
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ГНУТОГО ПРОВОЛОЧНОГО КЛАММЕРА В СВЯЗИ С НАНЕСЕНИЕМ НА ЕГО ПОВЕРХНОСТЬ НИТРИДОВ ЦИРКОНИЯ И ТИТАНА

Е.В. Кузнецова, В.И. Шемонаев

Кафедра ортопедической стоматологии
Стоматологический факультет
Волгоградский государственный медицинский университет
пл. Павших борцов, 1, Волгоград, Россия, 400131

А.С. Столярчук

Кафедра сопротивления материалов
Волгоградский государственный технический университет
пр. Ленина, 28, Волгоград, Россия, 400131

А.Ф. Трудов

Кафедра материаловедения
Волгоградский государственный технический университет
пр. Ленина, 28, Волгоград, Россия, 400131

В статье представлено сравнительный анализ прочности проволочных кламмеров с напылением и без напыления. Приведены результаты испытаний кламмерной проволоки, доказано снижение прочности проволочного кламмера с напылением.

Ключевые слова: гнутый кламмер, съемный пластиночный протез, микротвердость.

По данным Всемирной организации здравоохранения частичным отсутствием зубов (частичной вторичной адентией) страдают до 75% населения Земли. Для лечения пациентов с этой патологией, особенно в ее выраженной форме, стоматологами-ортопедами успешно используются съемные пластиночные протезы. Достаточно часто в качестве фиксирующих элементов в конструкции таких протезов традиционно применяют проволочные гнутые кламмеры [4]. Однако их применение, особенно на видимых при улыбке поверхностях зубов, резко ухудшает эстетическое восприятие внешнего вида пациента. Для «камуфляжа» металлического цвета кламмеров в практике ортопедической стоматологии применяют защитно-декоративное покрытие их посредством технологий ионно-плазменного нанесения на поверхность проволоки нитридов различных металлов (чаще — циркония, титана). Клинический опыт показывает, что обработанные таким способом удерживающие проволочные кламмеры теряют свои упруго-прочностные характеристики. Это проявляется как ухудшение фиксации и стабилизации съемного протеза, с последующим отломом кламмера.

Таким образом, **целью нашего исследования** являлось изучение влияния на прочность удерживающих гнутых проволочных кламмеров, изготовленных из аустенитной стали марки 12X18H10T, различных технологий их предварительной обработки в связи с материаловедческими аспектами состояния стали.

Материалы и методы исследования. Для исследования механических характеристик (в частности, прочности) стали 12X18H10T, используемой в качестве материала кламмеров в ортопедической стоматологии, нами принят метод измерения твердости при малых нагрузках на индентор (микротвердости) [3, 5]. Вообще твердость, как известно [5, 7], хорошо коррелирует с основными параметрами прочности. В нашем случае микротвердость (HV) изучалась посредством внедрения индентора в виде алмазной пирамиды в предварительно полированную поверхность образца (в центральной его части) на приборе «ПМТ-3» при рабочей нагрузке $200 \text{ Гс} = 1,96 \text{ Н}$ и последующим измерением диагоналей полученных отпечатков. Для гарантии достоверности результатов на каждом исследованном образце наносилось 20 отпечатков, причем проводилось трехкратное измерение каждой из двух диагоналей отпечатка. Таким образом, выборка составляла величину $n = 120$. Несмотря на такую, достаточно представительную выборку, проводилась специальная статистическая обработка [7] полученных результатов механических испытаний с установлением основных статистик величин микротвердости (рассматриваемых как случайные величины), стандартной ошибки опыта, а также анализом функций плотности распределения HV . Статистическая достоверность контролировалась по критерию Стьюдента.

В качестве экспериментальных образцов для сравнительного изучения прочности приняты три вида: исходное состояние кламмерной проволоки (после поставки от производителя); напыление на ее поверхность нитрида титана (TiN); напыление нитрида циркония (ZrN). Для нанесения на поверхность нитридов на установке «Булат-б» применялись следующие технологические режимы операции. Ионно-плазменное осаждение на стали образующихся в среде азота нитридов происходило при температуре анода (проволоки) и катода (титан или цирконий) $500\text{—}550 \text{ }^\circ\text{C}$ (температура плазмы порядка $10\,000 \text{ }^\circ\text{C}$) в течение $10\text{—}12$ мин. при давлении в камере установки $2 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. Толщина образующегося при этом на поверхности проволоки при указанных режимах слоя нитрида составляла $5\text{—}6$ мкм.

