



Рисунок 4 – Опытный образец катода-мишени из комплексного силицида на стальном токовом

Список литературы

1. 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.

2. Особенности получения силицидов для изготовления катодов-мишеней / А.И. Иванов [и др.] // Metallurgy: Республ. межведом. сб. науч. тр. – Минск: БНТУ, 2016. – Вып. 37. – С. 98–103.

3. Получение катодов-мишеней из силицидов для вакуумных ионно-плазменных источников / И.А. Иванов [и др.] // Литье и металлургия. – 2018. – № 2. – С. 99–102.

УДК 621.785

С.М. УШЕРЕНКО д-р техн. наук,
В.Г. ДАШКЕВИЧ, канд. техн. наук,
Ю.С. УШЕРЕНКО, канд. техн. наук (БНТУ)

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА СТАЛИ Р6М5, УПРОЧНЕННОЙ ДИНАМИЧЕСКИМ ЛЕГИРОВАНИЕМ С ПОСЛЕДУЮЩИМ АЗОТИРОВАНИЕМ

Введение. Проблема повышения твердости и соответственно износостойкости поверхностного слоя инструмента является актуальной задачей, которая традиционно решается применением химико-

термической обработки. Азотирование является одним из основных процессов химико-термической обработки, которое нашло широкое применение в промышленности.

Известно, что упрочнение инструмента при азотировании достигается за счет образования слоя, состоящего из поверхностной нитридной зоны и диффузионного подслоя – зоны внутреннего азотирования. Оптимизация свойств поверхности после азотирования обеспечивается за счет необходимого сочетания нитридного и диффузионного слоев, которые формируются на основном металле. Как известно, в зависимости от химического состава нитридный слой является либо γ' -фазой (Fe_4N) либо ϵ -фазой (Fe_{2-3}N) [1–3].

Отметим, что для режущего инструмента из быстрорежущих сталей в виде фрез, сверл, метчиков, прошивок и др. азотирование один из самых эффективных способов упрочнения. Кроме высокой износостойкости, азотированная поверхность инструмента, обладающая пониженным коэффициентом трения, обеспечивает более легкий отвод стружки, а также предотвращает ее налипание на режущие кромки и образование лунок износа, что дает возможность интенсифицировать режимы резания [4, 5].

В данной работе представлены результаты теоретического анализа и экспериментов, которые связаны с исследованием особенностей формирования структуры азотированных слоев после процессов активации динамическим легированием и последующим азотированием стали Р6М5.

Известно, что такие характеристики азотированных слоев, как контактная прочность, жаропрочность, сопротивление усталостным нагрузкам, в основном зависят от структуры зоны внутреннего азотирования, то есть от химического состава, дисперсности и распределения в матрице упрочняющих нитридных фаз.

Как показывает практика, в зависимости от назначения инструмента из стали Р6М5, прежде всего мелкоразмерного, оптимальная толщина всего диффузионного слоя (с зоной внутреннего азотирования) составляет 50–200 мкм. Длительность наиболее распространенного варианта упрочнения азотированием мелкоразмерного инструмента составляет 10–12 ч. Такой режим не формирует значительных изменений размеров инструмента; припуски на финишную механическую обработку незначительны.

Известно, что, варьируя температурой химико-термической обработки, можно изменять структуру и соответственно свойства поверхностных слоев. Традиционно металлорежущий инструмент, изготовленный из стали Р6М5, подвергают закалке с температуры 1200 °С с последующим трехкратным отпуском при температуре 560 °С, а последующее азотирование проводят на режимах 500–560 °С. Именно этот температурный диапазон наиболее приемлем с точки зрения фазового состава диффузионного слоя.

