

4. Пособие по расчету и конструированию сварных соединений стальных конструкций (к главе СНиП П-23-81) / ЦНИИСК им. Кучеренко. М.: Стройиздат, 1984. – 40 с.

5. Гарднер, Л. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 3: Проектирование стальных конструкций EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-8: пер. с англ./ Л. Гарднер, Д.А. Нетеркот; ред. серии Х. Гульванесян; Мин. обр. и науки Рос. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т»; науч. ред. пер. А.И. Данилов. – Москва: МГСУ, 2012. – 224 с.

6. Examples to Eurocode 3/ ECCs-Advisory Committee 5 Application of Eurocode 3. – № 71. – 1993. – 118 с.

УДК 621.785.5

В.Г. ДАШКЕВИЧ, канд. техн. наук,
М.А. СУДНИКОВ (БНТУ)

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕРМОДИФУЗИОННОГО БОРИРОВАНИЯ

Введение. Основными типами упрочнения, повышающими износостойкость узлов трения, являются способы термической и химико-термической обработки, например: закалка, цементация, азотирование, борирование. Способ борирования достаточно известен и описан в литературе (например, [1, 2]). Комплекс эксплуатационных показателей (высокие твердость, абразивная износостойкость, теплостойкость и др.) обуславливает эффективность применения борирования для многих изделий машиностроения, сельского хозяйства, строительства. Так, например, для ряда инструментальных сталей машиностроительного производства проведение борирования повышает стойкость инструмента в 1,5–8 раз [1, 2].

Отметим, что процесс борирования известен и применяется во всем мире (рисунки 1), в том числе в технологически развитых странах из-за уникального комплекса свойств образующихся слоев.

<i>Производители/Страны происхождения (технологии)</i>	<i>Продукция</i>
 <p><i>BorTec, Германия</i> <i>https://bor-tec.de</i></p>	<p><i>Производство порошковых сред, паст, гранулятов для термодиффузионного барирования</i> <i>Насыщающая среда EKA-BOR (для низкотемпературного барирования BORINOX)</i></p>
 <p><i>IBC Group, Япония</i> <i>(Транснациональная компания)</i> <i>https://www.ibccoatings.com</i></p>	<p><i>Производство порошковых сред для барирования, насыщающая среда EKA-BOR</i> <i>Заявленные характеристики: твердость 1400-1900HV, толщина слоя 12-500нм.</i></p>
 <p><i>Bodycote, США</i> <i>(Транснациональная компания)</i> <i>http://www.bodycote.com</i></p>	<p><i>Производство порошковых сред для барирования, оказание услуг по барированию.</i></p>
 <p><i>Hef Group, Франция</i> <i>(Транснациональная компания)</i> <i>http://www.hef.fr</i></p>	<p><i>Производства гранулярных сред и паст для барирования.</i> <i>Насыщающие среды: DURBORID G и DURBORID PASTE</i></p>

Рисунок 1 – Зарубежные фирмы, занимающиеся борированием

В основу классификации разработанных и применяемых в настоящее время процессов борирования можно положить агрегатное состояние насыщающей среды при химико-термической обработке. В соответствии с этим признаком выделяют три основных направления борирования: в твердых (в порошках), жидких, газообразных средах (рисунок 2) [2]. Одним из основных способов борирования в настоящее время является насыщение в порошковых средах. За рубежом такая технология достаточно популярна, в частности, фирма BorTec (Германия) использует в основном именно порошковое борирование. Активно развивается электролизное и электролитное борирование, а конкретнее – электролитно-плазменное. Последнее направление активно развивается и совершенствуется российскими учеными [3]. Вместе с тем, заметим, что раньше в общей классификации такой способ даже не указывался.

Борирование в обмазках (из паст) занимает промежуточное положение между борированием в твердых и жидких средах. В зависимости от состава обмазки, температуры процесса и способа нагрева этот способ борирования приближается к одному из указанных.



Рисунок 2 – Классификация способов борирования

При сравнительной оценке существующих способов борирования в первую очередь необходимо учитывать их технологические достоинства и недостатки, кинетику насыщения и экономические затраты на упрочнение.

Отметим, что все способы имеют так или иначе общие недостатки – достаточно большую длительность процесса и недостаточную пластичность диффузионного слоя, т.е. хрупкость, что приводит к выкрашиванию слоя при работе.

Сравнительная характеристика трех наиболее популярных традиционных способов борирования и их возможности по снижению хрупкости слоя приведена в таблице 1.

Существующая проблема может решаться новыми комбинированными способами обработки, которые позволяют принципиально изменить морфологию боридного слоя. В настоящей работе рассматривается вариант комбинированной

обработки, заключающейся в электроискровом легировании (ЭИЛ) и последующем борировании [4, 5].