Обсуждение результатов механических испытаний. Полученные результаты в комплексе со статистическими параметрами оценки микротвердости для исследованных выборок представлены в табл. 1. Проведенный сравнительный анализ результатов показал статистически достоверное (в частности, стандартная ошибка не превосходит $0,3\%$) падение прочности металла кламмеров, при оценке по средней величине микротвердости, после плазменного напыления нитридов. Наибольшее падение (до 45%) наблюдается после напыления нитрида титана. Это падение связано, с одной стороны, с температурно-временным влиянием технологии напыления, отражающимся на структуре стали (в частности, на размере зерна поликристаллической структуры) и, с другой, с возможным выпадением в микрообъемах отрицательно влияющих на прочность материала посторонних включений. Изучение таких причин, влияющих на мезо- и микроструктуру исследуемой стали и, как следствие, приводящих к изменениям механического состояния материала, представляет самостоятельный интерес и является заключительной частью настоящего исследования.

Результаты исследований микротвердости проволочного кламмера

Технология	Средняя величина HV (МПа)	Падение прочности по отношению к исходному состоянию (%)	Среднеквадратическое выборочное отклонение (МПа)	Стандартная ошибка опыта (%)
Состояние поставки (исходное)	3 947	—	89,5	0,2
Напыление нитрида циркония	2 697	32	118	0,3
Напыление нитрида титана	2 165	45	48,5	0,2

При статистическом анализе результатов механических испытаний, как известно [2], особое внимание следует обращать на анализ функций плотности распределения исследуемого параметра. На рис. 1 и 2 приведены гистограммы величин микротвердости, на которые наложены функции плотности распределения. Статистический анализ показал, что в обоих случаях (на примере состояний после напыления) не отвергается закон нормального распределения (закон Гаусса), однако после плазменного напыления циркония, как видим, происходит искажение функции плотности распределения (снижается максимум и появляется значительная асимметрия) по сравнению с состоянием поставки. Это искажение, по нашему мнению, как и отмеченное выше падение средней величины микротвердости, также может являться следствием технологии предварительной обработки, т.е. плазменного напыления нитридов с образованием на поверхности тонких пленок.

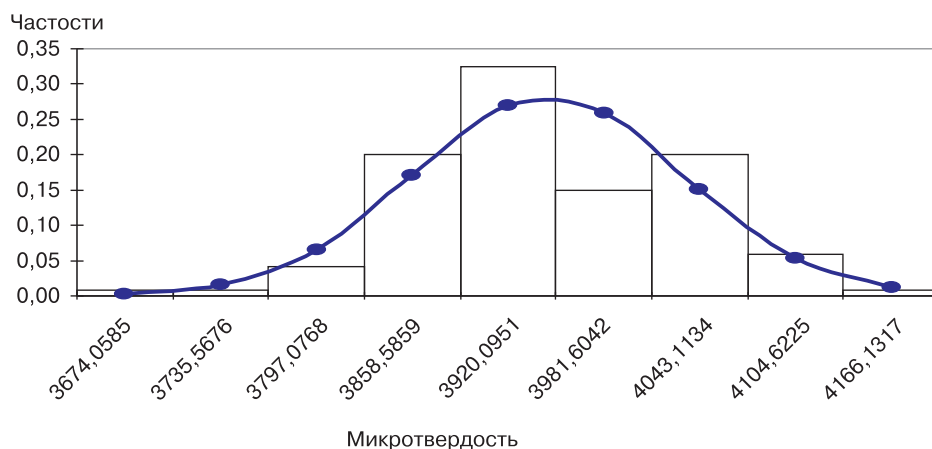


Рис. 1. Гистограмма и экспериментальная функции плотности распределения (по Гауссу) микротвердости материала кламмера в состоянии поставки

Особое влияние состояния поверхностного слоя на служебные характеристики ранее одним из авторов наблюдалось [2] при изучении взаимосвязи между поверхностным пластическим деформированием («наклепом» поверхностного слоя) и изменением статистических характеристик мезодеформаций на поверхности, отражающимся на кинетике повреждения металлов при циклических нагрузках.