Материалы и методика исследований

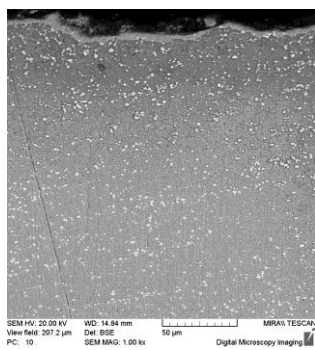
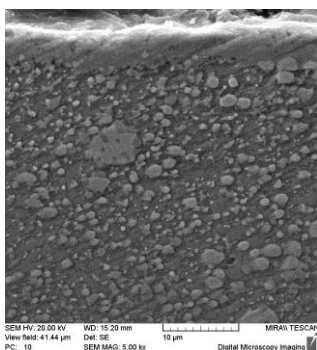
Азотирование стали Р6М5 проводили в порошковой среде. Режим обработки был выбран стандартным: температура 540–560 °С, время – 10 ч. Для проведения процесса использована шахтная электрическая печь с селитовыми нагревателями. Герметизацию контейнера с порошковой насыщающей средой проводили с помощью плавкого затвора на основе борного ангидрида. Контроль температуры осуществляли с помощью потенциометра КСП-3П, градуировка ХА. В качестве насыщающей смеси использовали порошковую среду марки «BESTO-Nicar».

Для активации поверхности перед азотированием использовался процесс динамического легирования стали сгустками порошковых частиц в твердом агрегатном состоянии, т.е. в режиме сверхглубокого проникновения порошка [6]. В рамках этого процесса поток микрочастиц прошивает сталь в твердом агрегатном состоянии за время менее 1000 мкс. Прошивку осуществляли порошковыми композициями на основе трех компонентов: карбида кремния, олова и никеля, двухкомпонентными составами, в частности, карбид кремния-никель, карбид кремния-олово. Такие композиции характеризуются наличием в составе, как более легких, так и более тяжелых элементов, что способствует проникновению частиц на различную глубину. Размер частиц порошков составлял менее 0,315 мм.

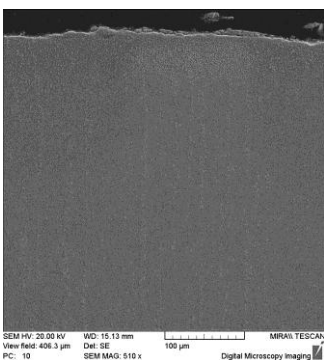
Результаты исследований

На рисунке 1 представлены микроструктуры стали Р6М5 после предварительной активации композицией SiC + Ni, SiC + Sn и последующего порошкового азотирования. Структура образовавшегося слоя традиционная, с нитридным слоем и зоной внутреннего азотирования. Проведенный сравнительный анализ толщины ϵ -фазы (ϵ - γ') диффузионного слоя после порошкового азотирования (цианирования) стали Р6М5 без предварительной активации и с актива-

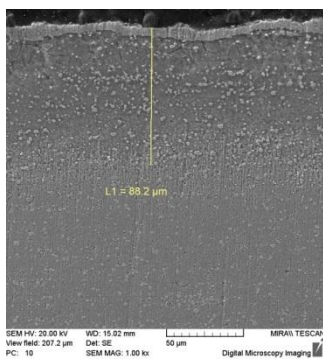
цией при одинаковых температурно-временных показателях обработки позволил установить, что прирост толщины слоя за счет проведения предварительной активации увеличился в 1,1–1,4 раза. Следует также отметить, что при активировании оловом достигается более значительный прирост общей толщины слоя, чем при активировании никелем. Толщина нитридного слоя для случая активирования оловом тоже выше. Отметим, что при анализе за общую толщину диффузионного слоя принимали зону повышенной твердости, за ϵ -фазу (ϵ - γ') – не травящийся белый слой. Скорость формирования диффузионного слоя (с зоной внутреннего азотирования) 8–10 мкм/ч.



без активации



после предварительной активации
композицией SiC + Ni



после предварительной активации
композицией SiC + Sn

Рисунок 1 – Микроструктуры стали Р6М5 после азотирования
(структура стали после закалки и отпуска)

Проведена оценка микротвердости диффузионных слоев на активированной стали Р6М5 после азотирования (рисунок 2). Микротвердость слоев после активации составляет около 12–14 ГПа, что свидетельствует об образовании в структуре слоя ϵ -фазы (ϵ - γ').

