сделать не всегда допустимо по условию обеспечения требуемой чувствительности защиты. Можно максимально загрузить ток срабатывания защиты и снизить ее выдержку времени при отстройке ее по условию обеспечения нормируемой чувствительности [6]:

$$I_{с.з.} = \frac{I_{к.мин}^{(2)}}{K_{\chi}}, \quad (3)$$

где $I_{к.мин}^{(2)}$ – минимальный двухфазный ток короткого замыкания, по которому проверяется чувствительность; В данном случае это минимальный двухфазный ток короткого замыкания на шинах 10 кВ.

K_{χ} – коэффициент чувствительности, который должен быть не менее 1,5.

На основании вышеизложенного следует, что быстрота действия и селективность для существующих максимальных токовых защит являются противоречивыми требованиями, которые выполнить одновременно невозможно.

Проведенный анализ быстродействия и селективности показал, что вопрос снижения выдержки времени максимальных токовых защит является актуальным и решаться он должен без ущерба требованиям селективности.

1. Мельников М.А. Релейная защита и автоматика элементов систем электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие / М.А. Мельников; Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во ТПУ, 2008. - 218 с.
2. Чернобровов Н.В. Релейная защита энергетических систем: Учеб. пособие для техникумов/ Н.В. Чернобровов, В.А. Семенов. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.
3. Алферова, Т.В. Надежность электроснабжения потребителей агропромышленного комплекса: учеб. пособие / Т. В. Алферова, О. Ю. Пухальская, А. А. Алферов; М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. –112 с.
4. Сарсембиева Э.К., Байниязов Б.А. анализ устройств и способов защит подстанций 110-35/10 кВ сельскохозяйственного назначения // Вестник науки и образования. № 19 (73). – Иваново, Изд. «Проблемы науки», 2019
5. Правила устройства электроустановок РК. – Министерство энергетики РК, 2015 г.
6. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп/ А.М. Федосеев, М.А. Федосеев – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 528 с.

Ботвин Г.В, Петрова Т.Н., Петухова Е.С.

Физико-механические свойства ископаемого костного материала и методы их исследования

*ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»
(Россия, Якутск)*

doi: 10.18411/lj-10-2019-04

idsp: ljjournal-10-2019-04

Аннотация

В статье выполнен литературный обзор в области физико-механических свойств и структуры ископаемой мамонтовой кости (ИМК). Выполнено сравнение ИМК и современной слоновой кости. Показано, что ИМК не подвержена протеканию процесса окремнения, что позволяет костным тканям сохранять свои механические и эстетические свойства. Обзор показал, что для исследования физико-механических свойств окаменелых костных остатков применяются методики, аналогичные методикам исследования свойств других материалов.

Ключевые слова: ископаемая мамонтовая кость, бивень мамонта, структура, физико-механические свойства, методы исследований.

Abstract

The article presents a literature review in the field of physical and mechanical properties and structure of fossil mammoth bone (FMB). The comparison of FMB and modern ivory is performed. It is shown that FMB is not subject to the process of silicification, which allows bone tissues to retain their mechanical and aesthetic properties. The review showed that for the study of physical and mechanical properties of fossilized bone residues, methods similar to those used for the study of the properties of other materials are used.

Keywords: fossil mammoth bone, mammoth tusk, structure, physical and mechanical properties, research methods.

Введение

Ископаемая мамонтовая кость (ИМК) – бивень шерстистого мамонта – уникальное природное сырье биогенного происхождения, аналог современной слоновой кости. Ископаемая мамонтовая кость относится к полезным ископаемым – биогенным (органогенным) материалам из группы камнесамоцветного сырья, куда входят также янтарь, гагат, жемчуг и др. Якутия является мировым монополистом по ресурсам и добыче ИМК [1].

Ископаемую мамонтовую кость нередко называют слоновой костью. Следует отметить, что слоновой костью, кроме бивней слонов и мамонтов, называют также кости кашалотов и нарвалов, реже зубы кабанов, таких, как бородавочник, и растительные материалы, которые внешне похожи на слоновую кость. Однако, термин «слоновая кость» следует относить только к бивням современного слона; бивни мамонта следует называть мамонтовой костью, бивни моржей – моржовой костью и т. д. Особенностью ИМК является то, что в ней не развивается окремнение, которое обычно характерно для других окаменелых костных остатков; по внешнему виду и структуре она мало отличается от обычной слоновой кости. Главное отличие свежей слоновой кости от ископаемой – это наличие у мамонтовой кости сильно минерализованной, цементной, практически непригодной для обработки поверхностной корки [2].

