**В.А.Попков, О.В.Нестерова,
В.Ю.Решетняк, И.Н.Аверцева**

СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Учебное пособие

Рекомендуется Учебно-методическим объединением по медицинскому и фармацевтическому образованию вузов России в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по специальности 040400-Стоматология

2-е издание, дополненное

**Москва
«МЕДпресс-информ»
2009**

УДК 616.314-74/-74
ББК 56.6
П57

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в любой форме и любыми средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Рецензенты:

А.С.Берлянд – докт. фарм. наук, проф., зав. кафедрой общей и биоорганической химии Московского гос. медико-стоматологического университета;

Ф.Ю.Даурова – канд. мед. наук, доцент, заместитель декана медицинского факультета Российского университета дружбы народов по специальности «Стоматология».

Авторы:

Попков Владимир Андреевич – докт. пед. наук, проф., докт. фарм. наук, засл. деятель науки РФ, лауреат премии Президента РФ в области образования, действительный член Российской академии образования, зав. кафедрой общей химии с курсом стоматологического материаловедения Московской медицинской академии им. И.М.Сеченова.

Нестерова Ольга Владимировна – докт. фарм. наук, проф. кафедры общей химии с курсом стоматологического материаловедения Московской медицинской академии им. И.М.Сеченова.

Решетняк Владимир Юрьевич – докт. фарм. наук, проф. кафедры общей химии с курсом стоматологического материаловедения Московской медицинской академии им. И.М.Сеченова.

Аверцева Ирина Николаевна – канд. хим. наук, доцент кафедры общей химии с курсом стоматологического материаловедения Московской медицинской академии им. И.М.Сеченова.

Попков В.А.

П57 Стоматологическое материаловедение: Учебное пособие / В.А.Попков, О.В.Нестерова, В.Ю.Решетняк, И.Н.Аверцева. – 2-е изд., доп. – М. : МЕДпресс-информ, 2009. – 400 с. : ил.

ISBN 5-98322-476-X

В учебном пособии рассмотрены общие методы исследования материалов, применяемых в стоматологии, основные принципы стандартизации, позволяющие контролировать подлинность и доброкачественность стоматологических материалов в соответствии с требованиями стандартов ИСО, ГОСТ и ТУ. Приводятся современные классификации стоматологических материалов, сведения о составе, механизмах взаимодействия компонентов, структуре и свойствах материалов, применяемых в ортопедии и клинической практике, а также характеристика субстанций, используемых на различных стадиях производства материалов. Описаны возможные изменения химических, физических, технологических характеристик материалов в процессе их эксплуатации. Включенные методические указания к проведению лабораторных работ позволяют ознакомиться с современными методами контроля качества стоматологических материалов.

Для студентов стоматологических факультетов медицинских вузов, ординаторов и аспирантов, а также слушателей факультетов повышения квалификации стоматологов.

УДК 616.314-74/-74
ББК 56.6

ISBN 5-98322-476-X

© Попков В.А., Нестерова О.В., Решетняк В.Ю., Аверцева И.Н., 2006, 2009
© Оформление, оригинал-макет. Издательство «МЕДпресс-информ», 2009

Оглавление

Введение 5
Глава 1. Общие методы исследования материалов для стоматологии 7
1.1. Физико-химические методы исследования 7
1.2. Биологические исследования стоматологических материалов 19
1.3. Взаимодействие стоматологических материалов с организмом человека 23
Глава 2. Конструкционные стоматологические материалы 26
2.1. Металлы и сплавы для стоматологии 26
2.1.1. Общие сведения. Фазовые и структурные превращения в сплавах. Диаграммы состояния сплавов 27
2.1.2. Сплавы металлов для изготовления металлокерамических и металлоситалловых зубных протезов 45
2.1.3. Электрохимические процессы. Потенциометрия. Коррозия 55
2.2. Стоматологические полимерные материалы – пластмассы 64
2.2.1. Основные полимерные материалы и процессы полимеризации. Определение времени готовности формовочной массы 64
2.2.2. Типы полимерных материалов в стоматологии и их применение 80
2.2.3. Полимерные быстротвердеющие материалы для реставрации съемных протезов и изготовления индивидуальных оттискных ложек 90
2.2.4. Пластмассовые искусственные зубы 92
2.2.5. Облицовочные полимеры для несъемных протезов 93
2.3. Стоматологический фарфор. Ситаллы 97
2.3.1. Фарфоровые массы, применяемые в стоматологии 98

