

3. Мовчан Б.А. Электронно-лучевая плавка и рафинирование металлов и сплавов / Б. А. Мовчан, А. Л. Тихоновский, Ю. А. Курапов. – К.: Наукова думка, 1972. – 240 с.
4. Тихоновский А. Л. Рафинирование металлов и сплавов методом электронно-лучевой плавки / А. Л. Тихоновский, А. А. Тур. – К.: Наукова думка, 1984. – 273 с.
5. Цвиккер У. Титан и его сплавы / У. Цвиккер; пер. с нем. – М.: «Металлургия», 1979. – 512 с.
6. Попель С. И. Теория металлургических процессов / С. И. Попель, А. И. Сотников, В. Н. Бороненков. – М.: Металлургия, 1986. – 462 с.
7. Титан / В. А. Гармата, А. Н. Петрунько, Н. В. Галицкий и др. – М.: Металлургия, 1983. – 559 с.
8. Понтрягин Л. С. Обыкновенные дифференциальные уравнения / Л. С. Понтрягин. – М.: Наука, 1970. – 356 с.
9. The Electron Beam Cold Hearth Melting Technology / Xiaojun Wang, Zhanqian Chen, Feng Chen and other // Titanium-2007: proc. of the 11th World Conf, Kyoto, Japan, 3-7 June, 2007. – The Japan Inst. of Metals. – 2007. – PP. 185-188.

Поступила в редакцию 29.04.2010

Рецензент д-р техн. наук, проф. А.Д. Рябцев

© Ахонин Д.С., Ратиев С.Н., 2010

УДК 543:621.35

В.И. Алимов, И.А. Уманская, М.В. Георгиаду

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗНЕННОГО СЛОЯ НА СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЯХ

Изучено строение и свойства железненных слоев на стали, в том числе, при тепловых и механических воздействиях; установлено повышение показателей износо- и коррозионной стойкости.

Ключевые слова: покрытие, железнение, структура, микротвердость, износостойкость, коррозионная стойкость

Введение

Наращивание железного слоя на металлическую подложку является способом восстановления изношенных деталей машин. Высокая производительность, простота осуществления технологического процесса, дешевизна и доступность исходных материалов, возможность получения осадков с нужными физико-механическими свойствами при низкой себестоимости восстановления, при больших скоростях наращивания покрытия, отсутствие термического воздействия на деталь, а значит, и коробления – все это выгодно отличает железнение от традиционных способов сварки и наплавки [1, 2].

Высокая износостойкость электролитического железа объясняется высокой твердостью покрытий, волокнистым строением осадков с расположением волокон перпендикулярно восстанавливаемой поверхности и образованием в процессе трения оксидных пленок на трущейся поверхности, выполняющих роль смазки [3].

Осадки электролитического железа по своим свойствам и строению отличаются от железа, полученного в обычном металлургическом процессе. Изменение свойств электролитического железа обусловлено, прежде всего, особенностью катодного процесса его получения [4, 5]; в зависимости от условий электролиза обеспечивается широкий диапазон микротвердости от 2000 до 7000 МПа.

Особенностью структуры электролитического железа являются предельная наклепанность этого материала и «замороженность» его дефектов, не позволяющая железу использовать весь ресурс пластичности. Но именно эта особенность обуславливает наибольшую прочность железа и его способность успешно сопротивляться трению и износу до тех пор, пока под влиянием внешних воздействий, например нагрева, дефекты структуры железа не придадут ему достаточную прочность [1, 6].

Структура и свойства электроосажденного железа в процессе и после термообработки исследованы мало. Вероятно поэтому роль термообработки в гальванотехнике сводится в основном к дегазации и снятию внутренних напряжений в покрытиях после электрокристаллизации. Между тем термообработкой и тем более, химико-термической обработкой можно целенаправленно воздействовать на специфическую структуру покрытий, формируемую в неравновесных условиях электрокристаллизации, и получать требуемые эксплуатационные характеристики.

При низкотемпературном нагреве (150 – 250 °С) электролитического железа происходит интенсивное удаление внедренного водорода, содержание которого после электролиза достигает 0,2 – 3,2 см³/100 г и происходит снижение остаточных напряжений с 0,3 – 1 ГПа до практически нулевых значений. Установлено, что после такого низкотемпературного отжига коррозионная стойкость цинка, олова, железа, никеля повышается [7].

