



В. И. АЛИМОВ, доктор техн. наук
(ДонНТУ)



М. В. ГЕОРГИАДУ, аспирант
(ДонНТУ)



А. И. ШЕВЕЛЕВ, доктор техн. наук
(ОАО «Скрап»)

Детали гидравлики шахтного оборудования вследствие даже незначительной потери рабочих размеров теряют работоспособность, сохраняя при этом большой запас первичных эксплуатационных свойств. Для деталей с регламентируемыми размерами важными показателями, увеличивающими работоспособность, являются технология восстановления, механические свойства, качество обработки поверхности. При оптимизации этих показателей достигается увеличение длительности работы деталей и узлов из них, что уменьшает потери не только материальных ресурсов, но и рабочего времени. На восстановление деталей

УДК 543:621.35

Размерное восстановление деталей гидравлики горного оборудования наращиванием изношенных слоев

Рассмотрено наращивание размеров деталей гидравлики горного оборудования железнением с применением дополнительного упрочнения воздействиями на поверхность железненного слоя. Установлена возможность использования железнения для восстановления геометрии деталей горного оборудования с регламентируемыми размерами, обладающих повышенной износостойкостью.

Ключевые слова: горное оборудование, детали повышенной точности, износ, размерное термическое восстановление, железнение.

Контактная информация: geote@mail.ru

приходится меньше затрат, чем на производство новых; особенно это актуально в случае износа и потери рабочих размеров деталей. Поэтому в современных условиях производства проблема нахождения приемлемого и эффективного способа размерного восстановления деталей машин достаточно остра.

Ранее [1, 2] было показано, что размерное термическое восстановление изношенных при эксплуатации деталей повышенной точности, в частности деталей гидравлики горного оборудования, позволяет восстанавливать размеры деталей на 0,37–0,48 % исходных размеров. Однако при выходе из строя деталей с регламентированными размерами, значительно превышающими данный интервал, термическое восстановление не обеспечивает требуемых размеров в поле допуска.

Наращивание железненного слоя на металлическую стальную подложку – это способ восстановления деталей машин, изношенных выше допустимых пределов, который характеризуется высокой производительностью, дешевизной и доступностью исходных материалов, а также обеспечивает возможность получения осадков с нужными физико-механическими свойствами при низкой себестоимости восстановления. Большие скорости наращивания покрытия, отсутствие термического воздействия на деталь, а значит, и коробления, выгодно отличает железнение от традиционных способов восстановления путем сварки и наплавки [3].

Высокая износостойкость электролитического железа объясняется высокой твердостью покрытий, волокнистым строением осадков с расположением волокон перпендикулярно к восстанавливаемой поверхности и образованием в процессе трения оксидных пленок на трущейся поверхности, выполняющих роль смазки [4].

Осадки электролитического железа по своим свойствам и строению отличаются от железа, полученного во время обычного металлургического процесса. Изменение свойств электролитического железа обусловлено прежде всего особенностью катодного процесса получения [5]. В зависимости от условий электролиза обеспечивается широкий диапазон его микротвердости – от 2000 до 7000 МПа.

Особенность структуры электролитического железа – предельная наклепанность этого материала и «замороженность» его дефектов, не позволяющие железу использовать весь ресурс пластичности [3]. Структура и свойства электроосажденного железа в процессе термообработки и после нее исследованы мало. 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 низкотемпературных нагревах (150–250 °С) электролитического железа интенсивно удаляется растворенный водород, содержание которого после электролиза достигает 0,2–3,2 см³ на 100 г, и снижаются остаточные напряжения с 0,3–1 ГПа до низких значений. Установлено, что после такого низкотемпературного отжига коррозионная стойкость цинка, олова, железа, никеля повышается [6].

