



литье | штамповка | сварка | композиты | IC.IDO

технологический анализ



PLM УРАЛ 

г р у п п а к о м п а н и й

ДЕЛКАМ УРАЛ 

официальный представитель
ESI на территории России и СНГ



ВЕБИНАРЫ ПО ПРОДУКТАМ ESI Group!

Специалисты ГК «ПЛМ Урал» - «Делкам-Урал» проводят онлайн-семинары для всех пользователей программного обеспечения ESI.

На вебинарах вы сможете познакомиться с работой инструментов ESI для моделирования технологических процессов производства (литья, сварки, штамповки, производства композитов), возможностями новых версий продуктов, а также задать свои вопросы.

Уникальность данных интернет-семинаров состоит в том, что они проводятся на русском языке, а участие в них абсолютно бесплатное.

С темами вебинаров можно ознакомиться на сайте www.esi-russia.ru

PLM УРАЛ 
г р у п п а к о м п а н и й

ДЕЛКАМ УРАЛ 

официальный представитель
ESI на территории России и СНГ

УВАЖАЕМЫЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛИ ESI Group!

ГК «ПЛМ Урал» - «Делкам-Урал» была основана в 1993 году и на данный момент является одним из крупнейших участников динамично развивающегося рынка ИТ в России. Группа компаний занимается поставкой полного спектра программного обеспечения для проектирования и конструирования, включая комплексные PLM-решения, системы инженерного анализа, производственные системы, технологии, инструмент и оборудование.

С 2006 года ГК «ПЛМ Урал» - «Делкам-Урал» является официальным представителем компании ESI Group, ведущего разработчика программного обеспечения для моделирования технологических процессов производства (литья, сварки, термообработки, штамповки, производства и испытания композиционных материалов), на территории Российской Федерации и стран СНГ.

Решения ESI Group приобретают все большую популярность на отечественных предприятиях. Среди наших клиентов и партнеров ОАО «ОДК», ОАО «НПК «УралВагонЗавод», ФГУП «ЦАГИ», ОАО «Объединенная Судостроительная Корпорация», ОАО «Авиадвигатель», ОАО «Иркутский авиационный завод», ОАО «Красмаш», ФГУП «ЦНИИ КМ Прометей», ОАО «СНЧЗ», ФГУП «ВИАМ», ЗАО «Трансмашхолдинг», ОАО «КАМАЗ», ООО «Сименс», ЗАО «Синара-Групп», ООО «ЧТЗ-УРАЛТРАК», МГТУ им. Н.Э. Баумана, КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева и другие.

Являясь лидирующим партнером разработчика в части поставки программного обеспечения (ProCAST, PAM-STAMP, PAM-FORM, PAM-RTM, IC.IDO и др.), ГК «ПЛМ Урал» - «Делкам-Урал» обладает также штатом квалифицированных специалистов, осуществляющих обучение программным продуктам ESI по сертифицированным курсам разработчика, внедрением программного обеспечения, составлением методик, а также выполняющих производственные расчеты по задачам предприятий в формате аутсорсинга.

Такие расчеты приобретают все большую популярность и доверие заказчиков, поскольку помогают предприятиям наиболее эффективно применять передовые инструменты для технологического анализа при ограниченных возможностях инвестирования в приобретение программных продуктов и обучение специалистов.

С глубоким уважением и надеждой на сотрудничество,

Жураховский В.Г.

Власов В.Н.



**Жураховский
Владимир Георгиевич, к.т.н.**
генеральный директор



**Власов
Владимир Николаевич, к.т.н.**
технический директор

СОДЕРЖАНИЕ

Команда экспертов 4



Моделирование литейных процессов ProCAST	12
Visual-CAST	12
Основные расчетные модули ProCAST	16
Специализированные расчетные модули ProCAST	17
Моделирование литейных процессов QuikCAST	18
Основные расчетные модули QuikCAST	19
Специальные расчетные модули QuikCAST	20



Моделирование процессов штамповки PAM-STAMP	22
AUTOSTAMP	22
Die Compensation	23
PAM-DIEMAKER	23
PAM-INVERSE	24
QUIKSTAMP PLUS	24
Дополнительные возможности PAM-STAMP	24



Моделирование процессов сварки и термообработки VIRTUAL WELDING & ASSEMBLY SUITE	32
Моделирование сварки в VISUAL-WELD	33
Моделирование сварки в WELD PLANNER	34
Моделирование сварки в PAM-ASSEMBLY	35
Моделирование термообработки в VISUAL HEAT-TREATMENT	36



Моделирование инъекционных процессов PAM-RTM	38
Возможности программы PAM-RTM	38
Дополнительные возможности PAM-RTM	41
Моделирование процессов формовки PAM-FORM	42
Реализованные технологии и специальные возможности программы PAM-FORM	43
Формовка и термоформовка	43
Формовка мембранами	43
Анализ драпировки изделия	44
Экспорт в PAM-RTM	44
Анализ коробления PAM-DISTORTION	44
Возможности продукта PAM-DISTORTION	45
Расчет процесса полимеризации	45
Расчет коробления изделия	46



Система виртуального прототипирования IC.IDO	48
Технология	48
Область применения системы IC.IDO	48
Инженерные решения	48
Интерактивные презентации изделий	49
Обслуживание, ремонт, обучение	49
Сборка	50
Описание модулей IC.IDO	51

Авиационная промышленность	56
Транспортное машиностроение	60
Энергетика	66
Нефтегазовая промышленность	68
Тяжелое машиностроение	69



Литье	72
Штамповка	76
Сварка	82
Композиты	84
Виртуальное прототипирование	89
Отзывы	92

Курсы обучения работе с ProCAST	98
Курсы обучения работе с PAM-STAMP	100
Курсы обучения работе с VIRTUAL WELDING & ASSEMBLY SUITE	102
Курсы обучения работе с PAM-RTM	104
Курсы обучения работе с PAM-FORM	111
Курс обучения работе с PAM-DISTORTION	113
Курсы обучения работе с Visual-Mesh	114



КУЧИН ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

руководитель технологического направления, к.т.н., ведущий специалист по программным продуктам ESI для решения задач литья металлов, сварки, термической обработки, обработки металлов давлением.

Образование: в 2004г. закончил Российский Государственный Профессионально-педагогический Университет (г.Екатеринбург), специализация – Организация литейного производства – менеджмент. Производственный опыт с 1999 г.

В 2015 году получил патент на изобретение – уникальный литейный инвар.

Провел расчеты ряда тестовых и коммерческих задач:

- ▶ Анализ ряда литых деталей: блок двигателя, впускной коллектор, ведущий мост. Анализ заполнения и кристаллизации отливки. Образование усадочных дефектов. Остаточные напряжения в отливке, образование трещин. Передача данных для последующего прочностного анализа детали с учетом литейных дефектов (для ПАО «КАМАЗ»).
- ▶ Анализ литой заготовки «Шкив», моделирование заливки, кристаллизации и напряженно-деформированного состояния стальной отливки. Моделирование и анализ сварной конструкции «Поддон». Анализ напряженно-деформированного состояния, коробления заготовки, распределение металлургических фаз в зоне сварного шва. Моделирование изготовления сляба на МНЛЗ с целью проверки режимов работы проектируемой установки (для ПАО «Уралмаш»).
- ▶ Моделирование и анализ заливки, кристаллиза-

ции алюминиевых деталей, изготавливаемых литьем под высоким давлением (для ФГУП ПО «Октябрь»).