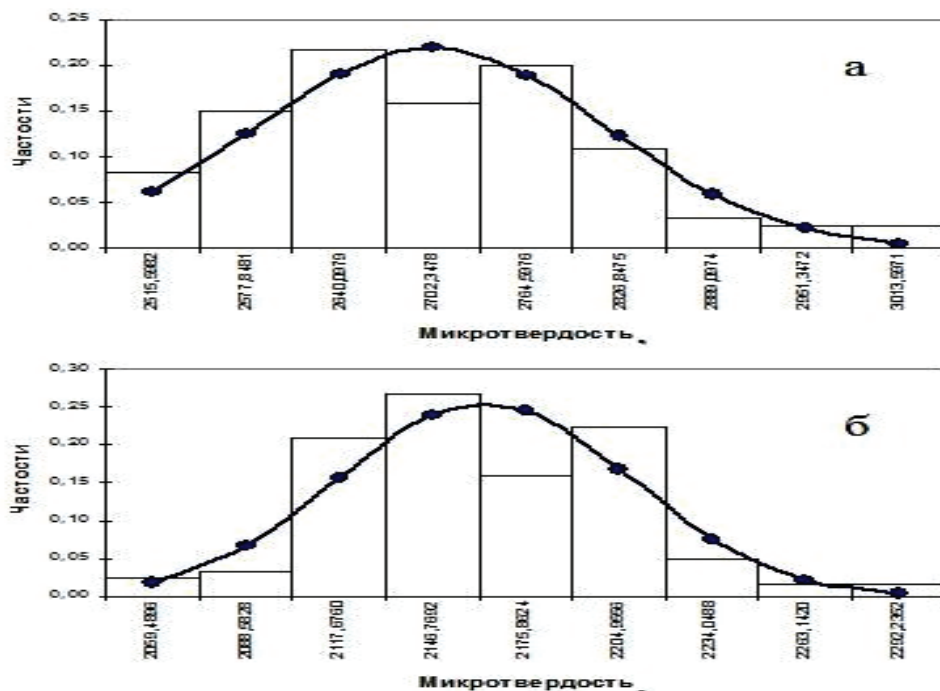


Рис. 2. Гистограммы и экспериментальные функции плотности распределения (по Гауссу) микротвердости материала кламмера после напыления нитрида циркония (а) и нитрида титана (б)

Таким образом, проведенный сравнительный анализ микротвердости гнутого проволочного кламмера показал снижение прочностных характеристик после плазменного напыления на его поверхность нитридов циркония или титана. Установленное снижение сопровождается обнаруженным экспериментально изменением функции плотности распределения микротвердости после напыления (например, нитрида циркония). Падение прочности, по-видимому, и является одной из основных причин преждевременных разрушений кламмеров при их эксплуатации в полости рта у пациентов. Более глубокое объяснение, очевидно, следует искать по результатам анализа структурного состояния исследуемой стали, изучение которого проводилось металлографическими методами, принятыми в материаловедении.

Материаловедческие аспекты состояния проволоки. Применяют в зубопротезной технике хромоникелевую коррозионностойкую сталь аустенитного класса 12Х18Н10Т давно и достаточно широко [8]. Большими достоинствами этой стали являются хорошая технологичность в отношении обработки давлением и сварки, а также коррозионная стойкость. Поскольку аустенитные стали не упрочняются при закалке, единственным способом упрочнения для них является холодная пластическая деформация (наклеп). В данном случае, однако, этот наклеп носит не поверхностный [2], а объемный характер и достигается при технологических операциях волочения, протягивания, *изгиба* и пр. Таким образом, гнутый проволочный кламмер, очевидно, проходит одну из указанных операций.

На рис. 3 показано изменение некоторых механических характеристик исследуемой стали в зависимости от степени деформации. В исходном состоянии сталь имеет невысокую прочность (временное сопротивление $\sigma_B = 500\text{—}600$ МПа) и достаточно большую пластичность (относительное остаточное удлинение $\delta \approx 50\%$). «Холодная» пластическая деформация приводит к появлению α'' -фазы — мартенсита деформации, что повышает временное сопротивление (предел прочности) до $1300\text{—}1400$ МПа. Однако пластичность (относительное остаточное удлинение) при этом падает до $3\text{—}5\%$.

