

УДК 621.762:71

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ИОННО-ЛЕГИРОВАННЫХ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ СТАЛЕЙ

А.В. Белый

Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск;

Н.И. Попок, С.В. Дербуш

УО «Полоцкий государственный университет», Новополоцк;

К.Й. Чой

Институт технологии металлов НАН Беларуси, Могилев

Введение. Обработка концентрированными потоками ионов азота металлических материалов является перспективным методом повышения их прочностных свойств, износостойкости и коррозионной стойкости [1]. Поскольку упрочнение штамповой оснастки, изготовленной из высокохромистых сталей, сохраняет высокую актуальность, то в задачу данной работы входило исследование структурных превращений и триботехнических свойств инструментальной стали X12M и опытных образцов штамповой оснастки (WTC), подвергнутых ионно-лучевой обработке концентрированными потоками ионов азота.

Методы исследования. Исследование проводилось на образцах (диаметр 10 мм, высота 6 мм), вырезанных из прокатанных прутков стандартной стали X12MФ, и опытных образцах штамповой оснастки фирмы «Wipac Tech Corporation» (Ю. Корея). Ионно-лучевая обработка осуществлялась с помощью ионного источника с замкнутым дрейфом электронов. Имплантация проводилась при энергии ионов 2 -- 3 кэВ и плотности ионного тока 2 мА/см², суммарная доза падающих ионов составляла ~ 3...10¹⁹ см⁻². Температура образцов в процессе ионно-лучевой обработки составляла 720 К. Контроль температуры осуществлялся с помощью ХА термомпары.

Твердость по Виккерсу (HV) определяли при нагрузке на индентор в 300 Н на твердомере ТП. Микротвердость (H_μ) измеряли на приборе ПМТ-3 при нагрузке на индентор 0,2 Н.

Анализ структурно-фазовых превращений в модифицированных азотом слоях был выполнен на дифрактометре ДРОН-2.0. Съемки профилей интенсивности проводили в CoK_α излучении при напряжении 30 кВ и анодном токе 10 мА. Для фазового анализа использовалась картотека PDF.

Триботехнические испытания проводились по схеме возвратно-поступательного движения на трибометре АТВП, оснащенном устройством для измерения коэффициента трения. Контролем изготавливалось из стали У8 ($HV_{30} = 8000$ МПа). Средняя скорость перемещения образца относительно контроля в процессе испытаний составляла 7 см/с. Давление испытаний составляло 2 МПа. Измерение величины износа осуществлялось по потере веса при испытаниях.

Результаты и обсуждение. Сталь Х12М в исходном состоянии (закалка и отпуск) имеет твердость $HV = 6800 - 6900$ МПа, размер аустенитного зерна – 20 – 40 мкм. Фазовый состав: α -Fe (мартенсит), γ -аустенит (до 5 об. %), частицы карбида $(Fe, Cr, Mo)_7C_3$ с гексагональной решеткой (п.г. $P31c$, $a = 1,3982$ нм, $c = 0,4506$ нм), карбида Fe_7C_3 (п.г. $P6_3mc$, $a = 0,6882$ нм, $c = 0,4540$ нм, $c/a = 0,6597$) и Cr_7C (п.г. $P6_7/mmc$, $a = 0,279$ нм, $c = 0,446$ нм, $c/a = 1,5986$) (рис. 1).

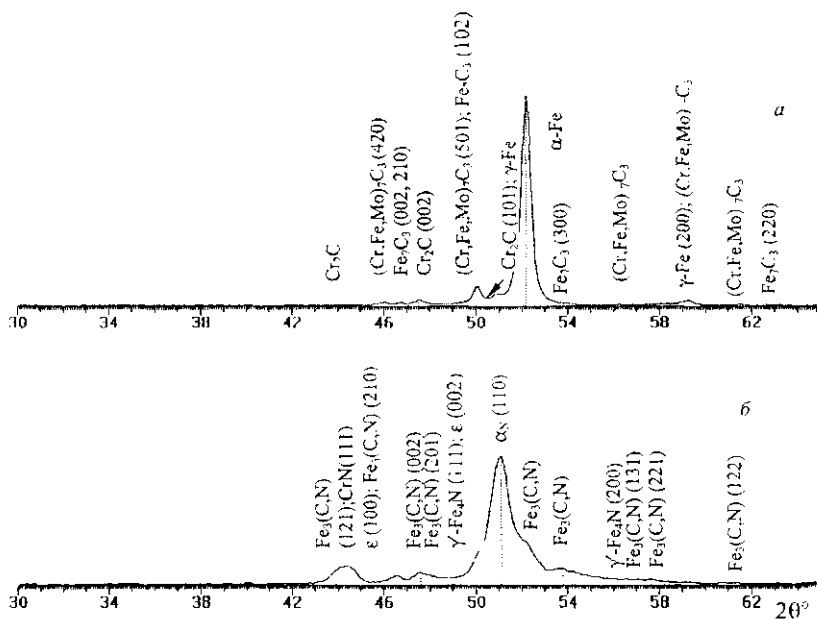


Рис. 1. Фрагменты рентгеновских дифрактограмм (CoK_{α}) от поверхностных слоев стали Х12М, обработанной по различным режимам: а – исходное состояние (закалка+отпуск); б – имплантация N¹ при 720 К

Температура ионно-лучевой обработки выбиралась исходя из требования сохранения прочностных свойств подложки и формирования на поверхности модифицированного слоя толщиной не менее 20 мкм. Для инструментальных высокохромистых сталей такая температура – 700 – 720 К [1]. Ионная имплантация стали X12M при 720 К вызывает образование азотированных слоев глубиной = 20 – 25 мкм и микротвердость $H_c = 11200$ МПа. Основными фазами, содержащимися в поверхностном слое, являются азотистый мартенсит, нитридные фазы $\epsilon\text{-Fe}_{2,3}\text{N}$, $\gamma\text{-Fe}_4\text{N}$, а также небольшое количество карбонитридной фазы $\text{Fe}_3(\text{C},\text{N})$ и CrN (см. рис. 1). Дифракционные линии от матричной α -фазы размыты и смещены в сторону малых углов рассеяния, что свидетельствует о насыщении мартенсита азотом. Твердость подложки стали снижается до $HV = 5600$ МПа.

На рис. 2 приведены графики линейного износа стали X12M, прошедшей обработку по различным режимам, в условиях трения без смазки. Можно видеть, что в исходном неимплантированном состоянии сталь характеризуется сравнительно невысокой износостойкостью.

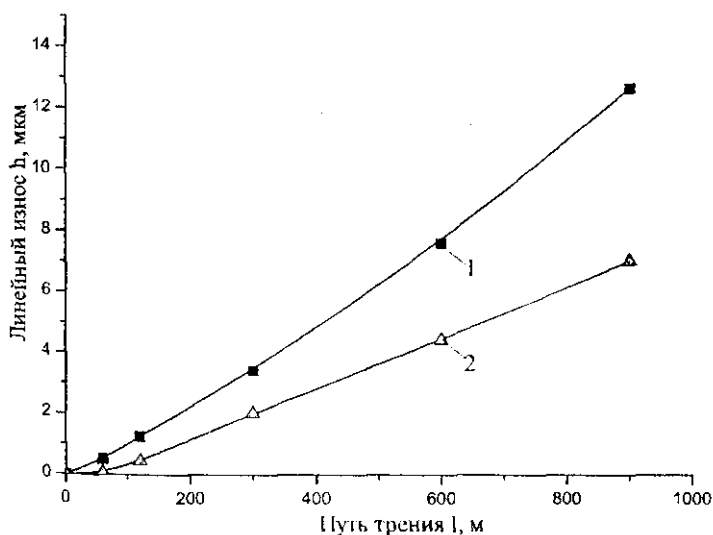


Рис. 2. Зависимость линейного износа от пути трения стали X12M, прошедшей обработку по различным режимам: 1 - исходное состояние (такалка + отпуск); 2 - имплантация N при 720 К

Интенсивность линейного износа составляет $1,4 \cdot 10^{-8}$. Коэффициент трения стали находится на уровне $0,8 - 0,9$. Ионно-лучевая обработка приводит к существенному возрастанию износостойкости поверхностных слоев стали (см. рис. 2) и увеличению их коэффициента трения ($f = 1,0 - 1,1$). Интенсивность изнашивания стали снижается в ≈ 2 раза и составляет $I_n = 0,78 \cdot 10^{-8}$. Снижение интенсивности изнашивания стали при увеличении коэффициента трения свидетельствует о существенном возрастании удельной работы изнашивания модифицированной ионами азота стали X12M.

С целью сопоставления данных по структурному состоянию и твердости поверхностных слоев инструментальной штамповой стали X12M и стали, используемой в компании «Winner Tech Corporation» (WTC) для изготовления штамповой оснастки, проведена ионно-лучевая обработка экспериментальных штампов (рис. 3) при 720 К. В исходном состоянии штамповая сталь имеет твердость 7000 МПа. Фазовый состав включает в себя α -Fe (мартенсит), γ -аустенит (≈ 10 об. %), частицы карбида Cr_7C_3 с гексагональной решеткой (п.г. P31c, $a = 1,398$ нм, $c = 0,4523$ нм) (рис. 4).

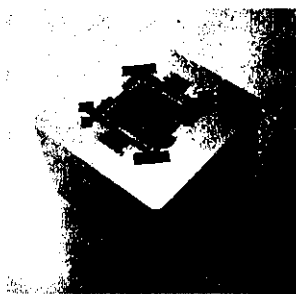


Рис. 3. Штамп фирмы «WTC», обработанный ионами азота при 720 К

После облучения ионами азота при 720 К фазовый состав модифицированного поверхностного слоя образцов штамповой оснастки подобен фазовому составу имплантированной азотом стали X12M. Твердость поверхностного слоя увеличивается и достигает значения $H_v = 11500$ МПа. Твердость подложки сохраняется на уровне $5900 - 6000$ МПа. Таким образом, обработка ионами азота штамповых сталей X12M и стали фирм «WTC» приводит к формированию модифицированных слоев с повышенным уровнем твердости и износостойкости.

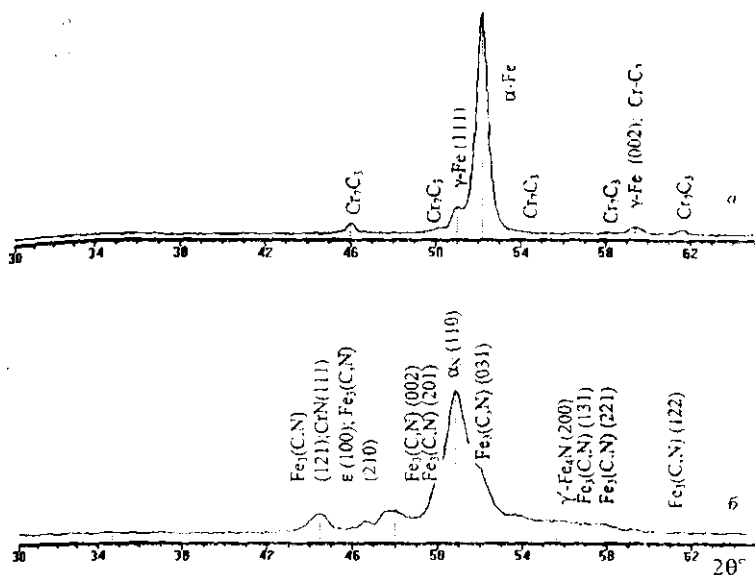


Рис. 4. Фрагменты рентгеновских дифрактограмм ($\text{CoK}\alpha$) от поверхностных слоев штамповой стали фирмы «WTC», обработанной по различным режимам: а - исходное состояние (закалка+отпуск); б - имплантация N' при 720 К

Литература

1. Белый, А. В. Инженерия поверхностей конструкционных материалов концентрированными потоками ионов азота / А. В. Белый, В. А. Кукарско, А. Патеюк. - Минск : Белорусская наука, 2007. - 244 с.

УДК 621.373.826+548.51

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОКОМПОНЕНТНО ЛЕГИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ

А.В. Рогачев, Н.Н. Федосенко, Д.Г. Пилипцов

УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»

Введение. Многокомпонентные системы на основе углеродных покрытий характеризуются высокими физико-химическими, механическими свойствами, что определяет их высокую перспективность и эффективность при использовании в качестве функциональных элементов