В работе [8] высказано предположение о том, что при нагреве электролитических осадков железа образуются «коллекторы» в виде скоплений вакансий, которые наполняются водородом и создают дополнительные микронапряжения. Было установлено, что плотность дислокаций с увеличением температуры нагрева уменьшается тем быстрее, чем больше их первоначальные концентрации. Уменьшение плотности дислокаций связано в основном с аннигиляцией и перераспределением дислокаций в процессе отжига и полигонизации при нагреве. Плотность дислокаций в осадках железа, по данным РСА, соответствует по порядку величине плотности дислокаций сильно наклепанного металла ($10^{11} - 10^{12} \text{ см}^{-2}$) [7].

Цель работы

Целью настоящей работы являлось сравнительное изучение особенностей структуры и свойств продуктов железнения на стали, сформированных различными способами.

Основная часть

Осаждение железа проводили на образцы из стали Ст3 (катод) с феррито-перлитной структурой размерами 25x25 мм и толщиной 0,45 мм. Перед покрытием образцы обезжиривали и взвешивали на аналитических весах типа ВЛА-200М. Исходную толщину образца измеряли микрометром и металлографическим методом.

Покрытия железа получали из хлористого электролита железнения с концентрацией $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – 300 – 350 г/л, приготовленного растворением порошка железа в кислоте HCl по технологии, описанной в работе [6].

Процесс осаждения железа в кислых хлористых электролитах осуществляется с применением растворимых анодов, изготовляемых из малоуглеродистых сталей. Входящие в их состав сера, углерод, фосфор и другие элементы и соединения, не растворяющиеся в процессе электролиза, образуют на поверхности анода слой шлама, который увеличивает электрическое сопротивление анода и, попадая в раствор, загрязняет его. Увеличение электрического сопротивления анода приводит к разогреву электрода в околоанодном пространстве и тем самым ускоряет процесс окисления электролита. Поэтому аноды требуют периодической очистки и для уменьшения загрязнения их помещали в чехлы из стеклоткани, стойкой в электролите железнения.

Для получения качественных покрытий и предотвращения окисляемости в электролите поддерживали избыток кислоты (pH 0,5...1,0) [1, 7], который контролировали лакмусовой бумагой. Температуру электролита железнения поддерживали на уровне 50 – 54 °С, контроль температуры производили термометром типа ТФ-3. Плотность тока составляла $i_k = 40$ А/дм²; ток $I = 1,5 - 2$ А – регулировали с помощью выпрямителя типа В – 24; длительность процесса электроосаждения железа составляла 2 и 4 ч. После завершения процесса железнения образцы промывали водой, просушивали, взвешивали и измеряли толщину образца. Толщину покрытия определяли весовым методом, микрометром и металлографическим методом.

Испытания на абразивный износ и коррозионную стойкость проводили в водопроводной воде в течение 24 ч по методикам, описанным в работе [9]. Перед проведением испытания на абразивный износ образцы обезжиривали и взвешивали и при нагрузке 0,99 Н образец истирали на длине 10 м на крупной наждачной бумаге типа 14А32НМ356 по ГОСТ 6456-75. После проведения испытания образцы также обезжиривали и взвешивали на лабораторных весах.

Перед проведением испытания на коррозионную стойкость образцы обезжировали и взвешивали на весах. На поверхности образцов ограничивали пластилином лунки определенного диаметра. Затем лунку заполняли водопроводной водой с температурой 15 °С и выдерживали 24 ч. После проведения испытаний образцы также обезжировали и взвешивали.

На железный слой воздействовали сосредоточенной нагрузкой с целью нарушения его сплошности; в качестве деформирующего инструмента использовали твердомер Бринелля типа ТШ-2М ($d_{ш} = 10$ мм, $P = 62500$ Н).

Железные образцы подвергали отжигу в течение 1 часа при температурах 350 и 750 °С; отжиг проводили в печи СНОЛ-1,6.2,5.1/9.

Для сравнения изучали свойства образцов армко-железа и диффузионно железненные слои на стали. Диффузионное железнение проводили следующим образом. В алундовый тигель засыпали порошок железа, укладывали образцы из стали Ст3 и сверху также засыпали порошком железа. После смешивания шамота с силикатным клеем производили обмазку верха тигля.

Диффузионное железнение проводили в трубчатой печи СУОЛ-6.2,5/11 при температуре 1000 °С в течение 4 ч. Температуру печи контролировали хромель-алюмелевой термопарой. После диффузионного железнения тигель с образцами охлаждали с печью.

Как видно из таблицы 1, покрытие путем гальванического железнения имеет значительно более высокие показатели микротвердости, относительного износа и коррозионной стойкости в сравнении с армко-железом, полученным металлургическим путем.

Гальваническое железо после отжига 350 и 750 °С сохраняет свои коррозионные свойства и в пределах суток образцы устойчивы к водопроводной воде; отжиг при 350 °С приводит к улучшению показателей износа.

