

ые температура и время выдержки вызывают растворение поверхности диффузионных слоев (см. рис. 1, б). При алитировании в расплаве алюминия без добавки железной стружки были получены аналогичные результаты. После насыщения по оптимальному режиму жаростойкость при 950°C в течение 50 ч возрастает в 6,8—15,5 и 20—45 раз соответственно для СЧ и ВЧ, что в 1,4—6,9 раз выше, чем после алитирования в порошках. После жидкостного алитирования в структуре слоев содержатся алюминиды $FeAl_3$ и Fe_2Al_5 , а микротвердость слоя составляет $H_{100} 825—1100$. В процессе высокотемпературной выдержки происходит рассасывание исходного слоя и образование обширной зоны α -твердого раствора; при этом микротвердость основного слоя понижается в среднем на $H_{100} 250$.

Алитирование способом напыления с последующим нагревом, по существу, является разновидностью жидкостного метода, когда насыщение происходит при использовании ограниченных объемов насыщающего расплава, расход которого при высокотемпературной выдержке обусловлен защитными свойствами обмазки, предотвра-

щающей не только сорбцию и стекание алюминия с насыщающей поверхности, но и его окисление. Исследование проводили с использованием обмазок различных составов из маршалита, глины, жидкого стекла, графита, древесного угля, чугунной стружки. После нанесения обмазки и сушки образцы выдерживали при 950°C до 10 ч. Формирование и рост основного слоя происходят в первые 1—2 ч, и его микротвердость достигает $H_{100} 575—825$. При более длительных выдержках протекают уже процессы диффузионного рассасывания сформировавшегося слоя и образования зоны α -фазы, возрастает пористость в наружной зоне слоя.

Из полученных результатов следует, что жидкостное алитирование имеет преимущества перед другими методами, так как насыщение протскает за более короткое время и при более низких температурах и при этом обеспечиваются высокие качества защитного слоя. Однако жидкостное алитирование не обеспечивает необходимую чистоту поверхности и сопряжено с налипанием, т. е. нерациональным расходом алюминия.

ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Е. И. БЕЛЬСКИЙ, М. В. СИТКЕВИЧ,
В. А. РОГОВ, В. П. КРЮКОВ
Белорусский политехнический институт,
ПО «Минский тракторный завод
им. В. И. Ленина»

УДК 621.785.539:621.735.073

Традиционные методы химико-термической обработки связаны с применением дорогостоящего оборудования и при диффузионном упрочнении крупногабаритной штамповой оснастки крайне нетехнологичны.

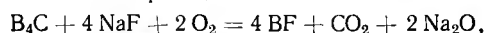
В настоящей работе исследовали составы для диффузионного насыщения такого рода инструмента из обмазок, обеспечивающих наряду с защитой рабочих поверхностей штампов от окисления и обезуглероживания также химико-термическое упрочнение в условиях длительного высокотемпературного нагрева под закалку.

Большое влияние на диффузионное упрочнение в условиях печного нагрева оказывает газовая фаза [1], состав которой определяется подбором компонентов обмазки. Вероятность протекания возможных взаимодействий компонентов смеси оценивали при 900°C по изменению энергии Гиббса ΔG_T^0 с использованием табличных значений энтальпии H_T^0 и энтропии S_T^0 [2]:

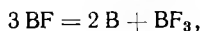
$$\Delta G_T^0 = (\Delta H_T^0 - \Delta S_T^0) \cdot T \text{ (ккал/моль)},$$

Химическая реакция может протекать лишь при отрицательных значениях энергии Гиббса.

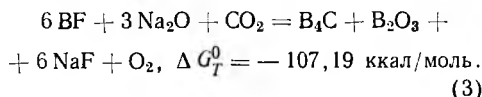
Вероятность образования активных атомов бора в процессе борирования определяется по реакциям



$$\Delta G_T^0 = -85,1 \text{ [ккал/моль];} \quad (1)$$



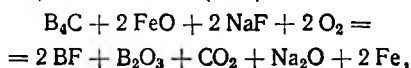
$$\Delta G_T^0 = -84,38 \text{ ккал/моль;} \quad (2)$$



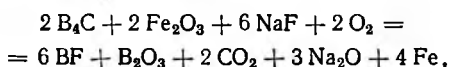
При взаимодействии карбида бора с активатором по реакции (1) образуется газообразный борфторат (BF), который диссоциирует по реакции (2), приводит к адсорбции атомов бора поверхностью обрабатываемого изделия и к поддержанию защитной атмосферы в порах обмазки. Возможно и образование первичных продуктов по реакции (3), что позволяет повторно использовать смесь.

