

Дальнейшие исследования процесса получения силицидов будут направлены на оптимизацию количества вводимого в состав смеси основного восстановителя, а также использования технологической оснастки, позволяющей минимизировать поступление в слиток углерода.

Таким образом, на основании проведенных экспериментальных исследований подтверждена реальная возможность получения силицидов никель-кремний-титан.

Литература

1. Иванов, И.А. Термодинамический анализ восстановительных процессов силицидных систем / И.А. Иванов, А.Г. Слуцкий, Э.В. Ковалевич // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 14-ой Междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2016. – С. 7–8.

2. Ковалевич, Э.В. Исходные компоненты для изготовления катодов-мишеней из сплавов металл-кремний металлотермическим восстановлением / Э.В. Ковалевич, И.А. Иванов, А.Г. Слуцкий // Новые материалы и технологии их обработки: материалы XVII Респ. студ. научн.-техн. конф., Минск, 20–22 апреля 2016 г./ Белорус. нац. техн. ун-т: ред. кол.: И.А. Иванов [и др.]. – Минск, 2016. – С. 17–19.

3. Исследование процесса получения сплавов металл-кремний для изготовления катодов-мишеней / И.А. Иванов [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : материалы XI Междунар. науч.-техн. конф., Минск 14–16 сент. 2016 г. / ФТИ НАН Беларуси.– Минск, 2016. – С. 32–34.

УДК 621.785.5

М.В. СИТКЕВИЧ, д-р техн. наук,
А.В. ИЛЬЕНЯ (БНТУ)

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОРОШКОВОГО АЗОТИРОВАНИЯ НА СТОЙКОСТЬ ИНСТРУМЕНТА, ЭКСПЛУАТИРУЮЩЕГОСЯ В УСЛОВИЯХ ЗАВОДА ОАО «ГОМСЕЛЬМАШ»

С целью повышения долговечности инструментальной оснастки в условиях термического цеха инструментального производства ОАО «Гомсельмаш» проведены работы по применению процессов

комплексного азотирования с использованием порошковых смесей, включающих, наряду с азотонасыщающими компонентами, боросодержащие добавки.

В базовом варианте металлорежущий инструмент преимущественно изготавливают из стали Р6М5 и подвергают закалке с температуры 1220 °С с последующим трехкратным отпуском при температуре 560 °С. Тяжелонагруженные наладки для горячей штамповки стальных заготовок изготавливают из сталей 5ХЗВЗМФС и 4Х4ВМФС и подвергают закалке с температуры 1100 °С с последующим отпуском при температуре 600 °С.

Процессу комплексного порошкового азотирования подвергали отдельные позиции полностью термообработанных метчиков, разверток, зенкеров, горячедеформирующих наладок без последующей термообработки. Диффузионное насыщение проводили в контейнерах из углеродистых сталей при температуре 560 °С.

Результаты исследований по влиянию времени выдержки при химико-термической обработке на толщину диффузионных слоев для сталей Р6М5 и 5ХЗВЗМФС представлены на рисунках 1, 2.

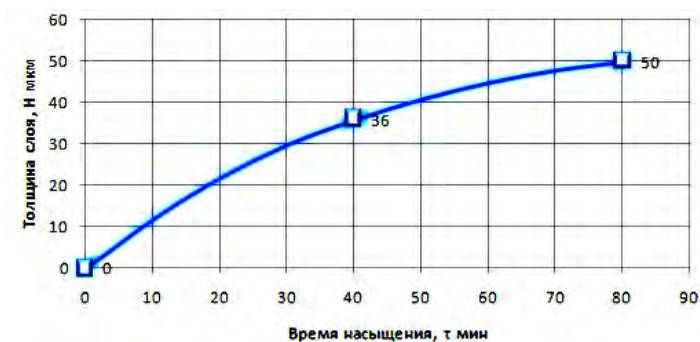


Рисунок 1 – Влияние времени комплексного порошкового азотирования на толщину диффузионного слоя на стали Р6М5 при температуре ХТО 560 °С