Нарушение сплошности железненного слоя изгибом приводит к повышению микротвердости слоя, однако показатели износа и коррозии резко ухудшаются. Ухудшение этих свойств связано с появлением после изгиба большого количества микро- и макротрещин. В процессе абразивного износа повышение потери массы вызвано возможным сколом слоя (вследствие образовавшихся после изгиба трещин). Коррозионный показатель увеличился вследствие неблагоприятного изменения соотношения поверхностей анодных и катодных участков.

Прочность сцепления гальванического железа с основой оценивали нанесением сетки царапин (через 3 мм) и методом изгиба. Следует отметить, что покрытие после отжига при 750 °С прочно связано с основой и при изгибе образцов на 90° не наблюдалось осыпания покрытия, как это происходило у образцов с неотожженным железненным слоем, и образцов, отожженных при 350 °С.

В процессе гальванического железнения на поверхности образцов происходил равномерный рост покрытия; на боковых гранях происходил рост покрытия в виде дендритов.

На рисунке 1 хорошо виден спиралевидный рост кристаллов, вызванный нарушениями граней кристаллической решетки; по данным таблицы 1 произошло снижение примерно в 2 раза микротвердости слоя гальванического железнения, что вызвано снятием внутренних напряжений и удалением водорода из покрытия.

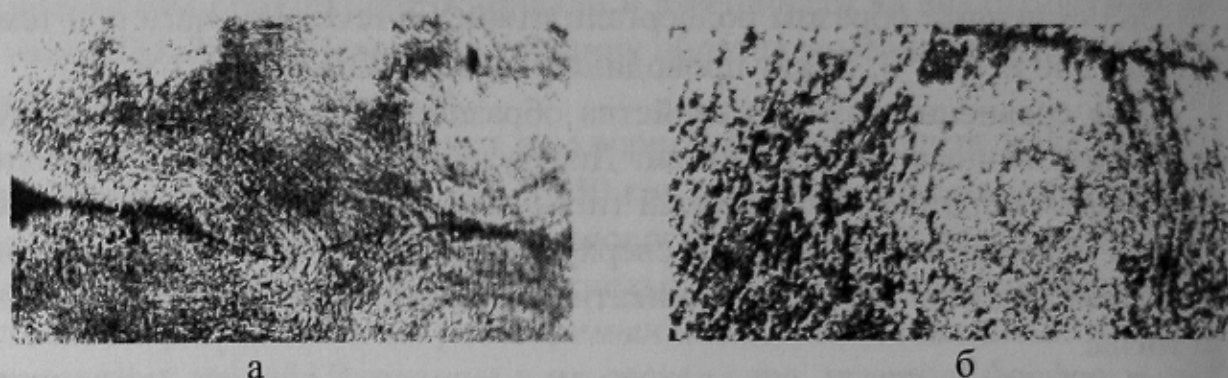


Рисунок 1 – Микроструктура покрытия путем гальванического железнения: а - х 400; б - х 1000

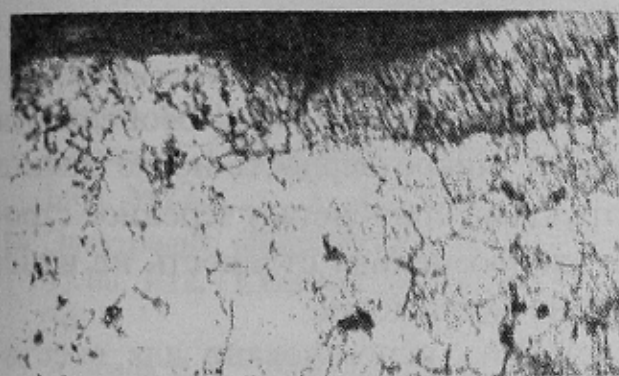
Таблица 1 – Результаты испытаний на абразивный износ и коррозионную стойкость (водопроводная вода, 24 ч)

Обработка образцов	Микротвердость, МПа	Абразивный износ, $\frac{\text{г}}{\text{см}^2 \cdot \text{м}}$	Коррозионная стойкость, $\frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$
Гальваническое железнение ($\delta_{\text{II}} = 46,4 \text{ мкм}$) [*]	7060 ± 683	0,0003	потери массы образца не происходило
Гальваническое железнение ($\delta_{\text{II}} = 452,7 \text{ мкм}$) [*] отжиг 350 °С в течение 1 ч	$3058,5 \pm 600$	0,0001	потери массы образца не происходило
Гальваническое железнение ($\delta_{\text{II}} = 85-90 \text{ мкм}$) [*] отжиг 750 °С в течение 1 ч	1284 ± 230	0,0073	потери массы образца не происходило
Гальваническое железнение с нарушением сплошности сосредоточенной нагрузкой $\delta_{\text{II}} = 46,4 \text{ мкм}$ [*]	8365 ± 470	0,2	80,06
Диффузионное железнение	944 ± 120	0,0029	1,59
Армко-железо	938 ± 135	0,0076	1,63