В работе [7] высказано предположение о том, что при нагреве электролитических осадков железа образуются «коллекторы» в виде скоплений вакансий, которые заполняются водородом и создают дополнительные микронапряжения. Плотность дислокаций в осадках железа по данным рентгеноструктурного анализа соответствует по порядку значению плотности дислокаций сильно наклепанного при холодной деформации металла ($10^{11} - 10^{12} \text{ см}^{-2}$) [6].

Цель работы – установление возможности размерного восстановления стальных деталей горного оборудования наращиванием изношенных слоев и их дальнейшего упрочнения.

Способ термического восстановления изношенных в процессе эксплуатации деталей можно определить по принципиальной схеме (рис. 1), из которой следует, что размерное восстановление металлических деталей на железной основе возможно разными путями. Если износ превышает допустимый предел, после которого термическое восстановление уже не обеспечивает вхождение в поле допуска размеров, восстановление производится путем наращивания слоев разными видами железнения.

Железо осаждали на образцы из низкоуглеродистой стали (катод) с феррито-перлитной структурой. Покрытия железа получали из хлористого электролита железнения $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – по технологии, описанной в работе [7].

Для получения качественных покрытий и предотвращения окисляемости в электролите поддерживали избыток кислоты [3, 6]. Длительность процесса электроосаждения железа $\tau_{\text{жел}}$ составляла 2 и 4 ч.

Испытания на абразивный износ и коррозионную стойкость проводили в водопроводной воде в течение 24 ч по методикам, описанным в работе [7]. Перед испытанием на абразивный износ образцы обезжиривали, взвешивали и истирали (на длине 10 м) крупной наждачной бумагой в соответствии с ГОСТ 6456–75. После испытаний образцы вновь взвешивали на лабораторных весах. Для повышения точности измерений на коррозионную стойкость на поверхности образцов пластилином ограничивали лунки определенного диаметра, которые затем заполняли водопроводной водой и определенное время выдерживали. На железный слой воздействовали сосредоточенной нагрузкой в целях нарушения его сплошности; в качестве деформирующего инструмента использовали твердомер Бринелля типа ТШ-2М. Железные образцы подвергали отжигу в течение 1 ч при температуре 350 и 750 °С.

Для сравнения изучали свойства образцов арможелеза и диффузионно железные слои на стали. Диффузионное железнение проводили следующим образом. В алуновом тигле засыпали порошок железа, укладывали образцы и сверху также засыпали порошок железа, обмазывали верх тигля; затем выдерживали при температуре 1000 °С в течение 4 ч, охлаждали вместе с печью.

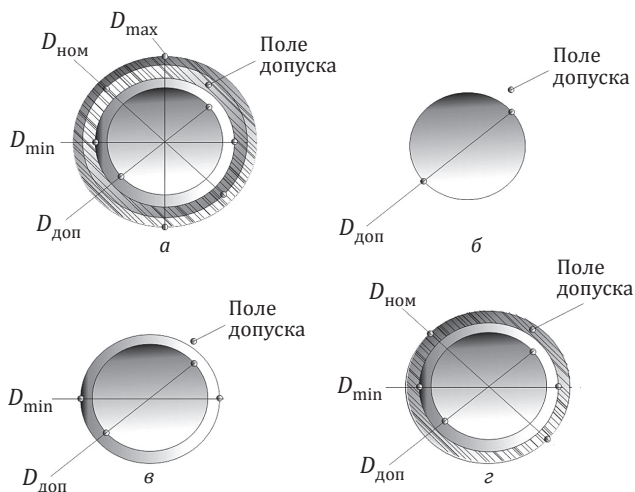


Рис. 1. Концептуальная схема размерного термического восстановления изношенных деталей гидравлики горного оборудования: а – новое изделие; б – после износа ниже минимального значения; в – термически восстановленное после износа меньше минимального значения; г – термически или химико-термически восстановленное изделие в поле допуска; размеры изделия: D_{max} – максимальный; $D_{\text{ном}}$ – номинальный (реальный); D_{min} – минимальный; $D_{\text{доп}}$ – допустимый, после которого при термическом восстановлении размеры входят в поле допуска.