2.3.2. Ситаллы, применяемые в стоматологии 104
2.3.3. Комбинации фарфора с металлами (металлокерамика) 108
2.3.4. Основные характеристики цвета и методы оценки цветности 109
Глава 3. Вспомогательные материалы 124
3.1. Формовочные материалы 125
3.2. Оттискные (слепочные) материалы 130
3.3. Моделировочные материалы 142
3.4. Абразивные материалы 156
Глава 4. Клинические стоматологические материалы 164
4.1. Цементы стоматологические 167
4.1.1. Классификация. Состав. Свойства 167
4.1.2. Цинк-фосфатные цементы 170
4.1.3. Цинк-силикатные цементы 172
4.1.4. Цинк-поликарбоксилатные цементы 173
4.1.5. Цементы на основе полимеров 175
4.1.6. Стеклоиономерные цементы 178
4.1.7. Цинк-оксидэвгеноловые цементы 189
4.1.8. Хелатные цементы 192
4.2. Композиты 201
4.2.1. Систематизация композитов и их классификация 201
4.2.2. Физико-химические свойства композитных материалов 213
4.2.3. Компомеры 221
4.3. Адгезивы в восстановительной стоматологии 223
4.3.1. Адгезивные системы. Состав. Свойства 223
4.3.2. Классификация современных адгезивных систем 234
Рекомендуемая литература 248
Приложения 249

Введение

Материаловедение в настоящее время органически связано со стоматологической наукой и рассматривается как ее важный раздел. В последние годы произошло значительное расширение номенклатуры стоматологических материалов. Развитие их рынка ставит стоматолога перед выбором того или иного способа лечения для повышения эффективности и качества работы. Совершенно очевидно, что эффективность стоматологического лечения теснейшим образом связана с качеством используемых материалов, что, в свою очередь, предполагает наличие у врача-стоматолога знаний, позволяющих анализировать достоинства и недостатки конкретных стоматологических материалов с учетом требований современной нормативной документации, а также прогнозировать возможные изменения материалов в полости рта пациента. Расширение производства и номенклатуры материалов, применяемых в стоматологии, повышение требований к их качеству, необходимость оперативного получения результатов контроля настоятельно требуют использования современных достижений в области химии, физики, математического прогнозирования. Изучение закономерностей, определяющих строение и свойства материалов в зависимости от их состава и условий обработки, является предметом общего материаловедения. Стоматологическое материаловедение – раздел общего материаловедения, посвященный свойствам и строению конструкционных, вспомогательных и клинических материалов, применяемых в современной стоматологии.

Стоматологические материалы традиционно делят на применяемые в ортопедической стоматологии и используемые в клинической практике. Все материалы, применяемые в ортопедической стоматологии, разделяют на конструкционные (металлические сплавы, пластмассы; керамические материалы и ситаллы и др.) и вспомогательные (слепочные, или оттискные, моделировочные, абразивные и др.). В клинической практике находят применение разнообразные цементы, композитные материалы, адгезивные системы и др. Столь разнообразный ассортимент стоматологических материалов требует от стоматолога знаний их физических, химических и медико-технических свойств.

Данное учебное пособие включает 4 главы:

1. Общие методы исследования материалов для стоматологии.
2. Конструкционные материалы.
3. Вспомогательные материалы.
4. Стоматологические материалы для клинического использования.

Глава 1 содержит характеристику физических, химических, технологических, эксплуатационных и других свойств материалов, применяемых в стоматологии. Подробно рассмотрены теоретические основы современных физико-химических методов исследования, используемых для анализа и контроля качества стоматологических материалов, а также для установления их стабильности. Отдельно рассматриваются биологические исследования, позволяющие контролировать безвредность и индифферентность анализируемых материалов. Главы 2, 3 и 4 включают общую характеристику каждой группы стоматологических материалов. Рассмотрена взаимосвязь между их химической структурой, свойствами, областью применения. Обобщены сведения, касающиеся методов получения, характеристики исходных субстанций, свойств материалов каждой группы, способов идентификации и определения доброкачественности хранения и применения в стоматологии. Учитывая, что в нормативной документации, приводимой в приложении, подробно изложены методики анализа, в учебном пособии рассматривается только сущность испытаний. Усвоив ее, студент сможет легко разобраться в содержании методик и, пользуясь нормативной документацией (ГОСТ, ТУ), практически выполнять каждое испытание, предложенное в практикуме.