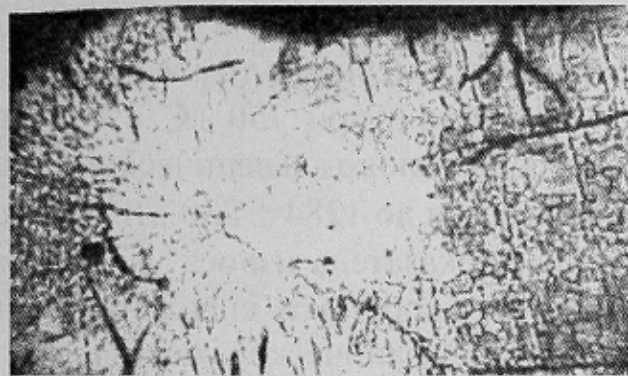
^{*} δ_{II} – толщина слоя покрытия, мкм

На рисунке 2 видно, как после отжига при 750 °С в покрытии появились зерна размером порядка $6 - 5 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ возле «стыка» покрытие-

основа, а на поверхности еще сохранилась столбчатая структура; прослеживается также столбчатое (волокнистое) направление зерен электролитического железа перпендикулярно подложке, чем обуславливается высокая износостойкость покрытия гальванического железнения при принятой схеме нагружения. После нарушения сплошности покрытия гальванического железнения происходит небольшое увеличение микротвердости с 7060 до 8365 МПа при отсутствии видимых изменений.



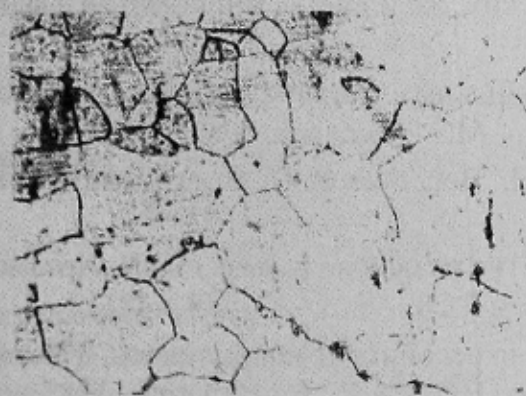
а



б

Рисунок 2 – Микроструктура покрытия гальванического железнения и отжига при 750 °С (1 ч, $\delta_n = 85 - 90$ мкм, $\tau_{жсл} = 1$ ч): а - х 200; б - х 1000

На рисунке 3 приведена микроструктура образца после диффузионного железнения при 1000 °С в течение 4 ч и армко-железа (х 250). Видно, что зерно после диффузионного железнения больше, чем у армко-железа, хотя по микротвердости (таблица 1) различие небольшое.



а



б

Рисунок 3 – Микроструктура после диффузионного железнения (а) и армко-железа (б), х 250

Выводы

1. Гальваническое железнение обеспечивает существенное повышение микротвердости по отношению к армко-железу, что обусловлено специ-

фичностью строения железного слоя. При этом заметно повышается абразивная износостойкость и устойчивость против коррозии.

2. Нарушение сплошности при деформировании изгибом покрытия гальванического железнения повышает его микротвердость с 7060 ± 683 до 8365 ± 470 МПа; показатели износа и коррозионной стойкости при этом ухудшаются.

3. Отжиг покрытия гальванического железнения при 350°C в течение 1 ч приводит к снижению его микротвердости примерно в 2 раза; показатель относительного износа улучшается, а коррозионная стойкость сохраняется примерно на том же уровне.

4. Отжиг при 750°C в течение 1 ч позволяет выявить особенности строения слоя гальванического железнения; микротвердость после отжига снижается до 1284 ± 230 МПа; микроструктура приобретает зеренное строение; показатель износа увеличивается, коррозионная стойкость не изменяется, а прочность сцепления с основой не ухудшается.

