

6.1. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

Основные механические свойства металлов и их сплавов:

- прочность;
- вязкость;
- упругость;
- пластичность;
- твёрдость (табл. 6.1).

Механические свойства определяются способностью данного металла или сплава сопротивляться воздействию внешних сил и сохранять свою форму.

Таблица 6.1. Механические свойства металлов

Металл	Твёрдость по Бринеллю	Временное сопротивление (крепкость), кг/мм ²	Удлинение (вязкость), %
Золото (чистое)	25	11,9	45
Золото 916-й пробы	30	16,1	40
Платина	50	25,0	40
Серебро (чистое)	26	16,0	45
Медь	40	19,0	35
Олово	3	3,5	10
Свинец	1	1,25	15
Висмут	35	-	-
Сурьма	30	-	-
Цинк	30-35	23,5	12-38
Кадмий	6	4,5	15
Хром	450	-	6
Никель	70	50,0	45
Железо	60-70	25,0	50

Для проверки механических свойств металлы подвергают испытаниям посредством специальных приборов, которые позволяют получить количественные показатели.

Прочность - это способность материала сопротивляться постепенно возрастающему действию внешней среды. Данные, характеризующие прочность материала, получают в результате испытания на растяжение, которое заключается в том, что образец определённой формы и размеров растягивается при медленно возрастающей нагрузке, действующей вдоль оси образца.

Вязкость характеризует свойство металла при растяжении не рваться, а вытягиваться. Свойство противоположное вязкости - это хрупкость. Например, чугун вязкостью не обладает, т. е. вытягивать его нельзя. Многие металлы поддаются довольно значительному вытягиванию, при этом одни больше, другие меньше. В порядке уменьшения вязкости металлы можно расположить в следующий ряд:

- серебро;
- железо;

- золото;
- медь;
- алюминий;
- свинец;
- олово.

Упругость - это способность металла изменять форму и размеры под действием внешней среды и возвращаться к первоначальной форме и размерам по прекращении действия этой силы. Упругость металла измеряется пределом упругости, который можно получить при испытании на разрыв. Если в результате приложения нагрузки напряжение не достигает предела упругости, то после снятия нагрузки удлинение исчезает. Если напряжение превышает предел упругости, то после снятия нагрузки остаётся остаточное удлинение.

Металлы обладают разной степенью упругости. Если попробовать гнуть чугунный стержень, то он сломается. Сталь можно согнуть довольно сильно, и после прекращения сгибания она вернется к первоначальному состоянию. Большой упругостью обладает сталь закаленная. У олова упругость почти отсутствует. В зависимости от механической и термической обработки степень упругости каждого металла может изменяться. Если железную полосу наклепать молотком, то упругость её увеличится, если её нагреть, то упругость её уменьшится.

Пластичность - это свойство твёрдых тел необратимо деформироваться под действием механических нагрузок. Пластичность определяет возможность обработки материалов давлением. Пластичные металлы способны принимать нужную форму при воздействии давления и сохранять её после прекращения. Пластичность - свойство, противоположное упругости. Этим свойством пользуются при штамповке, прокатке и т.п. Пластичные металлы - это платина, золото, серебро. Малопластичные металлы - это цинк и висмут.

Твёрдость - это способность материала сопротивляться вдавливанию в него другого, более твёрдого тела. Одним из старых способов определения твёрдости служит царапанье поверхности испытуемого материала различными минералами. Этим методом твёрдость сравнивают с твёрдостью минералов, расположенных по шкале Мооса, в которой каждый последующий минерал оставляет царапины на поверхности всех предыдущих:

- гипс;
- апатит;
- полевошпат;
- кварц;
- корунд;
- алмаз.

Испытуемый образец царапают по очереди указанными минералами, пока на поверхности не появится первый след. Твёрдость считается на один номер ниже того номера шкалы, при котором появился первый след. Например, если на образце появился первый след от корунда, то твёрдость образца будет равна 8. Этот способ недостаточно точен, поскольку разница между твёрдостью минералов шкалы Мооса велика. В современной технике для определения твёрдости металлов имеются специальные приборы.

Способ испытания твёрдости на прессе Бринелля основан на вдавливании в испытуемый материал круглого стального шарика под определённым давлением. Применяют шарики диаметром в 2,5-5-10 мм при нагрузке до 3000 кг. Для испытания твёрдости на детали затачивают ровную гладкую поверхность. Затем деталь кладут на подставку прессы так, чтобы площадка была перпендикулярна стержню с шариком на конце. При помощи винта деталь приближают вплотную к шарiku и проводят надавливание. На металле в месте давления шарика остаётся отпечаток.

6.2. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

В стоматологической практике нужно знать не только физические, но и химические свойства металлов, используемых для зубопротезирования, поскольку на зубные протезы оказывают воздействие жидкости полости рта, которые имеют слабокислую или слабощелочную реакцию. Металлы вступают во взаимодействие с этими жидкостями, под действием их разрушаются, и образовавшиеся при этом растворы могут попадать в кровь и отравлять организм.

Действие конструкционных материалов на организм человека проявляется в двух аспектах:

- коррозионное поведение материалов в электрически-коррозионно-активной среде, которой служит слюна (ротовая жидкость) человека;
- явления гальванизма, которые проявляются при контакте нескольких сплавов металлов со значительно различающимися электродными потенциалами.

Некоторые металлы не боятся коррозионного действия атмосферного воздуха. На их поверхности образуется тонкая, но плотная плёнка окисла, сквозь которую молекулы атмосферных газов не могут проникать. Она надёжно защищает основную массу металла не только от дальнейшего окисления, но часто и от действия кислот и других химически активных веществ. Коррозионную стойкость металлам придаёт именно защитная оксидная плёнка.

К коррозии приводит соприкосновение стальных деталей с благородными металлами. Разность потенциалов может возникнуть в растворе электролита между неоднородностями строения одного и того же металла.

Электрохимической коррозии больше подвержены металлы, ионы которых в растворе активнее ионов водорода. Приведём ряд активности металлов: K, Na, Ca, Mg, Al, Zn, Fe, Ni, Sn, Pb, H, Cu, Hg, Ag, Pt, Au.

Все металлы, расположенные в этом ряду слева от водорода, вытесняют его из кислот тем энергичнее, чем дальше стоят в таблице Менделеева. Металлы, стоящие справа от водорода, наоборот, вытесняются водородом из растворов их солей.

Ионы металлов, выделяемые из материала зубных протезов, могут обусловить ускорение образования зубного налёта и оказывать вредные влияния на весь организм. С целью предупреждения этих осложнений рекомендуется в качестве конструкционных материалов выбрать взаимно индифферентные сплавы металлов.

Основополагающим фактором, обуславливающим химическую инертность металлов, будет строение внешних электронных оболочек атомов металлов, которые в атомах инертных газов в идеале должны быть полностью заполнены.

Современная наука химическую активность элементов определяет электрическим потенциалом по отношению к иону H⁺. Чем отрицательнее химический потенциал, тем для пациента лучше. Все сплавы, применяемые в стоматологии, могут быть расположены в порядке их химической активности.

Ниже приведены ориентировочные данные электрохимических потенциалов различных стоматологических сплавов в соляном растворе при температуре 36 °С (среда полости рта).

- Сплав системы Au-Pt-Pd-Ag - 0,45.
- Сплав системы Au-Cu-Ag - 0,34.
- Кобальто-хромовый сплав - 0,30.
- Никель-хромовый сплав - 0,22.
- Хромоникелевая сталь - 0,12.
- Водород H⁺ - ±0,00.

По химической активности кобальто-хромовые сплавы ближе к золотосодержащим, чем никель-хромовые. По электрохимической активности разница между кобальто-хромовыми и золотосодержащими сплавами меньше, чем между кобальто-хромовыми и никельхромовыми сплавами. Для изготовления зубных протезов следует использовать не окисляющиеся в условиях полости рта сплавы металлов.

