / А. Г. Устюгов. – Текст : непосредственный // Мир гальваники. – 2008. – № 3 (7). – С. 18–21.
7. Грилихес, С. Я. Обезжиривание, травление и полирование металлов / С. Я. Грилихес. – Москва : РХТУ, 1994. – 191 с. – (Библиотека гальванотехника : Приложение к журналу «Гальванотехника и обработка поверхности»; Вып. 1). – Текст : непосредственный.
8. Ковенский, И. М. Электролитические сплавы / И. М. Ковенский, В. В. Поветкин. – Москва : Интермет инжиниринг, 2003. – 288 с. – Текст : непосредственный.

9. Ковенский, И. М. Термическая обработка электроосажденных металлов и сплавов / И. М. Ковенский. – Москва : Наука и технологии, 2016. – 180 с. – Текст : непосредственный.
10. Kovensky, I. M. Electrodeposited alloys / I. M. Kovensky, V. V. Povetkin. – Текст : непосредственный. – Moscow : Internet engineering, 2003. – 272 p.
11. Ковенский, И. М. Методы исследования электролитических покрытий / И. М. Ковенский, В. В. Поветкин ; Рос. АН, Сиб. отд-ние, Ин-т пробл. освоения Севера, Тюменский индустриальный институт. – Москва : Наука, 1994. – 234 с. – Текст : непосредственный.
12. Ковенский, И. М. Испытания гальванических покрытий / И. М. Ковенский, В. В. Поветкин. – Москва : Интернет инжиниринг, 2001. – 136 с. – (Специалист-металловед) Текст : непосредственный.
13. Солодкова, Л. Н. Электролитическое хромирование : приложение к журналу «Гальванотехника и обработка поверхности» / Л. Н. Солодкова, В. Н. Кудрявцев ; под ред. В. Н. Кудрявцева. – Москва : Глобус, 2007. – 191 с. – Текст : непосредственный.
14. Ковенский, И. М. Восстановление деталей из стали ЭИ96-Ш электролитическим хромированием / И. М. Ковенский, С. В. Малыш. – DOI 10.31660/0445-0108-2015-4-112-116. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2015. – № 4. – С. 112–116.
15. Ковенский, И. М. Восстановление изношенных поверхностей с неоднородной структурой электролитическим хромированием / И. М. Ковенский, С. В. Малыш. – Текст : непосредственный // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2016. – № 12(144). – С. 39–42.

References

- 1 Brondz, L. D. (1986). Tekhnologiya i obespechenie resursa samoletov. Moscow, Mashinostroenie Publ., 184 p. (In Russian).
- 2 Molchanov, V. F. (1979). Effektivnost' i kachestvo khromirovaniya. Kiev, Tekhnika Publ., 229 p. (In Russian).
- 3 Ryaboy, A. Ya., & Brondz, L. D. (1977). Povyshenie resursa aviatsionnykh detaley iz vysokoprochnykh staley. Moscow, Mashinostroenie Publ., 103 p. (In Russian).
- 4 Vihrov, N., & Golicyn, V. (2014). Effect of the chromium flow electroplating on the fatigue strength of the steel. Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova, 4(26), pp. 59-67. (In Russian).
- 5 Adzhiev, B. U., Rogozhin, B. U., & Solov'eva, Z. A. (1976). Sovremennaya tekhnologiya khromirovaniya. Materialy kratkosrochnogo seminar (December, 14-15). Leningrad, LDNTP Publ., 116 p. (In Russian).
- 6 Ustyugov, A. G. (2008). Issledovanie defektov khromovykh pokrytiy. Mir gal'vaniki, (3(7)), pp. 18-21. (In Russian).
- 7 Grilikhes, S. Ya. (1994). Obezshirivanie, travlenie i polirovanie metallov. Moscow, RKhTU Publ., 191 p. (In Russian).
- 8 Kovenskiy, I. M., & Povetkin, V. V. (2003). Elektroliticheskie splavy. Moscow, Internet inzhiniring, Publ., 288 p. (In Russian).
- 9 Kovenskiy, I. M. (2016). Termicheskaya obrabotka elektroosazhdennykh metallov i splavov. Moscow, Nauka i tekhnologii Publ., 180 p. (In Russian).
- 10 Kovensky, I. M., & Povetkin, V. V. (2003). Electrodeposited alloys. Moscow, Internet engineering Publ., 272 p. (In English).
- 11 Kovenskiy, I. M. & Povetkin, V. V. (1994). Metody issledovaniya elektroliticheskikh pokrytiy. Moscow, Nauka Publ., 234 p. (In Russian).
- 12 Kovenskiy, I. M., & Povetkin, V. V. (2001). Ispytaniya gal'vanicheskikh pokrytiy. Moscow, Internet inzhiniring Publ., 136 p.
- 13 Solodkova, L. N., & Kudryavtsev V. N. (2007). Elektroliticheskoe khromirovanie : prilozhenie k zhurnalu "Gal'vanotekhnika i obrabotka poverkhnosti". Moscow, Globus Publ., 191 p. (In Russian).
- 14 Kovenskiy, I. M., & Malyshev, S. V. (2015). Restoration of parts made of steel EI961-SH by electrolytic chrome plating. Oil and Gas Studies, (4), pp. 112-116. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2015-4-112-116
- 15 Kovenskii I. M., & Malyshev S. V. (2016). Restoration of worn surfaces with heterogeneous structure by electrochemical chromium plating. Strengthening technologies and coatings. 12(144), pp. 39-42. (In Russian).

Сведения об авторах

Малыш Сергей Владимирович, главный металлург, ПАО «Тюменские моторостроители», г. Тюмень

Ковенский Илья Моисеевич, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой материаловедения и технологии конструкционных материалов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: kovenskijim@tyuiu.ru

Чаугарова Лариса Зиннуровна, аспирант кафедры материаловедения и технологии конструкционных материалов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Information about the authors

Sergey V. Malysh, Chief Steelworker, Tyumen Engine Builders PAO, Tyumen

Ilya M. Kovenskiy, Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Material Science and Technology of Structural Materials, Industrial University of Tyumen, e-mail: kovenskijim@tyuiu.ru

Larisa Z. Chaugarova, Postgraduate at the Department of Material Science and Technology of Structural Materials, Industrial University of Tyumen