- ▶ Моделирование и анализ заливки, кристаллизации литых заготовок, изготавливаемых из литейного инварного сплава (ООО «Первый цех»).
- ▶ Моделирование заливки, кристаллизации и напряженно-деформированного состояния стальной отливки (для ОАО «Минский моторный завод» и ОАО «ТВЗ», УМЗ (Группа ГАЗ), ОАО «АЗУРАЛ»).
- ▶ Моделирование и анализ заливки и кристаллизации стальной отливки, изготавливаемой литьем по газифицируемым моделям (для ООО «Завод Арматуры Контактной сети»).
- ▶ Моделирование заливки, кристаллизации и напряженно-деформированного состояния алюминиевой отливки (для ФГУП ФНПЦ «ПО «Старт» им. М.В.Проценко»).
- ▶ Моделирование и анализ заливки и кристаллизации стальной отливки, изготавливаемой литьем по газифицируемым моделям (для ЗАО «УТЗ»).

Преподавательская деятельность:

Поводит обучение по базовым и специализированным курсам ProCAST, QuikCAST, PAM-STAMP, VISUAL-WELD, WELD PLANNER, PAM-ASSEMBLY.
Рецензент кафедры РГППУ.

Провел обучение для сотрудников предприятий:

- ▶ ПАО «КАМАЗ»;
- ▶ АО «НПК «Уравагонзавод»;
- ▶ ОАО «ТВЗ» и др.

Провел обучение для профессорско-преподавательских составов:

- ▶ НИТУ «МИСиС»;
- ▶ ФГБОУ ВПО «ЮрГУ»;
- ▶ Сибирский федеральный университет;
- ▶ МГТУ им. Н. Э. Баумана.

АБДУЛЛИН АЛЬБЕРТ ДАНИЛЬЕВИЧ

старший инженер технической поддержки, специалист по программным продуктам ProCAST и QuikCAST для задач моделирования литейных процессов.

Образование: в 2007г. закончил Российский Государственный Профессионально-педагогический Университет (г. Екатеринбург) по специальности «Технология и технологический менеджмент в литейном производстве».



Провел расчеты ряда тестовых и коммерческих задач:

- ▶ Моделирование заливки, кристаллизации и определения микропористости для стальной отливки «Пробка шарового крана» методом литья в песчано-глинистую форму (для ОАО «Тяжпромарматура», г. Алексин);
- ▶ Моделирование заливки и кристаллизации отливки «Блок цилиндров» из серого чугуна методом литья в песчаную форму (для ООО «Транспневматика», г. Первомайск);
- ▶ Моделирование заливки, кристаллизации и напряженно-деформированного состояния стальной отливки «Чаша» методом литья в песчано-глинистую форму (для ОАО «Завод Гидромеханизации», г. Рыбинск);
- ▶ Моделирование заливки, кристаллизации и напря-

- женно-деформированного состояния стальной отливки «Букса» (для ОАО «Алтайвагон», г. Новоалтайск);
- ▶ Моделирование заливки и кристаллизации отливки «Корпус» из жаропрочной стали методом литья по выплавляемым моделям (для ФГУП «НПО «Техномаш», г. Москва);
- ▶ Моделирование заливки, кристаллизации и расчет напряженно-деформированного состояния отливки «Кронштейн» из низколегированной стали методом литья по выплавляемым моделям (для ОАО «Кумертауское авиационное производственное предприятие», г. Кумертау);
- ▶ Моделирование заливки и кристаллизации отливки из алюминиевого сплава методом литья по выплавляемым моделям (для ОАО «НПО «Сатурн», г. Рыбинск).

Преподавательская деятельность:

Поводит обучение по базовым и специализированным курсам ProCAST в области моделирования литейных процессов со свободной заливкой, под высоким давлением, под регулируемым давлением, центробежного литья, непрерывного литья, литья по газифицируемым моделям.

Провел обучение для профессорско-преподавательских составов:

- ▶ ГОУ ВПО «Иркутский Государственный Технический Университет» (г. Иркутск);
- ▶ ГОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет» (г. Самара);
- ▶ ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (г. Челябинск);
- ▶ ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (г. Уфа);
- ▶ ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Провел обучение для сотрудников предприятий:

- ▶ ОАО «Камаз-Металлургия» (г. Набережные Челны);
- ▶ ООО «ПК «Новочеркасский Электровозостроительный завод» (г. Новочеркасск);
- ▶ ФГУП «НПО «Старт» (г. Заречный);
- ▶ ФГУП «НПО «Техномаш» (г. Москва);
- ▶ ООО «ПК «Бежецкий сталелитейный завод» (г. Брянск);
- ▶ ОАО «Иркутский Авиационный Завод» (г. Иркутск);
- ▶ ООО «КиК» (г. Красноярск);
- ▶ ООО «УАЗ-Металлургия» (г. Ульяновск);
- ▶ ОАО «Авиационные редуктора и трансмиссии - Пермские моторы» (г. Пермь);
- ▶ ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение» (г. Уфа);
- ▶ Улан-Удэнский Локомотивовагоноремонтный завод (г. Улан-Удэ);
- ▶ ОАО «Вятское машиностроительное предприятие «Авитек» (г. Киров);
- ▶ ОАО «Северсталь» (г. Череповец);
- ▶ ЗАО «АВИАСТАР-СП» (г. Ульяновск).



ЕРШОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСЕЕВИЧ

старший инженер группы технической поддержки, к.т.н., специалист по программному продукту PAM-STAMP для задач моделирования процессов обработки металлов давлением.

Образование: в 2010 г. окончил ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург) по специальности «Обработка металлов давлением». В 2014 г. защитил диссертацию по теме «Влияние параметров упрочнения материала на деформированное состояние в процессах обработки металлов давлением».

Провел расчеты ряда тестовых и коммерческих задач:

- ▶ Моделирование процесса формовки эластичной средой изделия «Накладка» для факела Олимпиады 2014 (для ОАО «Красмаш», г. Красноярск);
- ▶ Расчет штамповки кузовных изделий (для ОАО «АВТОВАЗ», г. Тольятти);
- ▶ Расчет процесса последовательной вытяжки детали «Диафрагма» (для ЦСКБ Прогресс, г. Самара);
- ▶ Моделирование процесса и устранения дефекта изделия «Патрубок» (для ОАО «Уралтрансмаш», г. Екатеринбург);

- ▶ Расчет задачи сверхпластичной формовки пустотелой лопатки (для ОАО «Авиадвигатель», г. Пермь);
- ▶ Расчет задачи формовки эластичной средой (для ГОУ ВПО «Национальный Исследовательский Иркутский Государственный Технический Университет», г. Иркутск);
- ▶ Расчет с получением разверток двух изделий «Крышка» (для ОАО «КБЭ XXI века», г. Сарапул);
- ▶ Моделирование и оптимизация процесса листовой штамповки изделия «Крышка» (ФГУП «Приборостроительный завод», г. Трехгорный).

Преподавательская деятельность:

Проводит курсы обучения по PAM-STAMP: расчеты процессов обработки металлов давлением (базовый курс), специализированные курсы по сверхпластической формовке, формовке эластичной средой, гидроформованию и другие.

Провел обучение для профессорско-преподавательских составов:

- ▶ ГОУ ВПО «Иркутский государственный технологический университет» (г. Иркутск);
- ▶ ГОУ ВПО Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева (г. Самара);

- ▶ ГОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет» (г. Комсомольск-на-Амуре).