6.3. МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЗУБОПРОТЕЗНОЙ ПРАКТИКЕ

В зубопротезной технике в качестве основных и вспомогательных материалов широко используют металлы и их сплавы. Металлы применяют для изготовления протезов в целом, их отдельных деталей, ортодонтических и челюстных аппаратов, в качестве припоев. Легкоплавкие металлы (олово, свинец, висмут) и их сплавы используют для изготовления штампов. Сплавы металлов, используемые в стоматологии, должны быть устойчивыми к коррозии, не оказывать вредного воздействия на организм.

Зубной техник должен помнить, что обработка протеза влияет на переносимость сплавов. Необходимо строго учитывать рекомендации завода-изготовителя сплавов.

Состав и способ обработки сплавов, используемых в практике зубного протезирования, определяют их качество. Знание основных физико-механических и химических свойств металлов помогает врачу и зубному технику в выборе сплава для изготовления зубных протезов.

Физические свойства металлов:

- цвет;
- плотность и удельный вес;
- температура плавления;
- температура кипения;
- теплопроводность;
- электропроводность;
- усадка (табл. 6.2).

Каждый металл имеет характерный цвет, что позволяет по оттенкам дифференцировать различные металлы. Цвет сплавов зависит от состава и от количественных соотношений

составляющих металлов. При добавлении меди золото приобретает красноватый оттенок, а при добавлении серебра становится зеленоватым. Для получения желаемого цвета сплава металлы соединяют в определённых соотношениях. Чем больше массы вещества в единице объёма металла или сплава, тем он плотнее. Плотностью называется отношение массы тела к его объёму. Зная плотность материала и его объём, можно определить массу изделия. Зубные техники часто определяют необходимое количество золота для отливки восковой конструкции. Например, если масса восковой копии - n , масса части протеза - N , плотность воска - d_1 , а плотность золота - d_2 пропорциональная зависимость выглядит так:

Таблица 6.2. Физические свойства металлов

Металл	Символ	Атомный вес	Удельный вес	Температура плавления, °С	Температура кипения, °С	Теплопроводность	Удельное сопротивление	Коэффициент линейного расширения для интервала температур от 0 до 1000 °С	Усадка к первоначальному объёму, %
Золото	Au	197,2	19,3	1064	2250	68,3	0,0021	0,000144	5,2
Платина	Pt	195,3	21,5	1770	2450	16,7	0,0105	0,000087	—
Серебро (чистое)	Ag	107,88	10,5	960	1955	100	0,00158	0,0000197	4,4
Медь	Cu	63,57	8,8	1083	2310	91,8	0,00163	0,0000165	4,4
Алюминий	Al	26,97	2,7	658	1800	48,7	0,00272	0,00272	6,4
Олово	Sn	118,7	7,28	232	2270	15,8	0,000021	0,000021	2,7
Свинец	Pb	207,24	11,37	327	1555	8,4	0,0000292	0,0000292	1,4
Висмут	Bi	209,0	9,8	271	1420	2,0	0,0000134	0,0000134	+3,3
Сурьма	Sb	121,76	6,69	630	1440	4,5	0,000017	0,000017	+0,29
Цинк	Zn	65,28	7,2	419	918	27,0	0,0000354	0,0000354	6,5
Кадмий	Cd	112,41	8,6	320	778	22,2	0,000030	0,000030	4,7
Хром	Cr	52,01	7,2	1910	2200	—	0,000081	0,000081	—
Никель	Ni	58,69	8,9	1455	2900	14,0	0,000013	0,000013	1,98
Железо	Fe	55,85	7,86	1530	2450	14,7	0,0000125	0,0000125	4,4

$$\bar{N} = \frac{n \cdot d_1}{d_2} = 19,2$$

При $n = 1$ г $N = 19,2/0,96 = 20$ г. При $n = 3$ г $N = (19,2 \times 3)/0,96 = 60$ г.

Все металлы, за исключением ртути, обычно находятся в твёрдом состоянии. Если металл нагреть до определённой температуры, то он переходит из твёрдого состояния в жидкое, т.е. начинает плавиться. Температура, при которой металл переходит из твёрдого состояния в жидкое, называется температурой плавления. Эта температура остаётся постоянной до тех пор, пока весь металл не расплавится. Например, температура плавления золота 1064 °С. Это значит, что для расплавления куска золота его необходимо нагреть до 1064 °С. Если

продолжать нагрев расплавленного металла, то можно довести его до температуры кипения, и металл начнет переходить из жидкого состояния в газообразное.

При составлении сплавов из различных металлов учитывают температуру кипения отдельных металлов, с тем чтобы не утратить их из сплава. Например, температура плавления золота 1064 °С, а температура кипения цинка, входящего в состав золотых припоев, ниже и составляет 419 °С и 320 °С. Если не учесть этого во время составления припоя, то цинк может улетучиться.

Способность проводить тепло называется теплопроводностью. Все металлы обладают теплопроводностью различной степени выраженности. Серебро, медь проводят тепло хорошо, а свинец - плохо. Теплопроводность выражается количеством тепла в калориях, переданным металлом за единицу времени. За единицу меры теплопроводности металла принято считать теплопроводность серебра, принимаемую за 100. В порядке уменьшения теплопроводности металлы можно расположить следующим образом:

- серебро;
- медь;
- золото;
- алюминий;
- цинк;
- олово;
- железо;
- свинец.

Под электропроводностью понимается способность вещества проводить электрический ток, обусловленная существованием в них подвижных заряженных частиц - электронов. При прохождении электрического тока по проводнику последний оказывает некоторое сопротивление. Это сопротивление будет тем больше, чем длиннее проводник. Чем он тоньше, тем хуже данный материал проводит ток. Сопротивление материала измеряют удельным сопротивлением, обозначающим сопротивление его отрезка длиной в 1 м при площади сечения в 1 мм². Величина, обратная удельному сопротивлению, служит для измерения способности данного материала проводить ток и называется удельной проводимостью. Чтобы определить удельную проводимость, следует единицу разделить на удельное сопротивление.

В результате изменения размеров металлов при температурных колебаниях возникает так называемая усадка, т.е. сокращение объема отлитых металлических деталей после их охлаждения. Усадка характеризуется процентом уменьшения объема изделия по отношению к модели (литьевой форме). Она зависит от природы металлов, степени их нагрева и способа их охлаждения. Усадка имеет большое значение в литейном деле, поскольку нарушает точность отлитых деталей. Это свойство необходимо учитывать при изготовлении литых деталей, выбирая сплавы с меньшей усадкой. Следует также пользоваться компенсационными формовочными массами и соблюдать режим плавления, не допуская чрезмерного перегрева сплава. Величину усадки можно вычислить, зная коэффициент объемного расширения.

Коэффициент линейного расширения металлов при различных температурах неодинаков, поэтому, определяя удлинение при нагревании, необходимо пользоваться средним коэффициентом температурного линейного расширения для данного интервала температур.

Для получения полного представления рассмотрим каждый из часто применяемых в практической работе металлов в отдельности.

Золото (Au) в природе встречается в виде самородков или мелких частиц, смешанных с песком (рассыпное золото). Единственное химическое соединение золота в природе - калверит (AuTe - соединение золота с теллуrom) встречается очень редко.

Извлечение золота из руд может осуществляться одним из следующих способов:

- путём промывки;
- амальгамирования;
- цианирования;
- выплавления золота из руд вместе с другими цветными металлами.

Промывка основана на разности удельного веса и заключается в отделении золота от примесей.

Амальгамирование - это растворение золота в ртути. Цианирование - это растворение золота в цианидах с последующим высаживанием цинковой пылью.

Золото имеет жёлтый цвет. Удельный вес - 19,32. Температура плавления - 1064 °С, температура кипения - 2550 °С. Теплопроводность большая - 68,3. Усадка - 5,2%.

Чистое золото - мягкое, ковкое и тягучее, может быть выковано в листочки толщиной в 0,0001 см. Твёрдость золота по Бринеллю - 25. Временное сопротивление - 11,9 кг/мм², удлинение - 15,0. Золото не окисляется при нагревании и не растворяется в кислотах и щелочах, кроме царской водки (смесь концентрированной соляной и азотной кислот в пропорции 3:1).