С незапамятных времен слоновая кость высоко ценилась благодаря приятному кремовому цвету, легкости в обработке простыми металлическими инструментами и относительной долговечности. Одним из основных недостатков слоновой кости является постепенное пожелтение, в особенности, в условиях сырости. Кроме того, стоимость изделий из ИМК значительно превышает стоимость современных полимерных аналогов. Так, при изготовлении ручек ножей и фортепианной клавиатуры, уже давно используют более дешевый целлулоид, прототип пластмасс, который имеет менее приятную, но более стойкую окраску, а также существенно более низкую рыночную стоимость [3]. Однако ИМК является наиболее востребованным материалом для резьбы по кости, так как благородный оттенок и уникальные пластические свойства данного материала позволяют создать неповторимые произведения искусства, характеризующиеся уникальной проработкой деталей.

Структура и свойства ископаемого костного материала

При исследовании костных тканей животных, в том числе, древних, немаловажно иметь представление об их свойствах и структуре. Внутренняя структура бивня представлена на рис. 1. Тело бивня, его сердцевина, образована дентином молочно-белого цвета. Снаружи бивень покрыт бесклеточным цементом светло-кремового цвета. Толщина этого наружного слоя достигала 0,5 см. Цемент почти в два раза тверже дентина и приблизительно во столько же раз мягче зубной эмали [4].

а)

б)

Рис. 1. Внутренняя структура бивня мамонта. а) поперечный зашлифованный спил бивня; б) поперечный слом бивня [4].

В широком спектре возможных промежуточных состояний рога и слоновой кости выделено 3 полярные позиции, в которых эти виды сырья имеют принципиально различные механические свойства:

1. Естественно-влажный («свежий») и замороженный (ниже минус 25°C) бивень или рог – относительно твердый и хрупкий материал.
2. Естественно-влажный бивень или рог при положительных температурах – относительно мягкий и пластичный материал.
3. «Сухой» бивень или рог – относительно твердый и вязкий материал.

Таким образом, видно, что физико-механические свойства ИМК существенно зависят от их увлажненности и от температуры. Бивень становится хрупким при замораживании в естественно-влажном состоянии. При размачивании размягчается, придается дополнительная вязкость, что позволяет свободно выпрямлять и/или сгибать бивень. Наблюдается эффект «памяти формы» (загадки сунгирьских копий). Также бивень начинает поддаваться раскалыванию при температуре минус 25 °C, а при более низких температурах (от минус 35 до минус 40 °C) обработка бивня становится более эффективной и позволяет осуществлять снятие крупных бивневых сколов. Изучение зависимостей свойств бивней от влажности и температуры в основном проводились отечественными и зарубежными археологами, которые пытались ответить на вопросы, связанные с умениями и бытом людей того времени и определением сезонности поселений того периода [2].

Слоновая, как и мамонтовая кость характеризуются аномальными теплофизическими свойствами. Исследования [5] наноструктурированного биоминерала – слоновой кости показали, что теплопроводность слоновой кости при комнатной температуре является аномально низкой по сравнению с ее составляющими компонентами. Низкотемпературные (от минус 275 до плюс 27°C) измерения удельной электропроводности и теплоемкости обнаруживают стекловидную температурную зависимость теплопроводности и свободного пробега фононов, что согласуется с повышенным фоновым рассеянием, связанным с наноструктурой. Результаты показывают, что нанокompозитные структуры, подобные биоминералам, могут быть полезны при разработке новых высокопрочных материалов с низкой теплопроводностью.

Подробные исследования структуры бивня слона были выполнены китайскими учеными. Пекинские ученые с Университета Цинхуа пишут, что [6] структура слоновой кости состоит из гидроксиапатитоподобных производных, встроенных в матрицу пучков коллагеновых фибрилл, а его основные структурные единицы – цилиндры нанометрового диаметра. От пересечения бивня вдоль поперечной плоскости

наблюдается переплетение коллагеновых фибрилл вдоль двух радиально распределенных слоев, образующих сеть. Внутри каждого слоя пучки коллагеновых фибрилл (радиус каждого приблизительно составляет 1 мкм) лежат почти параллельно друг другу, и они поворачиваются от одного слоя к другому, аналогично ступеням винтовой лестницы. Каждый пучок состоит из коллагеновых фибрилл, которые имеют радиус от 30 до 100 нм, выровненный в продольном направлении с периодом около 70 нм. Фибриллы состоят из спиральных молекул коллагена диаметром примерно 1,2 нм и длиной 300 нм.