Провел обучение для сотрудников предприятий:

- ▶ ОАО «Уралтрансмаш» (г. Екатеринбург);
- ▶ АНО «Дальневосточное агентство содействия инновациям» (г. Хабаровск);
- ▶ ОАО «Иркутский Авиационный Завод - филиал ОАО «НПК «Иркут» (г. Иркутск);
- ▶ ГНПРКЦ «ЦСКБ Прогресс» (г. Самара).

БИЛЕНКО ГЕОРГИЙ АНДРЕЕВИЧ

старший инженер группы технической поддержки, специалист по программным продуктам VISUAL-WELD, WELD PLANNER, RAM-ASSEMBLY для задач сварки и термообработки металлов.

Образование: в 2009 году закончил ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет - УПИ» (г. Екатеринбург) по специальности «Оборудование и технология сварки плавлением».



Провел расчеты ряда тестовых и коммерческих задач:

- ▶ Детали комбайна (ОАО «Ростсельмаш», г. Ростов-на-Дону);
- ▶ Моделирование сборки-сварки изделия «лист», «балка поперечная» (ЦНИИ «Трансэлектроприбор», г. Санкт-Петербург);
- ▶ Моделирование сборки-сварки деталей, выполненных из алюминиевых сплавов. (ГОУ ВПО «ИрГТУ», г. Иркутск);
- ▶ Моделирование термообработки детали «пружина» выполненной из конструкционной стали (ГОУ ВПО «ИрГТУ», г. Иркутск);

Преподавательская деятельность:

Поводит обучение по базовым и специализированным курсам ПО VISUAL-WELD, WELD PLANNER, RAM-ASSEMBLY в области моделирования процессов сварки и термообработки.

Провел обучение для профессорско-преподавательских составов:

- ▶ ГОУ ВПО «Иркутский государственный технологический университет» (г. Иркутск);
- ▶ ГОУ ВПО Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева (г. Самара);

- ▶ Моделирование сборки-сварки узла автокрана (для ЧМТЗ, Челябинск);
- ▶ Моделирование процесса тандемной сварки (для ЧТПЗ, Челябинск);
- ▶ Определение оптимальной последовательности сварки корпуса силовой опорной конструкции центральной сборки дивертора (СОК ЦСД) в рамках проекта «ИТЕР» (НИИЭФА, г. Санкт-Петербург);
- ▶ Разработка технологии сборки и сварки корпуса шиберной задвижки. ЗАО «КОНАР» Специализированное предприятие по производству деталей трубопроводной арматуры (г. Челябинск).

- ▶ ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (г. Уфа);
- ▶ ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (г. Пермь).

Провел обучение для сотрудников предприятий:

- ▶ ООО «Комбайновый завод «Ростсельмаш»;
- ▶ ЗАО «ЦНИИ «ТрансЭлектроПрибор»;
- ▶ ООО «СИМЕНС»;
- ▶ ОАО «ЦТСС»;
- ▶ ГНЦ ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей»;
- ▶ ЦНИИТМАШ (г. Москва).



РЫЖКОВ МАКСИМ АЛЕКСАНДРОВИЧ

инженер технической поддержки, к.т.н., специалист по программным продуктам VISUAL-WELD, WELD PLANNER, PAM-ASSEMBLY для решения задач сварки и термической обработки металлов.

Образование: в 2005 г. окончил ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ» (г. Екатеринбург) по специальности «Физика металлов». В 2009 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности «Металловедение и термическая обработка металлов».

Соавтор более 50 научных статей и тезисов докладов в отечественных и зарубежных изданиях. Лауреат премии Губернатора Свердловской области для молодых ученых 2014 года за лучшую работу в области металлургии и металловедения.

Провел расчеты ряда тестовых и коммерческих задач:

- ▶ Термическая и индукционная обработка рабочего вала горячей прокатки для ПАО «Уралмашзавод» (г. Екатеринбург);
- ▶ Термическая обработка бурового инструмента для АО «Машиностроительный Холдинг» (г. Екатеринбург);
- ▶ Многопроходная сварка стальных листов для ОАО «Производственное объединение «Севмаш» (г. Северодвинск);
- ▶ Сварка алюминиевой конструкции для АО «Завод «Фиолент» (г. Симферополь);

▶ Моделирование термической обработки деталей переменного сечения для ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина» (г. Екатеринбург);

▶ Расчет остаточных напряжений в изделии после литья и последующей термической обработки для ФГАОУ ВПО «РГППУ» (г. Екатеринбург);

▶ Химико-термическая обработка шестерни для ПАО «КАМАЗ» (г. Набережные Челны).

Преподавательская деятельность:

Проводит обучение по базовым и специализированным курсам VISUAL-WELD, WELD PLANNER, PAM-ASSEMBLY в области моделирования процессов сварки и термической обработки.

Провел обучение для профессорско-преподавательских составов:

- ▶ ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина» (г. Екатеринбург);
- ▶ ФГАОУ ВПО «РГППУ» (г. Екатеринбург);
- ▶ ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) (г. Челябинск).

Провел обучение для сотрудников предприятий:

- ▶ АО «Машиностроительный Холдинг» (г. Екатеринбург);
- ▶ ПАО «КАМАЗ» (г. Набережные Челны).

ТЕН ДАРЬЯ ОЛЕГОВНА

ведущий инженер технической поддержки VR-систем, специалист по системе виртуального прототипирования IC.IDO.



Образование: в 2011 г. окончила Уральский Государственный Университет Путей Сообщения (г. Екатеринбург) по специальности «Мехатроника», успешно защитив дипломный проект на английском языке и получив квалификацию «Инженер динамических систем» со специализацией «Международный инжиниринг/ИИ».

В 2014 г. окончила аспирантуру в Уральском Государственном Университете Путей Сообщения (г. Екатеринбург) по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств», в настоящее время готовится к защите диссертационной работы на тему «Интеллектуальная система оптимизации транспортной инфраструктуры региона».

С 2010 по 2014 г. прошла несколько международных курсов обучения в ведущих технических университетах Европы.

В 2013 г. успешно сдала международный экзамен по английскому языку и получила сертификат TOEFL (iBT).

Является автором трех официально зарегистрированных компьютерных программ, а также автором и соавтором более 20 статей и тезисов докладов в отечественных и зарубежных изданиях.

Является сертифицированным специалистом по системе виртуального прототипирования IC.IDO.

