

АКАДЕМИЯ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР



ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ
им. У.А.Арифова

Препринт № 33

Т. Д. Раджабов, С. А. Зуфаров, А. С. Багдасарян,
Р. Н. Нигматов, Л. М. Хасанова

**МОДИФИКАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ И
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ СТАЛЬНЫХ
СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ БОРОВ
ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ**

Ташкент

АКАДЕМИИ НАУК УЗССР
ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ ИМ. У.А. АРИФОВА

Препринт № 33

Т.Д.Раджабов, С.А.Зуфаров, А.С.Багдасарян,
Р.Н.Нигматов, Я.М.Хасанова

КООРДИНАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ
СТАЛЕЙ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ВОРОВ ВОЕННОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ

Ташкент - 1990

Проведены исследования по улучшению основных трибологических и функциональных свойств стальных стоматологических боров путем обработки их рабочей поверхности методом ионной имплантации.

Определен оптимальный режим ионной имплантации (аргона и азота) для получения максимально положительного результата по повышению микротвердости, износо- и коррозионной стойкости, а также функциональных свойств (производительности, режущей способности и др.) стоматологических стальных боров. Характер этих изменений находится в зависимости от энергии и дозы облучения ионами аргона, азота и от последовательности их облучения.

Radjabov T.D., Zufarov S.A., Bagdasaryan A.S., Nigmatov R.N.
and Khasanova L.M.

MODIFICATION OF MECHANICAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF STEEL DENTAL DRILLS BY ION IMPLANTATION

Studies on improvement of the main tribological and functional properties of steel dental drills by treatment of their working surface with ion implantation have been carried out.

The optimum modes of (Ar and N) ion implantation are determined to improve microhardness, wear- and corrosion resistance as well as the functional properties (productivity , cutting ability etc.) of dental steel drills. The character of these changes depends on the irradiation energy and dose of Ar and N ions as well as the sequence of their implantation.

Рукопись поступила в редколлегию
ИЗ АН УзССР 25.05.90 г.

Введение

В настоящее время широко используются возможности применения ионной имплантации как метода, позволяющего модифицировать поверхностные физико-химические свойства изделий в ряде отраслей промышленности [1,2], в частности, в стоматологии [3]. Среди выпускаемых медицинской промышленностью стоматологических инструментов существенную часть составляют стоматологические боры, изготавливаемые как из упругих сталей (хром-ванадиевые, типа ХВ-5), так и из твердосплавных, вольфрамосодержащих материалов (сплавы типа НК). Однако из-за сложности изготовления и дороговизны выпуск твердосплавных боров весьма ограничен. Рассмотрение этого вопроса повышения эксплуатационных и функциональных свойств стальных боров является актуальным. Кроме того, использование износостойких боров с высокими режущими свойствами в клинической стоматологии позволяет значительно снизить побочное воздействие процесса препарирования на обрабатываемые зубы и окружающие ткани [4,5].

Упрочнение поверхностных слоев конструктивных металлов ионной имплантацией азота [6-8] определяется как концентрацией внедренного в металл азота, так и природой их химического взаимодействия. Важную роль при этом играет процесс нитридообразования. Для повышения концентрации азота в металле при имплантации ряд исследователей [9,10] применили предварительную активацию поверхности металла ионами инертных газов, например, He^+ или Ar^+ . Нами [11] также было показано, что имплантация титана ионами смеси газов азот-аргон в 1,5-2 раза повышает механические свойства титана, получаемые имплантацией просто азота.

В настоящей работе приведены результаты исследований по упрочнению стоматологических боров ионной имплантацией азота с предварительной активацией их поверхности ионами аргона.

- 3 -

1. Методика исследований

Исследования проводились на стальных (ХВ-5) и твердосплавных (НК-6М) борах с различной геометрией режущих кромок (рис. 1). При этом твердосплавные боры использовались только для сравнительных испытаний. Ионная имплантация проводилась на ускорителе "Вакуум-2" при энергиях ионов до $E=120$ кэВ и плотности тока пучка $j=2$ мкА/см². Дальность остаточных газов в рабочей камере при облучении $P=5 \cdot 10^{-3}$ Па. Для сравнения были использованы стальные боры, которые имели на поверхности покрытия из нитрида титана, полученные вакуумно-дуговым методом, с толщиной покрытия 1-3 мкм.

