

СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ И СВОЙСТВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ МАРТЕНСИТНО–СТАРЕЮЩЕЙ СТАЛИ ТИПА Fe–Co–W, ОБРАБОТАННОЙ ИНТЕНСИВНЫМИ ПОТОКАМИ ИОНОВ АЗОТА

К.И. Чой¹ канд. техн. наук, А.В. Белый² д-р, техн. наук, член–корр.,
В.А. Кукареко³, д-р физ.–мат. наук, доц.

¹Институт технологии металлов НАН Беларуси (г. Могилев, Беларусь)

²Физико–технический институт НАН Беларуси

³Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
(г. Минск, Республика Беларусь)

Введение. Современная промышленность все в большей степени базируется на ресурсосберегающих технологиях, основанных на методах поверхностной обработки материалов с применением потоков высокоэнергетических заряженных частиц. Методы высокоэнергетической обработки позволяют существенно повысить прочностные, триботехнические и антикоррозионные свойства поверхностных слоев конструкционных материалов [1]. В связи с этим значительный интерес представляют сведения о триботехнических и антикоррозионных свойствах современных конструкционных материалов подвергнутых ионно–лучевой обработке с использованием концентрированных потоков ионов азота. В частности, перспективными материалами для узлов трения, работающих в экстремальных условиях высоких контактных давлений, являются сплавы системы Fe–Co–W, относящиеся к мартенситно–старееющим сплавам повышенной теплостойкости. В связи с этим задачей данной работы являлось исследование структуры и свойств инструментальной мартенситно–старееющей стали 25B20K20X4Ф2М, обработанной ионами азота при различных температурах.

Методика эксперимента. Исследования проводились на образцах, изготовленных из инструментальной мартенситно–старееющей стали 25B20K20X4Ф2М (C–0,27; W–19,84; Co–18,68; Cr–3,78; V–1,57; Ni–0,14; Si–0,15; Mo–0,15; Mn–0,20 вес.%; Fe–остальное), обработанной ионами азота при температурах 670, 720, 740, 770, 820, 870 и 920 К. Ионно–лучевая обработка азотом проводилась на ускорителе ионов, оснащенный источником с замкнутым дрейфом электронов УВН–2М, разработанном в ФТИ НАН Беларуси. Имплантация проводилась при энергии ионов 3 кэВ и плотности ионного тока 1–2 мА/см². Флюенс легирования составлял $\sim 3 \times 10^{19}$ ион/см². Время обработки составляло 3 ч. Твердость по Виккерсу определялась при нагрузке 295 Н (30 кгс). Микротвердость измерялась при нагрузке 0,49 Н на приборе ПМТ–3. Металлографические исследования образцов проводятся на микроскопе EPITYP2. Травление образцов осуществляется в реактиве Марбле. Исследование фазового состава образцов после различных режимов обработки проводилось на рентгеновском дифрактометре ДРОН–3.0 в монохроматизированном CoK_α излучении. Съемка образцов осуществлялась при ускоряющем напряжении на рентгенов-

ской трубке 30 кВ и анодном токе 10 мА. Запись интенсивности рассеянного рентгеновского излучения проводилась в режиме сканирования (по точкам) с фиксиро–ванным временем счета 15 сек на точку. Шаг сканирования составляет $0,1^\circ$. Для фазового анализа использовалась стандартная картотека PDF. Для коррозионных испытаний в качестве агрессивных сред были выбраны: 10% водный раствор NaCl, а также 2Н водный раствор уксусной (карбоновой) кислоты (CH_3COOH). В качестве основного метода определения коррозионной стойкости исследуемых материалов был выбран весовой метод. Погрешность измерения массы образца составляла 0,05 мг. Триботехнические испытания по схеме возвратно–поступательного перемещения проводили на автоматизированном триботре АТВП, оснащённом устройством для измерения коэффициента трения. В качестве контртела использовалась пластина из закаленной стали У8 ($\text{HV}=8000$ МПа). Испытания проводили в условиях трения без смазочного материала при номинальном давлении $p=2$ МПа. Средняя скорость перемещения образца относительно контртела составляла $\approx 0,1$ м·с $^{-1}$.

Результаты эксперимента и их обсуждение. Сталь 25В20К20Х4Ф2М в исходном состоянии (закалка) имеет мартенситную структуру ($\text{HV}=5100$ МПа). Фазовый состав закаленной стали включает в себя: α –фазу (мартенсит), η –фазу ($\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$), а также интерметаллидную θ –фазу Co_7W_6 (рисунок 1).

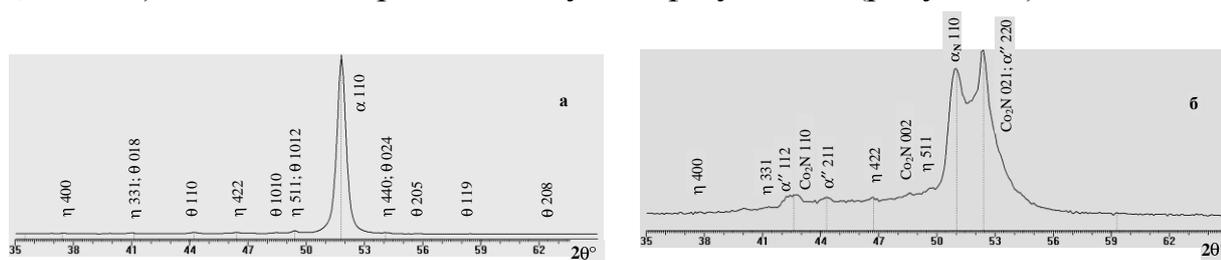


Рисунок 1 – Фрагменты рентгеновских дифрактограмм ($\text{CoK}\alpha$) от поверхностных слоев стали 25В20К20Х4Ф2М в исходном состоянии (а) и обработанной ионами азота при 820 К (б)

Ионно–лучевая обработка стали при 670–740 К приводит к увеличению микротвердости ее поверхностного слоя от $\text{H}_{0,49}=11000$ до $\text{H}_{0,49}=12300$ МПа (рисунок 2). Толщина модифицированного слоя составляет от 10 мкм (после обработки при 670 К) и до 60 мкм (после высокотемпературной обработки при 920 К). В модифицированном ионами азота при 670 К слое регистрируется образование твердого раствора азота в матричной α –фазе (α_{N} –азотистый мартенсит), а также присутствие частиц α'' –фазы $(\text{Fe},\text{Co})_8\text{N}$ с тетрагональной объемно–центрированной решеткой ($I4/mmm$) и параметрами решетки: $a=0,572$ нм и $c=0,6292$ нм. При ионно–лучевой обработке стали в интервале температур 720–820 К в ее поверхностных слоях, наряду с формированием азотистого мартенсита, интенсифицируется образование нитридной фазы α'' – $(\text{Fe}, \text{Co})_8\text{N}$ и Co_2N .

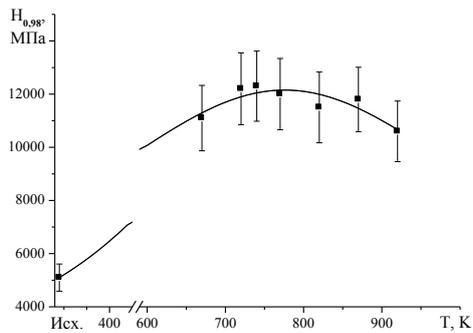


Рисунок 2 – Микротвердость поверхностного слоя стали 25B20K20X4Ф2М после ионно–лучевой обработки при различных температурах

приводит к существенному возрастанию износостойкости поверхностных слоев стали. В частности, интенсивность изнашивания стали после ионной обработки при 820 К снижается в 2,1 раза по сравнению с исходным неимплантированным состоянием и составляет $I_q=2,7 \cdot 10^{-3}$ мг/м.

Результаты коррозионных испытаний имплантированной ионами азота стали 25B20K20X4Ф2М свидетельствуют о сильном влиянии структурного состояния азотированных слоев на скорость растворения модифицированной стали в нейтральной и кислотной средах (рисунок 4). В частности, установлено, что в нейтральном соляном растворе (10% NaCl) наиболее высокое сопротивление коррозионному растворению достигается на стадиях выделения специальных нитридов, связывающих атомы W в нитридные частицы W_2N (рисунок 4а). При этом скорость коррозии стали снижается на $\approx 20\%$. В случае кислотного раствора CH_3COOH образование азотистого мартенсита (α_N -фаза) и родственной ему фазы $\alpha''-(Fe, Co)_8N$ приводит к существенному снижению коррозионной стойкости сплава. Формирование специальных нитридов и распад азотистого мартенсита после высокотемпературного азотирования стали при температурах 870 и 920 К приводит к восстановлению ее коррозионной стойкости до уровня исходного закаленного состояния (рисунок 4,б).

Микротвердость стали при этом выходит на уровень максимальных значений (рисунок 2). Обработка стали при 870–920К приводит к распаду азотистого мартенсита и выделению в слое специальных нитридов W_2N и VN. Микротвердость модифицированной при 920 К стали снижается до $H_{0,49}=10500$ МПа.

На рисунке 4 приведены зависимости массового износа от пути трения стали 25B20K20X4Ф2М, обработанной по различным температурным режимам. Можно видеть, что ионно–лучевая обработка азотом

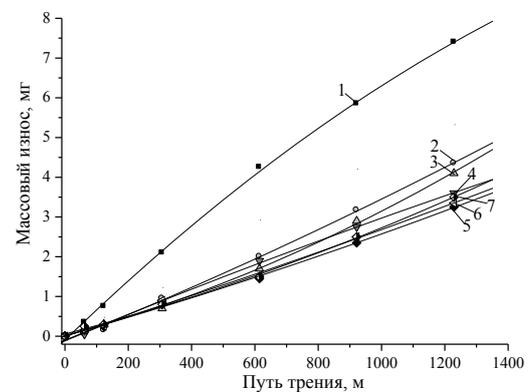


Рисунок 3 – Зависимости массового износа стали 25B20K20X4Ф2М, обработанной по различным режимам: 1–исходное состояние; 2–7 – ионная имплантация N^+ при 670; 720; 740; 770; 820 и 870 К соответственно

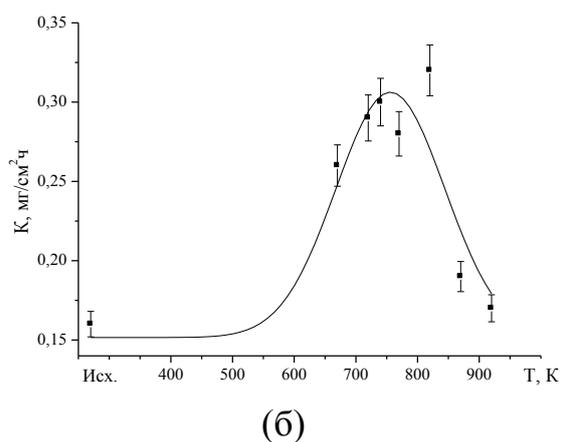
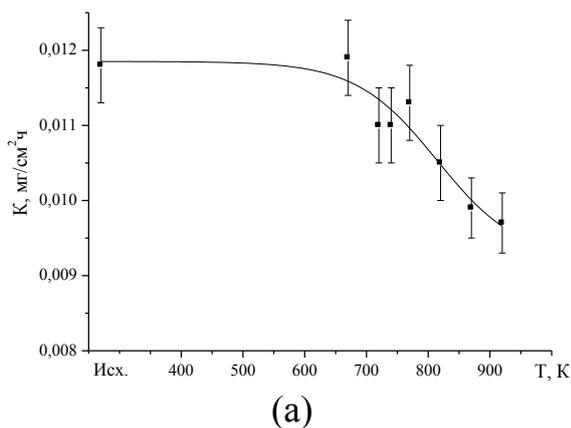


Рисунок 4 – Зависимости скорости коррозии K в 10% водном растворе NaCl (а) и 2Н водном растворе CH_3COOH (б) стали 25В20К20Х4Ф2М, обработанной ионами азота при различных температурах

Закключение. Исследовано структурное состояние, микротвердость, износостойкость и антикоррозионные свойства имплантированной ионами азота стали 25В20К20Х4Ф2М. Показано, что насыщение поверхностных слоев стали ионами азота приводит к увеличению их микротвердости до $H_{0,49} = 12300$ МПа, износостойкости в 2,1 раза по сравнению с исходным состоянием и снижению скорости коррозии в 10% водном растворе NaCl на 20%.

Литература

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

УДК 621.793

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАНЕСЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ГАЗОПЛАМЕННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ ПРОВОЛОК

М.А. Белоцерковский, канд. техн. наук, А.В. Чекулаев
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
(г. Минск, Республика Беларусь)

Введение. Разработка метода нанесения полимерных покрытий газопламенным распылением полимерных проволок (шнуров) показала, что в сравнении с порошковым напылением получаемые слои обладают лучшими антикоррозионными свойствами. Это обусловлено тем, что после формирования покрытий нанесением порошков полимерные слои имеют преимущественно