Покрытие путем гальванического железнения имеет более высокие показатели микротвердости, относительно износа и коррозионной стойкости в сравнении с арможелезом, полученным металлургическим путем.

Гальваническое железо после отжига при температуре 350 и 750 °С сохраняет свои коррозионные свойства, и в пределах суток устойчиво к водопроводной воде; отжиг при температуре 350 °С улучшает показатели износа. Нарушение сплошности железного слоя изгибом повышает микротвердость слоя, однако показатели износа и коррозии резко ухудшаются, что 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

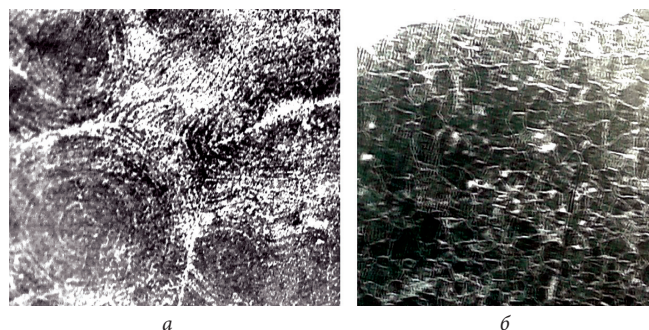


Рис. 2. Микроструктура покрытия путем гальванического железнения: а – $\times 400$; б – и отжига при температуре 750 °С (длительность $\tau_{\text{жел}} = 1$ ч, толщина покрытия $d_{\text{п}} = 85 \dots 90 \text{ мкм}$), $\times 200$.

увеличился вследствие неблагоприятного изменения соотношения поверхностей анодных и катодных участков.

Прочность сцепления гальванического железа с основой оценивали нанесением сетки цапапин и методом изгиба. После отжига при температуре 750 °С покрытие прочно связано с основой и при изгибе образцов на 90° не наблюдалось его осыпания как у образцов с неотожженным железным слоем и образцов, отожженных при температуре 350 °С. В процессе гальванического железнения на поверхности образцов покрытие равномерно росло, причем на боковых гранях – в виде дендритов.

На рис. 2, а хорошо виден спиралевидный рост кристаллов из-за перемещения плоскостей кристаллической решетки. Как видно из таблицы, микротвердость слоя гальванического железнения снизилась примерно в 2 раза, что вызвано снятием внутренних напряжений и удалением водорода из покрытия. После отжига (рис. 2, б) при температуре 750 °С в покрытии появляются зерна размером порядка $6 \cdot 10^{-4}$ – $5 \cdot 10^{-4}$ см возле «стыка» покрытие-основа, а на поверхности еще сохраняется столбчатая структура; прослеживается также столбчатое (волоконистое) направление зерен электролитического железа перпендикулярно к подложке, чем обуславливается высокая износостойкость покрытия гальванического железнения при принятой схеме нагружения. После нарушения сплошности покрытия гальванического железнения при отсутствии видимых изменений немного увеличивается микротвердость (с 7060 до 8365 МПа).

Несмотря на высокую микротвердость полученного электролитического покрытия, в дальнейшем повышение твердости и одновременно износостойкости на наращенных железных слоях можно достичь дополнительно нитридными и карбидными покрытиями. Возможность такого технологического приема подтверждена в работе [7], в которой авторами изучены структура и свойства покрытий из тугоплавких соединений Ti, Zr, Hf.

Покрытия наносили методом PVD на установке «Булат» [7], пропуская пары бензола с азотом над Ti (технология А), смесью Ti, Zr, Hf (технология Б) в течение 30 мин, или пропускали пары бензола, а потом азота по 15 мин над смесью Ti, Zr, Hf (технология В). Измеряли толщину покрытий металлографическим методом, микротвердость, проводили испытания на скорость эрозии. Для моделирования твердой железной подложки использовали твердый сплав типа ВК6. Полученные результаты см. в таблице.