Микротвердость боры исследовалась на приборе ПИТ-3, износостойкость - путем сверления отверстий в стальной пластине, коррозионная стойкость - выдержкой в растворе 10% HCl, шероховатость поверхностей бора и препарированного зуба - на профалографе П210.

Химические и медико-технические исследования были посвящены изучению прочности боров, динамики нагрева твердой ткани зуба в процессе препарирования, микроструктура и микрорельефности обработанной поверхности бора и препарированного зуба, влияния препарирования модифицированными борами на чувствительность зубов и образование в них трещин.

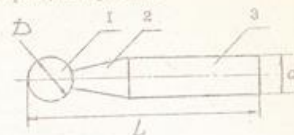
2. Механические свойства

2.1. Микротвердость

Проведены исследования микротвердости поверхностных слоев боров, подвергнутых ионной модификации, в зависимости от параметров ионного облучения. Так, с ростом энергии ионов азота до $E=50$ кэВ микротвердость поверхности возрастает в 1,5-1,8 раза, но затем начинает снижаться. С ростом дозы облучения поверхностная микротвердость возрастает вплоть до $D=10^{13}$ см⁻² и далее практически не изменяется. Полученные результаты несколько отличаются от результатов работ [12,13], где показано, что прирост микротвердости практически прекращается на стали при $E > 30$ кэВ [7] и

- 4 -

Шарошарный бор, тип II



1 - рабочая часть; 2 - шейка;
3 - хвостовик.

Фигурные боры:

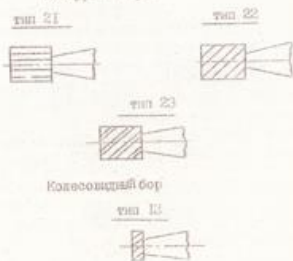


Рис. 1. Типы зубных боров

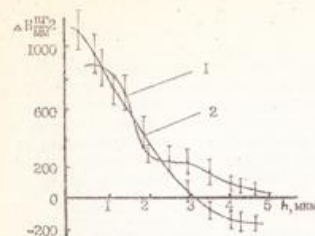


Рис. 2. Изменение микротвердости $\Delta H_{H_2} - H_0$ имплантированных боров (1) и боров с покрытием TiN (2) от глубины внедрения ионатора.

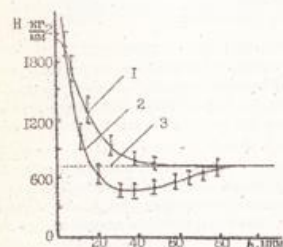


Рис. 3. Изменение микротвердости на косых шлифах для имплантированных боров (1), боров с покрытием TiN (2), необлученных боров (3)

- 5 -

- 6 -

$\Delta > 10^{17}$ см² на титане /12/ и на алюминии /13/. Такое снижение параметров ионной обработки, при которых изменение поверхностной микротвердости прекращается, определяется активацией поверхности ионами аргона, когда, согласно /9,10/ происходит насыщение поверхностных слоев азотом. В таблице 1 приведены сравнительные результаты испытаний на микротвердость обработанных и необработанных боров.

Таблица 1
Микротвердость стоматологических боров

Бор	Обработка	Микротвердость, кг/мм ²
Стальной	необработанный	700
"	имплантация N ⁺	1200
"	имплантация A ⁺ , N ⁺	1800
"	покрытие T.N	2200
твердосплавный	необработанный	1600

Как видно из таблицы 1, наибольшая микротвердость получена на борах с покрытием из T.N почти в 3 раза выше, чем на исходных, но ионная имплантация азота с предварительной активацией поверхности повышает поверхностную микротвердость в 2,5 раза.