Золото в чистом виде для стоматологических целей не применяют, поскольку оно слишком мягкое и недостаточно прочное. Оно легко соединяется со многими металлами. Для технических целей используют сплавы золота с другими металлами (лигатурное золото). Металлы, добавляемые к золоту, придают сплавам определённые физические свойства. Температура плавления сплава золота с увеличением в нём количества серебра понижается.

При добавлении 50% серебра сплав приобретает белый цвет. Медь придаёт сплаву красноватый оттенок и твёрдость. Сплав из 75% золота, 10% меди и 15% серебра называется зелёным золотом. Сплав золота с серебром и палладием называется белым золотом. Золото становится эластичным, если прибавить к нему небольшое количество платины. В стоматологической практике чаще всего применяют сплавы золота с серебром и медью, обладающие необходимой твёрдостью и имеющие красивый жёлтый цвет. До 1927 г. в нашей стране для выражения пробы пользовались числом золотников чистого благородного металла (золота, платины или серебра) в 96 золотниках сплава. Химически чистое золото соответствовало 96-й пробе.

В ряде стран применяют каратную систему проб сплава золота. Проба химически чистого золота по этой системе соответствует 24 каратам. В процессе работы с благородными металлами и их сплавами иногда возникает необходимость в определении пробы. Для этого используют хлорное золото и растворы кислот.

Хлорное золото - это водный раствор золотисто-жёлтого цвета, который применяют для проверки золотых сплавов и изделий низких проб (до 583-600-й пробы).

Перед проверкой сплавов и изделий из золота реактивами необходимо тщательно очистить их поверхность от загрязнения напильником или наждачной бумагой. На очищенную поверхность наносят каплю реактивов и наблюдают за его действием стеклянной палочкой. О результатах судят по изменению цвета сплава. На латунной пластинке появляется чёрное пятно. На сплавах золота до 300-й пробы хлорное золото образует грязные жёлто-зелёные пятна, на сплавах 450-й пробы и выше - каштановые пятна разной интенсивности, на сплавах и изделиях 585-й пробы - светлые ажурные пятна. На сплаве выше 600-й пробы хлорное золото следа не оставляет.

В зубопротезной практике золото применяют с древних времён. Обладающее хорошими механическими свойствами и неокисляемостью золото используют для изготовления вкладок, штифтовых зубов, коронок, мостовидных и бюгельных протезов. В России в зубопротезировании используют сплавы золота 900 и 750 проб.

Платина (Pt). В природе встречается в виде самородка реже золота и ценится гораздо дороже. Платина имеет серовато-белый блестящий цвет, удельный вес её - 21,5. Температура плавления - 1770 °С, температура кипения - 2450 °С. Благодаря небольшой усадке платину и её сплавы используют при литье мелких и точных деталей. Твёрдость платины по Бринеллю - 50, временное сопротивление - 25 кг/мм², удлинение - 40%. Из неё можно раскатать тонкую фольгу и вытянуть очень тонкую проволоку. Химическая стойкость платины очень высокая.

Платина не окисляется на воздухе, не растворяется ни в каких кислотах, кроме царской водки. В зубопротезной технике золотые сплавы с платиной используют для изготовления вкладок, штифтовых конструкций, коронок, мостовидных протезов, в том числе металлокерамических.

Серебро (Ag). В природе встречается в виде самородка и в виде соединений, имеет белый цвет. Серебро хорошо проводит электричество и тепло. Удельный вес серебра - 10,5, температура плавления - 960 °С, температура кипения - 1955 °С, усадка - 4,4%. Твёрдость серебра выше, чем у золота, и ниже, чем у меди. Твёрдость его - 26, временное сопротивление - 16 кг/мм², удлинение доходит до 45%.

Серебро при нагревании хорошо растворяется в азотной и серной кислотах. Соляная кислота действует на серебро слабо. Серебро используют для изготовления монет, ювелирных изделий, ложек, ножей, вилок и т.д. Для этой цели в сплав серебра добавляют 10-30% меди, что улучшает его механические свойства.

Серебро обладает бактерицидным свойством - убивает болезнетворные и гнилостные бактерии, стерилизует воду, даже когда содержится в количестве миллиардных долей грамма на литр.

Для изготовления зубных протезов серебро непригодно ввиду того, что оно в чистом виде и в виде соединений в полости может подвергаться окислению. Серебро не обладает достаточной прочностью. Серебро, добавленное в золотые сплавы, придаёт им более светлый оттенок и снижает температуру плавления. Оно входит в состав припоев для золота и нержавеющей стали. Отбелом для серебра служит разбавленная серная кислота.

Медь (Cu). Известно, что индейцы в Северной Америке ещё в 3000 г. до н.э. добывали медь и готовили из неё оружие, инструменты и украшения. В природе медь встречается в виде медного колчедана (CuFeS), медного блеска (CuS₂), халькозина (Cu₂S) и окисленной медной руды (Cu₂O). Медь имеет красный цвет. Удельный вес - 8,8, температура плавления - 1083 °С, температура кипения - 2310 °С. Медь хорошо проводит электрический ток и тепло. Теплопроводность меди такая же, как у серебра. Медь хорошо отливается, усадка её меньше, чем у золота (4,4%).

Медь легко поддаётся ковке, прокатке и протяжке в горячем и в холодном состоянии. Твёрдость меди - 40, временное сопротивление разрыву - 19 кг/мм², удлинение - 35%. Медь быстро окисляется во влажной среде или при нагревании, покрывается при этом защитной плёнкой зеленоватого цвета, предохраняющей её от коррозии.

Медь растворяется в азотной и серной кислотах, в щелочах, в растворе поваренной соли. В чистом виде медь - хороший проводник электрического тока, её применяют в электротехнике.

Медь - это составная часть многочисленных сплавов (латунь, бронза и др.). Из сплавов на медной основе делают части машин и станков, предметы домашнего обихода, монеты и т.д. В зубопротезной технике медь входит в состав золотых сплавов и припоев, улучшая их механические свойства (повышает твёрдость и вязкость). Из меди делают некоторые инструменты и аппараты для оборудования зуботехнической лаборатории (молоточки для штамповки стальных коронок, кюветы для полимеризации пластмассы и др.).

Олово (Sn) - древний металл, имеющий большое значение. Олово (Sn) в природе встречается в виде оловянного камня (SnO₂). Он имеет блестящий серебристо-белый цвет. Удельный вес олова - 7,28, температура плавления - 232 °С, температура кипения - 2270 °С. Олово плохо проводит электрический ток, теплопроводность его - 5,8. Усадка олова составляет 2,7%. Благодаря своей ковкости олово может быть прокатано в тонкую фольгу. Твёрдость его - 3, сопротивление на разрыв около 3,5 кг/мм², удлинение - 10%.

Атмосферный воздух оказывает на олово слабое действие. Концентрированная серная кислота, в отличие от разбавленной, быстро растворяет его. Крепкая азотная кислота переводит олово в метаоловную кислоту, нерастворимую в других кислотах.

Для изготовления типографского шрифта используют сплав олова со свинцом и сурьмой. При сплавлении олова с медью и цинком получается бронза. Сплав олова с золотом отличается ковкостью. Сплавы олова с серебром весьма стойки против окисления. Олово имеет низкую тепло- и электропроводность. В технике олово используют как изолирующую прокладку либо в качестве покрытий для железных и медных предметов (лужения) в целях предохранения их от коррозии.

В зубопротезировании олово используют в качестве легирующей добавки в металлокерамических сплавах и в составе легкоплавкого сплава вместе со свинцом и висмутом.

Свинец (Pb) имеет синевато-серый блестящий цвет. Удельный вес его - 11,37. Температура плавления - 327,4 °С, температура кипения - 1555 °С. Свинец плохо проводит электричество и тепло, теплопроводность его - 8,4. Свинец имеет небольшую усадку - 1,4%. Он очень мягок, тягуч и непрочен. Временное сопротивление - 1,25 кг/мм², удлинение - 15%. Под влиянием влажного воздуха свинец окисляется на поверхности.