Важное значение имеет наличие в смеси огнеупорного наполнителя — железной окалины, которая способствует проведению процесса химико-термической обработки в окислительной атмосфере и позволяет значительно увеличить скорость насыщения, оказывая каталитическое воздействие на образование BF. Расчеты показали, что в создании данного газообразного соедине-

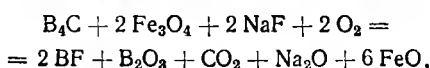
18 ния участвуют все составляющие железной окалины — магнетит (Fe_3O_4), гематит (Fe_2O_3) и вюстит (FeO):



$$\Delta G_T^0 = -208,67 \text{ ккал/моль};$$



$$\Delta G_T^0 = -117,46 \text{ ккал/моль};$$



$$\Delta G_T^0 = -237,07 \text{ ккал/моль}.$$

Наличие в смеси (60% B_4C , 5% NaF , 35% наполнитель) в качестве наполнителя окиси алюминия, борного ангидрида, окиси титана, окиси кремния не способствует получению летучих борфторатов, что обеспечивает получение более тонких диффузионных слоев.

Значительное влияние на формирование боридных покрытий оказывают тип и количество активатора. Введение в смесь (60% B_4C +40% железная окалина) различных активаторов показало, что наилучшие результаты обеспечивают составы с фтористым натрием (рис. 1).

Изучение кинетики формирования диффузионных покрытий с использованием обмазок показало, что увеличение содержания активатора в смеси способствует росту толщины слоя. Такая закономерность, однако, наблюдается лишь при содержании активатора в обматке $\leq 6\%$. Это количество, очевидно, является оптимальным для диффузионного насыщения и защиты как упрочняемого изделия, так и активных составляющих смеси от окисления. При содержании в обматке $>6\%$ активатора вероятно происходит окисление активных атомов насыщающего элемента, что затрудняет подвод новых атомов к обрабатываемой поверхности.

Железная окалина и фтористый натрий в смеси способствуют образованию при высоких температурах жесткого каркаса обмазки, что позволяет получать надежные

результаты по насыщению и защите стальных изделий от окисления при достаточно хорошем качестве поверхности.

Проведенные испытания показывают необходимость оптимизации составов обмазок для обеспечения следующих характеристик: надежности защиты насыщаемой поверхности и активных компонентов от окисления при длительном высокотемпературном печном нагреве в окислительной среде, скорости формирования диффузионных слоев, качества упрочняемой поверхности после удаления обмазки, способности сохранять форму и хорошо удерживаться на деталях сложной конфигурации при нагреве, хорошей смачиваемости.

В соответствии с этими характеристиками разработан следующий оптимальный состав обмазки для борирования: 60% B_4C +5% B_2O_3 +5% NaF +30% железная окалина¹.

Установлено, что на образцах из сталей 7ХЗ; 5ХНМ, 4ХСМФ борированные слои формируются более интенсивно, чем на образцах из сталей 5ХЗВЗМФС и 3Х2В8Ф. Рентгеноструктурным анализом образцов, борированных в обматке указанного состава, установлено, что во всех случаях образуются боридные слои, состоящие из FeB , Fe_2B .

При насыщении в обматках возможно формирование и многокомпонентных покрытий. По результатам исследований особенностей комплексного насыщения разработаны составы обмазок для боромолибденирования, боропирконирования, бортитанирования и боромеднения (см. таблицу).

Диффузионный процесс	Толщина диффузионного слоя, мкм	Количество легирующего элемента в бориде железа, %
Борирование*	140—160	—
Боромолибденирование	130—140	0,5—0,7 Mo
Боропирконирование	120—135	0,6—1,0 Zr
Боромеднение	100—110	1,0—1,1 Cu
Боротитанирование	120—130	0,4—0,7 Ti

* Насыщение в обматке состава: 55% B_4C +5% NaF +30% железная окалина. Остальные процессы производили с использованием обмазки того же состава с добавлением в нее 10% соответствующего легирующего элемента.

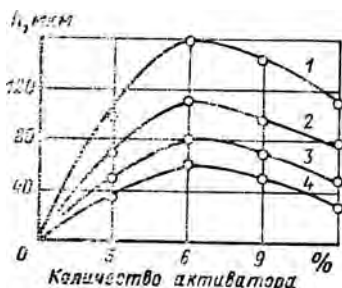


Рис. 1. Влияние типа и количества активатора на толщину борированного слоя на стали 7ХЗ. Борирование при 900°C 4 ч:

1, 2, 3 — фтористые натрий, алюминий и аммоний соответственно; 4 — хлористый аммоний

Спектральным анализом в поверхностных слоях образцов после насыщения в обматках указанных составов обнаружены бориды железа, легированные соответствующими элементами. Скорость формирования таких двухкомпонентных покрытий (при 900°C 4 ч) несколько меньше, чем боридных (см. таблицу).