Учебное пособие создано в соответствии с рабочей программой по стоматологическому материаловедению и государственным образовательным стандартом по специальности «Стоматология». Последовательность изложения сведений о группах и отдельных материалах, применяемых в стоматологии, приведена в соответствии с общей схемой, рекомендуемой рабочей программой.

Учебное пособие содержит сведения, необходимые для подготовки студентов стоматологических факультетов медицинских вузов, врачей-интернов и клинических ординаторов.

Авторы с благодарностью и вниманием отнесутся к пожеланиям и замечаниям специалистов, направленным на совершенствование данного пособия.

Глава 1. Общие методы исследования материалов для стоматологии

1.1. Физико-химические методы исследования

Раздел программы. Основные свойства стоматологических материалов и их значение для восстановления зубов. «Идеальный» стоматологический материал, его определение и основные свойства. Влияние структуры и состава материала на его свойства. Понятие о кристаллических и аморфных веществах. Физико-механические свойства стоматологических восстановительных материалов и их значение для восстановления функциональных свойств зубов и зубочелюстной системы. Напряжения, концентрация напряжения, понятия о деформации и способности к деформированию. Истирание и износ. Понятие твердости.

Биологическая оценка стоматологических материалов. Среды полости рта и их влияние на свойства восстановительных стоматологических материалов. Понятия «биоинертность» и «биосовместимость». Испытания для оценки биосовместимости стоматологических материалов. Категории материалов для оценки их биосовместимости. Уровни проведения испытаний на биосовместимость.

Актуальность темы. Аналитический подход к выбору того или иного материала невозможен без подробного изучения состава, структуры и свойств в их взаимодействии. Актуальным представляется рассмотрение показателей качества исходных субстанций и получаемых на их основе материалов, а также методов контроля качества, позволяющих осуществлять стандартизацию в соответствии с требованиями современной нормативной документации.

Учебные цели

1. Изучить физические свойства и методы физического анализа современных стоматологических материалов.

2. Изучить химические, механические, технологические свойства материалов и методы их оценки.

3. Ознакомиться с биологическими методами исследования стоматологических материалов.

В стоматологическом материаловедении используют разнообразные методы исследования и испытаний для получения достаточно

полной и надежной информации о свойствах металлов и полимеров, об их изменении в зависимости от химического состава, структуры и методов обработки. Эти исследования можно подразделить на металлографические, спектральные, рентгенографические, дефектоскопию и технологические пробы. Они дают возможность получить достаточно ясное представление о природе материала, его строении, составе и свойствах; при необходимости позволяют определить и качество готовых изделий.

Свойства материалов (физические, механические, химические, технологические и биологические) имеют большое практическое значение при изготовлении зубных протезов, лечебных аппаратов и др. Успех ортопедического лечения во многом зависит от свойств конструкционных и вспомогательных материалов.

Современное стоматологическое производство представляет собой промышленный комплекс, в котором используется множество технологических процессов, включающих моделирование, получение штампов, прессование, литье деталей ортопедических конструкций из сплавов металлов и методом полимеризации пластмасс, паяние, нанесение керамических и пластмассовых покрытий; используются также аппараты для штамповки, литья металлов, прокатные вальцы, паяльные аппараты, вакуумные печи для обжига керамики и др.

Все это требует от врача-ортопеда не только знаний техники изготовления зубных протезов, правильного использования аппаратуры, но и знаний о влиянии того или иного технологического процесса на свойства и качество материала. Нарушение технологии при использовании материала может привести к понижению его прочности и появлению отрицательных свойств, влияющих на органы полости рта и организм в целом.

В небольшом курсе стоматологического материаловедения, к сожалению, невозможно рассмотреть в полном объеме вопросы сопротивления материалов, основные виды деформаций, физические, технические и механические аспекты прочности и разрушения материала и влияние на данные характеристики температуры, агрессивных сред и влажности.

Физические свойства. К физическим свойствам материалов относятся плотность, температура плавления и кипения, поверхностное напряжение, теплоемкость, теплопроводность, термические коэффициенты линейного и объемного расширения, цвет, фазовые превращения и др.

Методы физического анализа: макро- и микроскопический, рентгеноструктурный, рентгенографический, термический и дилатометрический.

Рентгенологический анализ дает возможность установить виды, типы и размеры кристаллических решеток металлов и сплавов, а также распределение в них внутренних напряжений.

Рентгеноструктурный анализ – метод исследования атомного строения веществ путем экспериментального изучения дифраций рентгеновского излучения в этом веществе.

Рентгенографический анализ основан на свойстве рентгеновского излучения проходить сквозь тела, непрозрачные для видимого света, и дает возможность обнаружить внутри материала даже микроскопические дефекты.

Рентгенодефектоскопия – метод дефектоскопии, основанный на различиях поглощений рентгеновского излучения в неодинаковых средах. Регистрация интенсивности рентгеновского излучения, прошедшего через изделие, производится фотографированием, визуальными или ионизационными методами. Рентгенодефектоскопия позволяет обнаружить раковины, трещины и другие дефекты преимущественно в литых и сварных изделиях.

Магнитная дефектоскопия позволяет выявить дефекты в поверхностном слое (до 2 мм) металлических материалов, обладающих магнитными свойствами, и основана на искажении магнитного поля в местах дефектов.

Ультразвуковая дефектоскопия позволяет осуществлять эффективный контроль качества на большой глубине. Она основана на том, что при наличии дефекта интенсивность проходящего через материал ультразвука меняется.

Капиллярная дефектоскопия служит для выявления невидимых глазом тонких трещин. Она использует эффект заполнения этих трещин легко смачивающими материал жидкостями.

Дилатометрический метод (от лат. dilato – расширение и греч. metreo – измеряю) основан на определении изменений объема, происходящих в материале при фазовых превращениях, применяется для определения критических точек в твердых образцах. Его проводят в специальных приборах – дилатометрах, измеряющих изменение размеров тела, вызванные воздействием энергии, электрического и магнитных полей, ионизирующих излучений и других факторов.

Механические свойства характеризуют способность материалов сопротивляться действию внешних сил и в значительной степени определяют область их применения. К основным механическим свойствам относятся прочность, твердость, вязкость, упругость, пластичность, хрупкость и др.

Механические свойства твердых тел – прочность на растяжение, сжатие, изгиб, кручение и удар, твердость и др. – характеризуют

сопротивление материалов воздействию различных нагрузок и в значительной мере определяют область их применения. Под действием нагрузки в твердом теле происходят изменения (деформации) или оно разрушается. Различают упругие, или обратимые, деформации (после снятия нагрузки на твердое тело к нему возвращается первоначальная форма) и остаточные (необратимые), или пластичные (форма тела после прекращения действия нагрузки остается измененной).

Механические исследования материала (статические, динамические и на твердость) имеют важное значение в зуботехническом производстве. При статических испытаниях материал подвергают воздействию постоянной или быстро возрастающей силы. Проводят также испытание на усталость, старение, износ, которое дает более полное представление о свойствах материала.

Усталость материала – это уменьшение силы сцепления зерен материала вследствие сдвига элементов кристаллической решетки.

Истираемость материала – это изменение формы трущихся поверхностей и уменьшение веса образца материала.

Примечания

1. Для полимеров характерен особый вид обратимой деформации – высокоэластическая (эластическая) деформация – разница высоты образца эластичного материала до нагрузки и после нее в течение установленного времени. Эластическая деформация может достигать большой величины и, протекая в измеримом промежутке времени, имеет релаксационный характер. *Релаксация* – падение внутреннего напряжения при постоянной начальной деформации, с повышением температуры резко увеличивается.

Период релаксации – время (от долей секунды до довольно больших значений), необходимое для того, чтобы образец под нагрузкой пришел в равновесное состояние (достиг предельной величины деформации для данной нагрузки) или после снятия нагрузки полностью возвратился в исходное состояние.

2. Материалы по механическим свойствам разделяют на *изотропные* (упругие свойства одинаковы в любых направлениях; например, сталь, металлы, каучук) и *анизотропные* (упругие свойства в различных направлениях неодинаковы; например, дерево, волокна, слоистые пластики).

3. При растяжении образца материала наблюдается, помимо продольного удлинения, поперечное его сужение. Отношение относительной поперечной деформации e_1 к относительной продольной деформации e_2 называют *коэффициентом поперечной деформации* μ. (коэффициент Пуассона, характеризует упругие свойства материала). Для большинства материалов μ равен от 0,2 до 0,5. μ=0,5 соответствует механически несжимаемому материалу.