Как показывает практика, для режущего инструмента (метчики, развертки, зенкеры, сверла, фрезы и др.), изготавливаемого из быстрорежущей стали типа Р6М5, оптимальная толщина диффузионного слоя составляет 30–50 мкм. Диффузионный слой такой тол-

щины достигается при температуре 560 °С и времени выдержки 40–80 мин. Для деформирующего инструмента из высоколегированных сталей типа 5Х3В3МФС и 4Х4ВМФС, работающего в условиях длительного изнашивания, необходимо получение диффузионных слоев максимально допустимой толщины. Как показывают исследования, наиболее оптимальной толщиной упрочнения следует считать толщину 150–200 мкм, которую можно получить на указанных сталях за 8–10 ч выдержки при температуре 560 °С. За толщину диффузионных слоев принимают зону повышенной микротвердости, измеренной с использованием прибора ПМТ-3.



Рисунок 2 – Влияние времени комплексного порошкового азотирования на толщину диффузионного слоя на стали 5Х3В3МФС при температуре ХТО 560 °С

Установлено, что в случае присутствия в составе сталей таких легирующих элементов как хром, вольфрам, ванадий, титан и др. наряду с борокарбонитридами железа в структуре диффузионного слоя появляются и борокарбонитриды указанных элементов. Их микротвердость существенно превышает твердость борокарбонитридов железа, что приводит к повышению микротвердости всего диффузионного слоя. Причем, чем больше легирующих элементов в стали, тем выше твердость.

В структуре комплексноазотированных слоев вблизи поверхности исследуемых сталей наблюдается наличие светлой полоски ε-фазы. Эта фаза имеет состав $Fe_{2-3}(N, C, B)$ с гексагональной решеткой. Под ней располагается темнотравящаяся зона гетерогенно-

го строения, в которой, наряду со структурными составляющими основного материала, присутствуют включения борокарбонитридов железа и легирующих элементов, концентрация которых плавно уменьшается по мере удаления от поверхности, что обеспечивает прочное их сцепление с металлической основой и предотвращает скалывание даже при относительно высоких динамических нагрузках.

График зависимости микротвердости после термической обработки и после борокарбоазотирования представлен на рисунке 3.

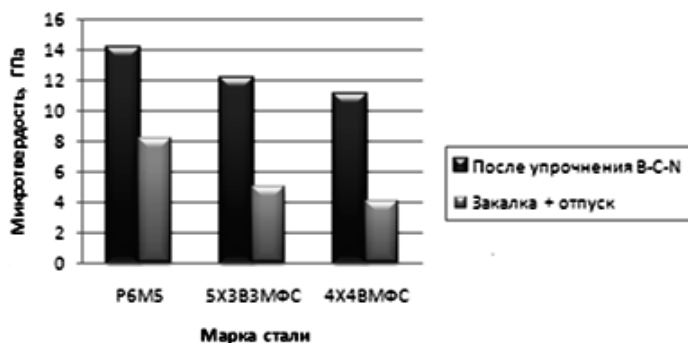


Рисунок 3 – Влияние комплексного порошкового азотирования различных сталей на микротвердость диффузионноупрочненных слоев, полученных при 560 °С

Проведенные дюраметрические исследования показали, что на образцах из стали P6M5 микротвердость рабочих поверхностей в результате борокарбоазотирования составляет 14,3 ГПа. При использовании стали 5X3B3MΦC микротвердость поверхностных слоев составляет 12,4 ГПа, микротвердость поверхностных слоев после борокарбоазотирования стали 4X4BMΦC ~ 11,2 ГПа. В то же время без химико-термической обработки после закалки и отпуска микротвердость стали P6M5 не превышает 8,5 ГПа, а для сталей 5X3B32MΦC и 4X4BMΦC – ниже 5,5.