В связи с полным запретом оборота слоновой кости исследователи биоматериалов [7] пытаются создавать композиты, подобные ей, для того чтобы обеспечить рынок кости подходящим материалом, что в свою очередь должно повлиять на нелегальный рынок натуральной слоновой кости.

Ряд вопросов, связанных со свойствами ИМК и других костных остатков по-прежнему остаются открытыми. Дополнительные исследования физико-механических свойств окаменелых костных остатков животных эпохи позднего плейстоцена могут выявить различные закономерности между такими особенностями животных как их биологический вид, рост, масса, возраст, особенности питания, продолжительность жизни, наличие каких-либо заболеваний, а также условий местности, на которой животное обитало, условиями захоронения костных остатков и т.п. Подобная информация может также оказаться полезной в случае сложностей при идентификации видовой принадлежности. Выявление подобных закономерностей, проведение полномасштабной типизации костных остатков различных животных будет одним из основных направлений деятельности лаборатории технологий добычи и переработки сырья мамонтовой фауны, сформированной при ЯНЦ СО РАН в середине 2019 г.

Методы исследования физико-механических свойств костного материала

Для проведения механических испытаний костного материала могут применяться известные методики испытаний, применяемые для других материалов. Основными определяемыми характеристиками будут являться – твердость ископаемых костных остатков, прочностные характеристики и модуль упругости (модуль Юнга).

Определение твердости костного материала:

Метод основан на вдавливании шарикового индентора под действием заданной нагрузки в поверхность образца для испытания [8]. Глубину вдавливания шарика измеряют под нагрузкой. Площадь поверхности отпечатка рассчитывают по его глубине. Твердость при вдавливании шарика рассчитывают по соотношению:

$$\text{Твердость} = \frac{\text{Приложенная нагрузка}}{\text{площадь поверхности отпечатка}}$$

Образцы для испытания должны представлять собой гладкие плоские пластины или блоки достаточного размера для исключения влияния краевых эффектов на результаты испытаний, например, 20x20 мм. Образцы должны быть плоскопараллельными. Рекомендуемая толщина образца 4 мм.

После испытания на поверхности образца, контактирующей с рабочим столом, не должно обнаруживаться следов деформации.

Определение прочности костного материала при сжатии

Для определения биомеханических свойств костной ткани можно использовать машину для испытания прочности материалов Р-10 со скоростью нагружения 5-100 мм/мин при комнатной температуре [9]. Для этого из середины диафизов костей выпиливаются цилиндры. Цилиндры выпиливаются так, чтобы отношение высоты к диаметру цилиндра находилось в соотношении от одного до трех. Этим достигается приложение силы строго по оси тел костных цилиндров. Затем каждый образец поочередно ставится на нижнюю плиту испытательной машины и накрывается верхней плитой, после чего выполняется нагружение. Максимальное усилие при проведении испытания принимается за разрушающую нагрузку. Критериями оценки механических

качеств служат максимальная разрушающая нагрузка и предел прочности при сжатии. Предел прочности костей рассчитывался по формуле:

$$\sigma = F/S,$$

где F - сила воздействия на кость;

S - площадь компактного вещества;

σ - напряжение.

Определение предела пропорциональности, предела прочности, относительной деформации и модуля Юнга.

Одноосное статическое растяжение образцов костной ткани в виде соломки проводится на установке с автоматической записью кривых нагружения [10]. Испытания проводятся при комнатной температуре со скоростью нагружения 0,5 мм/мин. Из кривых растяжения рассчитываются следующие механические характеристики: предел пропорциональности ($\sigma_{\text{пц}}$) - наибольшее напряжение, при котором выполняется закон Гука; предел прочности ($\sigma_{\text{в}}$) - напряжение, соответствующее наибольшему значению нагрузки, предшествующей разрушению образца; относительная деформация (ε) и модуль Юнга (E). Относительная деформация рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = \frac{l_k - l_0}{l_0},$$

где l_0 - начальная длина образца; l_k - конечная длина образца после деформации. Модуль Юнга рассчитывается графическим способом в упругой области диаграммы по формуле:

$$E = \frac{\Delta P \cdot l_0}{\Delta l_{\text{ср}} \cdot S_0}$$

где $\Delta P = P - P_0$; P_0 - начальное усилие (Н); P - нагрузка, равная 70 % от предела пропорциональности $\sigma_{\text{пц}}$; $\Delta l = l_k - l_0$ - удлинение образца, вызванное приложенной нагрузкой P; $\Delta l_{\text{ср}}$ - среднее значение удлинения образца при нагружении, которое определяется на упругом участке; S_0 - площадь поперечного сечения исходного образца, измеренная перед испытанием; l_0 - начальная длина образца; l_k - конечная длина образца после деформации.