Испытания на износ проводили по методике, описанной в работе [3] при параметрах, соответствующих температурно-силовым условиям работы штампового инструмента (скорость скольжения 0,42 м/с,

¹ Авт. свид. № 619544.

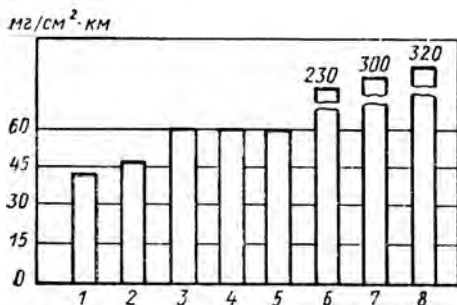


Рис. 2. Износ диффузионноупрочненной стали 7X3:

1 — боромолибденирование; 2 — боротитанирование; 3 — бороцирконирование; 4 — борирование; 5 — боромеднение; 6 — цементация; 7 — азотирование; 8 — закалка от 880°C + отпуск при 500°C

давление 150 кгс/см², температура в зоне трения ~550°C). В качестве контртела служила нормализованная сталь 25ХГТ. Установлено, что в тех случаях, когда износ локализуется в пределах диффузионного слоя, наиболее значительное повышение износостойкости достигается у исследуемых сталей с покрытиями на основе боридов. Они эффективно защищают поверхность трения от теплового износа — основного вида разрушения горячештампового инструмента. Этим покрытиям в значительной степени уступают слои, получаемые азотированием и цементацией вследствие повышенной их склонности к схватыванию (рис. 2). Наличие легирующих элементов в боридах железа привело в некоторых случаях к значительным изменениям характера износа диффузионных слоев. Так, износостойкость боромолибденированных и боротитанированных образцов соответственно в 1,4 и 1,3 раза больше, чем борированных. Износостойкость боромедненных и бороцирконированных сталей такая же, что и борированных. Однако микроструктурный анализ поверхностей трения показал, что при этом уменьшается доля хрупкого разрушения при трении.

В результате проведенных исследований был разработан новый технологический процесс диффузионного упрочнения крупногабаритных изделий, основанный на совмещении нагрева под закалку с процессом химико-термической обработки рабочих поверхностей. Технологический процесс включает следующие операции: подготовку инструмента к упрочнению, пригравление и нанесение обмазок на рабочие поверхности инструмента, диффузионное насыщение в процессе нагрева и выдержки под закалку, закалку и отпуск, очистку рабочих поверхностей от остатков обмазки, контроль качества.

Процесс диффузионного борирования опробован и внедрен на Минском тракторном заводе для упрочнения штампов механических ковочных процессов, выходящих из строя в основном вследствие истирания. При этом стойкость инструмента в некоторых случаях повышалась до 2 раз. Кроме того, обеспечение надежной защиты упрочняемых участков от окисления и обезуглероживания в процессе борирования позволило проводить окончательную механическую обработку гравировки штампа до закалки. Это, в свою очередь, способствует повышению производительности труда и снижает стоимость оснастки.

Экономический эффект от внедрения разработанного процесса диффузионного борирования прессовых штампов ряда наименований на Минском тракторном заводе составил 52 тыс. руб. в год. Этот процесс может быть внедрен и на других предприятиях.

Список литературы

1. Крюков В. П., Пикуло В. М. К механизму процесса борирования из технологических обмазок. — В сб.: Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Минск, 1977. 2. Курев В. А. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций. М.: Химия, 1975.
3. Бельский Е. И., Пикуло В. М. К методике прецизионных испытаний на износ диффузионноупрочненных сталей. — В сб.: Металлургия. Серия «Металловедение и термическая обработка», Минск, 1973, вып. 4.

ДИФфуЗИОННОЕ КАРБОХРОМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

В. ЛИЛЬЕНТАЛЬ, Я. ТАЦИКОВСКИ
Институт прецизионной механики,
г. Варшава (ПНР)

УДК 621.785.539:669.774*26

Изделия из порошковых сплавов находят все более широкое применение в промышленности. Детали машин и установки, изготовляемые из таких сплавов, дешевле,

чем изготовленные обработкой резанием. Кроме того, применение деталей из порошковых сплавов позволяет уменьшить расход материалов.

Изделия из порошковых сплавов должны обладать высокими износостойкостью поверхности и прочностью сердцевины. Это достигается химико-термической обработкой [1, 2]. Наиболее широко применяют науглероживание. Оно эффективно для порошковых сплавов плотностью 7 г/см³, которые подвергают двукратному прессованию и спеканию. Азотирование и нитроцементация также дают относительно хорошие результаты при большой плотности сплавов. Диффузионное хромирование можно применять для сплавов с более низкой плотностью; при этом на поверхности