

ставлять более 400 крупных отливок в год, при выпуске цветных сплавов 4-7 тысяч отливок в год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вейник А.И. Литье в металлические формы. – М.: Высшая школа, 1964. – 40 с.
2. Святкин Б.К. Литье в кокили. – М.: Высшая школа, 1979. – 176 с.
3. Волпянский Л.М. Литье в металлические формы. – М.: Машиностроение, 1964. – 56 с.
4. Коломенская М.В. Организация литья в коиль и под давлением. – М.: Машиностроение, 1974. – 89 с.

УДК 539.216

Гольцев М.В., Гусакова С.В., Анд. Хофман

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ И СВОЙСТВА МЕДИЦИНСКОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ ПРИ ИОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

*Белорусский государственный медицинский университет
Минск, Беларусь*

*Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь*

*Объединенный институт ядерных исследований
Дубна, Россия*

Введение. Широкое развитие перспективных направлений в ряде отраслей машиностроения, здравоохранения, автоматизации и робототехники привело к более высоким требованиям к качеству и сроку службы инструмента для обработки материалов. Одним из эффективных методов упрочнения режущего инструмента и других элементов высокоточных узлов трения является ионно-лучевая обработка поверхности. Так, ионная имплантация увеличивает срок службы метчиков, ножей для резки синтетических материалов и т.п. в 2-4 раза.

Важное преимущество метода – сохранение размеров и микрогеометрических параметров поверхностей изделий, что делает перспективным применение ионного легирования при изготовлении сложного медицинского инструмента для нужд нейрохирургии и офтальмологии. Стерильность ионной обработки и возможность использования для легирования практически любых сортов ионов имеет большое значение для применения имплантации в ортопедии и

стоматологии [1,2]. К достоинствам метода ионно-лучевой обработки следует отнести и возможность экономного использования дефицитных и дорогостоящих добавок по сравнению с объемным легированием. Значительные перспективы открываются также и при использовании ионной имплантации в сочетании с методами ионно-плазменного нанесения покрытий [3].

Стоматологический инструмент изготавливается, как правило, из твердых сплавов типа ВК6 и Т15К6, с нанесением на тело инструмента технических алмазов, из хромовольфрамовых сталей типа ХВ5 и углеродных инструментальных сталей типа У7-У10, суммарное время работы которых составляет, соответственно, 50; 20; 15 и 5 минут.

Технико-экономический анализ оптимального использования материала инструментов определил выбор для дополнительного упрочнения хромовольфрамовой стали типа ХВ5.

Целью данной работы является исследование структурно-морфологических изменений в поверхностном слое инструментальной легированной стали и ее свойств при облучении потоком ионов азота и ее упрочнения с целью возможного увеличения работоспособности.

Методики исследования. Исследования проводили на стоматологическом инструментарии, представляющем широкий ассортимент боров и фрез, диаметром от 1,2 до 5,0мм. Инструмент изготавливался из вольфрамовой малолегированной инструментальной стали типа ХВ5, содержащей по мас. %: С - 1,25-1,50; Mn ≤ 0,30; Si ≤ 0,30; Cr - 0,40-0,70; W - 4,5-5,5; Fe - остальное. Сталь подвергалась штатной термической обработке: закалке от 800 - 820°C в воду с последующем отпуском при температуре 120 - 160°C. Структура стали, относящаяся к заэвтектоидной, после термообработки представляет мартенсит с избыточными карбидами η - M₆C и растворимой карбидной фазой - M₃C.

Инструменты облучали потоком ионов N (энергия 30кэВ) на ускорителе У-300 и ЭЦР-источником, работающем на принципе электронного циклотронного резонанса, в лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова ОИЯИ г. Дубна. При этом учитывалось, что при облучении средними по величине энергиями, но при значительных интенсивностях потока, наблюдается эффект «дальнодействия», когда область упрочнения и изменение структуры и фазового состояния достигает значений десятка микрометров (глубина модификации), а проективные пробеги ионов составляют порядка 0,1мкм.

Флюенс облучения составлял $5 \cdot 10^{16} - 2 \cdot 10^{17}$ ион/см².

О степени радиационного упрочнения судили по микротвердости облученного материала, что связано с тем, что между изменениями прочностных свойств и твердостью существует линейная связь типа $\Delta H = K \Delta \sigma$. Упрочнение оценивалось по глубине поверхностного слоя, для чего микротвердость определяли при различных нагрузках на индентер прибора ПМТ-3. Глубина проникновения индентера в поверхность изделия (h, мкм) определялась как $h = d/7$, где d - длина диагонали отпечатка алмазной пирамидки с углом между гранями

$\alpha = 136^\circ$.