Выполненные проекты:

- Танковый двигатель В-92 для Т90СМ (ОАО «НПК «УралВагонЗавод», г. Нижний Тагил): проверка операций сборки-разборки, анализ нагрузки в течение рабочего дня рабочих при производстве, анимация работы двигателя;
- Метро-вагон будущего (ОАО «НПК «УралВагонЗавод» совместно с «Bombardier», г. Нижний Тагил): фотореалистичная визуализация экстерьера и интерьера поезда метро, анимация (в т.ч. и звуковая) прибытия-отправления поезда на станции «Парк победы», открытия-закрытия дверей, симуляция откидных сидений и анализ комфорта пассажиров (на примере 20 человеческих моделей);
- Создание модели здания (интерьер, экстерьер, ландшафт) для БЦ Ельцин-центр, г. Екатеринбург: фотореалистичная визуализация большого объема данных (более 50 тысяч элементов в сборке) при постоянном обновлении, изменении и добавлении

информации, выбор вариантов исполнения (выбор материала стекла, панелей, кафеля, пола и пр.), подбор геометрии зеркал, вариантов компоновки элементов экстерьера (вентиляционного оборудования, фонтанов, хоккейной площадки, и др.);

► Детальная визуализация нескольких отсеков военного корабля и проработка технического обслуживания оборудования (ЦМКБ «Алмаз», г. Санкт-Петербург);

► Вертолет «Ночной охотник» МИ-28НЭ (МВЗ им. Миля, г. Москва): визуализация полной сборки вертолета, симуляция механизма открытия-закрытия двери в кабину пилота, анализ эргономики кабин пилотов, проверка технического обслуживания через технологический люк;

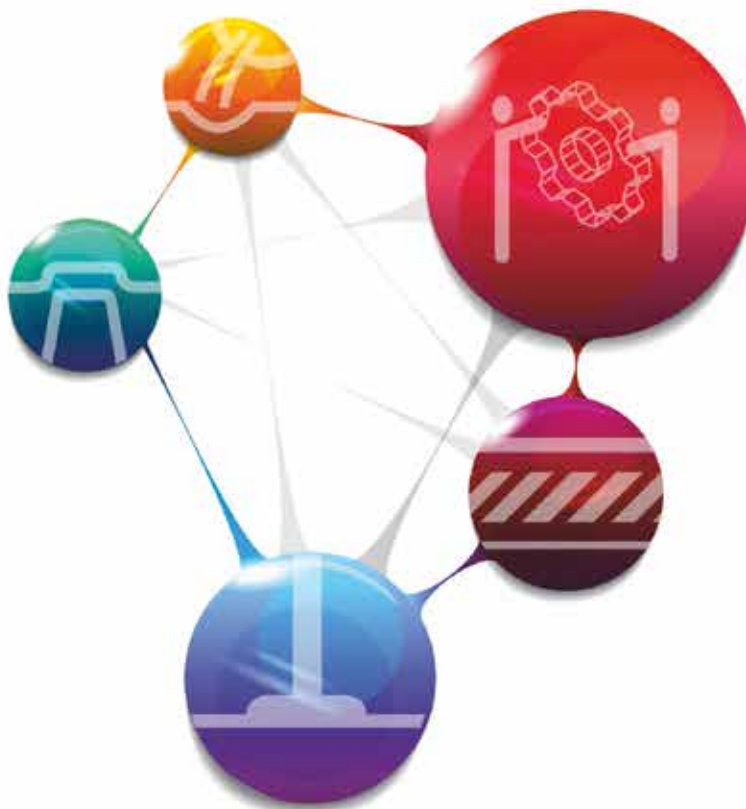
► Тяговый модуль вагонов ТМВ-2 (ОАО «НПК «УралВагонЗавод», г. Нижний Тагил): проверка эргономики сидения, зон доступа водителя, подбор и расположение бти вспомогательных зеркал.

Участие в выставках:

- IX Международная выставка вооружения, военной техники и боеприпасов «Russia Arms Expo-2013»;
- ESI Russia Forum 2013;
- Международный транспортный форум VII «Транспорт России»-2013;

► 7-я международная выставка вертолетной индустрии «HelliRussia-2014»;

► Международная промышленная выставка «Innprom-2014».



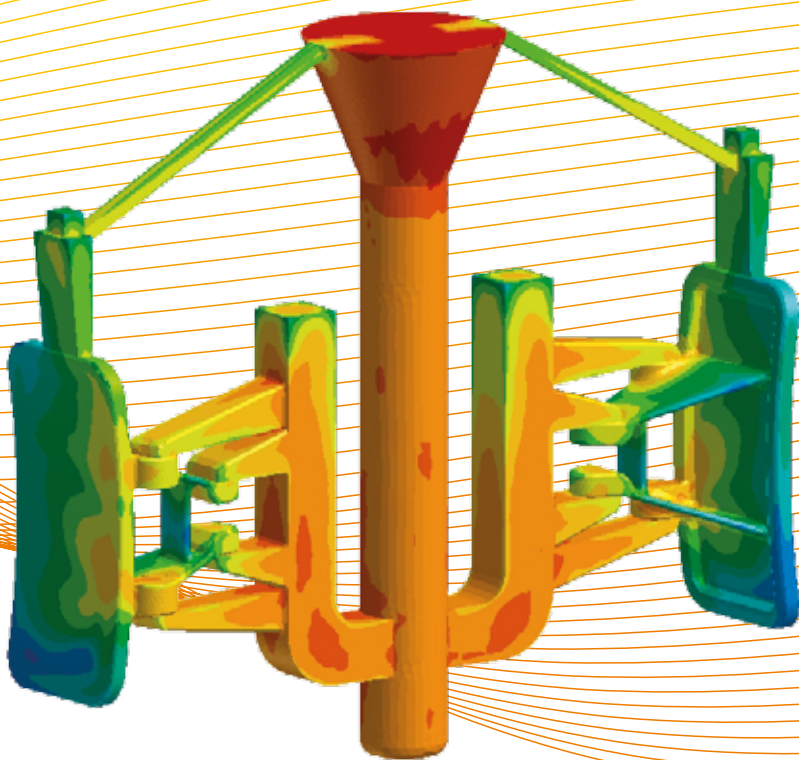
ИНЖЕНЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ

Наши технические специалисты готовы провести расчет задач вашего предприятия. Глубокие знания программных продуктов для технологического анализа ESI позволяют получать точные результаты, значительно сокращать время разработки изделия и финансовые затраты на создание прототипов.

По итогам проведенного расчета инженеры подготовят исчерпывающий технический отчет и при необходимости предоставят рекомендации по внесению изменений в технологию, проведут специализированное обучение инженеров предприятия по индивидуальным методическим указаниям, разработанным на основе решения Вашей задачи.

ОБУЧЕНИЕ

Специалисты ГК «ПЛМ Урал» - «Делкам-Урал» проводят базовые и специализированные курсы обучения работе со всеми продуктами ESI Group, а также разрабатывают курсы обучения под конкретные задачи заказчика, позволяющие специалистам предприятия в минимальные сроки выйти на самостоятельное решение своих задач. Прохождение сотрудниками обучения у наших специалистов позволяет им максимально быстро приступить к эффективному применению решений ESI для разработки, проверки и оптимизации технологий производства.



Литье I

ProCAST, QuikCAST

Производство литых изделий во все времена было трудоёмкой задачей, требующей от инженера-технолога учета большого количества производственных, технологических, металлургических факторов для получения приемлемой продукции.

Особенно это касается молодых кадров, еще не успевших набрать необходимый производственный опыт.

Для минимизации производственных расходов на изготовление пробных партий и сокращения времени проектирования технологии сегодня во всем мире успешно применяются программные комплексы ProCAST и QuikCAST.





Литье | ProCAST

ProCAST – профессиональное решение для компьютерного моделирования широкого круга литейных процессов, встречающихся как на отечественных, так и зарубежных производственных площадках. Система базируется на методе конечных элементов, что обеспечивает высокую точность описания геометрии отливки и формы расчетной модели, учет большинства процессов теплового, кристаллизационного, металлургического, напряженно-деформированного характера.

Базовые модули Thermal и Flow позволяют провести расчет для следующих видов литья:

- ▶ литье в песчаные формы;
- ▶ литье в кокиль;
- ▶ литье по выплавляемым моделям;
- ▶ литье в оболочковые формы;
- ▶ литье под высоким давлением;
- ▶ литье под регулируемым давлением (включая литье под низким давлением, с противодавлением и вакуумным всасыванием).