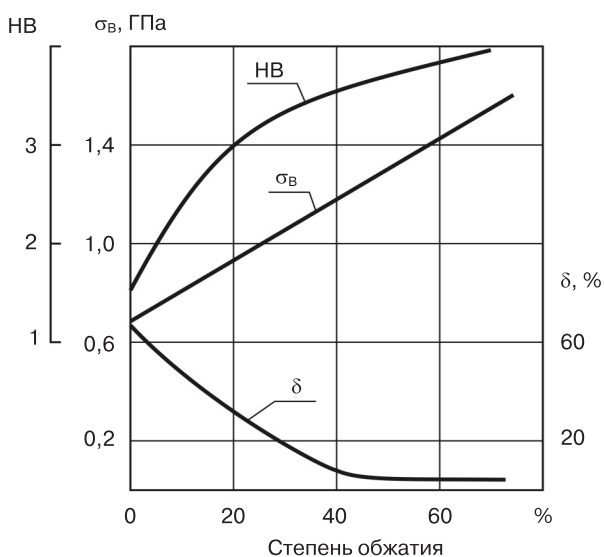


Рис. 3. Влияние пластической деформации на механические свойства стали 12Х18Н10Т [9]

Проволока, которая используется в конструкции съемных пластиночных протезов, в состоянии поставки от производителя находится обычно в сильно наклепанном (деформированном) состоянии, о чем в нашем случае свидетельствуют значения ее микротвердости ($HV \approx 3950$ МПа; см. табл. 1) и характер микроструктуры, показанной на рис. 4. В структуре наблюдаются очень мелкие деформированные в результате наклепа зерна. В таком состоянии сталь склонна к опасности хрупких разрушений, что, конечно, недопустимо при эксплуатации протезов.

Традиционным способом снятия наклепа и в результате этого повышения пластичности (что исключает опасность хрупких разрушений) является рекристаллизационный отжиг, который для данной стали состоит в нагреве выше 1000 °С. Однако медленное охлаждение при отжиге приводит к выделению карбидов хрома $(Cr, Fe)_{23}C_6$ по границам зерен и опасному виду коррозионного разрушения по этим границам — межкристаллитной коррозии. Поэтому стали подобного класса должны подвергаться закалке от температуры $1050\text{—}1100$ °С с охлаждением в воде. Такая обработка приводит к получению однофазной аустенитной структуры, обладающей высокой пластичностью ($\sim 50\%$); но при этом снижается прочность (~ 550 МПа). Получение промежуточных свойств, т.е. более благоприятного сочетания прочности и пластичности, только термической обработкой достичь не удастся.

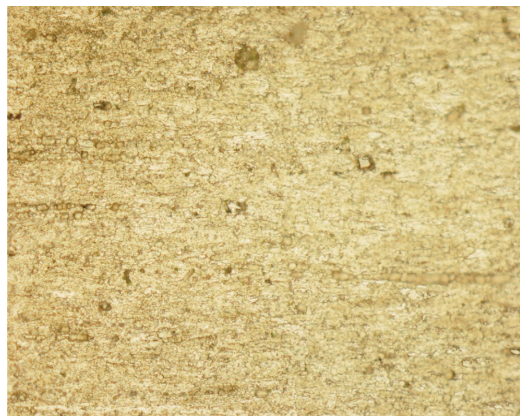


Рис. 4. Микроструктура проволоки исследованной стали в состоянии поставки ($\times 500$)

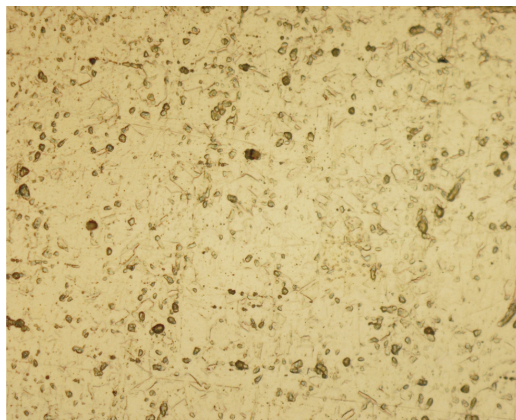


Рис. 5. Микроструктура проволоки исследованной стали после нанесения на поверхность нитрида циркония ($\times 500$)

Как отмечалось выше, недостатком аустенитной стали 12Х18Н10Т является склонность к межкристаллитной коррозии. Она возникает, если сталь при термической обработке подвергалась нагреву от 500 до 800 °С. При этих температурах выделяются карбиды хрома. Прилегающие к карбидам участки зерен обедняются хромом и теряют стойкость против коррозии.

Напыление нитридов TiN и ZrN на поверхность проволоки (установка «Булат-6») производят, как указывалось, в диапазоне 500—550 °С. Эта температура и приводит к выделению карбидов, наблюдаемых нами в микроструктуре (рис. 5). На фотографии видны карбиды и следы коррозии вокруг них после нанесения на поверхность нитрида циркония. Аналогичная картина возникает и в случае нитрида титана. Подобные выделения карбидов в стали несколько снижают ее стойкость к коррозии. Однако, в связи с тем, что само покрытие обладает высокой коррозионной стойкостью, подобные изменения во внутренней структуре кламмера не уменьшают этой стойкости конструкции съемных протезов в целом.

Заключение. Таким образом, изученные нами изменения в структуре металла в состоянии поставки и в эксплуатационных характеристиках гнутого удерживающего кламмера являются следствием обычно принятых технологий получения как самой кламмерной проволоки, так и напыления на ее поверхность нитридов металлов. Для повышения прочностных свойств гнутого удерживающего кламмера, на наш взгляд, необходимо внести изменения в технологии получения проволоки и напыления кламмеров, что требует дальнейшего изучения данной проблемы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Алимский, А.В. Геронтостоматология: настоящее и перспективы // Стоматология для всех. — 1999. — С. 28—31.
- [2] Багмутов, В. П. Влияние поверхностного слоя на статистический характер необратимых мезодеформаций и повреждение металлов при циклических нагрузках // Вопросы материаловедения. — 2002. — № 1 (29). — С. 364—369.

- [3] *Багмутов В.П., Столярчук А.С., Арисова В.Н.* // Вопросы материаловедения. — 2002. — № 1 (29). — С. 369—372.
- [4] *Глазов В.М., Вигдорович В.Н.* Микротвердость металлов и полупроводников. — М.: Металлургия, 1969. — 248 с.
- [5] *Жулев Е.Н.* Частичные съемные протезы (теория, клиника и лабораторная техника). — Нижн. Новгород: Изд-во Нижегородской гос. мед. академии, 2000. — 428 с.
- [6] *Багмутов В.П., Данилина Т.Ф.* Основы сопротивления материалов в стоматологии: Учеб. пособие. — Ростов н/Д: Феникс, 2007. — 206 с.
- [7] *Рошковский, Е.В.* Изучение нуждаемости в ортопедической стоматологической помощи лиц пожилого и старческого возраста, а также долгожителей и особенности ее оказания в геронтологических стационарах: Автореф. дис. ... к. м. н. — М., 2008. — 22 с.
- [8] *Степнов М.Н.* Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. — М.: Машиностроение, 1985. — 232 с.
- [9] *Рыбаков А.И.* Материаловедение в стоматологии — М.: Медицина, 1984.
- [10] *Арзамасов Б.Н., Сидорин И.И., Косолапов Г.Ф. и др.* Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. — М.: Машиностроение, 1986. — 384 с.

TESTING OF BENT WIRE DENTURE CLASP METAL'S HARDNESS AND CONDITION AFTER TITANIUM AND ZIRCONIUM NITRIDE PLASMA SPRAYING ON ITS SURFACE

E.V. Kuznetsova, V.I. Shemonaev

Dentistry department, prosthetic dentistry chair
Volgograd state medical university
sq. of Pavshih bortsov, 1, Volgograd, Russia, 400131

A.S. Stolyarchuk

Strength of materials chair
Volgograd state engineering university
Lenin avenue, 28, Volgograd, Russia, 400131

A.F. Trudov

Materials technology's chair
Volgograd state engineering university
Lenin avenue, 28, Volgograd, Russia, 400131

The durability comparative analysis of samples after different technologies of bent wire denture clasp treatment proved statistically significant declination of its density characteristics after titanium and zirconium nitride plasma spraying on its surface.

This declination is accompanied by experimentally found change in microhardness density distribution after plasma spraying (especially after zirconium nitride plasma spraying). The density declination in comparison with its initial state is one of the main reasons of bent premature denture clasp destruction in human mouth cavity exploitation.

Key words: bent denture clasp, removable, laminar denture, microhardness.