Топографию поверхности и ее изменение исследовали с использованием растрового электронного микроскопа (РЭМ) с рентгеновским микроанализатором ЛЕО-1455VP с разрешающей способностью 3,5нм и микроанализом элементов от В до U.

Экспериментальные результаты. Изучение микротвердости, определяющей износостойкость, проводили при нагрузке на индентер 1, 2, 5, 10 Н, что варьировало глубину отпечатка индентора h от 2 до 5мкм (табл.1).

Таблица 1

Микротвердость H_D (МПа) стали ХВ5 в зависимости от нагрузки P (Н) и флюенса $\Phi_{\text{ион}}/\text{см}^2$

Характер испытания Состояние материала	P = 1,0Н		P = 2,0Н		P = 5,0Н		P = 10,0Н	
	h, мкм	H_D , МПа						
необлуч.	2,6	2900	3,1	3400	4,2	4000	4,42	4030
доза $5 \cdot 10^{16} \text{см}^{-2}$	2,8	4200	3,0	4900	3,4	6300	3,7	6550
доза $2 \cdot 10^{17} \text{см}^{-2}$	3,2	4000	3,4	4800	3,6	6000	3,8	5680

Из приведенных данных можно прийти к следующему заключению. Во-первых, облучение ионами азота приводит к заметному упрочнению поверхности боров, что указывает на высокую интенсивность ионно-лучевой обработки на упрочнение хромовольфрамовой стали ХВ5. Во-вторых, рост микротвердости происходит на глубинах $h = 2-4\text{мкм}$, что в сотни раз выше, чем проективный пробег R_p и что можно объяснить известным эффектом «дальнодействия». И, в-третьих, увеличение микротвердости легированных инструментальных сталей можно объяснить механизмом твердорастворного упрочнения (легирование мартенситной фазы азотом и углеродом $\alpha'_{N,C}$) и дисперсионным твердением, что связывается с распадом мартенсита и выделением карбидов вольфрама и, возможно, нитридов или карбонидов железа (типа W_6C и $\epsilon\text{-Fe}_2N$, $\epsilon\text{-Fe}_2(N,C)$), что было описано в работах [4, 5].

По результатам РЭМ и микрорентгеноспектрального анализа установлено, что структура поверхности стали ХВ5 в исходном состоянии содержит крупные карбиды типа W_6C , после ионной имплантации в структуре появляются мелкие выделения карбидов достаточно высокой плотности (рис. 1 и 2).

В табл. 2 приведены результаты рентгеноспектрального микроанализа стали ХВ5 в исходном и облученном пучком ионов N^+ двумя флюенсами $5 \cdot 10^{16}$ и $2 \cdot 10^{17} \text{ион}/\text{см}^2$.

Из сопоставления табл.1 и рис. 1 и 2, с достаточной степенью уверенности, можно считать механизмом повышения микротвердости поверхностных слоев стали ХВ5 – распад легированного мартенсита с выделением мелкодис-

перной фазы типа карбидов W_6C и возможно $W_6(CN)$, имеющих геометрическую конфигурацию и $W(CN)$ округлой формы.

Таблица 2

Концентрация компонентов стали в поверхностном слое при имплантации N^+

Состояние стали	Концентрация, мас. %			
	Fe, K - α	C, K - s	Cr, K - α	W, L - α
Исходное	88,42	4,78	0,42	4,90
Флюенс $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$	83,99	5,62	0,54	6,32
Флюенс $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$	88,97	4,77	0,52	3,35

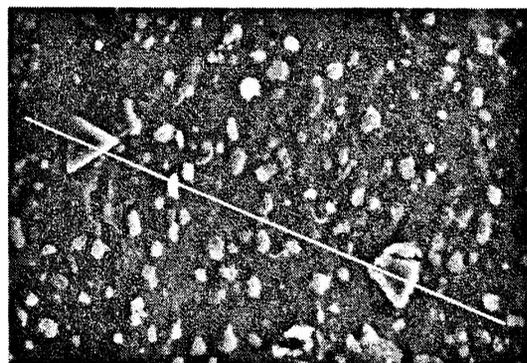
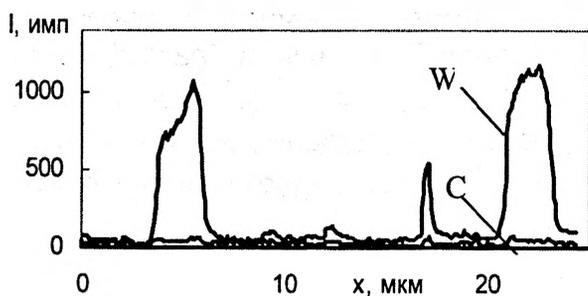


Рис. 1. Растровая микрофотография зубного бора из стали ХВ5 после имплантации ионами N^+ флюенсом $5 \cdot 10^{16}$ ион/см² и распределение W и C вдоль линии

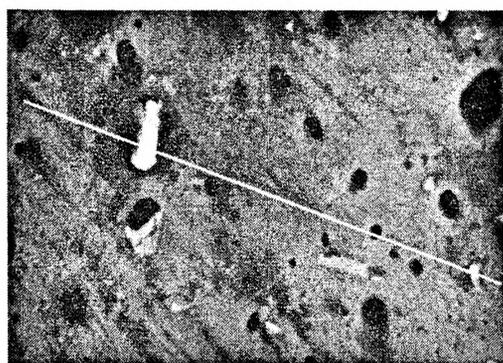
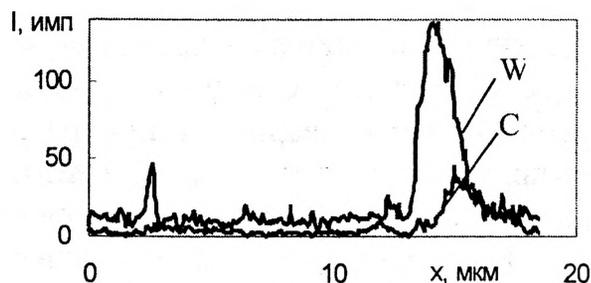


Рис. 2. Растровая микрофотография зубного бора из стали ХВ5 в исходном состоянии и распределение W и C вдоль линии

Известно, что образование вторичных фаз, в том числе карбидов типа M_6C и M_3C сильно зависят от температуры. Вместе с тем, при температурах облучения ионами ($\leq 373K$), процесс выделения карбидов идет очень медленно. Воздействие пучков ионов N^+ ускоряет процесс распада мартенсита вследствие радиационно-стимулированной диффузии. Полученное упрочнение в результате ионной имплантации (табл.1) должно приводить к росту износостойкости зубных боров.

Износ имплантированных боров проводили на моделях зубов. Отметим, что микротвердость по Виккерсу зубов человека, в зависимости от их состав-

ляющих, равна: эмаль – 3000-4250МПа, дентин, находящийся под эмалью – 600-800МПа и цемент – 450-550МПа. Наиболее близкие значения твердости соответствующие твердости зубов наблюдаются у терморезистивных полимеров-полиметилметакрилата, который и выбран для оценки износа боров.

Сверление отверстий и расщепление углублений, соответствующих обработке зубов, показало, что суммарное время затупления режущих кромок бора, определяемое по резкому увеличению температуры зоны обработки из-за увеличения трения, составляет 30-40мин., что соответствует увеличению износостойкости стоматологических боров, изготовленных из хромовольфрамовых сталей, в 2-3раза.

Заключение. В заключение отметим, что ионно-лучевая обработка инструментальной легированной стали ХВ5 при использовании ионов N^+ приводит к увеличению микротвердости поверхностных слоев более чем в 2раза. Упрочнение возрастает по мере увеличения флюенса до $1 \cdot 10^{17}$ ион/см² в результате дисперсионного твердения при распаде мартенсита с выделением мелкодисперсных карбидов типа W_6C . При флюенсе $2 \cdot 10^{17}$ ион/см² микротвердость несколько снижается, однако остается выше, чем в исходном состоянии.

Как показали модельные испытания износостойкость стоматологических боров, упрочненных ионной имплантацией N^+ , возросла в 2-3раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белый А.В., Гольцев В.П. Принципиально новые технологии. –М.: Знание, 1991. – Вып.2. – 64с.
2. Гольцев В.П., Рожанец Н.И. // Опыт научно-исследовательских предприятий по антикоррозионной защите. – 1988. – Мн, БелНИИНТИ. – С.24-25
3. Гольцев М.В. и др. Взаимодействие излучений с твердым телом // Материалы V Междун. Научн. Конф. – 2003. – Мн., БГУ. – С.20-21.
4. Goltsev V.P., Khodasevich V.V., Kuleshov A.K. et.all. // Nucl.Instr. Meth. – 1991. - Vol.B59/60. – P.751-756.
5. Goltsev V.P., Drako V.M., Khodasevich V.V. et.all. // Phys. Res. – 1990. – Vol.13. - P.281-284.