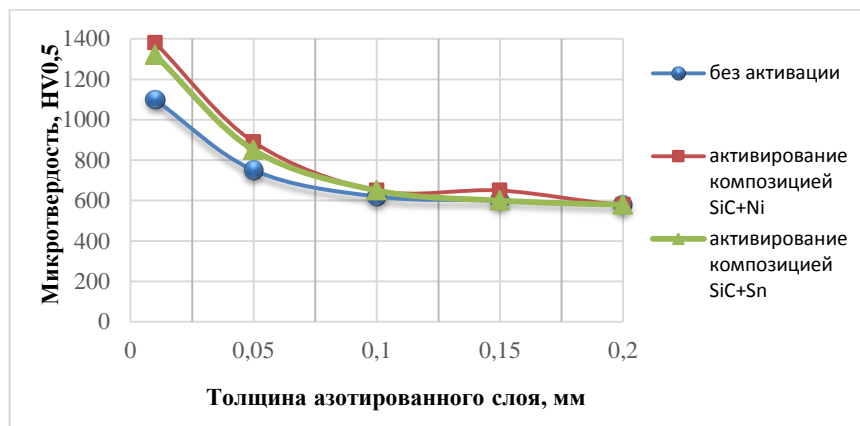


Рисунок 2 – Распределение микротвердости по толщине диффузионного слоя

Установлено, что в результате предварительной активации после азотирования наблюдается прирост поверхностной микротвердости слоя в 1,1–1,2 раза в нитридной зоне и в области строчечности карбидно-нитридных включений (зоны внутреннего азотирования) в 1,1 раза.

Заключение. Были исследованы особенности формирования структуры диффузионных слоев при азотировании стали Р6М5, предварительно активированной динамическим легированием конкретными порошковыми составами, композициями SiC+Ni, SiC+Sn.

Проведен сравнительный анализ толщины ϵ -фазы (ϵ - γ') диффузионного слоя после азотирования стали Р6М5 при одинаковых температурно-временных показателях обработки. Установлен прирост толщины слоя за счет проведения предварительной активации в 1,1–1,4 раза.

Исследована характеристика микротвердости образующихся диффузионных слоев после активации, которая в нитридной зоне слоя достигает значений 12–14 ГПа.

Таким образом, рассмотренный способ дополнительного динамического легирования перед процессом азотирования для стали Р6М5 позволяет повысить его основные характеристики: толщину слоя и микротвердость, что, безусловно, должно обеспечить улучшение эксплуатационных характеристик различного рода инструмента из быстрорежущей стали.

Список литературы

1. **Артингер, И.** Инструментальные стали и их химико–термическая обработка: справочник / И. Артингер. – М.:, 1982. – 312 с.
2. **Теория** и технология азотирования / Ю.М. Лахтин [и др.]. – М.: Металлургия, 1991. – 320 с.
3. **Азотирование** и карбонитрирование; пер. с нем. / Р. Чаттерджи-Фишер [и др.]. Под редакцией к.т.н. А.В. Супова – М.: Металлургия, 1990. – 280 с.
4. **Радахилов, М.К.** Технология азотирования режущих инструментов из быстрорежущих сталей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C68/087.pdf>. – Дата доступа: 25.05.2018.
5. **Каченюк, М.Н.** Исследование влияния различных режимов ионного азотирования на формирование поверхностного упрочненного слоя быстрорежущей стали Р6М5 / М.Н. Каченюк, А.В. Носков, В.С. Патрушев // Молодой ученый. – 2016. – № 23. – С. 50–54.
6. **Using dynamic** pre-activation of steel surfaces for nitriding intensification / Y. Usherenko [et al.] // 11th International Scientific and Practical Conference Environment. Technology. Resources : Proceedings , Rezekne, Latvia, 15–17 of June 2017. – Rezekne, Latvia, 2017. – Vol. 3. – P. 321–324.