Примеры:

Алюминий	0,32–0,36	Свинец	0,45
Цемент	0,1–0,2	Сталь	0,25–0,33
Бронза	0,32–0,35	Стекло	0,18–0,32
Камни	0,16–0,34	Чугун	0,23–0,27
Каучук (базисные полимеры)	0,47	Целлулоид	0,39
Латунь	0,32–0,42		

4. Получение твердых тел (металлов и их сплавов, строительных материалов и др.) с заданными механическими свойствами и структурой при совместном действии изменений температуры, давления, адсорбционно-активных сред и примесей и ряда других физико-химических факторов представляет одну из основных задач новой области науки – *физико-химической механики;* в ее создании и развитии особенно большую роль сыграли работы отечественного ученого П.А.Ребиндера, известного также разнообразными исследованиями в области физико-химии поверхностных явлений и дисперсных систем.

Ниже приводится ряд показателей механических свойств и их средние числовые значения для некоторых материалов.

Обозначения. P – сила, действующая в данном сечении F, P/F – напряжение (сила, отнесенная к единице площади); Δl – абсолютное удлинение; l – первоначальная длина; F_0 – первоначальное поперечное сечение образца; $\sigma = P/F_0$.

Прочность – способность материала быть устойчивым к разрушающему воздействию внешних сил (механическим нагрузкам) постоянно действующим в полости рта и способным вызывать деформацию или разрушение.

Предел прочности или временное сопротивление (в зависимости от вида деформации – предел прочности на растяжение или разрыв, на сжатие, на изгиб и т.д.; обозначают σ с соответствующим индексом, например $\sigma_{сж}$, $\sigma_{из}$; предел прочности на растяжение обычно обозначают $\sigma_в$, σ_b); выражают в кГ/мм^2 и кГ/см^2.

$$\text{Предел прочности} = P_к/F_0,$$

где $P_к$ – критическая нагрузка (предельная), предшествующая разрушению образца.

Вязкость (текучесть) – свойство твердых тел частично необратимо поглощать энергию при их деформировании без течения (внутреннее трение). Для упругих тел такое поглощение энергии обычно

мало, однако оно возрастает в некоторых узких температурных областях, называемых областями релаксационных переходов. Для эластомеров потери энергии обусловлены внутренним трением и соизмеримы с энергией упругих колебаний, что приводит к разнообразным гистерезисным явлениям при их деформировании. С вязкостью твердых тел связана их способность демфировать колебательные напряжения. Характеризуется:

Предел текучести (в кГ/м^2).

а) Физический предел текучести *(σ_T или σ_s)* – наименьшее напряжение, при котором происходит текучесть образца.

б) Условный предел текучести (технический предел текучести $\sigma_{0,2}$, $\sigma_{0,3}$, $\sigma_{0,4}$) – напряжение, при котором остаточная деформация образца достигает определенной величины (обычно 0,2% от рабочей длины образца), устанавливаемой техническими условиями.

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}, \qquad \sigma_{0,3} = \frac{P_{0,3}}{F_0} \qquad \text{и т.п.,}$$

где $\sigma_{0,2}$, $\sigma_{0,3}$ – нагрузки, при которых достигаются соответствующие остаточные деформации.

Примечание:

Алюминий	3–4	Сталь углеродистая	18–40
Древесные плитки	1–8	Сталь легированная	35–95
Железо	10–17	Чугун	55–85

$$\sigma_y = \frac{P_{макс.}}{F},$$

где $P_{макс.}$ – наибольшее напряжение, до которого сохраняются упругие деформации. Превышение σ_y начинает вызывать незначительные (до 0,03%) остаточные деформации.

Примеры σ_y (кГ/м^2): железо – 12; медь – 1,5; свинец – 1; сталь ~30.

Относительное удлинение – отношение приращения длины образца при растяжении к начальной длине.

Относительное удлинение δ (в %):

$$\delta = \frac{\Delta l \cdot 100}{l_0}, \qquad \Delta l = l_1 - l_0,$$

где l_0 – первоначальная длина образца, l_1 – длина образца после испытания.

$$\Delta l = \frac{P \bullet l}{F_0 \bullet E}, \qquad \delta = \frac{\sigma}{E},$$

где E – коэффициент пропорциональности (модуль упругости, см. ниже)

Примеры δ (%):

Алюминий	20–45	Железо	21–55
Винилпласт	>20	Резина	100–800 (и выше)
Волокна текстильные	5–45	Стали легированные	7–20

Упругость – свойство материалов восстанавливать свои размеры и форму после прекращения действия нагрузки.