Помимо поверхностной твердости, важным аспектом эксплуатационной надежности является напряженно-деформированное состояние приповерхностных слоев. Метод микротвердости позволяет оценивать степень остаточных напряжений в приповерхностной области как измерением на косых шлифах, так и путем изменения нагрузки на индентор при измерении поверхностной микротвердости /14/. На рис. 2 приведена зависимость прироста микротвердости от нагрузки на индентор $\Delta H, H, H_0, f, H_0$ - микротвердость имплантированного образца) или же от глубины внедрения в металл индентора, а на рис. 3 - зависимость микротвердости по глубине образца, измеренную при постоянной нагрузке на индентор (P=25 г).

на косых шлифах.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что ионная имплантация приводит к значительному упрочнению поверхностной микротвердости, далее по глубине образца происходит плавное снижение микротвердости вплоть до твердости необработанного образца. В то же время для боров с покрытием из нитрида титана наблюдается после высокой поверхностной микротвердости снижение микротвердости по глубине, даже ниже, чем микротвердость необработанного бора. Это снижение связано с технологией осаждения нитридных покрытий вакуумно-дуговым способом, при которой происходит иногда значительный нагрев поверхности и, следовательно, отпуск металла в приповерхностной области.

2.2. Износостойкость

Испытания на износостойкость проводились путем сверления стальной пластины стоматологическими борами при фиксированной нагрузке (P=1 кгс). При этом износ определялся сверлением толстой пластины борами в течение 10 сек, измерением потери массы бора и измерением глубины просверленного отверстия.

Дозовые и энергетические зависимости износостойкости имплантированных боров показали, что с ростом энергии ионов и дозы облучения износостойкость боров возрастает, но уже с $E > 60$ кэВ и $A > 5 \cdot 10^{17}$ см⁻² наблюдается снижение износостойкости.

Приведенные в таблице 2 параметры износа ($V = \Delta M / S \cdot t \cdot P$, где ΔM - потеря массы бора, S - площадь поверхности бора, t - время сверления, P - нагрузка) показывают, что имплантированные бору обладают в 2-3 раза лучшей износостойкостью, чем необработанные стальные бору. Нанесению нитридного покрытия вызывает существенное снижение ($\sim$ в 3 раза) износостойкости стальных боров по сравнению с необработанными, несмотря на высокую поверхностную твердость. Как видно из таблицы 2, ионная имплантация существенно упрочняет поверхность стальных боров, приближая их стойкость к изстиранию к твердосплавным бору. Увеличе-

- 6 -

Таблица 2
Параметр износа стоматологических боров W

Бор	Обработка	ΔM , г	Глубина отверстия, мм	W, %
Стальной	Необработанный	0,22	0,19	19,8
"	Имплантированный	0,07	0,24	7,0
"	Покрытие T.N	0,60	0,12	58,8
Твердосплавный	Необработанный	0,04	0,29	3,1

ние глубины просверленного имплантированным бором отверстия по сравнению с неимплантированным указывает на улучшение режущей способности рабочей части бора.

Далее были проведены исследования режущей способности боров в зависимости от формы рабочей части бора (рис. 1) путем сверления тонкой стальной пластины ($h=0,3$ мм) до полного отказа бора. Как видно из таблицы 3, ионная имплантация в 1,5-2,5 раз повышает долговечность стальных боров в зависимости от конфигурации режущей части.

Таблица 3
Количество просверленных отверстий в стальной пластине для различных боров

Бор	Обработка	Конфигурация боров		
		Варовидный	Фигурный	Колесный
Стальной	Необработанный	10	22	6
"	Имплантированный	25	35	16
"	Покрытие T.N	8	16	4
Твердосплавный	Необработанный	42	45	21

- 9 -

Полученные результаты испытаний показывают, что нанесение покрытий из нитрида титана снижает как износостойкость, так и долговечность боров. Помимо поверхностной твердости на износостойкость изделий большое влияние оказывает степень шероховатости поверхности, участвующей в трении, резании; снижение шероховатости, уменьшение высоты неровностей существенно повышает износостойкость трущихся поверхностей. Профилограммы, приведенные на рис. 4, снятые с поверхностей необработанного имплантированного бора и с бора, покрытого нитридом титана, показывают, что ионное облучение существенно снижает поверхностную шероховатость бора, тогда как при нанесении нитридного покрытия наблюдается рост шероховатостей.

2.3. Коррозионная стойкость

Стойкость имплантированных боров к коррозии изучалась путем определения величин коррозионного тока при поларизационных испытаниях в 1N HCl. Исследования показали, что стойкость поверхности стальных боров, подвергнутых имплантации ионами азота, в 15-20 раз выше необработанных боров. А имплантация азота после активации поверхности боров ионами аргона повышает коррозионную стойкость в 5-8 раз.

3. Клинико-функциональные характеристики модифицированных боров

Исследования износостойкости имплантированных боров путем сверления стальной пластины показали их долговечность. В клинических испытаниях нами была исследована режущая способность боров на свежесуданных зубах, при этом нагрузка на бор всегда поддерживалась постоянной (P=0,5 кг). Как видно из таблицы 4, с увеличением времени препарирования количество удаляемой эмали зуба снижается в 6-8 раз при использовании необработанных стальных боров, тогда как ионная имплантация приводит к снижению количества удаляемой эмали в 1,5 раза с начала испытания, что увеличивает производительность боров в 2-3 раза по сравнению с не-

- 10 -

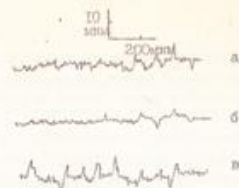


Рис. 4. Профилотграммы поверхностей боров: а) необработанный; б) имплантированный; в) с покрытием TiN.



Рис. 5. Профилотграммы поверхности твердой ткани зуба, препарированной а) имплантированным и б) неимплантированным бором.

- II -

Таблица 4

Количество удаленной эмали зуба (мг) разными борами в зависимости от времени испытаний (давление $P=0,5$ кг, скорость вращения $\omega=3000$ об/мин)

Бор	Обработка	60 сек	120 сек	180 сек
Стальной	Необработанный	$2,7 \pm 0,26$	$1,3 \pm 0,13$	$0,44 \pm 0,06$
	Имплантированный	$3,4 \pm 0,21$	$2,9 \pm 0,16$	$2,0 \pm 0,14$
Твердосплавный	Необработанный	$6,5 \pm 0,28$	$7,1 \pm 0,33$	$4,4 \pm 0,35$

облученными стальными борами.

Следует также обратить внимание на то, что с повышением твердости бора повышается и количество удаляемой эмали зуба. Так, на третьей минуте препарирования количество удаленной эмали имплантированным бором всего в 2 раза меньше, чем для твердосплавного бора и почти в 5 раз больше, чем для необработанного стального бора.

Большой важной характеристикой поверхности препарированного зуба является степень ее шероховатости, которая имеет существенное влияние на качество прилегания пломбы, так и на возникновение в дальнейшем на местах скола или трещины, эрозии зубной эмали. Наличие неровностей, выступов и трещин непосредственно связаны с растущей опосредованностью боров. С притуплением боров, износом их режущей части качество обработки поверхности зубов снижается. Представленные на рис. 5 профилотграммы поверхности зуба, подвергнутой обработке стальным необлученным бором (кривая а) и стальным имплантированным бором (кривая б), показывают, что модифицированные бора позволяют более качественно обрабатывать поверхность зуба. Снижение шероховатости инструмента, повышение его твердости таким образом существенно снижает шероховатость обрабатываемой зубной поверхности и, следовательно, можно ожидать снижения травматического воздействия при обработке твердой ткани зуба за счет умень-

- 12 -

шения взаимодействия шероховатостей поверхности бора с поверхностью зуба; не происходит выламывания, среза твердой ткани и, как следствие этого, уменьшается трещинообразование. Если для необработанных стальных боров наблюдается образование широких и длинных трещин, то при использовании имплантированных боров обнаруживаются узкие и короткие трещины.

