

ЛИТЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОЛЕННЫХ ПРОТЕЗОВ

Представлены история и предлагаемые технологии отечественного проекта изготовления экзогенного коленного протеза. Предложены результаты, литейные и альтернативные технологии и материалы для промышленной реализации.

Ключевые слова: экзогенные протезы, коленные суставы, материалы протезов, технологии протезирования, 3d - прототипирование.

Цель

Для консолидации народной помощи солдатам, добровольцам, отдавшим свое здоровье при защите народа Украины, и пострадавшим мирным жителям, с целью проектирования и производства экзогенных и эндогенных протезов для нижних и верхних конечностей и протезов суставов была создана Волонтерская группа «Украинский протез». Участники группы считают, что конструкторский и производственный потенциал Украины достаточен для того, чтобы обеспечить мирных жителей и воинов, пострадавших в АТО, современным протезированием с полным циклом производства в Украине. Для реализации программы протезирования нужно объединить и скоординировать усилия украинских ученых, конструкторов, производителей и медиков, найти спонсоров для протезирования каждого из нуждающихся в помощи.

История проекта

В сентябре 2014 г. группа начала работу над созданием экзогенного (для полностью потерявших большую часть ноги) протеза коленного сустава 4–5 поколения. Ставится цель создания интеллектуальных протезов с биоуправлением от импульсов мозга. Усилиями участников волонтерской группы и организаций, поддерживающих проект, в начале декабря 2014 года была изготовлена имитационная рабочая модель протеза из пластика и металла, которая была продемонстрирована на выставке «3D Печать» в Торгово-промышленной палате Украины.

Инициаторами идеи создания протезов выступили Скориков Александр Анатольевич, доценты КПИ Киричук Ю. В. и Самарай В. П. Проектирование модели было произведено доцентом КПИ Киричуком Юрием Владимировичем, изготовление пластиковых деталей рабочей модели протеза произведено компанией «SmartPrint 3D» под руководством Евгения Кожуховского.

В январе 2015 года Всеукраинской организацией «HighTech Initiative» под руководством ее президента Мазнюка Виктора Михайловича была создана инфор-

мационная платформа для поддержки работ волонтерской группы – сайт WWW.PROTEZ.ORG.UA.

Силами участников проекта проектируются и проверяются разные виды регуляторов – гидро-, пневмо-, микроконтроллерные. Планируется отработка нескольких режимов работы протезов:

- Адаптация инвалида – режим «Стояния»;
- Ходьба;
- Бег;
- Велосипед;
- Отдых.

Ведется работа по оптимизации системы регулирования протеза и расчетов разных регуляторов. Для этого ведется работа по идентификации объекта управления «Коленный сустав» с целью идентификации объекта управления по кривым разгона и получения наиболее адекватных динамических математических моделей коленного сустава в виде передаточных функций и дифференциальных уравнений для описания нагрузок во время движения.

К концу февраля 2015 г. силами ПАО «КЦКБА» («Киевское центральное конструкторское бюро арматуростроения» – предыдущие названия «АРМА», УФ ЦКБА и «Арматурный завод») под руководством Крепака Сергея Александровича изготовлен первый цельнометаллический протез коленного сустава. Для опробования протезов двумя пострадавшими бойцами АТО и человеком, потерявшим ногу в мирное время, планируется изготовить следующую серию протезов.

К концу декабря 2015 г. на кафедре литейного производства черных и цветных металлов НТУУ «КПИ» для отработки литейной технологии и оригинальных решений были изготовлены первые металлические образцы отливок деталей протеза, а к концу февраля 2015 г. были спроектированы первые пробные варианты пресс-форм для серийного изготовления отливок деталей протеза методом литья по выплавляемым моделям.

В 2015 г. силами ПАО «КЦКБА» («Киевское центральное конструкторское бюро арматуростроения» – предыдущие названия «АРМА», УФ ЦКБА и «Арматурный завод») под руководством Крепака Сергея Алек-

сандровича изготовлены новые версии протезов и детали цельно-металлических протезов других версий коленного сустава.

В 2015–2016 гг. силами ПАО «Меридиан» изготовлен протез из легких алюминиевых сплавов.

В 2015–16 гг. силами волонтеров изготовлены детали протеза из магниевого сплава МЛ5.

В дальнейшем параллельно с апробированием протезов первой серии будут вестись другие работы по развитию коленного и других протезов:

- будут проводиться испытания протеза в специально сертифицированной лаборатории «НАДІЙНІСТЬ» НТУУ «КПІ»;

- будет проектироваться и изготавливаться усовершенствованная литейная и технологическая оснастка для серийного изготовления протезов;

- будет производиться сбор финансовых средств на изготовление второй серии протезов.

Технологии

Для массового производства предполагается изготовление деталей протеза коленного сустава на различных заводах и различными методами:

- методами литья;
- методами порошковой металлургии;
- методами прототипирования – 3D печать;
- при необходимости методы деформирования (объемная или листовая штамповка);
- при необходимости методы сварки;

Для этого необходимо решить вопросы согласования между требованиями конструирования и возможностями технологий.

Литейные технологии

Предполагается изготовление как минимум трех деталей протеза коленного сустава методами литья. Для этого необходимо решить четыре основных вопроса, которые будут согласованы между требованиями конструирования и возможностями технологий.

1 Материал отливки и соответственно готовой детали

Предполагается испытать несколько материалов:

1.1. Обычные углеродистые стали согласно чертежей: Сталь30, сталь 40, сталь 45.

Преимущества: а) дешевизна; б) возможность закалки для увеличения твердости. Недостатки: а) корродирует; б) невозможность организовать массовое или крупносерийное производство методом литья под давлением; в) тяжелый сплав – большая плотность.

1.2. Нержавеющие стали.

Преимущества: а) не корродирует; б) относительная дешевизна. Недостатки: а) дороже углеродистой стали; б) невозможность организовать массовое или крупносерийное производство методом литья под давлением; в) тяжелый сплав – большая плотность.

1.3. Алюминиевые сплавы типа Силумин АК12 или другие.

Преимущества: а) не корродирует; б) дешевизна – *самый дешевый из металлических сплавов* – дешевле стали; в) малая плотность – легче стали и высокопрочного чугуна; льется под давлением – возможность организовать массовое или крупносерийное производство методом литья под давлением. Недостатки: а) прочность ниже, чем у углеродистой стали.

1.4. Высокопрочный чугун.

Преимущества: а) имеет плотность меньше стали и соответственно имеет меньший вес. По прочности он не уступает стали и даже превосходит. Недостатки: а) невозможность организовать массовое или крупносерийное производство методом литья под давлением; в) тяжелый сплав – большая плотность.

1.5. Магниеые сплавы.

Преимущества: а) легкий сплав, б) льется под давлением. Недостатки: тяжело лить – легко возгорается – огнеопасен.

1.6. Титан.

Преимущества: а) легкий; б) не корродирует. Недостатки: а) очень дорогой; б) не льется под давлением.

2 Методы литья

Предполагается задействовать несколько методов литья:

2.1. Литье под давлением (ЛПД).

Преимущества: а) самое высокое качество поверхности (товарный вид) и всей отливки; б) самая высокая производительность; в) самые высокие возможности автоматизации процесса литья под давлением (ЛПД).

Недостатки: а) самая высокая стоимость изготовления пресс-формы; б) дороже обслуживание оборудования.

2.2. Литье по выплавляемым моделям (ЛВМ).

Преимущества: а) низкая стоимость изготовления пресс-формы; б) возможность литья любых сплавов, в т. ч. легких (алюминиевые и магниевые сплавы) и тяжелых сплавов (углеродистой и нержавеющей стали и высокопрочного чугуна, титана).

Недостатки: а) малая производительность (длительный цикл изготовления одной отливки – нанесение 5–7 огнеупорных слоев в течение нескольких дней); б) большое количество дополнительных материалов (этилсиликат; спирт; соляная кислота; маршалит; ацетон; серная кислота).

2.3. Литье по выжигаемым моделям (ЛГМ).

Преимущества: а) низкая стоимость изготовления пресс-формы; б) производительность выше, чем при ЛВМ; в) возможность литья любых сплавов, в т.ч. легких (алюминиевые и магниевые сплавы) и тяжелых сплавов (углеродистой и нержавеющей стали и высокопрочного чугуна; титана).

Недостатки: а) экологические ограничения и ухудшенные санитарно-гигиенические условия; б) производительность ниже, чем при ЛПД.

2.4. Кокильное литье

Преимущества: а) высокое качество поверхности

(товарный вид) и всей отливки; б) высокая производительность; в) самые высокие возможности автоматизации процесса литья.

а) низкая стоимость изготовления пресс-формы; б) производительность выше, чем при ЛВМ; в) возможность литья в ОБЛИЦОВАННЫЙ КОКИЛЬ – возможность литья любых сплавов, в т. ч. легких (алюминиевые и магниевые сплавы) и тяжелых сплавов (углеродистой и нержавеющей стали и высокопрочного чугуна).

Недостатки: а) высокая стоимость изготовления пресс-формы.

3 Доработка толщины стенок (согласованное уменьшение) и конфигурации отливок в соответствии с требованиями литейной технологии и уменьшения веса протеза:

3.1. Литейные уклоны

3.2. Припуски на мехобработку

3.3. Изменение конфигурации нетехнологичных частей

3.4. Литейные радиусы

3.5. Согласование разъема между полуформами

4 Проектирование и изготовление оснастки (пресс-форм):

4.1. ЛПД

4.2. ЛВМ

4.3. ЛГМ

Таким образом, будут изготовлены отливки деталей протеза из всех указанных металлических сплавов, изготовлена все виды оснастки (пресс-формы) и опробованы все три указанных метода литья в связи:

а) с невозможностью или нецелесообразностью использования каждого из методов литья для каждого из сплавов;

б) с необходимостью сравнить качество литья, литейные, прочностные, технологические и пластические, вязкостные свойства и характеристики, твердость;

в) с необходимостью отработать каждый из способов для литья каждого конкретного сплава;

г) с необходимостью иметь запасные уже отработанные способы изготовления (методы литья);

д) с необходимостью иметь несколько запасных комплектов оснастки для одновременной работы на нескольких производственных площадках.

Необходимое оборудование

1. 3D – принтер для изготовления выплавляемых моделей (из воска).

2. Центробежная литейная машина для заливки методами ЛВМ (литья по выплавляемым моделям) и ЛГМ (литья по газифицируемым моделям).

3. Вибростол для уплотнения литейных форм мето-

дами ЛВМ (литья по выплавляемым моделям) и ЛГМ (литья по газифицируемым моделям).

4. Печь универсальная термическая для подготовки литейных форм.

5. Машина литья под давлением.

Необходимые материалы

1. Металлическая шихта для сплавов – сталь углеродистая и нержавеющая, высокопрочный чугун, силумины, титан, магниевые сплавы.

2. Вспомогательные материалы: песок, маршалит, этилсиликат, ацетон, спирт, соляная и серная кислота.

3. Восковый материал для 3d- принтеров.

4. Воск литейный.

5. Невспененный пенополистирол.

Необходимая оснастка

1. Пресс-формы литья по выплавляемым моделям (ЛВМ).

2. Пресс-формы литья по газифицируемым моделям (ЛГМ).

3. Пресс-формы литья под давлением (ЛПД).

Запланировано дальнейшее использование и совершенствование технологий прототипирования для изготовления и литейного производства протезов

1. печать контрольных деталей

2. печать 3D – литейных форм для технологии литья по выплавляемым моделям ЛВМ

3. печать выплавляемых 3D-моделей будущих отливок из восковых смесей на специальных 3D-принтерах для технологии литья по выплавляемым моделям ЛВМ

4. печать выплавляемых 3D-восковых моделей будущих отливок пресс-форм для ЛВМ на специальных 3D – принтерах для ЛВМ.

Выводы

1. Результатами работы стали отливки в разовые формы и разработка проектов пресс-форм.

2. В результате работы изготовлены три версии полностью готовых протезов.

3. Проект находится в большой степени готовности для промышленной реализации.

4. В перспективе при возможности или необходимости возможно изготовление отдельных деталей протезов из титана и сплавов методами порошковой металлургии.

5. Возможно изготовление отдельных деталей протезов из титана и сплавов с использованием прототипирования из титанового порошка.

6. Ставится цель создания интеллектуальных протезов с биоуправлением от импульсов мозга.





Рис. 15–18. Модель и отливка «Рычаг-2»



Рис. 19–22. Модель и разовая песчано-глинистая форма для детали «Рычаг-2»



Рис. 23–24. Модель и разовая песчано-глинистая форма для детали «Колено»



Рис. 25–27. Силиконовые формы для изготовления восковых моделей для метода литья по выплавляемым моделям (ЛВМ)

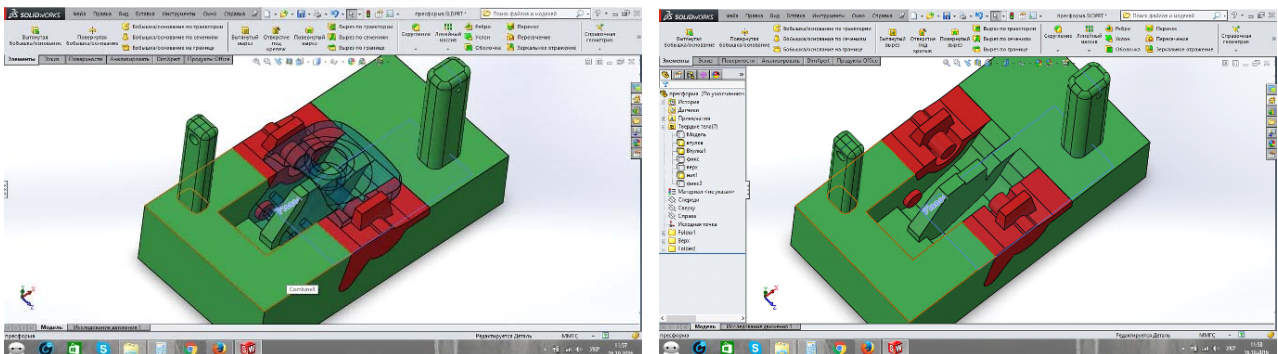


Рис. 28–29. 3D-пресс-форма литья восков для деталей протеза

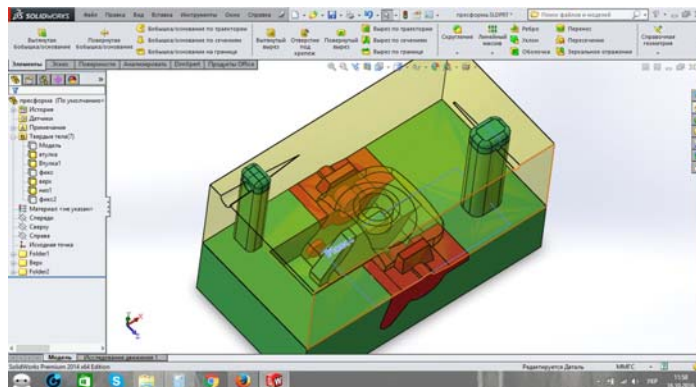


Рис. 30. 3D-пресс-форма литъя восков в сборе

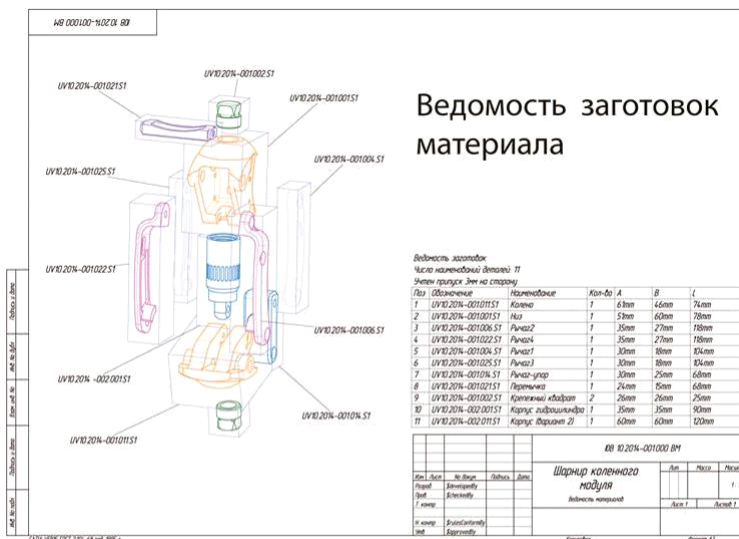


Рис. 31. Ведомость заготовок материалов

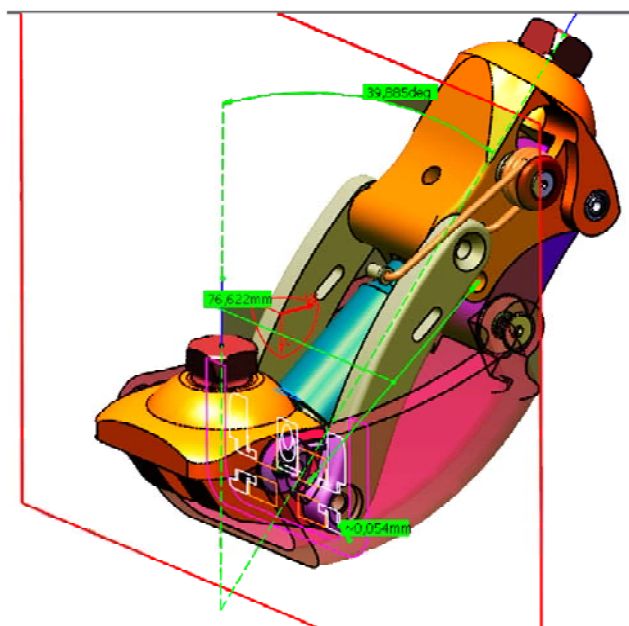


Рис. 32. Экзогенный протез коленного сустава

Список литературы

1. Прохоров Н. Л. Новое поколение технических средств реабилитации / Прохоров Н. Л., Знайко Г. Г., Красовский В. Е. // Приборы. – 2016. – № 7 (193). – С. 1–10.
2. Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении : Учеб. пособие для машиностроительных вузов по специальности «Машины и технология литейного производства» / В. М. Воздвиженский, В. А. Грачев, В. В. Спасский. – М. : Машиностроение, 1984. – 432 с.
3. Чепенюк Е. А. Механизм искусственного полицентрического коленного сустава трансформального протеза с переменной геометрии / Чепенюк Е. А., Поляков А. М. // Вісник СевНТУ : зб. наук. пр. Вип. 137/2013. Серія : Механіка, енергетика, екологія. – Севастополь, 2013. – С. 383–387.
4. Акулов С. А. Основы теории биотехнических систем / Акулов С. А., Федотов А. А. – М. : ФИЗМАТЛИТ. 2014. – 259 с.
5. Буниатян Л. М. Проектирование системы управления искусственной руки с учетом динамики исполнительных двигателей / Буниатян Л. М. // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2013. – Т. LXVI, № 1. – С. 35–44.
6. Баумгартнер Р. Ампутация и протезирование нижних конечностей / Р. Баумгартнер, П. Бота ; под ред. А. Н. Кейера ; пер. с нем. – М. : Медицина, 2002. – 486 с.
7. Фарбер Б. С. Теоретические основы построения протезов нижних конечностей и коррекции движения / Фарбер Б. С., Витензон А. С., Морейнис И. Ш. ; под ред. Б. С. Фарбера, кн. 2. – М. : ЦНИИПП, 1994. – 558 с.
8. Левшин Г. Е. Применение магнитного формообразования в протезировании / Левшин Г. Е., Мамаев К. В., Хлопков В. В. // Проблемы и перспективы развития литейного производства : сб. науч. тр. / Под ред. Проф. В. А. Маркова. – Вып. 1. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 1999. – 276 с.
9. Халикова К. К. Дефекты моделей при ЛВМ и способы их устранения / Халикова К. К. // Всероссийская научно-техническая конференция студентов «Студенческая научная весна : Машиностроительные технологии». – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2012.

Одержано 16.12.2016

Самарай В.П. Ливарні технології колінних протезів

Представлено історію та запропоновано технологію вітчизняного проекту виготовлення екзогенного колінного протезу. Запропоновано результати, ливарні й альтернативні технології і матеріали для промислової реалізації.

Ключові слова: екзогенні протези, колінні суглоби, матеріали протезів, технології протезування, 3d - прототипування.

Samarai V. Foundry technology knee prostheses

The history and the technology offered by the domestic production of exogenous project knee prosthesis are presented. Proposed results, casting and alternative technologies and materials for industrial implementation are proposed.

Key words: exogenous prostheses, knee joints, prosthetic materials prosthetics technology, 3d - prototyping.