Модуль упругости $E=\sigma/\delta$ (см. выше), в кГ/мм^2 и кГ/см^2.

Примечания

1. При обычных расчетах для большинства материалов применяют одно и то же значение E как для растяжения, так и для сжатия.

2. В литературе встречается название модуля упругости (модуля продольной упругости при линейном растяжении) – *модуль Юнга.*

Примеры E (*кГ/см*^{2}):

Волокна текстильные	300–1300	Рений	47 000
Гранит	5000	Стали	20 000
Железо	18 000	Стекло	500–900
Каучук	20–80	Целлулоид	130–250
Лед	1000	Эбонит	25–50
Полиэтилен	15–18		

Относительное сужение – уменьшение площади поперечного сечения образца ($S_0 - S_1$), отнесенное к начальному сечению образца S_0.

Относительное сужение ψ (в %):

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0},$$

Примеры ψ (%):

алюминий – 85; железо – 65–85; медь – 70–80; стали легированные – 30–50.

Ударная вязкость $a_н$ или $a_к$ (Дж/м^2 или кГс • м/см^2) – работа (*A*), затрачиваемая на разрушение при ударном изломе, отнесенная к рабочему поперечному сечению образца (F_a).

Примеры $a_н$ *(кГс • м/см²)*:

Твердость – способность сопротивляться местной пластической деформации, возникающей при внедрении в него более твердого тела.

Десятичная шкала

Плитки древесные	17–18	Текстолит	>25
Полистирол	3,5–18	Стали легированные	800–1000
Железо	1600–2000		

Приведенные ниже природные минералы расположены в порядке их возрастающей твердости, причем каждый из них царапает предыдущий минерал и в свою очередь царапается последующим. Твердость любого испытуемого материала характеризуется его сопротивлением царапанию этими минералами. Например, материал царапает минералы 1–6, сам же он царапается минералами 7–10, следовательно, твердость его – между 6 и 7.

Вещества с твердостью ниже 2 царапаются ногтем, с твердостью ниже 5 – ножом, с твердостью ниже 6 – стеклом, ниже 7 – напильником; вещества с твердостью выше 8 царапают стекло, выше 9 – режут стекло.

1. Тальк 2. Гипс или каменная соль 3. Кальцит (известковый шпат) 4. Флюорит (плавиковый шпат) 5. Апатит	6. Ортоклаз 7. Кварц 8. Топаз 9. Корунд 10. Алмаз

Твердость некоторых веществ по десятичной шкале

Агат	6–7	Графит	1–2	Розе сплав	2,5–3,0
Алебастр	1,7	Карборунд	9–10	Слюда	2,8
Алунд	9	Кизельгур	1–1,5	Сталь	5–8,5
Антрацит	2,2	Латунь	3—4	Стекло	4,5–6,5
Асфальт	1–2	Лед	1,5	Туф лавовый	2–3
Бештаунит	6–7	Литье каменное	7–8	Уголь каменный	2–2,5
Воск (0°С)	0,2	Мрамор	3—4	Фарфор	7
Вуда сплав	3	Наждак	7–9	Янтарь	2—2,5
Гранат	6,5–7,5	Пемза	6		

Твердость по Бринеллю

Твердость характеризуется обычно числом твердости по Бринеллю *HB* ($H_в$).

Твердость по Бринеллю устанавливается вдавливанием в образец испытуемого материала закаленного стального шарика определенного диаметра под действием заданной нагрузки в течение определенного времени с последующим измерением глубины или диаметра отпечатка; число твердости вычисляется по формулам:

$$HB = \frac{P}{F}, \qquad HB = \frac{P}{\pi D h} = \frac{2P}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 + d^2}\right)},$$

где P – нагрузка на шарик, кГ; F – сферическая поверхность отпечатка, мм^2; D – диаметр шарика, мм; h – глубина отпечатка, мм; d – диаметр отпечатка, мм.

Обычные значения Р:

15,6; 62,5; 187,5; 200; 750; 1000; 3000 кГ.

Стальные шарики применяются обычно 3 размеров: D=10 мм; 5 мм; 2,5 мм.