Поскольку при препарировании происходит трение бора о твердую ткань зуба, то это вызывает ее нагрев, что оказывает также травматическое воздействие на пациента. Снижение шероховатой поверхности бора должно вызывать соответственно снижение нагрева зуба за счет уменьшения коэффициента трения. Нами была измерена температура зуба в процессе препарирования специальным датчиком температуры. Результаты измерений температуры зуба (таблица 5) при их обработке показали, что имплантированные бора снижают нагрев зуба в 1,5 раза по сравнению с неимплантированными стальными борами. При этом температура зуба повышается за 120 сек препарирования в 5 раз от первоначальной, тогда

Таблица 5

Изменение температуры $\Delta T^{\circ}\text{C}$ твердой ткани зуба от времени препарирования ($P=0,5$ кг, $\omega=3000$ об/мин)

Бор	Обработка	10 сек	30 сек	60 сек	120 сек
Стальной	Необработанный	$3,3 \pm 0,2$	$6,9 \pm 0,2$	$11,5 \pm 0,3$	$21,5 \pm 0,3$
	Имплантированный	$2,7 \pm 0,2$	$5,6 \pm 0,3$	$8,2 \pm 0,3$	$13,7 \pm 0,2$
Твердосплавный	Необработанный	$1,2 \pm 0,1$	$3,2 \pm 0,2$	$5,3 \pm 0,3$	$8,9 \pm 0,3$

как для необлученного бора - в 7-8 раз. Динамика изменения температуры твердой ткани зуба от вида бора со временем его препарирования приведена на рис. 6.

Таким образом, использование имплантированных боров

- 13 -

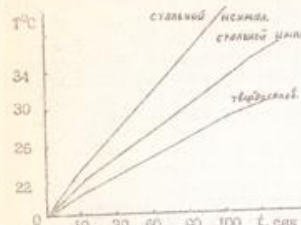


Рис. 6. Изменение температуры твердой ткани зуба от вида бора.

снижает механическую деформацию и нагрев поверхности зуба, то есть снижает степень остаточных напряжений в твердой ткани зуба и тем самым снижается вероятность образования трещин эмали зуба, что особенно важно при препарировании.

Снижение деформируемости твердой ткани снижает формирование нервных полюсов, что можно определить по измерению электрочувствительности зубов (таблица 6). При работе с обычными

Таблица 6

Показатели электрочувствительных зубов

Бор	Показатели электрометрии		
	Ток до препарирования мкА	Ток после препарирования мкА	ΔJ , мкА
Стальной имплантированный	$6,59 \pm 0,3$	$8,43 \pm 0,3$	$1,89 \pm 0,2$
Стальной необработанный	$7,31 \pm 0,3$	$1,07 \pm 0,4$	$3,43 \pm 0,3$

стальными борами среднее увеличение электрочувствительности составляет $3,43$ мкА у 42,8% количества обследованных зубов, а при работе с имплантированными борами среднее увеличение электрочувствительности $1,9$ мкА у 18% обследованных зубов.

Особенности микроструктуры препарированной стенки зуба (наличие трещин, различных дефектов эмали) отражаются

- 14 -

на краевой прилегания пломбы, то есть на герметичности за-
крытия полости зуба. Исследования краевой прозрачности
границы зуб-пломба методом элетроэмиссии [15] показали,
что полости, обработанные имплантированными борами, имеют
хорошее прилегание пломбирочного материала, благодаря
чему краевая прозрачность снижается с 5,2 мкА при обра-
ботке обычными стальными борами до 3,7 мкА, то есть $\sim$ в 1,5
раза.