Таблица 1 – Сравнительная характеристика способов борирования

Методы снижения хрупкости	ТДБ	ГБ	ЭБ
Предварительная обработка поверхности	+	+	+
Установление оптимальных температурно-временных условий	+	+	+
Проведение ступенчатого режима по температуре, электрическим и технологическим параметрам	+	+	+
Микролегирование слоя из обрабатываемого материала или насыщающей среды	–	–	±
Применение концентрированных источников энергии	±	–	–
Проведение дополнительной обработки получаемых боридных слоев	+	+	+
Установление толщины боридного слоя, соответствующей допустимому ее значению для выбранной марки стали	+	+	+
Проведение окончательной термической и механической обработки	+	+	+
Обеспечение оптимального соотношения боридных фаз	+	±	–
Снижение в слое хрупкой высокобористой фазы FeB	+	±	–
Получение слоя с разобшенными боридными иглами	+	±	±
Управление скоростью охлаждения после насыщения	–	+	+
Регулирование степени текстурированности слоя боридов	±	–	–
Регулирование толщины сплошного слоя и степени игольчатости боридов	+	±	±
«+» – применяется; «–» – не применяется; «±» – возможно применить ТДБ – термодиффузионное борирование; ГБ – газовое борирование; ЭБ – электролизное борирование			

Электроискровое легирование (ЭИЛ) основано на явлении электрической эрозии и полярного переноса материала анода (электрода) на катод (деталь) при протекании импульсных разрядов в газовой среде. В результате ЭИЛ на поверхности детали формируется слой покрытия (0,01–0,2 мм), состоящий из износо-, жаро- или эрозионно-стойких материалов [6].

Сдерживающим фактором рассматриваемого сочетания обработок является известная недостаточная технологичность электроискровых технологий нанесения покрытий, в частности:

– низкая скорость процесса, зависящая от частоты импульсов, т.е. от частоты механических колебаний вибратора с анодом;

- дискретный вид покрытия из-за особенностей процесса переноса металла с анода на поверхность катода;
- невозможность обработки труднодоступных мест;
- возможность нанесения покрытий только из электропроводных материалов;
- неравномерность формирующегося покрытия и значительная дефектность структуры в виде открытой пористости и неметаллических включений.

Материалы и методика исследований

При нанесении покрытий ЭИЛ использовали установку ENPO UR-121, материал электрода – техническая медь. Параметры обработки: сила тока $I < 0,5$ А; напряжение $U = 220$ В; частота вибрации $10\text{--}20$ с⁻¹ (турбо режим). После нанесения электроискрового покрытия проводилось термодиффузионное борирование, которое осуществлялось при печном нагреве в герметичном контейнере с плавким затвором. Режим обработки был выбран нестандартным: температура 920 °С, время 1 ч. Для проведения процесса использована шахтная электрическая печь с селитовыми нагревателями. Контроль температуры осуществляли с помощью потенциометра КСП-3П, градуировка ХА. В качестве насыщающей смеси использовали порошковую среду марки «BESTO-Vor».

Результаты исследований

При совмещении двух технологических процессов упрочнения необходимо учитывать применяемые материалы и образующиеся структуры. Для рассматриваемого случая покрытия, формирующиеся при электроискровой обработке, можно разделить на две группы: 1 – покрытия, способствующие интенсификации процесса диффузии элемента (в нашем случае бора); 2 – барьерные покрытия, частично или полностью подавляющие процесс диффузии элемента вглубь изделия [7, 8]. Наиболее перспективным направлением сочетания рассматриваемой комбинации является возможность получения регулярных покрытий, состоящих из боридных участков, обособленных друг от друга фрагментами электроискрового медного покрытия.

Применение такой совмещенной обработки может проходить по следующей схеме:

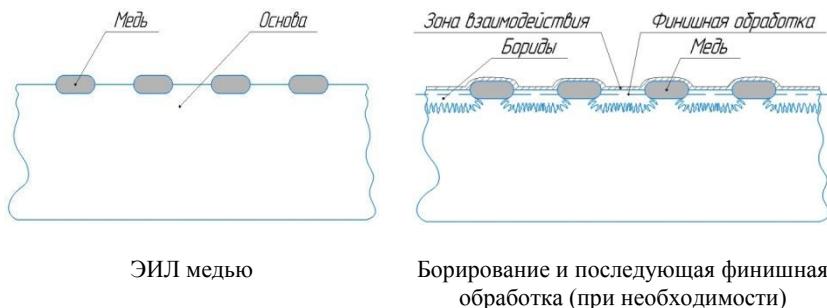


Рисунок 3 – Схема получения покрытия при комбинации ЭИЛ и борирования

Известно, что сплошные боридные слои обладают хрупкостью, которая связана с упругими свойствами боридов. В условиях, когда невозможно перераспределение упругих деформаций в основной металл, происходит достаточно быстрое скалывание диффузионного боридного слоя. При формировании участков боридных игл, обособленных между собой фрагментами покрытия, полученного ЭИЛ, должна происходить частичная компенсация упругих деформаций в слое за счет соседних зон и, как следствие, снижение хрупкости.

В результате проведенной комплексной обработки сформировалась структура с ярко выраженной зоной боридного слоя и зоной ЭИЛ медью, причем переходная зона достаточно резкая (рисунок 4). Микротвердость боридного участка составляет 14000–15000 МПа, медного слоя 1500–2800 МПа.

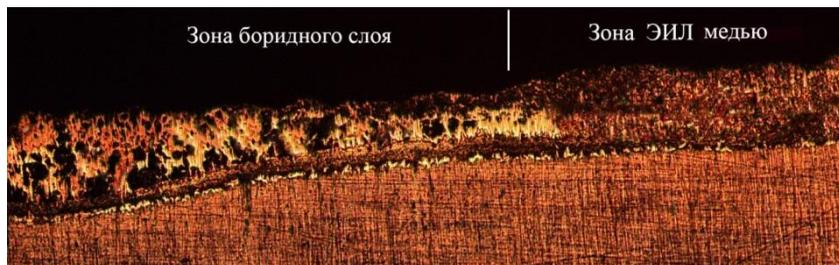


Рисунок 4 – Микроструктуры покрытий, состоящих из зон боридного слоя и зон ЭИЛ медью

Заключение.

Показано, что нанесение медного покрытия способом ЭИЛ способствует разделению общего слоя при последующем борировании на зоны боридного слоя и зоны ЭИЛ медью, поскольку медный слой обеспечивает практически полное подавление сквозной диффузии. При варьировании шагом предварительной электроискровой обработки создаются предпосылки снижения общей хрупкости получаемого композиционного покрытия. Вместе с тем, для выявления наиболее эффективных вариантов требуются дополнительные исследования.

Установлено, что микротвердость получаемых боридных участков не уступает микротвердости слоев полученных при классических условиях обработки, в том числе в зоне, приближающейся к переходной, и составляет 14000–15000 МПа.

Список литературы

- 1. Минкевич, А.Н.** Химико-термическая обработка металлов и сплавов / А.Н. Минкевич. – М.: Машиностроение, 1965. – 491 с.
- 2. Крукович, М.Г.** Пластичность борированных слоев / М.Г. Крукович, Б.А. Прусаков, И.Г. Сизов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 384 с.
- 3. Кусманов С.А.** Анодное электролитно-плазменное насыщение малоуглеродистой стали углеродом, азотом, бором и серой [Текст] / С.А. Кусманов, А.Р. Наумов, И.В. Тамбовский, П.Н. Белкин // Письма о материалах. – 2015. – Т. 5. – № 1. – С. 35–38.
- 4. Колмыков, Д. В.** Комбинированные методы восстановления и упрочнения стальных деталей / Д.В. Колмыков, О.В. Воробьева, В.В. Катенев // Электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2016. – № 4 (12) – С. 12–14.
- 5. Лисняк, А.Г.** Комбинированный метод упрочнения поверхности стальных деталей / А.Г. Лисняк, В.В. Загора // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта. – Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет». – № 1. – 2015. – С. 90–92.
- 6. Электроискровое легирование металлических поверхностей // А.Е. Гитлевич [и др.].** – Кишинев: Изд-во «Штиинца», 1985. – 196 с.

7. Дукаревич, И.С. Перераспределение элементов в борированном слое / И.С. Дукаревич, М.В. Можаров, А.В. Шигаев // МиТОМ, 1973. – № 2. – С. 64–66.

8. Константинов, В.М. Изменение морфологии термодиффузионного боридного слоя при предварительном меднении основы / В.М. Константинов, В.Г. Дашкевич, М.А. Судников // Инженерия поверхности и реновация изделий: материалы 17-й Междунар. науч.-техн. конф. (29 мая–02 июня 2017 г., г. Одесса). – Киев: АТМ Украины, 2017. – С. 65–68.

УДК 621.771

К.В. САДКО (ЗАО «Белтехнология и М»)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА ОСЕВОЕ РАЗРУШЕНИЕ ПРИ ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЙ ПРОКАТКЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Поперечно-клиновое прокатывание относится к высокоэффективным процессам объемной деформации металлов и сплавов и применяется для производства изделий типа вал, ось, корпус и других тел вращения. Как известно, сущность процесса плоского поперечно-клинового прокатывания заключается в упругопластическом качении горячей заготовки между двумя клиновыми инструментами, параллельно перемещающимися навстречу друг другу и установленными на плитах, или вращающимися в одну сторону и установленными на валках с параллельными осями (рисунок 1).

Метод поперечно-клинового прокатывания имеет ряд преимуществ перед технологиями штамповки и точения. По сравнению с точением она обеспечивает более высокий коэффициент использования материала, низкую трудоемкость производства и более высокую производительность. При прокатывании получают повышенные механические свойства изделий в сравнении с резанием. Преимущества поперечно-клинового прокатывания по сравнению со штамповкой состоят в достижении более высокой производительности, достигаемого уровня точности изделий и стойкости инструмента [1].