Серная и соляная кислоты в холодном состоянии на свинец не действуют, а азотная кислота растворяет его. Способность свинца сплавляться с золотом и серебром используют для извлечения последних из руды. Сплавы свинца с оловом дают легкоплавкие припои. Из сплавов свинца с висмутом и оловом изготавливают штампы для штамповки коронок.

Цинк (Zn) имеет синевато-серый цвет. Его удельный вес - 7,2, температура плавления - 419 °С, температура кипения - 918 °С. Цинк при 500 °С горит ярким синевато-зелёным пламенем. Цинк более теплопроводен, чем остальные легкоплавкие металлы. Теплопроводность его - 27. Электричество он проводит лучше, чем олово и свинец. Усадка цинка большая и составляет 6,5%.

В холодном состоянии цинк хрупкий и ломкий, он становится ковким и прокатывается в тонкие листы при температуре между 100 и 150 °С, а при 205 °С снова становится хрупким.

Твёрдость цинка - 30-35, временное сопротивление - 23,5 кг/мм², удлинение - 12-8%. Цинк довольно стоек против окисления. Он растворяется в разведённых кислотах (соляной и серной). Цинк используют для покрытия железных предметов для предохранения их от ржавчины.

Цинк легко сплавляется со многими металлами (золото, серебро, медь, алюминий, висмут, никель и др.) и хорошо разливается. Он входит в состав большинства припоев, которые от присутствия цинка лучше растекаются.

Хром (Cr) распространён в природе в виде соединений. Основная руда, из которой добывают хром, - это хромит или хромистый железняк ($\text{Fe}_2\text{Cr}_2\text{O}_3$). Присутствие в рудах хрома придаёт им зеленоватую окраску. Хром имеет блестящий цвет. Удельный вес - 7,2, температура плавления - 1615 °С, температура кипения - 2200 °С. Хром - это очень твёрдый и хрупкий металл. Твёрдость его по Бринеллю - 450, удлинение на разрыв составляет 6%.

Хром устойчив к окислению. На него не действуют царская водка и азотная кислота, слабо действуют разбавленная серная и соляная кислоты. Растворяется хром в крепкой соляной кислоте. Широко используют его для покрытия металлических предметов хромовой оболочкой (хромирование). Некоторые предметы хромируют, чтобы предохранить их от изнашивания вследствие трения, другие - для большей химической стойкости (хирургические и зубоорудные инструменты, боры и т.п.).

Хром входит в состав нержавеющей стали, придавая ей твёрдость и химическую стойкость. Из окиси хрома готовят полировочную пасту для полировки металлических частей протезов. Хром вводят в состав основных никель-хромовых и кобальто-хромовых зубопротезных сплавов для изготовления цельнолитых конструкций.

Никель (Ni) был открыт в 1751 г. шведским химиком и минералогом А. Кронштедтом. Он имеет серебристо-белый цвет. Удельный вес - 8,9, температура плавления - 1455 °С, температура кипения - 2900 °С, теплопроводность - 14, усадка - 1,98%. Если к сплаву добавить никель, усадка сплава уменьшится.

К основным механическим свойствам никеля относят вязкость, тягучесть и ковкость.

Твёрдость по Бринеллю - 70 кгс/мм², временное сопротивление - 50 кг/мм², удлинение - 45%. На никель слабо действуют соляная, серная и концентрированная азотная кислоты. Никель устойчив к окислению. Его используют для покрытия металлических предметов (хирургических инструментов) с целью придания им отражающего зеркального блеска, для улучшения механических свойств и повышения химической устойчивости. Сплав с хромом состоит из 60-80% никеля и 10-20% хрома. Нихром устойчив к окислению и плохо проводит электричество. Его используют для изготовления спиралей в электронагревательных приборах. В зубопротезной технике никель применяют в сплавах с железом (нержавеющая сталь) и хромом.

Железо (Fe) широко распространено в природе. Оно входит в состав живых организмов и растений, встречается повсюду в виде горных пород. Железо мягкое, тягучее и ковкое, прочность его невелика, но когда в нём присутствуют легирующие элементы, оно становится тверже и прочнее. При добавлении к нему углерода не выше 0,2% получается сталь. Сталь содержит больше углерода, тверже железа и крепче его и имеет большую упругость.

Железо извлекают из магнитного железняка (Fe_3O_4), красного железняка (Fe_2O_3), бурого железняка ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), шпатового железняка (FeCO_3), а также хромоникелевых и титаномангнетитовых руд. Чистое железо имеет серебристо-серый цвет. Удельный вес - 7,86, температура плавления - 1530 °С, температура кипения - 2450 °С. Теплопроводность - 14,7, усадка - 4,4%. Железо обладает хорошими механическими свойствами: твёрдость его

достигает 70, временное сопротивление - 25 кг/мм², удлинение - 50%. При нагревании железо становится ковким и тягучим.

Металлы могут находиться в твёрдом, жидком и газообразном состояниях. Когда разогретый металл застывает, т.е. переходит из жидкого состояния в твёрдое, то происходит процесс его кристаллизации. В том, что металлы в твёрдом виде имеют кристаллическое строение, можно легко убедиться, рассматривая излом металла.

Металл ломается по плоскостям соединения отдельных кристаллов. Кристаллическое строение можно наблюдать на тщательно отполированной и протравленной кислотой поверхности металла. Кристаллы могут быть мелкими или крупными в зависимости от термических и механических воздействий. Например, сталь, нагретая до расплавления и медленно охлаждённая, имеет крупнозернистое строение. Крупнокристаллическое строение не делает сталь кислотоустойчивой и твёрдой, т.е. ухудшает химические и механические свойства сплава.

В зубопротезировании используют кислотоустойчивые нержавеющие стали: сплав железа с углеродом от 0,1 до 1,7%. Большое распространение получила нержавеющая сталь марки IX18H9T, состоящая из 72% железа, 18% хрома, 9% никеля, 0,1% углерода и 1% титана.

Кислотоустойчивая сталь должна быть мелкозернистой и однородной (аустенитная структура). Аустенит - это твёрдый раствор углерода в железе. В раствор входят также хром и никель, все эти элементы равномерно распределены.

При нагреве кислотоустойчивой стали в интервале от 500 до 760 °С по границам кристаллов аустенита выделяются карбиды. В зоне выпадения карбидов уменьшается концентрация хрома ниже уровня, обеспечивающего химическую стойкость стали. Сталь, которая была нагрета до 500-760 °С, в дальнейшем по границам кристаллов относительно быстро подвергается коррозии, приводящей к разрушению металла и изделий. Это явление называется межкристаллической коррозией. Предотвратить межкристаллическую коррозию можно, вернув стали нарушенное мелкозернистое строение, путём специальной термической обработки, которая носит название закалки на аустенит.

Термическая обработка хромоникелевой стали заключается в нагреве до определённой температуры с быстрым охлаждением в воде или на воздухе. Температура и продолжительность нагрева зависят от состава и величины изделий. Для малоуглеродистой стали, содержащей 0,1% углерода, наиболее подходит нагрев в течение 5-10 мин при температуре 1050 °С. Продолжительность нагрева для крупных изделий увеличивается, для мелких (коронки, кламмеры и т.п.) уменьшается до 1-2 мин. Структура при нагреве кислотоустойчивой стали не нарушается, но может образоваться толстый слой окалины, который с трудом снимается путём травления. Такие коронки могут разрушаться во время травления после чрезмерно длительного нагрева. Температуру, до которой нагрет металл, можно определить по его цвету. Начальный накал докрасна соответствует температуре 525 °С, тёмно-красный цвет накала появляется при 925 °С, жёлтый - при 1100 °С, белый - при 1300 °С, ослепительно белый - при 1500 °С.

Слой окалины, образовавшийся на поверхности стали после нагрева, снимают посредством травления в специальном отбеле. Имеется много рецептов отбелов.

Распространён такой состав:

- 47% соляной кислоты;
- 6% азотной кислоты;
- 47% воды.

Химическое воздействие отбел оказывает на поверхностный слой окалины (растворяет её) и на саму сталь. Время, требующееся для снятия окалины, должно быть уточнено, поскольку имеется опасность разрушения стальных изделий (перетравки). Травление проводят в горячем отбеле в течение 0,5-1 мин, после чего стальные детали промывают в кипящей воде для удаления остатков кислоты и насухо протирают, чтобы окончательно снять налёт, который теперь легко отделяется от поверхности металла.

Сталь паяют специальным припоем на основе серебра. Температура плавления составляет около 800 °С.

Титан (Ti) имеет серебристо-белый цвет. В природе встречается в виде двуокиси титана TiO₂ в минералах (ильпенит, рутил, анатаз, лопарий, титаний и др.).

Впервые титан был выделен в 1795 г. немецким химиком М. Клапротом, который, изучая минерал рутил, выделил из него неизвестный металл, названный в дальнейшем титаном. Автор установил, что четырьмя годами раньше этот элемент обнаружил англичанин В. Мак-Грегор в тяжёлом песке прибрежного посёлка Менакан. Далее выяснилось, что титан присутствует во многих минералах. По распространённости в природе титан занимает среди металлов 4-е место (после алюминия, железа и магния). Вырабатывают титан преимущественно из минералов рутила и ильменита.

Сегодня распространённым методом производства титана служит метод Кроля.

Он состоит в следующем.

□ Концентрат, полученный при переработке титановой руды, подвергают хлорированию, в результате чего титан переходит в соединение с хлором (четырёххлористый титан).

□ Этот промежуточный продукт нагревают в замкнутой реторте в среде инертного газа вместе с расплавленным магнием.

□ Магний, отнимая у титана хлор (образуя хлористый магний), оставляет титан свободным, но не в форме компактного металла, а в виде пористой массы (губки), сильно загрязнённой хлористым магнием и частично избыточным металлическим магнием.

□ Путём дальнейших сложных процессов рафинирования и переплава из этой титановой губки получают чистый титан.

Титан занимает 4-е место среди металлов по распространённости после алюминия, железа, магния и составляет 0,61% массы земной коры.

Чистый титан очень пластичный (способен, не разрушаясь, изменять форму), более упругий, чем сталь, обладает хорошей вязкостью, противостоит воздействию ударов, стоек. Важный показатель металла - это его предел текучести. Чем он выше, тем лучше материал сопротивляется износу. Высока и удельная прочность титана, хотя его удельный вес в 2 раза меньше удельного веса стали, нагрузки они выдерживают одинаковые.

Чистый титан имеет ряд недостатков:

- его нельзя назвать универсальным коррозионностойким металлом;
- у него сравнительно низкий модуль упругости;
- он склонен к абразивному износу.

Все это снижает эффективность применения его в чистом виде. Сплавы титана имеют явные преимущества в качестве конструкционных и коррозионно-стойких материалов.

В химическом отношении титан и его сплавы - это активные металлы. Благодаря тонкой оксидной плёнке, быстро образующейся на поверхности и состоящей преимущественно из двуокиси титана, они приобретают высокую коррозионную стойкость.

Титан принадлежит к тугоплавким металлам. Он переходит из твёрдого состояния в жидкое при температуре около 1690 °С. Титан относится к металлам с гексагональной пространственной решёткой, но при температуре около 880+20 °С происходит изменение в пространственном расположении атомов, при дальнейшем нагреве, вплоть до точки плавления, титан сохраняет кубическую объёмно-центрированную решётку.

По коррозионной стойкости титан превосходит даже высоколегированные коррозионностойкие стали. Такие стали в растворе, состоящем из 2 частей соляной кислоты и 1 части азотной кислоты, за год растворяются на глубину 10 мм, титан за это время - только на 0,005 мм.

Титан можно легировать различными элементами. Некоторые из них стабилизируют альфа-состояние, т.е. структуру с гексагональной решёткой, другие - бета-состояние, имеющие кубическую решётку. Соответственно различают сплавы альфа, бета и альфа+бета. Коррозионностойкий сплав титана с 30% молибдена в некоторых агрессивных средах ведёт себя лучше, чем чистый титан.

Сплавы титана широко стали использовать не только в самолётостроении, в химической промышленности, но и в медицине. Всемирную известность получил протез тазобедренного сустава человека из сплава титана с кобальтом. Сплавы титана широко применяются в стоматологической имплантологии. Титановый сплав ВТ-14 обладает свойством сверхпластичности. НПК Суперметалл производит титановые базисы съёмных протезов по методике сверхпластической формовки.

Сплавы титана ВТ-5Л, ВТ-1-0-М используются для литья каркасов зубных протезов: ВТ-5Л - бюгельных и металлопластмассовых, ВТ-1-0-М для металлокерамических и металлопластмассовых.

6.4. СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ ЗОЛОТА, СЕРЕБРА И ПАЛЛАДИЯ

По стандарту Международной организации стандартов - ISO 1562-84 (International Standard Organisation) и ADA N 5 (Американская Дентальная Ассоциация) все стоматологические золотые сплавы разделены на 4 типа:

- 1 тип - мягкие, используются для конструкций, которые подвергаются слабой нагрузке (некоторые виды вкладок);
- 2 тип - средней твердости, используются для конструкций, которые подвергаются умеренной нагрузке (крепления - анкеры, промежуточные звенья мостовидных протезов, коронки);
- 3 тип - твердые, используются для конструкций, которые подвергаются большой нагрузке (полукоронки, тонкие литые вкладки, элементы мостовидных протезов, коронки);
- 4 тип - сверхтвердые, используются для конструкций, испытывающих высокие нагрузки (бюгели, коронки).

Состав и механические свойства золотых сплавов, требуемые международной классификацией, приведены в таблице 6.3:

Таблица 6.3. Состав и механические свойства золотых сплавов

Тип сплава	Кол-во золота и металлов платиновой группы, % (мин)	Твердость (HV 5)		Предел текучести $\sigma_{0.2}$ (Н/мм ²)	Удлинение (мин)%
		мини-мальная	макси-мальная		
I	83%	50	90	80	18
II	78%	90	120	180	12
III	78%	120	150	240	12
IV	75%	150	—	300 450	10
		220			2

NIOM (Скандинавский институт стоматологического материаловедения) классифицирует сплавы, содержащие не менее 75% золота на основе стандарта ISO 1562-84, по типам и применению, предъявляя те же требования к твердости по Виккерсу, пределу текучести и относительному удлинению, но к составу выдвигает более жесткие требования: ни один из сплавов **не должен содержать кадмия и никеля более 1%**.

Стоматологические литейные сплавы с содержанием благородных металлов от 25% до 75% **классифицированы** по международному стандарту ISO 8891, европейскому стандарту EN 28891 и немецкому стандарту DIN 13906T2/03.88 в соответствии с их физическими свойствами:

□ **Тип I** - низкопрочный, для зубных протезов, подвергающихся очень незначительным напряжениям, например, вкладки. К этому типу относится широко применяемый в России золотой сплав 900 пробы, а также серебряно-палладиевые сплавы ПД 190 и ПД 250. Сплав золота 900-й пробы ЗлСрМ 900-40 (ГОСТ 6835-80) используется при протезировании коронками и мостовидными протезами. Выпускается в Москве и Екатеринбурге в виде дисков диаметром 18, 20, 23, 25 мм и блоков по 5 г. Содержит 90% золота, 6% меди и 4% серебра. Температура плавления равна 1063°C. Обладает пластичностью и вязкостью, легко поддается штампованию, вальцеванию, ковке, а также литью.

□ **Тип II** - среднепрочный, для зубных протезов, подвергающихся средним напряжениям, например, вкладки (inlay, onlay). К этому типу относится российский золото-серебряно-медный с платиной сплав 750 пробы, разработанный более 40 лет назад и ошибочно предназначенный для изготовления бюгельных протезов.

Этот сплав золота 750-й пробы ЗлСрПлМ 750-30 (ТУ 9391-324-05785324-01) в настоящее время применяется для изготовления кламмеров и вкладок. Содержит 75% золота, по 8% меди и серебра, 9% платины. Обладает высокой упругостью и малой усадкой при литье. Эти качества приобретаются за счет добавления платины и увеличения количества меди.

□ **Тип III** - высокопрочный, для зубных протезов, подвергающихся высоким напряжениям, например, тонкие литейные металлические каркасы для зубных фасеток, каркасы мостовидных протезов, полные коронки и бюгельные протезы. В России выпускается золотой сплав Супер ТЗ 750 пробы с эффектом термического упрочнения (ТУ 9391-015-17444965-2003) - это «твердое золото», термически упрочняемый износостойкий сплав, который содержит 75% золота и имеет красивый желтый цвет. Он универсален и технологичен: может использоваться для штампованных и литых стоматологических конструкций (коронки и мостовидных протезов). Из данного вида сплава изготавливаются также золотые иглы для акупунктуры. □ **Тип IV** - сверхпрочный, для зубных протезов, подвергающихся очень высоким напряжениям и имеющим небольшое поперечное сечение, например, шинирующие части бюгельного протеза, дуга съемного протеза, кламмеры, коронки, втулки. (В России выпускается золотой сплав Супер ЛБ, специально предназначенный для литых бюгельных протезов. Сплавы Суперпал, Супер КМ, Витирий, разработанные и выпускаемые в России в 21 веке также можно отнести к

этому типу, но они специально предназначены для изготовления металлокерамических зубных протезов). благородные металлы: золото, серебро, платина и металлы платиновой группы придают сплавам высокую коррозионную устойчивость, биологическую инертность, а также эстетические свойства (не тускнеют). Литейные стоматологические золотые сплавы - это, в основном, сплавы системы золото-серебро-медь с добавками палладия и платины.

Согласно международному стандарту ISO 1562-84 (E), золотые сплавы должны содержать золота и металлов платиновой группы (Pd, Ir, Rh, Ru, Os) не менее 75%. Сплавы с содержанием золота и платиноидов менее 65-75% быстро тускнеют в коррозионной среде полости рта. Дальнейшее понижение содержания золота в сплаве по этому стандарту приводит к окислению сплава в условиях полости рта, оказывая вредное воздействие на слизистую оболочку и весь организм в целом. Поэтому, для предотвращения коррозии по мере уменьшения количества золота в сплаве, должно увеличиваться содержание палладия. Сплавы с низким содержанием золота могут заменить сплавы с содержанием золота более 70%, если будут соблюдаться следующие условия: золота не должно быть ниже 42%; палладия должно быть не менее 3-4%; отношение золото+серебро / медь должно выдерживаться не ниже, чем 10:1.

Правильно выбранное соотношение отдельных легирующих частей дает возможность получать сплавы, обладающие необходимыми физико-химическими свойствами за счет создания заданной структуры и строения кристаллической решетки сплава.

Серебро широко используется как основной легирующий элемент золотых стоматологических сплавов. Небольшое количество серебра понижает температуру плавления и придает светлый оттенок золоту. Однако в больших количествах его применять не рекомендуется. Серебро не устойчиво к коррозии в полости рта, оно окисляется, разрушается и обладает олигодинамическим действием (нарушает равновесие микрофлоры полости рта).

Сплавы, в состав которых входит **платина**, отличаются высокой прочностью, упругостью, хорошо поддаются механической обработке, при литье обладают высокой жидкотекучестью. При этом температура плавления сплава резко повышается. Добавление платины до 5% делает сплав исключительно мелкозернистым, твердым, эластичным и устойчивым к деформации.

Благородные металлы характеризуются высокой инертностью по отношению к организму. В связи с этим в литературе по гигиене содержание золота и платины как в питьевой воде, так и в пищевых продуктах не нормируется.

Однако помимо указанных элементов в состав изучаемых сплавов припоев на основе золота в качестве функциональных добавок входят цинк, медь, серебро, олово, кадмий, которые могут накапливаться в средах и тканях организма и в определенных концентрациях оказывать токсическое действие.

Нередко снижение содержания цинка в организме является следствием избыточного поступления в организм меди, кадмия, свинца, являющихся функциональными антагонистами цинка, особенно на фоне неполноценного (дефицит белка) питания, а также фоне злоупотребления алкоголем.

Дефицит цинка может приводить к усиленному накоплению кадмия, свинца, железа и меди. Избыточное поступление цинка может понизить общее содержание и поступление в организм такого важного элемента, как медь.

Дефицит меди отрицательно сказывается на кроветворении, всасывании железа, состоянии соединительной ткани, процессах миелинизации в нервной системе, усиливает предрасположенность к многим заболеваниям, например, бронхиальной астме, аллергодерматозам, кардиопатиям, витилиго и нарушает функцию яичников.

Универсальными считаются сплавы на основе золота. Любой металлический сплав характеризуется определенными свойствами: физико-химическими (структурой, составом, коррозионной стойкостью), физико-механическими (модулем упругости, пределом пластичности, относительным удлинением, твердостью), термическими или температурными (интервалом плавления, температурой разливки, литейной способностью) и биологическими (биосовместимостью)

К физическим свойствам металлов относятся: температура плавления, плотность и прочность, упругость и пластичность.

Температура плавления определяет технологию плавления протеза путем литья. Этот параметр определяет тип литейного оборудования. Золотые сплавы, имеющие низкую температуру плавления, обычно плавят в плавильных печах на воздухе (~1050°C). Сплавы на кобальто- и никель-хромовых основах имеют значительно высокие температуры плавления - 1280-1450°C. Для изготовления протезов из таких сплавов требуется более сложное оборудование и соответствующая квалификация. Здесь применяются дуговые или индукционные печи.

Плотность золотосодержащих сплавов составляет 14-18 см³. Плотность кобальто-хромовых сплавов примерно в два раза меньше - около 7,8-9,0 г/см³. Примерно такую же плотность имеют никель-хромовые сплавы.

Модуль упругости кобальто-хромовых сплавов составляет 228 ГПа, никель-хромовых - около 186 ГПа, на основе золота - всего около 90 ГПа. Используя сплавы с большим модулем упругости, можно изготовить прочный тонкостенный протез с меньшим объемом и весом.

Прочность стоматологического материала затрудняет его отделку, но противостоит повреждениям при эксплуатации - истиранию, царапанию. Предельная прочность состава сплава на кобальтовой и никелевой основе колеблется от 640 до 825 МПа.

Упругость определяется **пределом текучести** - величиной механического воздействия, необходимого для появления остаточной деформации. Это одно из важнейших свойств сплава, особенно сплава, используемого для изготовления съемных протезов. Согласно международному стандарту «Стоматологические литейные сплавы на металлической основе» ISJ 687187-87, их показатель предела текучести не должен превышать 500 МПа.

Сплавы благородных металлов имеют лучшие литейные свойства и коррозионную стойкость, однако по прочности уступают сплавам неблагородных металлов.

Золотые сплавы, содержащие большое количество палладия и серебра, получили название белых золотых сплавов. Эти сплавы рассматриваются как альтернатива желтых золотых сплавов. В зависимости от соотношения серебра, палладия, золота, платины, меди, цинка и других добавок литейные сплавы белого золота подразделяются на 3 типа в соответствии с их твердостью и механической прочностью: твердый и 2 особо твердых (таблица 6.4).

Таблица 6.4. Составы зубопротезных литейных сплавов «белого золота»

Тип сплава	Au	Ag	Cu	Pd	Pt	Zn
Твердый	65-707-12	6-10	10-124	1-2		
Особо твердый	60-6510-159-12	6-10	4-812			
Особо твердый	28-3025-3020-2515-203-70,5-1,2					

Правильное применение отдельных легирующих частей дает возможность получить обогащенные сплавы, обладающие нужными свойствами.

Физико-механические характеристики основных компонентов сплавов представлены в таблице 6.5.

Таблица 6.5. Физико-механические характеристики основных благородных металлов

Металл	Плотность (г/см ³)	t°С плавления	t°С кипения	Предел прочности (Н/мм ²)	Относит. удлинение (%)	Твердость по Бринеллю (Н/мм ²)	Линейный коэфф. теплового расширения
Au	19,32	1064	2550	12,2	40-50	18,5	14x10-6
Ag	10,5	960,5	1955	13,8- 14,4	48-50	26	19x10-6
Pd	11,9-12,25	1555	3980	18,5	24-30	49	11,7x10-6

Прогресс в мировом стоматологическом материаловедении, возросшие требования к функциональным и эстетическим качествам зубных протезов, применение металлокомпозитных и металлокерамических зубопротезных конструкций обусловили необходимость создания для зубных протезов сплавов с высоким уровнем физикомеханических и технологических свойств.

Сплавы на основе благородных металлов по назначению можно разделить на 5 групп: 1-я группа - сплавы для металлокерамических протезов; 2-я группа - сплавы для цельнолитых и металлокомпозитных конструкций; 3-я группа - сплавы для бюгельных протезов и кламмеров; 4-я группа - сплавы-припои; 5-я группа - покрытия (гальванотехника).

Сплавы для металлокерамических протезов наиболее сложные по составу и физико-механическим свойствам. Их состав и структура должны обеспечить высокую коррозионную стойкость, прочность и твердость, определенный предел пластичности, относительное удлинение, модуль упругости, нужный интервал плавления и температуру литья. Кроме этого, эти сплавы должны иметь коэффициент температурного расширения, соответствующий коэффициенту температурного расширения керамических облицовочных масс, и содержать химические элементы, образующие оксидную пленку для надежного сцепления с керамикой. Сплавы для металлокерамических протезов по составу можно разделить на несколько групп. Основными в настоящее время являются сплавы на основе палладия и на основе золота и платины. Главные свойства и внешний вид изделий из этих сплавов определяются основными, базовыми, химическими элементами, т.е. палладием в одном случае; золотом и платиной - в другом. В настоящее время в России активно используются обе группы сплавов для металлокерамических зубных протезов.

Первым отечественным сплавом благородных металлов для металлокерамических протезов, разработанным и внедренным в России кафедрой госпитальной ортопедической стоматологии и лабораторией материаловедения Московского государственного медико-стоматологического университета совместно с НПК «Суперметалл», был сплав на основе палладия «Суперпал», более известный под торговой маркой «Палладент».

Сплав «Суперпал» предназначен для литых стоматологических конструкций в основном с полимерной или керамической облицовкой. Сплав содержит 60% палладия и 10% золота, имеет температуру плавления - 1105°С, твердость в литом состоянии - 3600 Н/мм², предел текучести - 750 Н/мм², относительное удлинение - 2%, плотность - 10,7 г/см³, коэффициент термического расширения в интервале 20-600°С - (13,5-14,5)x10-6К-1 [И]. Сплав имеет красивый серебристо-серый металлический цвет, надежно соединяется с керамическим и полимерным покрытиями, а также используется в полированном виде без покрытия.

«Суперпал», как и все сплавы на основе палладия, характеризуется высокими физико-механическими свойствами, хорошей обрабатываемостью, высокой устойчивостью в

агрессивных средах против износа, не тускнеет в присутствии сернистых соединений, не создает значительных микроканалов в сочетании с золотыми сплавами.

Сплав «Суперпал» серийно выпускается и применяется для ортопедического лечения с 1995 года. За указанный период отработана методика нанесения на каркасы из сплава «Суперпал» облицовки из керамических материалов «IPS Classic», «IPS d.Sign», «Duceram Plus», «Duceram Kiss», «Shofu Vintage», «Vita Omega» и др. Клинические наблюдения показали прочную, надежную связь сплава с керамикой. Анализ отдаленных результатов лечения больных с применением металлокерамических мостовидных зубных протезов на каркасах из сплава «Суперпал», изготовленных по оптимальной технологии, не выявил каких-либо осложнений, связанных с исходными материалами. Таким образом, сплав на основе палладия «Суперпал» - не только надежный конструкционный материал, но и обладает высокой биосовместимостью, что позволяет рекомендовать его пациентам с непереносимостью других сплавов. Единственным недостатком (если можно его так назвать) палладиевого сплава является серебристый цвет. Историческая же традиция такова, что наиболее востребованы на стоматологическом рынке сплавы, имеющие в своем составе в качестве основного элемента золото и обладающие из-за этого выраженным желтым, благородным цветом.

Механические свойства сплавов для металлокерамических протезов с высоким содержанием золота в основном определяются металлами платиновой группы, на долю которых может приходиться от 5 до 20% общей массы.

Основным из сплавов на основе золота и платины, который используется в ортопедической стоматологии России, является сплав «Супер КМ» (Плагодент). Сплав содержит золото, платину и палладий (сумма благородных металлов - 98%), имеет нежно-желтый цвет и предназначен для изготовления цельнолитых протезов, вкладок, полукоронки, мостовидных протезов преимущественно с керамическим покрытием. Температура плавления сплава - 1115°C, что создает достаточный запас термостойкости при обжиге керамического покрытия. Твердость по Виккерсу - 165 единиц, предел текучести - 250 Н/мм², относительное удлинение - 15%, коэффициент термического расширения в интервале 20-600°C - 14,0x10⁻⁶К⁻¹. Плотность сплава, составляющая 18,1 г/см³, превышает плотность КХС в 2 раза, а плотность титана - в 3 раза, что улучшает проливаемость тонкостенных деталей и позволяет использовать для литья практически любые установки (центрифужные, вакуумные, литье под давлением).

Для правильного выбора конструкции металлокерамического зубного протеза из сплавов «Суперпал» и «Супер КМ» разработана методика расчета напряженно-деформированного состояния и с помощью специальной компьютерной программы созданы таблицы допустимых размерных параметров зон соединения фасеток с опорными коронками из указанных сплавов в зависимости от протяженности дефекта зубного ряда и величины жевательной нагрузки. Благодаря этому врач стоматолог-ортопед может точно выбрать по показаниям в соответствии с клиническим статусом пациента, с предполагаемой нагрузкой и желанием пациента сплав для изготовления каркаса металлокерамического протеза.

Важный фактор для выбора сплава - его стоимость. На сегодняшний день золото-платиновые сплавы существенно дороже сплавов на основе палладия (почти в 2 раза). Если учесть, что плотность сплава «Суперпал» ниже плотности сплава «Супер КМ» в 1,7 раза, то его вес в готовом изделии снижается в 1,7 раза, а стоимость самого изделия - в 3,2 раза. Разница в стоимости позволяет пациентам выбрать сплав по своим финансовым возможностям; при этом качество готового протеза не ухудшается и используются все преимущества повышенной биосовместимости благородных стоматологических сплавов.

Ортопедическое лечение с применением металлокерамических зубных протезов на каркасах из сплавов «Супер-КМ» и «Суперпал» и длительное динамическое наблюдение пациентов в клинике МГМСУ выявили высокий функциональный и эстетический эффект зубопротезирования.

Созданные сплавы характеризуются высоким содержанием благородных металлов, не содержат легирующих элементов, способных оказывать вредное аллергическое или токсическое воздействие на человеческий организм, обладают высокой коррозионной и биологической инертностью. Сплавы отвечают самым высоким требованиям мировой практики зубопротезирования и по своим медико-техническим данным соответствуют стандартам ISO. Аналогично золото-платиновому сплаву Супер КМ для металлокерамики в Екатеринбурге выпускается сплав Витирий, близкий по свойствам и цвету.

Но рассмотренные выше сплавы предназначены только для несъемного протезирования, что ограничивает их применение. Для системы протезирования, пользующейся только благородными сплавами, необходим специальный литейный сплав, применяющийся для бюгельных протезов. Разработанный более 30 лет назад отечественный золото-платиновый сплав для изготовления съемных бюгельных протезов в настоящее время по своим физико-механическим и эксплуатационным свойствам не соответствует требованиям, предъявляемым к сверхтвердым золотым сплавам для литья каркасов съемных зубных протезов. В настоящее время из этого сплава изготавливаются лишь кламмеры съемных протезов. Это послужило основанием для создания сотрудниками кафедры госпитальной ортопедической стоматологии и лаборатории материаловедения НИМСИ в составе МГМСУ совместно с ФГУП НПК «Суперметалл» первого отечественного специального золотого сплава для изготовления каркасов бюгельных протезов методом литья по выплавляемым восковым моделям. Так был разработан новый отечественный сплав на основе золота «Супер-ЛБ» (Касдент) следующего химического состава: Au - 70-74%, Pt - 3-5%, Ag - 11,5-13%, Zn, Cu, Ir - остальное. Сплав соответствует требованиям международного стандарта ISO 1562, предъявляемым к золотым литейным стоматологическим сплавам IV типа, с содержанием не менее 75% по массе золота и платиновых металлов.

Твердость сплава «Касдент» - 225,5 МПа соответствует требованиям стандарта ISO 1562 (>220 МПа) и не превышает твердости эмали - 280-300 МПа. Это исключает возможность абразивного износа зубов, используемых под опорно-удерживающие кламмеры, а также зубов-антагонистов. Превышение показателя предела текучести сплава - 537 МПа (в упрочненном состоянии) - почти на 20% против норматива стандарта ISO позволяет судить о возможностях использования сплава для изготовления как кламмерных бюгельных съемных зубных протезов, так и протезов с замковой фиксацией без опасения за устойчивость к деформациям на изгиб и нарушение целостности опорно-удерживающих элементов в связи с систематическими знакопеременными нагрузками во время циклов снятия и наложения протеза при длительном использовании.

Сплав «Супер ЛБ» прекрасно совмещается при комбинированном протезировании со сплавами «Суперпал» и «Супер КМ», не образует значимой разницы электрохимических потенциалов, что дает возможность создавать различные конструкции, не причиняя потенциального вреда пациентам. В настоящее время проходит клинические испытания новый сплав для бюгельного протезирования на основе палладия, который позволит сделать систему комплексного протезирования с использованием только благородных сплавов более совершенной.

У российских пациентов, особенно старшего возраста, встречаются несъемные зубные протезы из золотого сплава 900-й пробы. Это могут быть как штампованные коронки, так и протезы, изготовленные методом литья. Очень часто эти протезы находятся в удовлетворительном функциональном состоянии, и нет необходимости менять их на новые. В таких случаях при ортопедическом лечении в сочетании со сплавом 900-й пробы можно использовать как вышерассмотренные сплавы «Суперпал» и «Супер КМ» для высокоэстетичных металлокерамических протезов, так и разработанный в начале 90-х годов прошлого века сплав «Супер ТЗ» (Голхадент) на основе золота для цельнолитых и штампованных стоматологических конструкций.

Сплав «Супер-ТЗ» содержит 75% золота, не менее 12% серебра и по своим свойствам соответствует III группе сплавов по международному стандарту ISO 1562-84; интервал плавления сплава - 880-950°C, твердость в литом состоянии 1300-1450 Н/мм², после термообработки - 2000-2200 Н/мм², плотность - 15,5 г/см³, предел текучести - 250 Н/мм², относительное удлинение - 20-25% [10].

Важнейшее свойство сплава «Супер ТЗ» - возможность термоупрочнения при определенном температурном режиме, что позволяет увеличивать твердость и предел текучести. Так, при температуре закалки 750°C и температуре старения 220-240°C обеспечивается максимальный прирост твердости (на 50%) и возрастание предела текучести примерно в 2 раза в сочетании с удовлетворительным уровнем пластичности. При этом режиме штампованные коронки из «Супер ТЗ» незначительно уступают по твердости коронкам из нержавеющей стали. При ортопедическом лечении возможность регулирования твердости поверхности зубных протезов из сплава на основе золота «Супер-ТЗ» с помощью предлагаемого режима термоупрочнения в интервале от 1400 до 2300 Н/мм² открывает перед клиницистом перспективы индивидуального подбора технологии изготовления зубного протеза из сплава «Супер ТЗ» в зависимости от состояния твердых тканей антагонизирующих зубов или контактирующего материала зубного протеза, а также позволяет избежать повышенного стирания зубов. Термоупрочнение, обеспечивающее наивысшие показатели твердости сплава, рекомендуется при ортопедическом лечении пациентов молодого возраста и при отсутствии физиологической стираемости. Аналогичен подход и в случаях, когда антагонистами являются протезы из металлокерамики.

От советской стоматологии мы унаследовали не только золотой сплав 900-й пробы, но и активно использовавшийся золотой припой AuAgCdCu 750-30. Этот припой, как большинство традиционных золотых стоматологических припоев, содержит кадмий, который снижает температуру плавления припоя, предотвращая плавление соединяемых деталей. Результаты многочисленных исследований показывают, что кадмий относится к серьезным загрязнителям окружающей среды и неблагоприятно воздействует на здоровье человека, обладая редкой способностью к кумуляции (накоплению) в организме (период полужизни - 40 лет). Поэтому кадмий из состава стоматологических сплавов необходимо исключить.

Вместо этого припоя предложен первый отечественный стоматологический сплав-припой на основе золота 750-й пробы, не содержащий кадмия. Бескадмиевый сплав-припой «Бекадент» содержит 75-76% золота, 9% серебра и добавки. Температура солидуса - 735±5°C, температура ликвидуса - 800±5°C. Механическая прочность твердопаяного соединения - 362 МПа, плотность - 14,99±0,05 г/см³; сплав имеет высокую устойчивость в среде полости рта. По своим свойствам припой соответствует международному стандарту ISO 9333-90, и основные функциональные характеристики бескадмиевого припоя не ниже, чем у традиционных кадмийсодержащих золотых припоев: золотисто-желтый цвет, температура плавления - ниже 800°C, прочность адгезионного соединения, коррозионная стойкость, жидкотекучесть, смачиваемость находятся на уровне таковых у золотого припоя AuAgCdCu 750-30.

Широкое использование сплавов для металлокерамических протезов потребовало новых высокотемпературных припоев. Сложность их создания связана с тем, что температура плавления припоя должна находиться в интервале между температурой плавления сплава, из которого сделан каркас протеза, и максимальной температурой обжига керамической массы. В противном случае могут быть нарушены паяное соединение при обжиге керамики или структура и геометрия готового каркаса. В нашем случае для пайки каркасов из сплава «Супер КМ» разработан специальный высокотемпературный сплав-припой «Супер ВП» (Голпайдент). В состав сплава-припоя входит Au (85%) и Pt (4%), т.е. сплав близок по составу сплаву «Супер КМ» и минимально влияет на состав и свойства основного металла. Температура растекания сплава - 1080°C, что позволяет работать с самой высокотемпературной керамикой. Сплавприпой «Супер ВП» соответствует всем требованиям ISO 9333.

Следует также упомянуть о методике нанесения электрохимическим способом золотого покрытия «Супер-КЭМЗ» (Кэмадент). Материал «Супер-КЭМЗ» предназначен для электрохимического покрытия зубных протезов из неблагородных металлов и обеспечивает увеличение их износостойкости в 1,5-2 раза. Эффект упрочнения достигается наличием в золотом электролите неметаллических частиц. Основа покрытия - золото (98,5%) с содержанием до 0,5% оксида циркония (ZrO). Одной из основных характеристик золотого покрытия является равномерность распределения оксидных частиц, что достигается созданием устойчивых суспензий оксида циркония при осаждении материала. Золотое электрохимическое покрытие «Супер-КЭМЗ» применяется для бюгельных протезов из неблагородных сплавов и внутренней части металлокерамических протезов из неблагородных металлов с целью снижения и выравнивания электрохимического потенциала при наличии во рту несъемных протезов из благородных металлов.

Созданные отечественные сплавы благородных металлов открывают широкие возможности в области ортопедического лечения основных стоматологических заболеваний благодаря своим уникальным свойствам - высокой функциональности, долговечности и биоинертности.

Вышеперечисленные золотые и палладиевые сплавы прошли необходимые токсикологические и санитарно-химические испытания и по заключению Всероссийского научно-исследовательского и испытательного института медицинской техники соответствуют современным, сильно ужесточенным международным требованиям к биосовместимости.

Сплавы на основе благородных металлов в сочетании с керамическими и полимерными материалами дают возможность получить не только эстетический, но и максимальный индивидуальный лечебный эффект при ортопедическом лечении.