Кроме того, в ProCAST могут быть использованы дополнительные модули для решения специализированных процессов:

- ▶ литье по газифицируемым моделям;
- ▶ центробежное литье;
- ▶ непрерывное и полунепрерывное литье;
- ▶ тиксолитье (литье металла в твердожидком состоянии);
- ▶ изготовление стержней при пескоструйном процессе;
- ▶ изготовление пенополиуретановых изделий.

Visual-CAST

Visual-CAST – новая программная оболочка для работы с ProCAST, позволяющая подготовить конечно-элементную сетку, настроить параметры технологического процесса, запустить мо-

делирование решателем ProCAST и проанализировать полученные результаты. Интегрированная среда Visual-CAST позволяет быстро переключиться между основными режимами программы: Visual-

Mesh, Visual-CAST и Visual-Viewer; при этом работа осуществляется в одном окне и с одной моделью, нет необходимости загружать каждый раз сохраненный проект при открытии нового модуля.

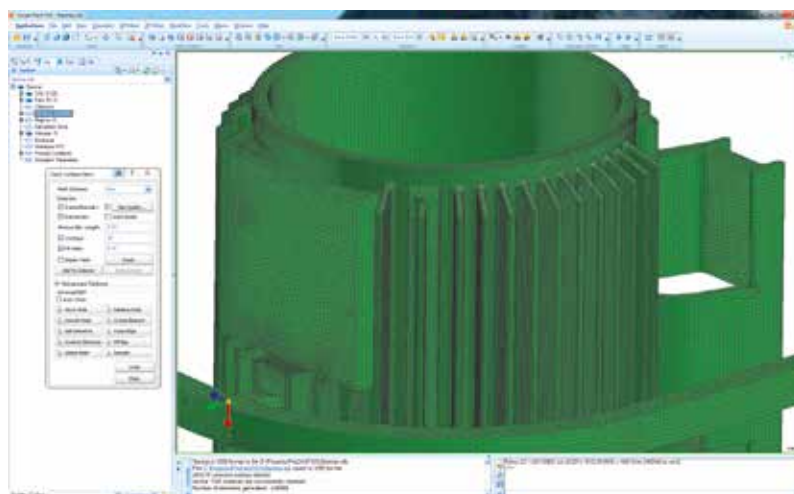
Visual-Mesh

Данный модуль предназначен для подготовки расчетной сетки по заранее созданной в CAD-системе геометрии отливки, формы, стержней, холодильников и пр. По сравнению с классическим генератором сетки Mesh-CAST, в Visual-Mesh значительно упростилась работа по основным этапам подготовки конечно-элементной сетки благодаря более качественному чтению геометрии при импорте, инструментам автоматической корректировки поверхности модели 2D сетки.

Импорт геометрии из CAD систем осуществляется через промежуточные форматы Iges, Step, Parasolid, а также можно использовать прямой импорт из программ Catia, ProEngineer, Siemens NX.

Все вышеперечисленное обеспечивает быструю подготовку конечно-элементной сетки (в среднем 15-20 минут) даже при сложной геометрии с боль-

шим количеством элементов (холодильников, стержней, оболочек и пр.).



Создание поверхностной сетки для отливки «Корпус электродвигателя»



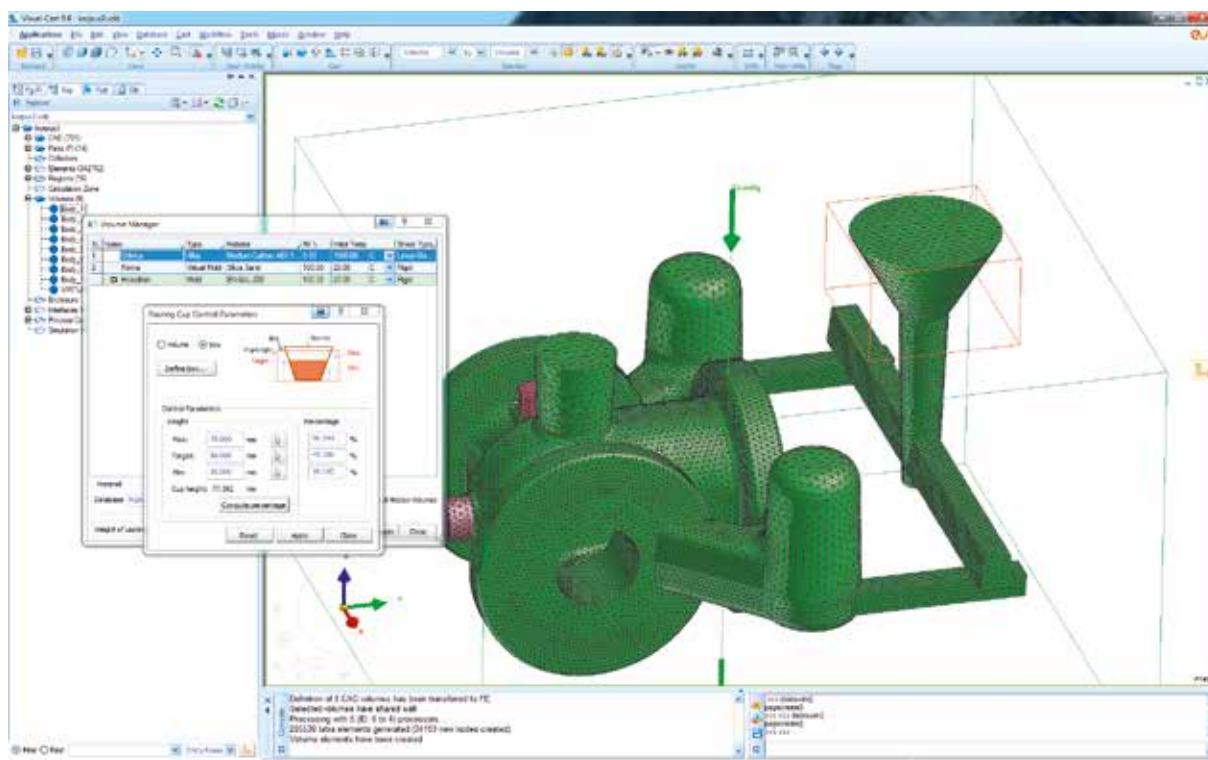
Visual-CAST

Программная оболочка Visual-CAST отвечает за настройку всех параметров технологического процесса: материалов, граничных и начальных условий, параметров моделирования.

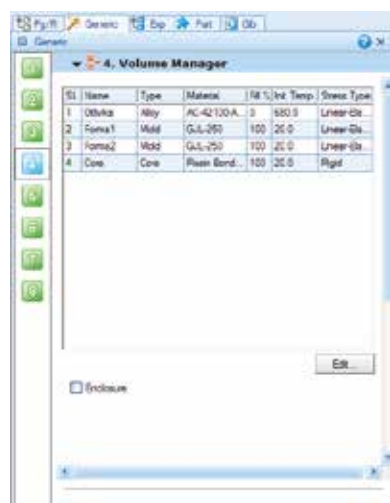
Подготовка задачи в Visual-CAST значительно упрощена для пользователя за счет более компактного расположения всех необходимых начальных

параметров в рабочем меню Cast, возможности группировки элементов модели с одинаковым материалом, переименования каждого объема для более удобной идентификации при задании коэффициентов теплопередачи и граничных условий. Кроме того, в оболочку Visual-CAST включены инструменты для более точного определения

начальных условий технологического процесса: база данных красочных покрытий для формы, расчет скорости заливки из стопорного ковша, контроль уровня заполнения металла в литниковой воронке, расчет коэффициентов теплоотдачи для каналов охлаждения формы и др.