5. Гальваническое железнение может быть использовано для восстановления геометрии и повышения качества стального инструмента и деталей с регламентируемыми размерами [10], в том числе с последующим дополнительным насыщением [11 - 13] железного слоя или его армированием [14, 15].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шлугер М. А. Гальванические покрытия в машиностроении / М. А. Шлугер. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 240 с.
2. Восстановление деталей электролитическим железом. – Кишинев: «ШТИИИИЦА», 1987. – 116 с.
3. Мелков М. П. Восстановление автомобильных деталей твердым железом / М. П. Мелков, А. Н. Швецов, И. М. Мелкова. – М.: Транспорт, 1982. – 198 с.
4. Ремонт забойных машин / [Воробьев Б. П., Воробьев В. П., Ковенский Ю. Л. и др.]. – М.: Недра, 1976. – 216 с.
5. Артамонов В. П. Композиционное покрытие на основе железа / В. П. Артамонов, И. М. Жанзакова // Защита металлов. – 1992. – Т. 28. – № 3. – С. 478 – 481.
6. Восстановление изношенных деталей тонкослойными покрытиями / [Власенко Н. В., Черновол М. И., Чабанный В. Я., Мороз В. Е.]. – К.: Вища школа, 1988. – 63 с.
7. Петров Ю. Н. Рентгенографическое исследование рекристаллизации электролитического железа / Ю. Н. Петров, Е. А. Мамонтов, В. М. Козлов // Физика металлов и металловедение. – 1966. – Т. 22. – № 5. – С. 716 – 720.
8. Естественное старение электролитического железа / В. В. Карякин, В. М. Козлов, Е. А. Мамонтов [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 1968. – Т. 5. – № 3. – С. 497 – 500.
9. Алимов В. И. Повышение качества тугоплавких покрытий на твердосплавном инструменте / В. И. Алимов, И. А. Уманская // Вісник ДонДАБА. – 2003. – № 3(40). – С. 40 – 43.

10. Alimov V. I. To a question of the restoration of crucial tool and details after the exploitation / V. I. Alimov, M. V. Georgiadou, L. O. Zheltobruh // «Стратегия качества в промышленности и образовании: VI междунар. науч.-техн. конф., 4 – 11 июня 2010 г.: тезисы докл. – Варна, 2010. – С. 63 – 66.
11. Склад електрода для електродугового зміцнення низькотемпературною плазмою: патент 28801 Україна, МПК (2006) С 04 В 35/26. / Алімов В. І., Афанасьєва М. В. [та ін.]. - № 28801; заявл. 19.07.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл. № 21.
12. Спосіб відновлення поверхні зі швидкорізальної сталі: патент 37861 Україна, МПК (2008) С 21 D 9/22. / Алімов В. І., Георгіаду М. В., Дурягіна З. А. - № 37861; заявл. 25.10.2007; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 23.
13. Комбінований склад середовища для лазерного легування корозійностійких сталей: патент 45796 Україна, МПК (2009) В 23 К 26/00, С 21 D 9/00. / Дурягіна З. А., Алімов В. І., Лазько Г. В. [та ін.]. - № 45796; заявл. 15.06.2009; опубл. 25.11.2009, Бюл. № 22.
14. Электролит «Виктория»: патент 2143502 Российская Федерация, МПК6 С 25 D 15/00, 3/12. / Сысоев Г. Н. - № 98118787/02; заявл. 13.10.98, опубл. 27.12.99, Бюл. № 36
15. Алімов В.І. Свойства цинковых гальванических покрытий с армирующими частицами / В. И. Алимов, В. Г. Туков, Р. О. Нестеров // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Металургія. – 2009. – № 11 (159). – С. 201 – 205.

Поступила в редакцію 14.07.2010

Рецензент д-р техн. наук, проф. Е.Н. Смирнов

© Алімов В.І., Уманская И.А., Георгіаду М.В., 2010

УДК 621.774(03)

В.І. Алімов, А.П. Штихно, М.С. Глущенко

ВПЛИВ РЕЖИМУ ЗВАРЮВАННЯ НА МЕХАНІЧНІ ТА КОРОЗІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ З'ЄДНАНЬ МЕТАЛОПЛАСТИКОВИХ ТРУБ

Переважним видом з'єднання металопластикових труб марки stabі PN-20 для транспортування холодної і гарячої води є зварка за допомогою сполучних деталей, яка забезпечує рівномірність вузлів, що сполучаються, і тривалу працездатність, проте армований шар може сприяти їх корозійному руйнуванню.

Ключові слова: металопластикові труби, армований шар, зварювання, механічні властивості, корозійна стійкість

Вступ

Полімерні матеріали міцно увійшли до побуту людини, упроваджуючись у всі галузі промислового виробництва. Труби, виготовлені із полімерних матеріалів, завдяки позитивним властивостям, які вони мають, почали активно витісняти сталеві та чавунні трубопроводи [1]. Однією з найва-