Микротвердость подобного покрытия превышает микротвердость восстановленного железного слоя, что создает предпосылки одновременно с наращиванием слоев повысить их износостойкость.

Технология нанесения покрытий	Толщина слоя, мкм	Микротвердость, ГПа	Износ, г/(см ² ·м)	Скорость электрохимического сопротивления воздействию агрессивных сред, г/(см ² ·ч)
А	47,1	20,365	0,0066	2,03
Б	48,9	17,336	0,0022	15,09
В	49,1	12,140	0,0001	15,06

Выводы. Для восстановления размеров, геометрии и повышения качества стальных деталей гидравлики горного оборудования с регламентируемыми размерами можно использовать гальваническое железнение, в том числе с последующим дополнительным насыщением [8] железного слоя, его армированием или нанесением покрытий тугоплавкими соединениями металлов Ti, Zr, Hf [7].

Поверхностям, восстановленным гальваническим железнением, обеспечивается существенное повышение микротвердости, что обусловлено специфичностью строения железного слоя. При этом заметно повышается абразивная износостойкость и устойчивость против коррозии. Нарушение сплошности слоя при деформировании изгибом покрытия гальванического железнения повышает его микротвердость, показатели износа и коррозионной стойкости ухудшаются. Дальнейшее увеличение микротвердости восстановленных поверхностей может быть достигнуто нанесением покрытий соединениями металлов Ti, Zr, Hf; в результате микротвердость достигает уровня $2 \cdot 10^4$ МПа с одновременным повышением износостойкости и сохранением качества изделий.

Отжиг гальванически железненного покрытия при температуре 350 °С приводит к снижению микротвердости примерно в 2 раза. При этом показатель относительного износа улучшается, а коррозионная стойкость сохраняется на том же уровне. Отжиг при температуре 750 °С позволяет выявить особенности строения слоя гальванического железнения, заключающиеся в спиралевидном строении. Микротвердость после отжига снижается до 1284 МПа, микроструктура приобретает зеренное строение, показатель износа увеличивается, коррозионная стойкость не изменяется, а прочность сцепления с основой не ухудшается.

ЛИТЕРАТУРА

- Алімов В. І. Термічне відновлення радіальних розмірів деталей гідравлики шахтного кріплення / В. І. Алімов, М. В. Георгіаду, Л. О. Желтобрюх // Уголь України. – 2014. – № 5 (689). – С. 34–38.
- Алімов В. І. Концептуальна оцінка факторів розмірного термічного відновлення радіальних розмірів стрижневих вісесиметричних виробів / В. І. Алімов, М. В. Георгіаду, О. Б. Белевцов // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2013. – № 4 (102). – С. 135–144.
- Шлугер М. А. Гальванические покрытия в машиностроении / М. А. Шлугер. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 240 с.
- Ремонт забойных машин / [Б. П. Воробьев, В. П. Воробьев, Ю. Л. Ковенский и др.]. – М.: Недра, 1976. – 216 с.
- Артамонов В. П. Композиционное покрытие на основе железа / В. П. Артамонов, И. М. Жанзакова // Защита металлов. – 1992. – № 3. – Т. 28. – С. 478 – 481.
- Естественное старение электролитического железа / В. В. Карякин, В. М. Козлов, Е. А. Мамонтов [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 1968. – № 3. – Т. 5. – С. 497 – 500.
- Алімов В. І. Повышение качества тугоплавких покрытий на твердосплавном инструменте / В. І. Алімов, И. А. Уманская // Вісник ДонДАБА. – 2003. – № 3(40). – С. 40–43.
- Пат. 28801 Україна, МПК (2006) С 04 В 35/26. Склад електрода для електродугового зміцнення низькотемпературною плазмою / В. І. Алімов, М. В. Афанасьєва, А. П. Штихно, В. М. Кримов, Ю. В. Лобкова [та ін.]. – № 28801; заявл. 19.07.07; опубл. 25.12.07, Бюл. № 21.