Настройка контроля уровня заполнения в литниковой воронке



Новый инструмент Workflow позволяет начинающему пользователю быстро и удобно настроить все необходимые параметры технологического процесса, необходимые для моделирования конкретного вида литья, типа сплава, вида решаемых задач.

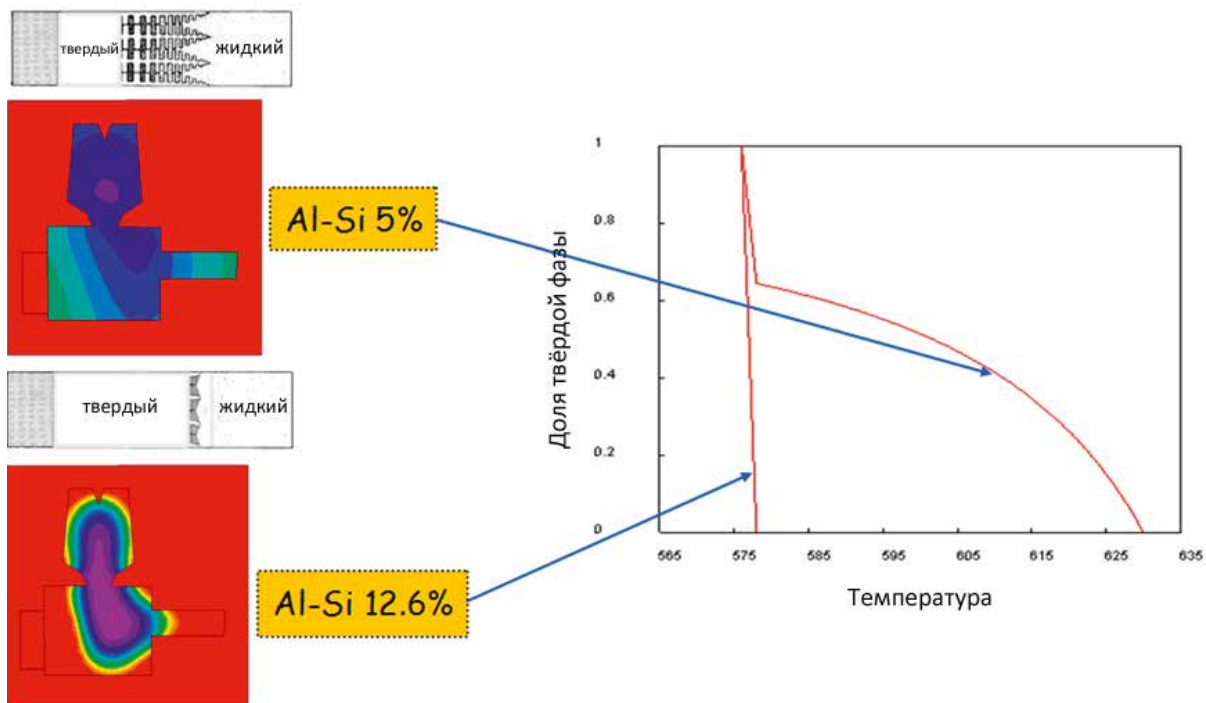
При выборе данных параметров Workflow автоматически генерирует необходимые к заполнению поля в пошаговом режиме. Кроме того, удобная цветовая индикация каждого шага указывает на то, все ли данные заполнены пользователем.

Пошаговое задание начальных условий процесса в режиме Workflow.
Установка материалов и начальной температуры каждого объема

База данных Visual-CAST также включает специализированный термодинамический модуль для расчета тепловых и механических свойств сплавов по требуемому химическому составу. Таким об-

разом, полностью исключается проблема поиска необходимых свойств отечественных марок сплавов или подбор их аналогов из зарубежных стандартов. Модуль разработан совместно

с компанией CompuTherm LLC, более 20 лет занимающейся исследованием свойств металлов и сплавов.



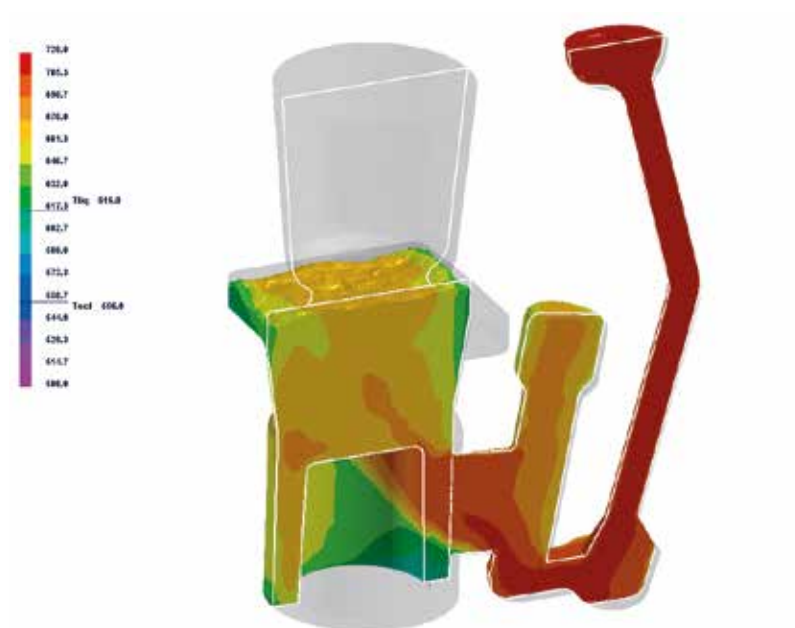
Зависимость кривой выделения твердой фазы алюминиевого сплава в зависимости от содержания кремния; расчетные характеристики, полученные в базе данных ProCAST

Visual-Viewer

Обеспечивает возможность просмотра результатов расчета после окончания моделирования или на текущем этапе расчета.

Доступны следующие расчетные результаты:

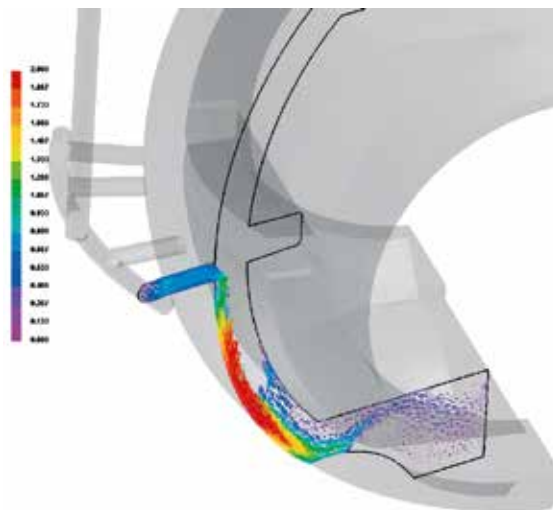
- ▶ температура в отливке и форме;
- ▶ скорость потока;
- ▶ векторное отображение течения потока;
- ▶ гидростатическое давление металла;
- ▶ эвакуация воздуха из формы;
- ▶ трассировка неметаллических частиц в сплаве;
- ▶ количество твердой фазы;
- ▶ распределение усадочной пористости и др.



Распределение температуры по сечению отливки во время заполнения формы (литье в кокиль)

Просмотр результатов возможен по поверхности геометрии, по сечению или в объеме отливки. Также доступно построение графика изменения любого расчетного параметра от времени в интересующих точках геометрии.

При подключении специализированных модулей ProCAST появляется возможность просмотра остаточных напряжений в отливке, величины коробления изделия (в форме, после выбивки и обрубки литниковой системы, термообработки), распределения микропористости, фазовой структуры, твердости отливки и др.



Вектора течения потока по сечению питателя



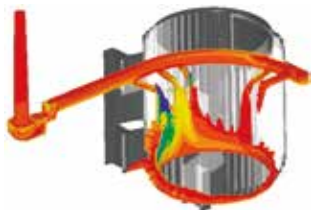
Кристаллизация сплава и образование тепловых узлов в отливке



Усадочные дефекты в отливке



Основные расчетные модули ProCAST



Сибэлектромотор

Заливка формы с распределением температуры металла



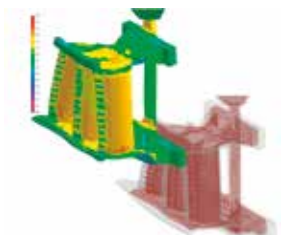
Юргинский машзавод

Кристаллизация отливки в сечении с распределением доли твердой фазы в металле



Улан-Удэнский локомотивно-вагоноремонтный завод

Сравнение результатов моделирования усадочной пористости и реальной отливки



CSIR

Распределение средних нормальных напряжений в отливке и деформация сетки в процессе расчета (масштаб 15:1)

ProCAST Flow solver

Позволяет проводить моделирование заполнения формы сплавом при различных условиях и для различных процессов: при литье со свободной заливкой, под высоким и низким давлением, центробежным способом, а также литье металла в твердо-жидком состоянии (тиксолитье). Специальный алгоритм течения неньютоновской жидкости обеспечивает моделирование узкоспециализированных процессов: заполнение стержневых ящиков песчаной смесью при изготовлении стержней пескодувным способом, а также заполнение пенополиуретановых изделий в пресс-формы (изготовление автомобильных сэндвич-панелей).

Моделирование гидродинамики происходит одновременно с решением тепловой задачи, расчета напряженно-деформированного состояния и фазового состава, что позволяет подходить к решению за-

дачи комплексно и учитывать такие дефекты, как недолив, неспай, горячие трещины и др.

Обновлённый гидродинамический решатель, появившийся в версии 2013, использует новую разновидность конечно-элементного метода – edge-based FEM (EBFEM), а также алгебраический многосеточный метод, который используется во многих ведущих CFD решениях. Подобная оптимизация решателя позволила увеличить точность и стабильность гидродинамического расчета, а также сократить время моделирования в 1,5 раза.

Доступные результаты моделирования процесса заливки: температура потока при заполнении, скорость, вектора течения металла, давление, образование оксидных включений, трассировка неметаллических частиц, эвакуация воздуха из формы, возможность размыва формы и др.

ProCAST Stress solver

Осуществляет расчет напряженно-деформированного состояния отливки и металлической оснастки. Учитываются напряжения, полученные при неравномерном охлаждении различных частей отливки (термические напряжения), а также при контактном взаимодействии отливки и формы (механические напряжения).

Благодаря передовому методу конечных элементов и алгоритму решателя, при расчете

напряженно-деформированного состояния отливки происходит изменение геометрии расчетной сетки (перестройка сетки, изменение координат ее узлов) в зависимости от усадки сплава, полученных напряжений и жесткости формы. В результате можно оценить реальные коробления отливки, определить воздушный зазор между отливкой и формой, учесть его тепловое сопротивление, определить взаимное влияние отливки и формы.

ProCAST Thermal solver

Модуль для расчета тепловой задачи, также включающий моделирование процессов кристаллизации и образования усадочных дефектов (усадочных раковин и макропористости). Расчет подпитки жидким металлом при кристаллизации отливки

учитывается при различных условиях: под действием силы тяжести, при повышенном давлении (литье под давлением, кристаллизация в автоклаве), за счет действия центробежной силы. При расчете тепловой задачи в ProCAST также воз-

можно учитывать дополнительные элементы в форме, влияющие на картину кристаллизации отливки: экзотермические и теплоизоляционные оболочки, внутренние и внешние холодильники, охлаждающие каналы в форме, покрытие формы.





Специализированные расчетные модули ProCAST



Распределение микро пористости в отливке (литье под давлением)

Advanced Porosity Module (APM)

Модуль позволяет рассчитать пористость и междендритную усадку, а также газовую пористость с учетом растворенных в металле газов. Модуль учитывает рост дендритных ветвей первого и второго порядка и определяет подпитку металла

в твердожидкой зоне, локализованного дендритным каркасом.

Учет подпитки возможен как в условиях гравитационного питания, так и при дополнительном давлении в системе (например, при литье под давлением или автоклавном литье).

CAFÉ Module

Модуль применяется для моделирования отливок ответственного назначения, к которым предъявляются требования по структуре зерна отливки. CAFÉ модуль прогнозирует размер и направления роста зерен отливки при ее кристаллизации. Свое название модуль получил из-за совмещения в основе решателя метода клеточных автоматов (CA) и конечных элементов (FE).

Основные задачи модуля CAFE:

- ▶ прогнозирование столбчатой и глобулярной структуры зерна отливки;
- ▶ определение перехода от столбчатой к глобулярной структуре зерна;
- ▶ учет направления роста зерен столбчатой структуры;
- ▶ прогнозирование отклонившихся от общего направления зерен в монокристаллических частях отливки.



CMS

Зеренная структура отливки автомобильного колеса

Core Blowing Module

Специальный модуль для расчета заполнения стержневых ящиков песком при пескоструйном процессе. Проводится моделирование заполнения песчано-воздушной среды с учетом приложенного давления, системы вент стержневого ящика и фильтрации воздуха через стержневую смесь. Для расчета данного процесса применяются специальные реологические свойства неньютоновской жидкости.

User Function

Специальный модуль, обеспечивающий более гибкую настройку исходных данных расчета при помощи заданий функций на языке C++. Доступна настройка пользовательских функций для параметров перемещения/вращения модели, коэффициента теплоотдачи, коэффициента черноты тела, температуры окружающей среды, коэффициента теплопередачи, скорости заливки и др. Настройка данных параметров

осуществляется при помощи комбинации данных текущей температуры, времени, доли твердой фазы, положения узла в пространстве. Пользовательские функции обязательны к использованию при моделировании процессов непрерывной разливки, литья с направленной кристаллизацией, монокристаллического литья.

Microstructure Module

Модуль микроструктуры (Microstructure Module) предназначен для расчета фазовой структуры отливки, а также ликвации легирующих элементов после кристаллизации и охлаждения металла в форме. Данный расчетный модуль часто используется для определения литой структуры чугунов и сталей, полученных при раз-

личных условиях. Кроме того, при использовании материалов, содержащих данные диаграмм изотермического распада аустенита, возможно моделирование термообработки литых заготовок с оценкой полученной структуры и твердости изделия.

В результате расчета микроструктуры в ProCAST доступны

следующие результаты моделирования:

- ▶ фазовый состав отливки;
- ▶ химическая неоднородность отливки;
- ▶ средний размер зерна;
- ▶ твердость отливки;
- ▶ междендритное расстояние;
- ▶ механические свойства материала (предел текучести, предел прочности).