Величина нагрузки *P* выбирается в зависимости от твердости испытуемого материала: для черных металлов (железа и его сплавов) *P* численно равно 30D^2; для цветных металлов и сплавов: при *HB* 35–130 (медь, латунь, бронза и др.) *P* численно равно 10D^2, при *HB* меньше 35 (алюминий и др.) *P* численно равно 2,5D^2.

Продолжительность действия нагрузки (выдержка) не менее 10 с для твердых и не менее 30 с – для мягких материалов.

Условия проведения испытания обозначаются в следующем порядке: диаметр шарика (в мм), нагрузка (в кГ), выдержка (в с).

Например:

HB (2,5/62,5/30), *HB* (10/250/60), *HB* (10/1000/30) и т.п.

В приведенных примерах D=2,5 и 10; P=62,5; 250 и 1000; выдержка равна 30 и 60 с.

Ниже приводятся средние значения *HB* для некоторых материалов (при комнатной температуре).

Натрий	0,07	Цинк	35
Свинец	3–4	Бакелит	35–45
Олово	4–6	Железо	50
Висмут	9	Медь	
Серебро	20–25	отожженная	40
Эбонит	18–26	наклепанная	80
Фаолит	17–40	Платина, Палладий	55–65
Алюминий		Никель	70
отожженный	16–26	Латунь	60–150
литой	24–32	Иридий	170
прокатанный	45–60	Чугун	100–300
Магний	25–30	Сталь углеродистая	
Текстолит	25–40	отожженная	150–300
Металлы редкозем.	30	закаленная	до 850
Сурьма	30–40	Алмаз	>2000

Твердость по Роквеллу и Виккерсу

При испытаниях металлов на твердость широко используются методы Роквелла и Виккерса; метод Виккерса применяют также для определения твердости различных хрупких тел (минералы и др.).

Твердость по Роквеллу. В испытуемый образец вдавливается алмазный конус (или стальной шарик) под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок (P_1 и P_2); P_1=10 кГ, P_2=60, 100 или 150 кГ. Разность предварительной и окончательной глубин внедрения конуса (или шарика) характеризует твердость металла.

Обозначения числа твердости: *HRA, HRB, HRC*(R_A, R_B, R_C), где A, B и C – шкалы, по которым производятся испытания.

Шкала A (P_2=60 кГ) для металлов с *HB*>700, шкала B (P_2=100 кГ) для *HB*=60–230, шкала C (P_2=150 кГ) для *HB*=230–700.

Твердость по Виккерсу. Твердость определяют, вдавливая в испытуемый образец правильную четырехгранную алмазную пирамиду (угол между гранями 136°). Отношение нагрузки P (в кГ) к поверхности отпечатка (в мм^2), вычисляемой по диагоналям, представляет число твердости *HV* (H_D или H_v):

$$HV=1{,}8544 \cdot (P/D_2),$$

где *d* – среднее арифметическое обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки (в мм). Применяют нагрузки: 5, 10, 20, 30, 50, 100 и 120 кГ, величины их указывают в обозначении числа твердости. Например, HV_{20}=168, HV_{30}=252 (нагрузки соответственно 20 и 30 кГ).

Технологические свойства определяют способность материалов подвергаться различным видам обработки. К ним относятся испытание на литье, ковкость, штамповку, прокатку, волочение, пайку и обработку. Линейные свойства характеризуются способностью метал-

Владимир Андреевич Попков,
Ольга Владимировна Нестерова,
Владимир Юрьевич Решетняк,
Ирина Николаевна Аверцева

СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Учебное пособие

Главный редактор: *В.Ю.Кульбакин*
Ответственный редактор: *Е.Г.Чернышова*
Редактор: *М.Н.Ланцман*
Корректор: *О.А.Эктова*
Компьютерный набор и верстка: *Д.В.Давыдов, А.Ю.Кишканов*

ISBN 5-98322-476-X

9 785983 224766

Лицензия ИД №04317 от 20.04.01 г.
Подписано в печать 09.10.08. Формат 84×108/32.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Объем 12 п.л.
Гарнитура Таймс. Тираж 2000 экз. Заказ №2697

Издательство «МЕДпресс-информ».
119048, Москва, Комсомольский пр-т, д. 42, стр. 3
Для корреспонденции: 105062, Москва, а/я 63
E-mail: office@med-press.ru
www.med-press.ru

Отпечатано с готовых диапозитивов
в ОАО «Типография «Новости»
105005, Москва, ул. Фр. Энгельса, 46