Заключение

Таким образом, существующие методики определения физико-механических свойств вполне применимы для исследования свойств ископаемого костного материала. Установление закономерностей различного характера позволит выявить особенности строения костных тканей животных эпохи позднего плейстоцена в зависимости от целого ряда факторов: видовой принадлежности, возраста останков и биологического возраста животных, ареала обитания и т.п. Таким образом, проведение подробных исследований в данной области является весьма актуальным направлением исследований.

Работа выполнена в рамках Госзадания Министерства науки и высшего образования РФ № 075-03-2019-596/4.

1. Забытое полезное ископаемое российской Арктики — мамонтовая кость/А.Н.Смирнов[и др.]// Арктика: экология и экономика 2016. № 1 (21).
2. Верещагин Н.К. Исследования бивней мамонта/Н.К. Верещагин, А.Н. Тихонов//Тр. ЗИН Млекопитающие четвертичной фауны СССР. Т. 149. Л. 1986. С. 3-14.
3. www.shop-gold.ru
4. Хлопачев Г.А. Секреты древних косторезов Восточной Европы и Сибири: приемы обработки бивня мамонта и рога северного оленя в каменном веке./Г.А.Хлопачев, Е.Ю. Гиря.-СПб., 2010.

5. Michael B. Jakubinek, Champika J. Samarasekera, Mary Anne White.: Elephant ivory: A low thermal conductivity, high strength nanocomposite // Journal of Materials Research – 2006. – Volume 21 (Issue 1). – pp. 287-292.
6. Su X.W., Cui F.Z. Hierarchical structure of ivory: from nanometer to centimeter // Mater. Sci. Eng. – 1999. – Volume 7. – pp. 19–29.
7. Fritz Vollrath, RuixinMi, and Darshil U Shah.: Ivory as an Important Model Bio-composite // CURATOR THE MUSEUM JOURNAL – 2018. – Volume 61. – Number 1. – pp. 95-110.
8. ГОСТ 4670-2015. Пластмассы. Определение твердости. Метод вдавливания шарика; введ. 01.01.2017– М.: Стандартиформ 2016.
9. Гальцова З.Н. Испытание на прочность лопатки, костей стилоподия, зейгоподия и автоподия передней конечности у овец прикатунского типа горноалтайской породы в постнатальном онтогенезе./ З.Н Гальцова, Н.И. Рядинская// Вестник алтайского государственного аграрного университета 2012. №2(88), С. 83-86.
10. Костно-пластические биоматериалы и их физико-механические свойства / И.А. Кирилова и др.// Хирургия позвоночника 2010.№1. С. 81-87

Глотов Н.В.

Оценка работы стреловых кранов

*Сибирский государственный университет путей сообщения
(Россия, Новосибирск)*

doi: 10.18411/lj-10-2019-05

idsp: ljournal-10-2019-05

Аннотация

Рассмотрены вопросы технической и организационно-технологической надежности работы стреловых кранов на конкретных строительных объектах Новосибирской области.

Ключевые слова: стреловые краны, организационно-технологическая надежность, техническая надежность, информационные технологии

Abstract

Issues of technical and organizational-technological reliability of boom cranes operation at specific construction facilities of Novosibirsk region are considered.

Keywords: boom cranes, organizational and technological reliability, technical reliability, information technology

Для оптимизации работы парков, комплектов и отдельных машин в СГУПС создана база данных результатов натурных испытаний стреловых кранов, экскаваторов, бульдозеров, земснарядов, горных и карьерных машин и буровых станков [1 – 5].

При анализе работы стреловых кранов в статье рассматриваются комплексные показатели организационно-технологической [6 – 9] и технической [10 – 12] надежности: коэффициент использования машин по времени (K_{θ}), коэффициент готовности (K_{ϵ}), коэффициент технического использования (K_{mu}) и коэффициент эффективности (K_{ϵ}).

Коэффициент готовности определялся по формуле

$$K_{\Gamma} = \frac{T_p}{T_p + T_{\Pi}}, \quad (1)$$

где T_p – суммарное время исправной работы объекта; T_{Π} – суммарное время вынужденного простоя.

Коэффициент технического использования рассчитывался по формуле: