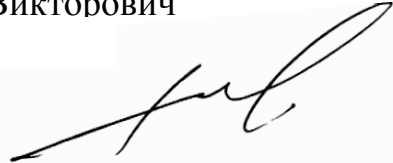


На правах рукописи

Гавриленко Михаил Викторович



**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
И ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ ШТАМПОВ НА ОСНОВЕ
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Специальность 05.03.05 - Технологии
и машины обработки давлением

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Самара 2006

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный технический университет» и Открытом Акционерном Обществе «Волгабурмаш»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Богомолов Родион Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
Костышев Вячеслав Александрович
кандидат технических наук, профессор
Уваров Вячеслав Васильевич.

Ведущая организация: ОАО «Сарапульский машзавод»

Защита состоится 6 октября 2006 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д212.215.03 при государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева» по адресу: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева».

Автореферат разослан 1 сентября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д212.215.03
доктор технических наук, профессор



Каргин В.Р.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Буровые шарошечные долота – основной породоразрушающий инструмент для строительства глубоких и сверхглубоких скважин в нефтяной и газовой промышленности, геологоразведке, при бурении взрывных скважин на открытых карьерах добычи руд для черной и цветной металлургии, добычи угля, шахтной добычи золота и алмазов, щебня для строительства дорог, сложных инженерных сооружений, мостов, тоннелей, морских платформ, молов, портов и др.

Разнообразие буримых пород, способов бурения, конструкций скважин и др. условий обуславливает необходимость выпуска около 700 самых различных типоразмеров долот для любых видов бурения.

Производство долот отнесено к особо важному, стратегическому.

От наличия, стойкости и эффективности работы долот прямо зависят показатели и затраты на бурение во всех этих отраслях в РФ и за рубежом, исчисляемые многими сотнями миллионов долларов. Во всем мире ведутся интенсивные исследования и затрачиваются большие средства на решение проблем, касающихся улучшения проектирования, технологий и материалов для изготовления буровых долот. Для изготовления долот необходимы более 300 наименований первоклассных основных и вспомогательных материалов, а технология отнесена к особо сложной.

Ни в одной отрасли нет механизмов, работающих в таких экстремальных условиях, как буровое долото. Это многотонные знакопеременные нагрузки, колебания колонны, абразивная среда, давление в сотни атмосфер и др.

Среди множества высокоточных и трудоемких операций, необходимых для механической и химико-термической обработки лап и шарошек, особо выделяется производство заготовок лап массой от 1,5 до 300 кг для различных по конструкциям долот диаметром от 120,4 до 660 мм, для которых необходимо проектировать, изготавливать и постоянно обновлять множество тяжелых и трудоемких штампов массой до 2,5 тонн.

Стоимость штампов велика. Например, чистовой штамп для лапы долота Ø269,9 мм – более 200 тыс. рублей. Сроки от проектирования до изготовления по базовой технологии составляли 4-4,5 месяца.

Технология изготовления заготовок деталей долот горячей штамповкой доказала свою относительную эффективность с точки зрения прочностных свойств и точности получаемой конфигурации.

Однако, большие сроки проектирования, изготовления и освоения штампов по базовой технологии, а также их недостаточная стойкость стали настоящим тормозом развития долотостроения и выпуска новых конкурентоспособных долот, причиной потери многих срочных отечественных и зарубежных заказов на их поставку.

Возникла жизненно важная для долотостроения задача – в короткие сроки радикально снизить продолжительность всех этапов проектирования и освоения новой продукции. Для этого необходимо автоматизировать и оптимизировать процессы проектирования и изготовления штампов на основе применения современных компьютеров и эффективного программного обеспечения. Одна из

важнейших задач на этом пути – проведение исследований по интенсификации и оптимизации технологического процесса изготовления штампов с целью повышения их стойкости, а также снижения стоимости одной заготовки.

Решение всех проблем указанной тематики возможно только при исследованиях их во взаимосвязи с использованием результатов разработки и взаимовлияния каждого этапа, начиная со сквозного проектирования детали, затем ее поковки, ассоциированных с ними штампов, моделирования процесса эксплуатации, затем разработки технологии изготовления штампов, а также результатов оптимизации режимов штамповки.

Большой вклад в решение вопросов совершенствования технологии проектирования и изготовления сложных штампов для горячей штамповки и разработки материалов для них внесли отечественные и зарубежные ученые Ю.А. Аверкиев, И.Л. Акаро, Л.Б. Аксенов, Е.И. Бельский, Ю.А. Бочаров, А.Н. Брюханов, В.Г. Вайнерман, О.А. Ганаго, Ю.А. Геллер, Г.Д. Дель, А.М. Дмитриев, В.И. Ершов, Л.В. Зуева, В.В. Куниловский, Магазаки, И.Я. Мовшович, А.Г. Овчинников, Л.А. Позняк, А.В. Ребельский, Л.И. Рудман, Ю.М. Скрыпченко, С.И. Тимашев, Б.Ф. Трахтенберг, Ч. Шаффер, Юошино и др.

Над решением проблем, связанных с контактным износом и повышением стойкости штампов, моделированием процессов штамповки, изучением напряженно-деформированного состояния штампов успешно работали ученые К. И. Басов, Н.В. Биба, Р. Галлагер, Р. Гамильтон, А.Н. Давыдов, Я.М. Клебанов, А.И. Лишний, А.К. Мазурин, В.А. Потапов, С.П. Рычков, Ж.К. Сабоннадьер, В.С. Севастьянов, В.П. Северденко, П.И. Соснин, С.А. Стебунов, А.П. Чернышов, К.В. Щеклеин и др.

Работы этих ученых обеспечили значительный прогресс в проектировании и отработке штамповой оснастки, в изучении напряженно-деформированного ее состояния при горячей штамповке во многих отраслях машиностроения.

Однако проблему нельзя считать решенной, о чем можно судить по состоянию проектирования, технологии изготовления сложной штамповой оснастки в нефтегазопромысловом машиностроении и, в частности, в долотостроении.

На основе результатов исследований вышеназванных ученых и опыта производства сложился отдельный подход к разработке и оптимизации процессов, касающихся собственно штамповки, и к разработке и оптимизации технологии проектирования деталей сложной формы, поковок для них, проектированию сложных штампов и технологии их последующей механообработки. Такое положение нашло свое отражение в компьютерных системах, обособленных для решения проблем каждого из перечисленных этапов.

Указанный отдельный подход оправдан при относительно низкой стоимости механообработки детали по сравнению со стоимостью штампов и не приемлем для долотного производства, так как детали долот обрабатываются в закаленном виде и с очень высокой точностью, что обуславливает высокую стоимость механообработки.

Форма и размеры поковок зависят от типа и размера долота, а также от размеров заказываемых партий. При этом минимум приведенных затрат не всегда обеспечивается максимальной стойкостью штампов. Иногда эта стоимость может увеличиваться или снижаться за счет выбора свойств и стоимости материала, точности механообработки штампа, выбора режимов нагрева и штампов-

ки. Это особенно актуально для малых партий долот (менее 50 шт.), когда требуется оптимизировать не отдельные параметры, а приведенные общие затраты, включающие и штамповку, и мехобработку.

В то же время необходимо сократить сроки проектирования и изготовления долот со всей необходимой оснасткой с 6 до 1 месяца.

Целью настоящей работы является создание компьютерной системы сквозной технологии проектирования сложных штампов на основе моделирования процесса их эксплуатации, способной к совместной оптимизации всех этапов, резкому снижению сроков проектирования и освоения штампов без проведения длительных и дорогостоящих натуральных экспериментов.

Элементы системы необходимо подобрать по их совместимости, согласовать путем разработки методик оптимизации и элементов программного обеспечения.

Для достижения этой цели поставлены следующие **задачи исследования**:

- разработка методик проектирования оптимизированных математических моделей лап буровых долот, их заготовок, ассоциированных с ними моделей штампов;
- разработка методики конечно-элементного моделирования оптимизированного процесса штамповки;
- разработка методики оптимизации технологического процесса изготовления штампов для заготовок лап, включающей автоматизированный выбор механической обработки, режущего инструмента, режимов обработки, оборудования;
- разработка методики расчета удельной стоимости, приходящейся на одну поковку, базирующейся на цеховой себестоимости материалов и способов мехобработки с распределением границ затрат, обеспечивающих саму возможность и величину получаемого эффекта;
- разработка методики автоматизированного контроля точности получаемых в штампах заготовок лап и соответствия их параметров требованиям чертежа;
- опытно-промышленная проверка, внедрение результатов в производство, оценка их экономической эффективности.

На защиту выносятся:

- метод решения крупной научной проблемы совершенствования технологии проектирования и изготовления сложных штампов с гарантированными прочностными параметрами, установленными на базе моделирования процесса их эксплуатации и теории приспособляемости без проведения длительных и дорогостоящих натуральных экспериментов;
- создание компьютерной системы сквозного технологического обеспечения долотного производства штамповой оснасткой, позволяющей кратно повысить стойкость штампов, кратно снизить удельные затраты на одну поковку, многократно снизить сроки проектирования и изготовления штампов, получать большой экономический эффект.

Методика исследований. Поставленные задачи решались путем теоретических и экспериментальных исследований, в том числе с помощью новых математических моделей, современных программно-технических средств и методик определения НДС рабочей части штампов с помощью конечно-элементных

математических моделей, с применением методов механики деформируемого твердого тела, математического планирования экспериментов, а также новых методик исследования влияния изменения конструктивных и технологических параметров штампов на их работоспособность.

Обработка результатов экспериментов проводилась с использованием методов математической статистики по стандартной программе “Статистика” для ЭВМ.

Научная новизна.

1. Предложена новая концепция сквозного компьютерного проектирования и изготовления сложных штампов в едином информационном технологическом процессе от проектирования заготовки и штамповой оснастки до контроля готовых штамповых изделий.
2. Созданы необходимые методические и программные средства для реализации указанной концепции.
3. Получены зависимости, определяющие взаимовлияние конфигураций детали, ее заготовки, конструкционных параметров и материала штампов от технологических режимов их эксплуатации на стадии сквозного проектирования без проведения длительных и дорогостоящих натурных экспериментов.
4. Разработана методика оптимизации параметров штампов на основе моделирования процессов эксплуатации, позволяющая значительно повысить их стоимость.
5. Установлено, что с помощью оптимизации нагрева заготовок и изменения конструктивных параметров штампа можно значительно снижать интенсивность упругих напряжений (до 60%) и устанавливать их ниже предела текучести материала штампа, а также снижать температуру на поверхности гравюры (на 90⁰С и более).
6. Разработана методика компьютерной оптимизации и интенсификации технологии механообработки штампов, позволяющая многократно ускорить изготовление и освоение новых штампов.
7. Большая часть положений и разработок автора, приведенных в настоящем автореферате диссертации, опубликована в центральных изданиях. Многие конструкторские разработки автора обладают мировой новизной, защищены патентами РФ на изобретения.

Практическая ценность и реализация работы.

Использование методов теории приспособляемости конструкций в сочетании с многоуровневым конечно-элементным моделированием резко повышает эффективность расчетных процедур проектирования штампового инструмента и составленных на их основе программных модулей, делает последние доступными для широкого круга пользователей, создает предпосылки для формирования у расчетчиков и исследователей физически ясных представлений о поведении штампового инструмента при эксплуатации, и в результате ведет как к повышению производительности процесса проектирования, так и снижению стоимости одной поковки.

Разработанная система и методики для сквозного автоматизированного проектирования лапы долота, ее поковки, штампа для получения поковки этой

лапы, создания оптимизированной технологии изготовления штампов с применением средств автоматизации и автоматизированных систем (CAD/CAM/CAE-технологии) в 2002-2005 г.г. тщательно апробированы, позволили многократно (в 8 раз) ускорить цикл освоения штампов для изготовления новых поковок лап и долот в серийном производстве на весь годовой объем (более 500 типоразмеров долот), в 1,4-2,5 раза повысить стойкость штампов, качество самих поковок лап, в 2 раза снизить припуски, снизить в 2-2,7 раза стоимость прессовой оснастки на одну поковку, сократить в 3-4 раза время наладки штампов.

Положения, разработанные в диссертации, используются при проектировании и изготовлении штамповой оснастки для изготовления заготовок лап буровых долот в ОАО "Волгабурмаш", а также переданы для внедрения на Дрогобычский долотный завод (Украина), на Верхнесергинский завод «Уралбурмаш», на Сарапульский машиностроительный завод.

Внедрение усовершенствованной технологии изготовления сложных штампов позволило ОАО «Волгабурмаш» обеспечить получение годового экономического эффекта более 2300 тыс. рублей, а также своевременные сроки поставки новых долот на экспорт в более чем 30 стран,

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили одобрение на Всероссийских и международных конференциях и семинарах:

- на научно-технических конференциях Ассоциации буровых подрядчиков РФ (г. Анапа, 1996 г.; г. Астрахань, 1998 г.; г. Москва, 1999 г.; г. Москва, 2000 г., 2001г., 2002 г., 2003 г.);
- на международных конгрессах, посвященных бурению, добыче нефти, нефтепромысловому оборудованию "Нефтегаз-97", "Нефтегаз-98", "Нефтегаз-99", "Нефтегаз-2001", "Нефтегаз-2003" (г.Москва, г. Алматы, г.Ашгабат);
- на международной научно-технической конференции "Высокие технологии в машиностроении", г. Самара, 2002 г.;
- на международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы надежности технологических, энергетических и транспортных машин", г.Самара, 2003 г.;
- на ученом совете СамГТУ и научно-технических советах ОАО "Волгабурмаш" и Сарапульского машиностроительного завода.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы изложено в опубликованных 27-и научных работах, включая 12 патентов РФ.

Объём и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти основных разделов, основных выводов, библиографического списка литературы из 142 наименований. Общий объём работы 179 стр, включая 167 стр. учитываемого машинописного текста, 108 рисунков и 4 таблицы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении и в первой главе обоснована актуальность темы диссертации, поставлена цель и сформулированы задачи исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту, определена научная новизна. Отмечается, что характерным представителем группы заготовок со сложной объемной геометрией являются поковки лап шарошечных буровых долот. В зави-

симости от 60 размеров долот по диаметрам, масса лап, на которых подвижно размещаются шарошки с породоразрушающими элементами, колеблется в очень широких пределах. В соответствии с ГОСТ7505-89 поковки лап для таких долот имеют высокий исходный индекс (до 14 и более). Потребность производства в поковках лап исчисляется сотнями тысяч, а количество постоянно сменяемых штампов для самых различных типоразмеров, наиболее тяжелые из которых имеют массу до 2,5 тн, исчисляется многими сотнями.

Анализ опубликованных работ и зарубежных патентов показал, что существуют различные концепции при решении проблем, связанных с проектированием и изготовлением штампов, а также различные причины ограничения их стойкости.

Ряд ученых считает, что основная причина ограничения стойкости – значительные температурные перегрузки. Другие связывают сопротивление смятию с температурой и выдержкой, при которой в течение 4 часов сохраняется заданная твердость. Третья группа ученых считает, что основное внимание при проектировании штампов и их эксплуатации должно уделяться изменению диаграммы деформирования при штамповке. Такой подход позволяет учесть поведение материала только на первых циклах деформирования. Поэтому представляется целесообразным учитывать также послещиклические свойства образцов. Общим недостатком рассмотренных подходов является необходимость введения многочисленных допущений эмпирического характера, в которых нет прямого учета циклически изменяющегося градиента температур, а результаты не могут учесть сложную геометрическую форму реальных штампов.

Наиболее перспективным направлением в проектировании штампов является многофакторная оптимизация с помощью конечно-элементного моделирования, охватывающая совместное рассмотрение температурных полей и полей скоростей перемещений при деформировании заготовки.

Автором на базе опубликованных материалов и патентов сформировано современное представление о процессах проектирования и технологии изготовления сложных штампов, представлена классификация существующих программных продуктов САПР, применяемых для реализации процессов проектирования и производства.

Сформулированы критерии выбора систем для предлагаемого сквозного цикла проектирования и производства «от идеи до металла» с объединением всех отдельных этапов в единую информационную технологию производства сложных штампов, необходимых для изготовления поволоков лап. Эта технология включает блоки: «PDM-система», «CAD(3D)-система», «CAE-система», «CAD(2D)-система», «ПТП-система», «САМ-система».

Отмечена особая важность в реализации схемы сквозного проектирования и изготовления штампов разработанной технологии механообработки, включающей оптимизированный выбор стратегии обработки, режимов резания, инструмента, материалов и оборудования. Также отмечена устойчивая тенденция внедрения в штамповое производство методов твердого фрезерования с применением высокоскоростной лезвийной обработки материалов HSM (High Speed Machining) в твердом состоянии после термообработки.

Вторая глава посвящена решению проблем обязательного этапа предлагаемого сквозного проектирования и изготовления штампа – конечно-

элементному анализу напряженно-деформированного состояния (НДС), который позволяет оптимизировать основные взаимозависимые факторы – конструктивные, прочностные, тепловой режим нагрева заготовки и штампа, выбор материала - без проведения длительных и дорогостоящих натуральных экспериментов.

Проведен анализ факторов, влияющих на процесс деформирования металла, форму и долговечность штампов.

До недавнего времени при проектировании буровых шарошечных долот и оснастки для их изготовления применялись, в основном, методы расчета нагрузок, основанные на теории сопротивления материалов. Их недостатки заключаются в том, что объемные детали моделировались очень приближенно, без учета реальной геометрии, характера нагружения и нелинейного поведения материалов исследуемых деталей, особенно при больших деформациях, возникающих в процессе штамповки.

Метод конечных элементов позволяет производить компьютерный анализ сложных пространственных конструкций, расчет которых не может выполняться иными методами. МКЭ является численным методом решения дифференциальных уравнений упругости и пластичности. Благодаря высокой степени автоматизации построения расчетных моделей и их анализа, простоте применения реализующих его программ МКЭ выбран и для решения поставленных в диссертации задач.

Подход к оценке циклической несущей способности штампов основан на теории приспособляемости с применением метода упругой компенсации.

Последовательность линейных конечно-элементных решений строится таким образом, чтобы подобрать поле фиктивных остаточных напряжений σ'_{ij} , соответствующих возможно большей области приспособляемости. С этой целью на каждой итерации корректируются значения модулей упругости E_i в каждом из конечных элементов. Сокращение времени решения происходит за счет применения итерационного метода, состоящего в последовательном решении ряда линейных задач вместо пошагового решения на каждом цикле нагружения.

Для оценки нижней границы приспособляемости используется статическая теорема Мелана. В соответствии с ней приспособляемость в идеальном упругопластическом теле наступает, когда можно найти такое, не зависящее от времени, поле фиктивных остаточных напряжений σ'_{ij} , чтобы при любых изменениях нагрузки в заданных пределах сумма этого поля с полем упругих напряжений $\bar{\sigma}_{ij}$ в идеально упругом теле была безопасна, т.е. суммарное напряжённое состояние σ^*_{ij} находилось внутри поверхности текучести.

Внешние усилия, при которых где-либо в конструкции напряжения σ^*_{ij} и σ'_{ij} достигают предела текучести, обозначаются соответственно через Q_m^* и Q'_m . Меньшее из этих усилий является оценкой границы приспособляемости на данной итерации: $Q_m = \min(Q_m^*, Q'_m)$. Окончательная оценка – это величина $Q = \max_m(Q_m)$. Она достигается на той итерации, где нагрузки Q_m^* и Q'_m оказываются наиболее близкими друг к другу.

Для практического решения задачи определения циклической несущей способности элементов гравюры штампа автором была предложена и реализова-

на примере процесса штамповки заготовки лапы бурового долота двухшаговая численная процедура конечно-элементного моделирования, согласно которой процесс штамповки сначала моделируется без учёта зависимости между тепловыми и механическими нагрузками, нижняя половинка штампа рассматривается как абсолютно жёсткое тело, верхняя – как упругое тело, а заготовка имеет термовязкоупругое поведение. Затем тепловые и другие поля напряжений в верхней половинке штампа рассчитываются с точностью, необходимой для решения задачи приспособляемости с применением пакета ANSYS. Геометрическая модель штампа строилась в САД-системе Unigraphics, а затем передавалась непосредственно в ANSYS. Анализ распределения напряжений и температур по поверхности гравюры и в сечениях штампа проводился визуально на основе соответствующих цветных линий уровня, построенных программой.

При моделировании взаимодействия на контактной поверхности между инструментом и заготовкой во внимание принимались три аспекта: контактные усилия, трение и передача тепла. Для описания трения принимался закон трения Кулона. Эквивалентное касательное напряжение рассчитывалось в соответствии с условием текучести Треска

$$|\tau| = \mu \sigma_n \quad \text{при} \quad \mu \sigma_n < m \frac{\sigma_o}{\sqrt{3}}; \quad |\tau| = m \frac{\sigma_o}{\sqrt{3}} \quad \text{при} \quad \mu \sigma_n \geq m \frac{\sigma_o}{\sqrt{3}}$$

Здесь μ - коэффициент трения скольжения, m – коэффициент касательных напряжений, σ_o - предел текучести, σ_n – нормальное напряжение на контактной поверхности.

Решение выполнялось по двухуровневой схеме. Сначала вся половинка (рис. 1) моделировалась с использованием относительно грубой конечно-элементной сетки. Затем наиболее нагруженная часть половинки представлялась с использованием достаточно мелкой сетки, которая навешивалась на полную модель (рис. 2).

Размер мелкой сетки подбирался таким образом, чтобы обеспечить достаточную точность аппроксимации градиента температур в приповерхностных слоях инструмента.

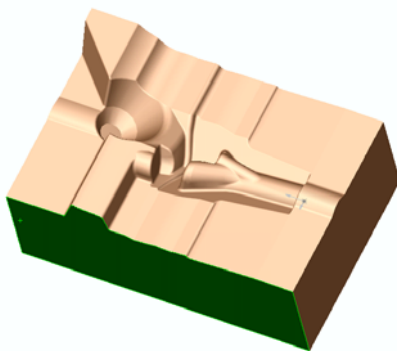


Рис. 1. Геометрическая модель (M1:20) верхнего штампа, построенная в специализированном пакете геометрического моделирования Unigraphics.

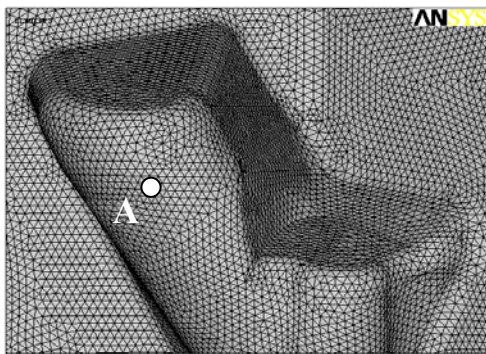


Рис. 2. Конечно-элементное разбиение наиболее нагруженной части инструмента. Исходная геометрия.

Решение задачи теплопроводности выполнялось для циклических условий нагружения, соответствующих реальным режимам процесса штамповки с использованием схематизированных диаграмм деформирования стали 5ХНМ.

Изменение температуры в точке А пересечения поперечного и продольного сечений, выбранной на наиболее нагруженной поверхности гравюры при последовательной штамповке трёх заготовок, приводится на рис.3. Показано, что разница температур в одинаковых точках временного цикла при штамповке 3 и 4 заготовок составляет менее 5%, что позволяет считать температурный цикл установившимся.

Затем для двух указанных моментов времени рассчитывались поля упругих напряжений. Для момента третьего удара они складываются из температурных напряжений и напряжений от усилий со стороны заготовки. Из результатов анализа следует, что в наиболее нагруженных областях упругие напряжения, вызванные температурным градиентом, составляют до 90% от общих напряжений.

В соответствии с принятым методом определения границы приспособляемости был выполнен прямой пошаговый расчёт напряжённно-деформированного состояния верхней половинки штампа при штамповке первой заготовки для интервала температур заготовки от 1200°C до 1100°C.

Оценка снизу границы приспособляемости проводилась по следующему условию

$$|\sigma'_{ij} + \bar{\sigma}_{ij}| < \sigma_T \tag{1}$$

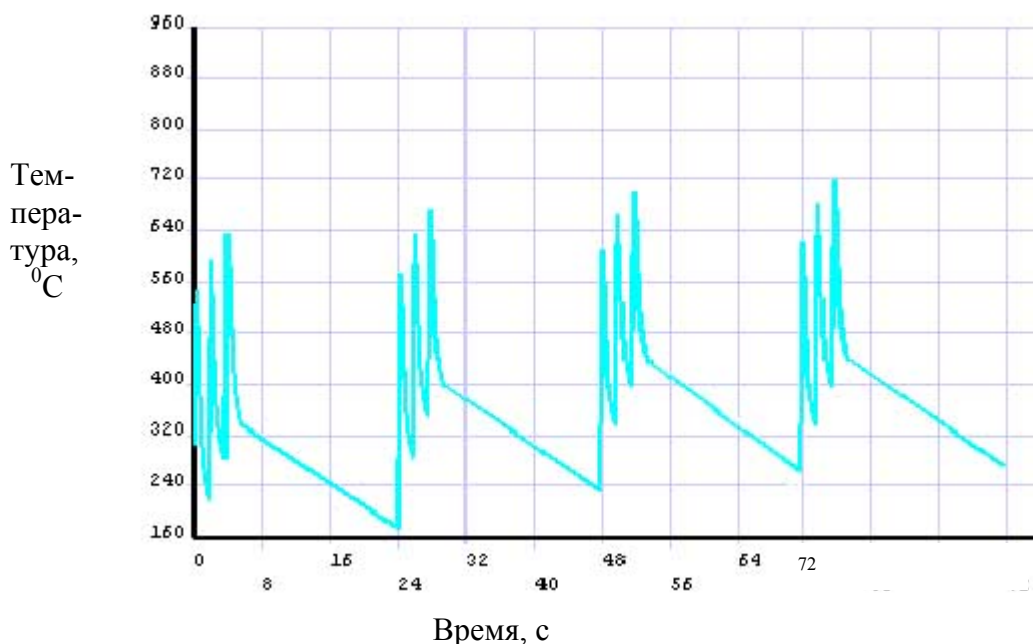


Рис.3. Зависимость температуры (градусы Цельсия) от времени (секунды) в наиболее нагретой точке при последовательной штамповке 4-х заготовок для базовой геометрии

Здесь σ'_{ij} - поле остаточных напряжений после третьего удара при штамповке первой заготовки, $\bar{\sigma}_{ij}$ - поле упругих напряжений во время третьего удара при штамповке третьей заготовки, когда достигается установившееся циклическое температурное состояние. Прямыми скобками показано вычисление интенсивности напряжений. Предел текучести σ_T соответствует температуре в момент третьего удара при штамповке третьей заготовки.

Выполнение условия (1) означает, что приспособляемость имеет место. Проведённые расчёты для интервала температур заготовки от 1200°C до 1100°C показали, что для верхней границы интервала интенсивность напряжений в левой части (1) максимально превышает предел текучести на 24%, а при температуре заготовки 1100°C – ниже его на 5,7%.

Результаты исследования зависимости интенсивности упругих напряжений от глубины залегания для различных температур нагрева заготовки приведены на рис. 4.

Как видно из графика, указанное снижение температуры заготовки на 100°C приводит к значительному и практически равномерному снижению интенсивности упругих напряжений в приповерхностных слоях штампа (примерно на 50-60%), что несомненно должно способствовать повышению стойкости штампов.

Из выполненного анализа следует, что варьированием температуры заготовки можно реально оптимизировать и повышать долговечность инструмента.

Снижение интенсивности термоупругих напряжений на поверхности графюра может быть также достигнуто за счёт придания ей более плавной формы и связанного с этим улучшения условий отвода тепла от поверхности. В настоящей работе изменения геометрической формы заключались в увеличении радиусов сопряжений на 50-70%.

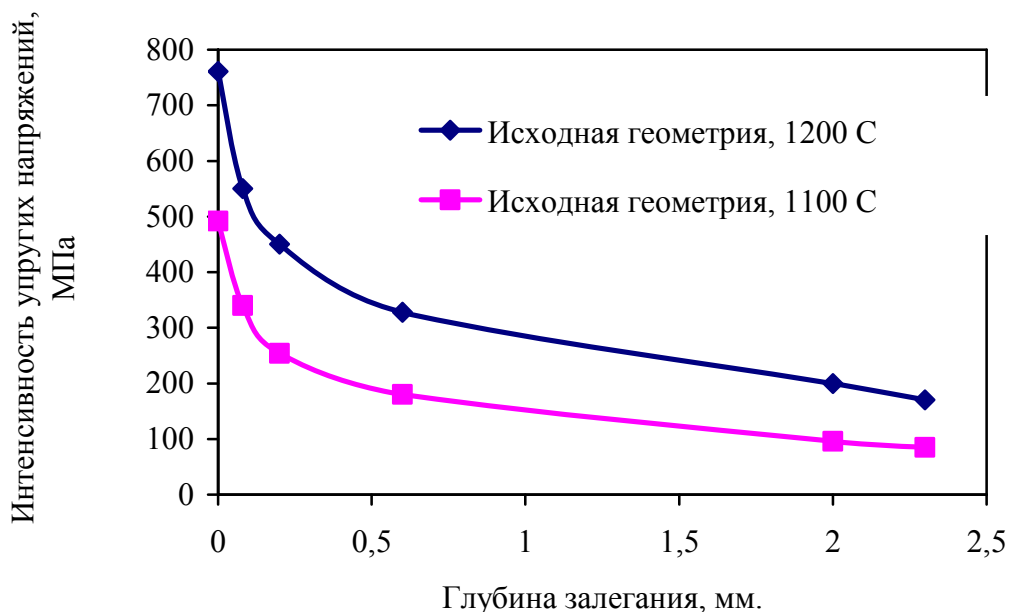


Рис. 4. Интенсивность упругих напряжений и их глубина залегания в точке А при штамповке третьей заготовки (третий удар) с учетом температуры заготовки

Для изменённой геометрии штампа и температуры заготовки в 1200°C по описанной методике были проведены все необходимые расчёты. Превышение левой части условия (1) над правой составило примерно 3-8%.

Результаты исследования зависимости интенсивности упругих напряжений от глубины залегания при изменении геометрии выступающих частей штампа (увеличении радиусов скругления на 50-70%) приведены на рис. 5.

Как видно из графика, при таком изменении геометрии происходит перераспределение напряжений за счет существенного их снижения на поверхности (с 761 МПа до 517 МПа) и незначительного роста в глубине штампа (с 170 МПа до 193 МПа). Это связано с перераспределением температурных полей при изменении геометрии (см. рис. 6). Температура на поверхности в зоне точки А уменьшается на 94°C, а на глубине практически остается неизменной (увеличение на 5°C).

Таким образом, изложенный подход позволяет оптимизировать и количественно оценивать увеличение сопротивления смятию гравюры с более плавной формой.

Он также позволяет оптимизировать выбор штамповых сталей для повышения стойкости инструмента с учетом механических свойств (пределов текучести, прочности, усталости, относительного удлинения при разрушении и др.) и удельной стоимости одной заготовки. Были исследованы возможности нескольких марок стали, в том числе штамповой стали 5Х2НМФ со значительно более высокими механическими свойствами. Её теплофизические свойства мало отличаются от стали 5ХНМ. Замена материала практически не повлияла на распределение и изменение полей температур, а циклические напряжения оказались полностью в упругой области.

Марка стали	Механические свойства			
	σ_B , МПа	σ_T , МПа	$E(t=20^\circ\text{C})$, МПа	δ_5 , %
5ХНМ	1570	1420	201490	9
5Х2НМФ	1750	1500	228570	10

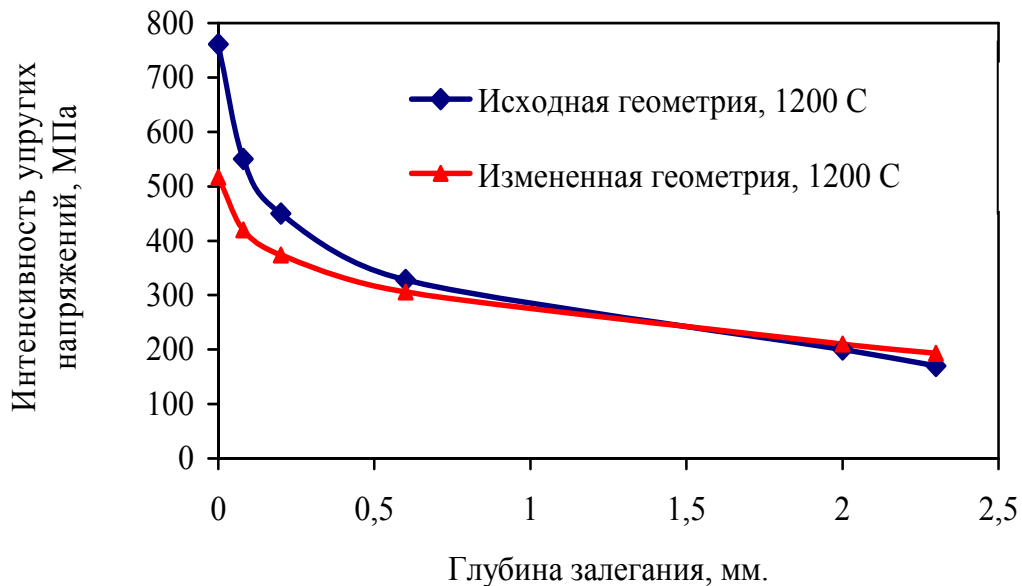


Рис. 5. Интенсивность упругих напряжений и их глубина залегания в точке А при штамповке третьей заготовки (третий удар) с учетом изменения геометрии

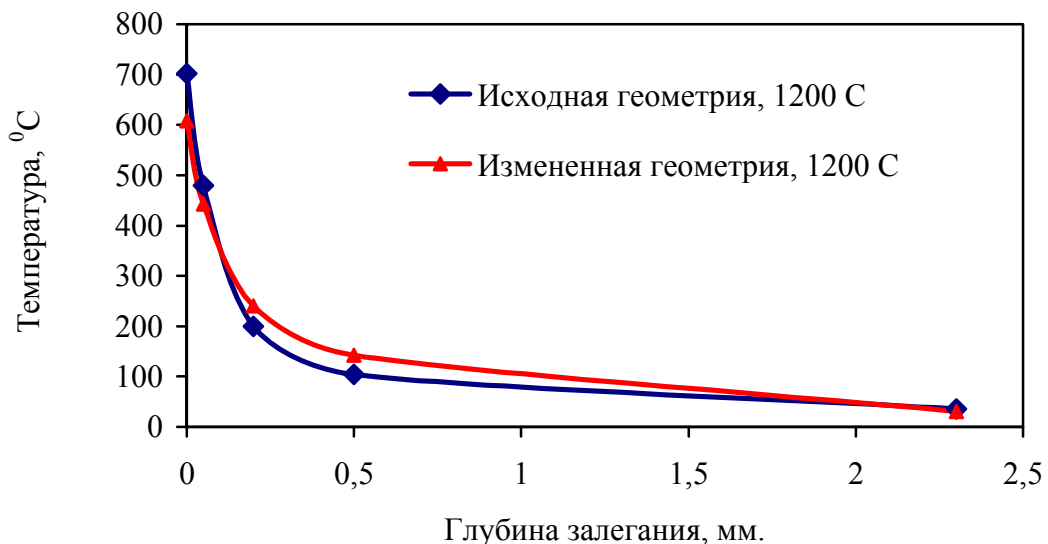


Рис. 6. Распределение температуры по глубине штампа в точке А при штамповке третьей заготовки (третий удар)

Методика определения эффективности от применения этих сталей и сопоставление удельных затрат на одну заготовку приведены в главе 5.

Проведенные исследования по оптимизации температуры заготовки, конструктивных параметров и выбору материала штампа определили пути дальнейшего улучшения условия приспособляемости конструкции штампового инструмента.