Заключение

Проведенные исследования показывают, что применение
метода ионной имплантации азота с предварительной актива-
цией поверхности ионами аргона повышает в 2-2,5 раза по-
верхностную микротвердость, а 3-4 раза износостойкость
стальных стоматологических боров. Эти исследования указы-
вают на существенное поверхностное упрочнение боров в ре-
зультате ионной имплантации. При этом немаловажную роль
играют радиационные процессы, участвующие в упрочнении
[11], поскольку проводится поверхностная активация бора
ионами аргона. Так, увеличение микротвердости поверхности
бора после активации её ионами аргона в 1,5 раза выше,
чем у боров, имплантированных только ионами азота. К таким
процессам с большой вероятностью можно отнести радиацион-
но-стимулированную диффузию и фазообразование, а также про-
цессы, влияющие на повышение активности поверхности, уве-
личивающие её сорбционную ёмкость по отношению к азоту.

В результате ионного упрочнения было получено суще-
ственное улучшение функциональных свойств стоматологических
боров: их долговечность повысилась в 1,5-2,5 раза, обеспе-
чивается более качественное прилегание пломбирочного ма-
териала, снижается деформируемость твердой ткани зуба в
2-3 раза, уменьшается вероятность образования трещин и ка-
риозных полостей.

Вой также сказанное обуславливает улучшение качества
стоматологического обслуживания населения, повышает произ-
водительность труда врача-стоматолога, снижает потребление
стальных и твердосплавных боров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Писеницкий И.Б. // Вопросы науки и техники. М. 1969,
в. 5. С. 247.
2. Streibitz R. // Nucl. Instr. Meth. 1972. В 17/52. P. 447.
3. Streibitz R. // Nucl. Instr. Meth. 1972. В 17/52. P. 443.
4. Душадиллава Д.Н. // Теория и практика в ортопедической
стоматологии. 1967, Т. 20. С. 293.
5. Умидаров А.Н. // Проблемы ортопедической стоматологии.
1969. В 3. С. 11.
6. Ионная имплантация/Под ред. Д.К.Хирьяева. М.: Метал-
лургия. 1965. 382 с.
7. Гусева М.И. // Поверхность. 1962. № 4. С. 49.
8. Ионная имплантация и лучевая технология/Под ред.
Видеаса и Поута Д.М. Киев. Наукова Думка. 1968.
360 с.
9. Lu Ruxin S., Mazzoldi P., Scotto I., Zhang G.L. // Appl. Phys. Lett.
1983. V. 39. P. 657.
10. Denison R.T., Tzafarou K.K. // J. Vac. Sci. Technol. 1977.
A5(4). P. 1346.
11. Раджабов Т.Д., Багдасарян А.С. // Поверхность. 1966.
№ 11. С. 104.
12. Li K.T., Lu R.S., Chang S.C. // Nucl. Instr. Meth. 1981.
V. 182/183. P. 915.
13. Mazzoldi P. D. // J. Phys. C. Appl. Phys. 1985.
V. 18. P. 531.
14. Бочвар А.А. // Микротвердость. Труды совещания по микро-
твердости. М.: АН СССР. 1951. С. 57.
15. Леонтьев Б.К., Иманов А.И., Изюмова Г.Г. // Изобретатель-
ство и рационализаторство в медицине. Омск. 1988.
С.17-18.

Препринт № 33

Т.Д.Раджабов, С.А.Зуфаров, А.С.Багдасарян,
Р.Н.Нигматов, Л.Н.Хасанова

МОДИФИКАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ СТАЛЬНЫХ
СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ БОРОВ НОВЫМ ИМПЛАНТАЦИЕЙ

Ответственный за выпуск В.Х.Ферлегер

Редактор Г.В.Васильченко

Дата сдачи в производство 22.11.1990 г.

Подписано в печать 19.11.90. Р-05873. Формат 60 80 1/16.

Печать офсетная. Усл.п.л. 0,93. Уч.-изд.л. 0,7.

Тираж 100. Заказ № 1724. Цена 12 коп.

Отпечатано на ротавинте в типографии "ФАН"

АН УзССР, г. Ташкент, 700125, ул. Горького, 79.