Как показали контрольные замеры инструмента до и после упрочнения в диффузионно-активных смесях, изменение размеров составляет до 0,01 мм, что входит в допуски при изготовлении инструмента.

Для оценки стойкости инструмента проведено диффузионное упрочнение (комплексное порошковое азотирование 560 °С, 1 ч) изготовленного из стали Р6М5 металлорежущего инструмента (зенкер Ø20×145мм, развертка Ø10×195мм, метчик М12×80мм) и применяемого в инструментальном цехе для механической обработки деталей. Сравнительные испытания проводились в производственных условиях и оценивались по количеству обрабатываемых деталей и отверстий. Также проведено диффузионное упрочнение (комплексное порошковое азотирование 560 °С, 8 ч) горячедеформирующих наладок, изготовленных из стали 5Х3В3МФС и применяемых в кузнечно-термическом цехе для горячей штамповки заготовок ножей из стали 45. Сравнительные испытания проводились в производственных условиях и оценивались по количеству отштампованных заготовок ножей. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние комплексного порошкового азотирования на стойкость инструмента

Наименование инструмента	Марка стали	Стойкость без упрочнения	Стойкость после упрочнения
Зенкер Ø20×145мм	Р6М5	90 шт.	180 шт.
Развертка Ø10×195 мм	Р6М5	100 шт.	300 шт.
Метчик М12×80 мм	Р6М5	80 шт.	192 шт.
Горячедеформирующая наладка	5Х3В3МФС	2050 шт.	7175 шт.

Из таблицы 1 видно, что стойкость металлорежущего инструмента после комплексного порошкового азотирования увеличилась в 2,0; 3,0 и 2,4 раза соответственно, стойкость горячедеформирующих наладок увеличилась в 3,5 раза.

Основной причиной выбраковки режущего инструмента является истирание по задней и передней поверхности. Для выбраковки наладок принимали отклонение от геометрии отштампованных заготовок сверх допустимых значений в соответствии с технологией их изготовления.

Комплексоазотированная поверхность инструмента, обладающая пониженным коэффициентом трения, обеспечивает более лег-

кий отвод стружки, а также предотвращает ее налипание на режущие кромки и образование лунок износа, что дает возможность увеличить подачу и скорость резания. Упрочнение наладок дало повышение микротвердости поверхности инструмента и увеличение ресурса работы, замедлив развитие разгарных трещин, изнашивание и смятие поверхности пуансона и матрицы.

На основании данных, полученных в ходе производственных испытаний, следует, что в результате диффузионного упрочнения улучшаются эксплуатационные свойства инструмента, что обеспечивает повышение его стойкости в 2–3,5 раза.

УДК 621.762

В.Г. ЩЕРБАКОВ (БНТУ)

**ЭФФЕКТ КОНТАКТНОГО ЭВТЕКТИЧЕСКОГО
ПЛАВЛЕНИЯ В ДИФфуЗИОННО-ЛЕГИРОВАННЫХ
СПЛАВАХ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТХОДОВ
ПРОИЗВОДСТВА ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОЙ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКЕ
КОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ**

Введение. Технология получения диффузионно-легированных сплавов из металлических отходов производства для упрочнения и восстановления деталей машин получила широкое распространение благодаря работам авторов [1–20]. Диффузионно-легированные сплавы стали альтернативной заменой дорогостоящих наплавочных сплавов на никелевой основе, разработанных более 50 лет назад. Данные сплавы применяют для формирования износостойких покрытий на деталях, работающих в условиях различных видов изнашивания.

Основной проблемой при формировании износостойких покрытий из диффузионно-легированных сплавов индукционной наплавкой токами высокой частоты является относительно высокая температура плавления данных сплавов. Наличие тугоплавкой боридной оболочки Fe_2B и FeB с температурами плавления 1389 °С и 1540 °С [21] соответственно ухудшает технологические свойства