В третьей главе представлены разработки по автоматизации проектирования деталей со сложной объемной геометрией, поковок и штамповой оснастки для их изготовления, позволяющие многократно сократить сроки освоения новых штампов.

В соответствии с рекомендациями, разработанными в первой главе, определена система применения средств автоматизации и автоматизированных систем (CAD/CAM/CAE/PDM-технологии) для изготовления заготовок лап буровых долот.

Разработана конкретная схема процесса сквозного автоматизированного проектирования детали, поковки и штамповой оснастки для ее изготовления, проектирования технологии изготовления штампов, отслеживания и необходимой модификации хода выполнения проектных процедур на всех его стадиях, включая управление архивом проектных решений (рис. 7).

Из схемы видно, что концепция сквозного цикла использует 3-х -мерную модель как базовый элемент для объединения отдельных этапов подготовки и производства в единую информационную технологию.

Для производства штамповой оснастки по изготовлению лап буровых долот наиболее актуальными в представленной выше сквозной технологии проектирования и изготовления являются компоненты CAD, CAM и CAE.

Выбрано программное обеспечение для 2D- и 3D-моделирования, проектирования технологических процессов и инженерных расчетов, разработана методика и программный комплекс для построения 3D-моделей заготовки и штампа, созданы системы автоматизированного проектирования «САПР-Долото» и

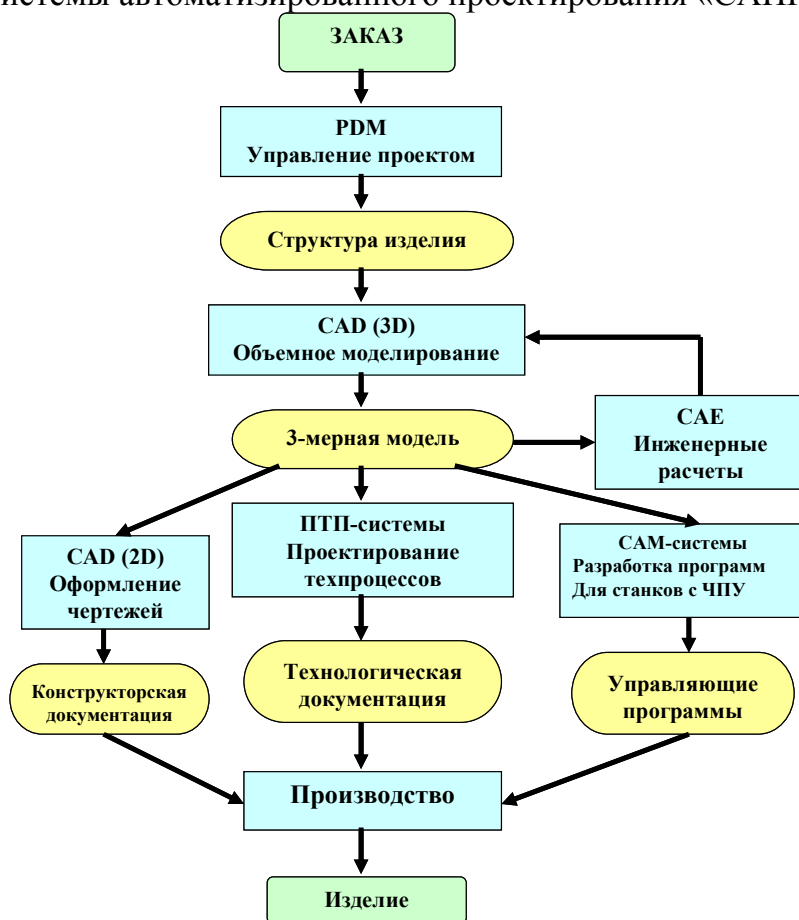


Рис. 7. Схема процесса сквозного проектирования и изготовления изделия (CAD/CAM/CAE – технологии)

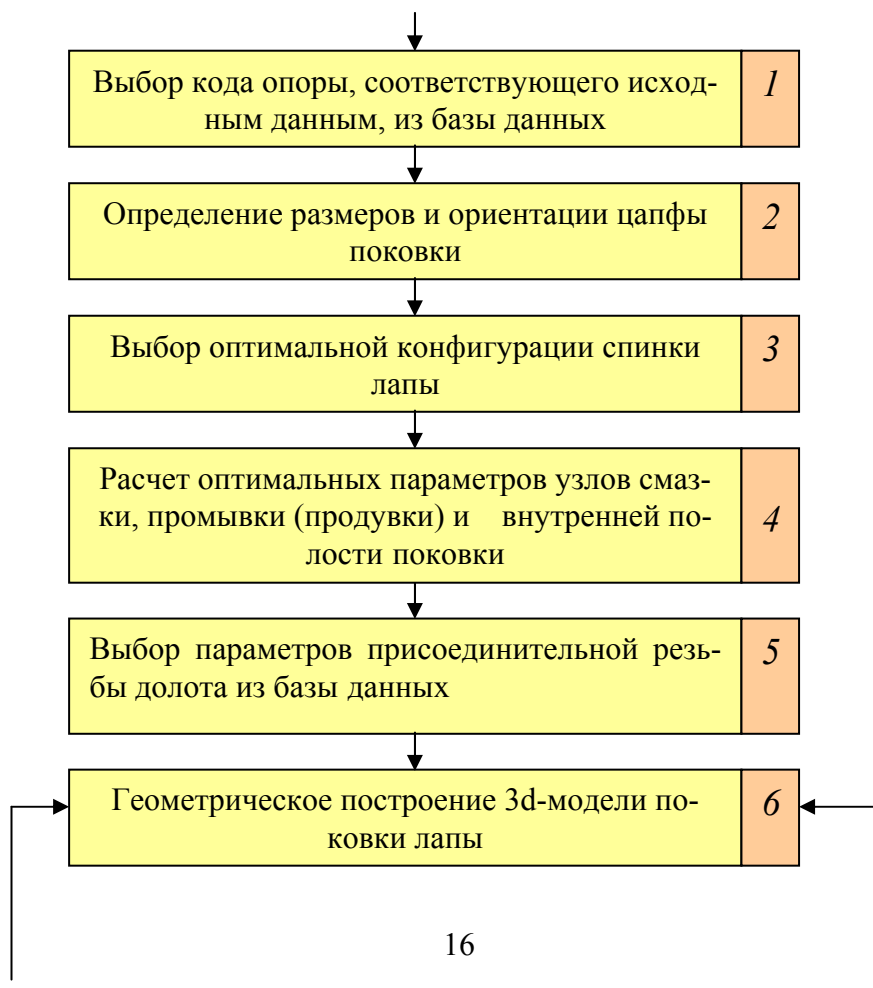
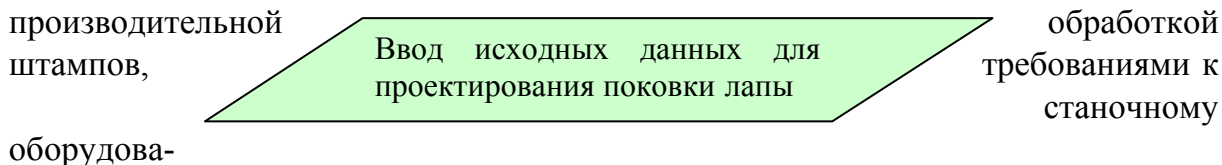
«САПР-технология» с едиными конструкторско-технологическими чертежами, выполненными по операционному принципу.

Концепция сквозного цикла еще на стадии проектирования обеспечивает возможность оптимизации геометрических параметров поковки и штампа на основе применения метода конечных элементов в процессе проектирования. После выбора оптимальной геометрии штампа выполняется разработка управляющих программ станков с ЧПУ для его изготовления. Предложенная автором настоящей работы автоматизированная методика процесса разработки 3d-модели поковки лапы и проектирования штампа приведена на рис. 8.

Четвертая глава посвящена разработке оптимизированной технологии механической обработки, в том числе методики выбора стратегии, инструмента, режимов и оборудования для изготовления штампов.

В этой методике основным требованием к технологии, методам обработки и металлорежущему оборудованию выступает производительность обработки, определяющая эффективность производства и, таким образом, время окупаемости инвестиций.

В соответствии с рекомендациями, представленными автором в первой главе, в качестве основы методики выбрана наиболее эффективная технология высокопроизводительной обработки. В этой методике выбора стратегии изготовления штампов предусмотрено решение всех проблем, связанных с высокопроизводительной обработкой штампов, требующими к станочному оборудованию



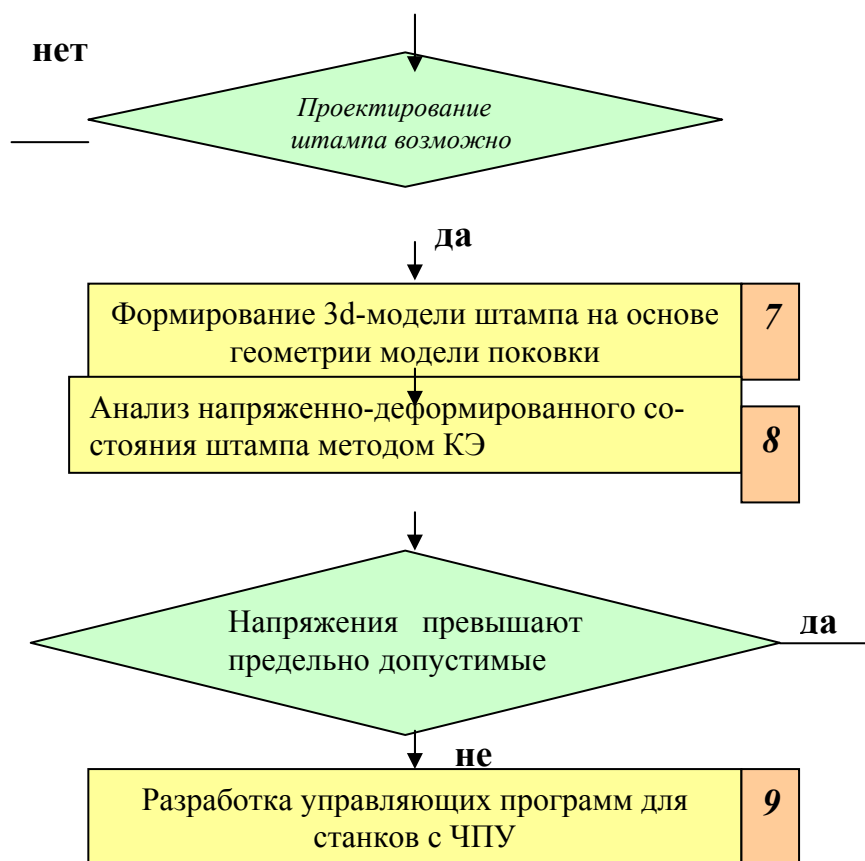


Рис. 8. Блок-схема процесса разработки 3d-модели поковки лапы и проектирования штампа.

нию, режущему инструменту и программному обеспечению, используемому для расчетов траекторий движения инструмента, режимам резания и подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ. Это позволило реально оптимизировать технологию изготовления штампов.

Скорости резания и величины подачи выбираются постоянно высокими при соблюдении постоянства отношения глубины резания и боковой подачи. Тем самым обеспечивается снижение вариаций нагрузок на режущие кромки фрез, что, в свою очередь, ведет к сокращению тепловыделения, к снижению усталостных нагрузок и к повышению стойкости инструмента. Постоянство припуска является одним из основных условий применения высокопроизводительного резания.

Возможности программного обеспечения CAD/CAM являются ключевыми в обеспечении эффективной высокопроизводительной обработки штампов. Технология начинается с создания управляющей программы, которая в большой мере влияет на износ дорогостоящего станка, инструмента и качество обработки.

В пятой главе приведены результаты внедрения разработок, выполненных автором настоящей диссертации и расчет экономического эффекта.

Разработана методика расчета удельной стоимости, приходящейся на одну поковку, базирующейся на цеховой себестоимости каждой операции механообработки и материалов. Методика позволяет регулировать границы затрат и вели-

чину получаемого эффекта в зависимости от потребной стойкости штампов для больших и малых партий заказываемых потребителями долот.

В результате проведенных исследований существовавшая в долотостроении РФ и, в том числе, в ОАО «Волгабурмаш» технология проектирования и изготовления штамповой оснастки с использованием копируемых твердотельных моделей полностью заменена на систему сквозного автоматизированного проектирования и изготовления с применением средств автоматизации и автоматизированных систем (CAD/CAM/CAE-технологии), которая также передана и успешно внедряется на Дрогобычском долотном заводе (Украина), Верхнесергинском долотном заводе «Уралбурмаш» и Сарапульском машзаводе, выпускающем буровые долота.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Решена крупная научная проблема совершенствования технологии проектирования и изготовления сложных штампов с гарантированными прочностными параметрами на основе моделирования процесса их эксплуатации и применения теории приспособляемости без проведения длительных и дорогостоящих натуральных экспериментов.

2. Разработаны автоматизированная система сквозного проектирования сложных математических моделей лап буровых долот и их заготовок, а также методика конечно-элементного моделирования процесса штамповки, которые на стадии проектирования позволяют оптимизировать модели штампов с учетом изменяемых силовых и температурных режимов эксплуатации, геометрических параметров гравюры и выбора материала.

3. Установлено, что с помощью оптимизации нагрева заготовки, геометрической конфигурации гравюры, механических свойств материала можно существенно (на 90° и более) снизить температуру в наиболее напряженных зонах гравюры и в широких пределах (до 60%) снизить интенсивность внутренних напряжений в поверхностных слоях.

4. Для предлагаемой автоматизированной системы сквозного проектирования и изготовления сложных штампов разработана методика оптимизации проектируемого технологического процесса изготовления штампов для заготовок лап, включающая последовательный автоматизированный выбор стратегии применения механической обработки, режущего инструмента, режимов и оборудования, необходимых для разработки обрабатываемых программ.

5. Для расчета экономического эффекта от применения новых технологий обработки штампов, а также различных по стоимости материалов для их изготовления разработана методика определения удельной стоимости оснастки, приходящейся на одну поковку, базирующаяся на расчетах предельной стойкости штамповой оснастки, стоимости и расхода материалов, стоимости всех видов обработки штампов, включая цеховую себестоимость.

6. Разработана методика контроля точности заготовок с помощью автоматизированной измерительной компьютерной системы, применение которой обеспечило снижение времени контроля на 45÷60% и затраты на его проведение в 3÷4 раза.

7. Разработанная автоматизированная система сквозного проектирования лапы долота, поковки лапы, штампов для её получения, создания и реализации технологии изготовления штампов с применением средств

автоматизации и автоматизированных систем тщательно апробирована в 2002-2005 г.г. и внедрена в серийное производство ОАО «Волгабурмаш».

8. Указанные система и методики позволили, примерно в 8 раз, ускорить цикл проектирования и освоения сложных штампов, полностью обеспечить штампами весь годовой объём производства опытных и серийных долот различных типоразмеров, в 1,4÷2,5 раза повысить стойкость штампов, снизить удельную стоимость одной поковки в 2,0÷2,7 раза; сократить время наладки штампов в 3÷4 раза.

Экономический эффект от внедрения данных мероприятий в ОАО «Волгабурмаш» составил 2,3 млн. руб. в год.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Гавриленко М.В., Богомолов Р.М. Интенсификация процесса изготовления сложной штамповой оснастки (на примере лапы шарошечного долота). Журнал «Химическое и нефтегазовое машиностроение», № 1, 2003 г.
2. Гавриленко М.В., Богомолов Р.М. О совершенствовании технологии автоматизированного проектирования и изготовления штамповой оснастки для выпуска заготовок лап буровых долот. Журнал «Заготовительное производство», М., №6, 2004.
3. Гавриленко М.В., Ищук А.Г. «О техническом уровне продукции ОАО «Волгабурмаш». Издание к Международной конференции «Нефтегаз-98» в Москве. Издат. «Медиа Пазарлама А.С.» Стамбул, Турция, 1997 г.
4. Гавриленко М.В., Богомолов Р.М., Сурков О.С. Повышение качества и сокращение сроков изготовления штамповой оснастки для буровых долот. Труды Межд. конференции «Актуальные проблемы надежности машин» 25-27 ноября 2003 г. Изд. «Машиностроение», М., 2003 г.
5. Гавриленко М.В., Богомолов Р.М. Совершенствование технологии автоматизированного проектирования и изготовления штамповой оснастки для выпуска лап буровых долот. Журнал «Заготовительные производства в машиностроении», № 6, 2004 г.
6. Гавриленко М.В. Использование теории приспособляемости для исследования процессов смятия гравюры инструмента горячей штамповки заготовок лап долота. Журнал «Химическое и нефтегазовое машиностроение», №3, 2005 г.
7. Гавриленко М.В., Неупокоев В.Г. Буровые долота ОАО «Волгабурмаш», каталог-справочник. Издание ОАО «Волгабурмаш», г. Самара, 2003 г.
8. Гавриленко М.В., Ищук А.Г., Богомолов Р.М. Экспортный каталог-справочник «Нефтепромысловое оборудование ОАО «Волгабурмаш». Издат. «Дизайн Студио VS» W904, Финляндия, 1996 г.
9. Гавриленко М.В., Ищук А.Г. Каталог-справочник «Горнодобывающее и нефтепромысловое оборудование, выпускаемое ОАО «Волгабурмаш». Издат. Каспиэн Комюникейшнз», Лондон, 1997 г.
10. Гавриленко М.В., Богомолов Р.М., Неупокоев В.Г. Буровые шарошечные долота ОАО «Волгабурмаш» для горнодобывающих предприятий, каталог-справочник. Издание ОАО «Волгабурмаш», г. Самара, 2003 г.
11. Гавриленко М.В., Ищук А.Г., Богомолов Р.М. Новые разработки ОАО «Волгабурмаш». Вестник Ассоциации буровых подрядчиков РФ, №2, 2000г.

12. Гавриленко М.В., Богомолов Р.М., Некрасов И.Н. О новых высокоэффективных конструкциях буровых долот ОАО «Волгабурмаш». - Вестник Ассоциации буровых подрядчиков РФ, № 2, 2002 г.
13. Гавриленко М.В., Богомолов Р.М., Неупокоев В.Г. Новые разработки ОАО «Волгабурмаш». Вестник Ассоциации буровых подрядчиков РФ, № 2, 2003 г.
14. Гавриленко М.В., Ищук А.Г., Морозов Л.В. «Высокоэффективные буровые долота, ОАО «Волгабурмаш» с твердосплавным вооружением для строительства скважин в нефтегазодобывающей промышленности» (на русском и английском языках). Издат. «Англо-Каспиэн сервисез Лтд», Стамбул, 1999 г.
15. Гавриленко М.В., Морозов Л.В., Ищук А.Г. Новые высокоэффективные конструкции буровых долот ОАО «Волгабурмаш» для условий Западной Сибири» (на русском и английском языках). Сборник «Волга, энергия для жизни», к Международной конференции «Нефтегаз-99» в Москве. Издат. «Каспиэн Коммюникейшнз Лтд», Стамбул, 1999 г.
16. Гавриленко М.В., Богомолов Р.М., Филатов Н.В. Способ изготовления лапы бурового долота // Патент РФ № 2219015. Бюл. №35, 2003.
17. Гавриленко М.В., Богомолов Р.М., Марик В.Б. Буровое трехшарошечное долото // Патент РФ № 2222683. Бюл. № 3, 2004.
18. Гавриленко М.В., Богомолов Р.М., Гук Р.И. Буровое шарошечное долото // Патент РФ № 2222684. Бюл. № 3, 2004.
19. Гавриленко М.В., Морозов Л.В., Мокроусов В.П. Буровое долото с клапаным узлом в лапе // Патент РФ № 2230877. Бюл. № 17, 2004.
20. Гавриленко М.В., Богомолов Р.М., Морозов Л.В. Буровое долото с усиленной армировкой спинок лап // Патент РФ № 2230876. Бюл. № 17, 2004.
21. Гавриленко М.В., Богомолов Р.М., Морозов Л.В., Мокроусов В.П. Буровое долото для бурения скважин с продувкой забоя воздухом // Патент РФ № 2231613. Бюл. № 18, 2004.
22. Гавриленко М.В., Мокроусов В.П. Долото для высокооборотного бурения // Патент РФ № 2230875. Бюл. № 17, 2004.
23. Гавриленко М.В., Богомолов Р.М., Морозов Л.В. Буровое долото // Патент РФ № 2244798. Бюл. №2, 2005.
24. Гавриленко М.В., Ищук А.Г., Богомолов Р.М., Морозов Л.В. Буровое долото с герметизацией опоры // Патент РФ № 2269636. Бюл. №4, 2006.
25. Гавриленко М.В., Ищук А.Г., Богомолов Р.М., Морозов Л.В. Способ армирования наружной поверхности шарошек буровых долот с фрезерованным вооружением // Патент РФ № 2275440. Бюл. №12, 2006.
26. Гавриленко М.В., Ищук А.Г., Неупокоев В.Г. Буровое долото с твердосплавным вооружением // Патент РФ № 2270318. Бюл. №4, 2006.
27. Гавриленко М.В., Ищук А.Г., Богомолов Р.М., Морозов Л.В. Буровое долото с герметизацией опор для бурения скважин с продувкой забоя воздухом // Решение от 09.12.05 о выдаче патента по заявке № 200412837

Заказ № 1317 Тираж 100 экз. Отпечатано на ризографе
Самарский государственный технический университет
Отдел типографии и оперативной полиграфии
443100 г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244