Моделирование литейных процессов | QuikCAST

QuikCAST – это простой и эффективный программный комплекс, предназначенный для решения основного круга задач технолога-литейщика. В QuikCAST рассматриваются задачи моделирования заполнения формы с возможностью анализа эффек-

тивности проектируемой литниково-питающей системы, а также задачи кристаллизации металла и определение усадочных дефектов. Благодаря методу конечных разностей, лежащему в основе решателя, а также современному и простому интерфейсу QuikCAST

позволяет проводить моделирование в короткие сроки. Таким образом, пользователь за один рабочий день может рассмотреть максимальное количество вариантов технологии.



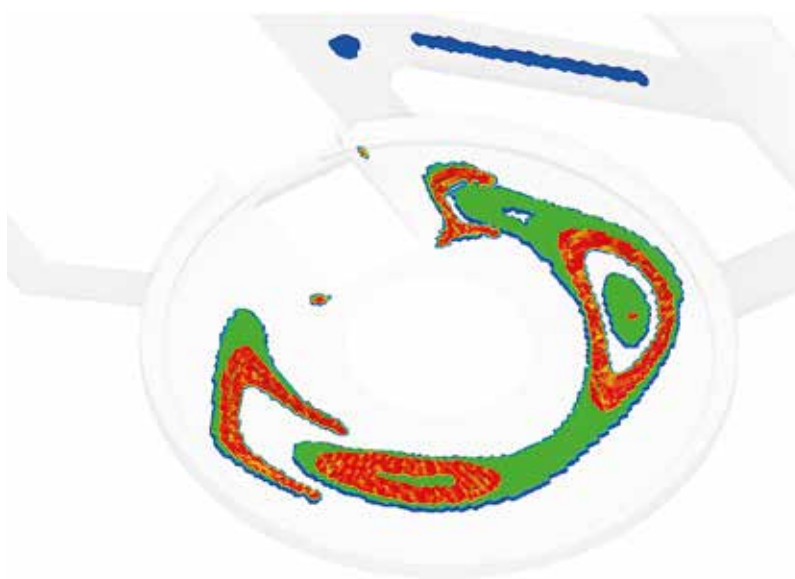
Заполнение формы сплавом с распределением температуры потока

Виды моделируемых технологий:

- ▶ литье в песчаные формы;
- ▶ литье в кокиль;
- ▶ литье в оболочковые формы;
- ▶ литье по выплавляемым моделям;
- ▶ литье под высоким давлением;
- ▶ литье под низким давлением;
- ▶ литье по газифицируемым моделям;
- ▶ тиксолитье (литье металла в твердожидком состоянии).

Особенности QuikCAST:

- ▶ интегрированный сеточный генератор и препроцессор, обеспечивающий быструю подготовку задачи для моделирования;
- ▶ возможность использования Visual-Mesh для предварительной подготовки геометрии;
- ▶ возможность ступенчатого увеличения размера ячейки сетки для уменьшения времени расчета;
- ▶ база данных QuikCAST содержит тот же термодинамический модуль для расчета свойств сплава, что и ProCAST;
- ▶ возможность моделирования задачи при пескодувном процессе изготовления стержней;
- ▶ быстрое решение задачи: от нескольких минут до пары часов.



Оценка тепловых узлов в отливке





QuikCAST Flow solver

Модуль предназначен для решения задач заполнения формы сплавом и применяется для оценки эффективности и оптимизации литниково-питающей системы.

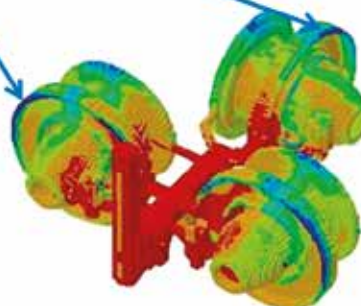
После расчета пользователю доступны поля распределения температур, скорости потока, вектора течения металла, гидростатического давления, что в совокупности позволяет выявить такие нежелательные явления как:

- ▶ размыв формы или стержня;
- ▶ определение зон турбулентного и высокоскоростного течения потока;
- ▶ захват воздуха потоком при заполнении формы;
- ▶ недолив формы при преждевременном затвердевании сплава;
- ▶ места образования холодного спая;
- ▶ места образования пригара в местах перегрева формы/стержня.



Заполнение формы сплавом с распределением температурного поля при литье под низким давлением

Холодный спай

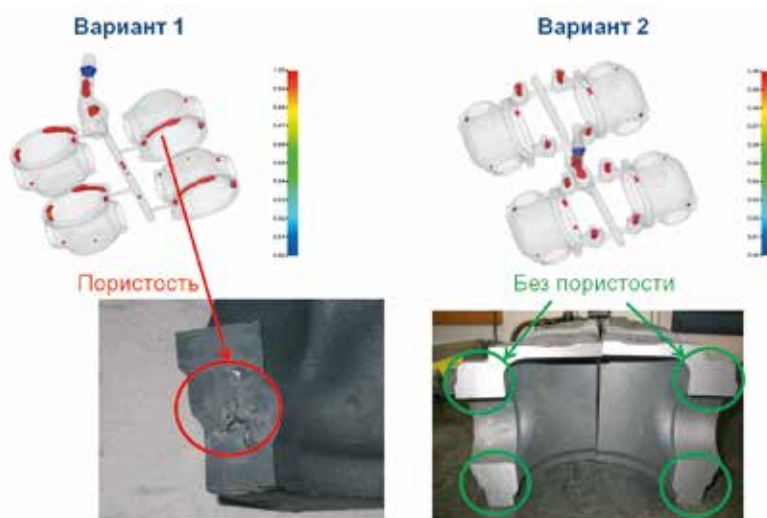


Образование холодного спая при моделировании заливки формы

QuikCAST Thermal solver

Модуль для расчета тепловой задачи, процессов кристаллизации металла и образования макropористости. Расчет тепловой задачи проводится совместно с моделированием гидродинамики, таким образом можно учесть преждевременную кристаллизацию металла при заполнении формы.

При решении задачи доступно применение: экзотермических оболочек, теплоизолирующих покрытий, внутренних и внешних холодильников, охлаждающих/нагревающих каналов в форме.



Результаты образования усадочной пористости при различных вариантах технологии

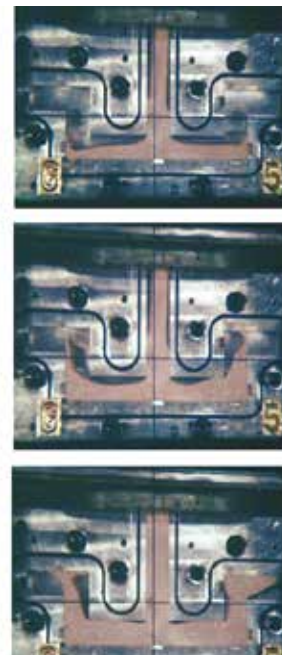


Специальные расчетные модули | QuikCAST

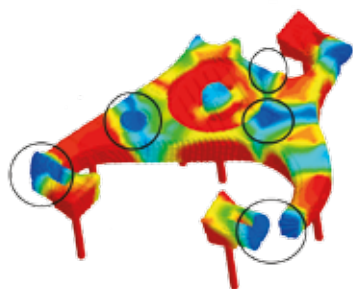
Core Blowing, Gassing Options

Специальные модули для расчета процессов при пескоструйном процессе: заполнение стержневого ящика песчано-воздушной смесью и расчет продувки стержня отверждающим газом.

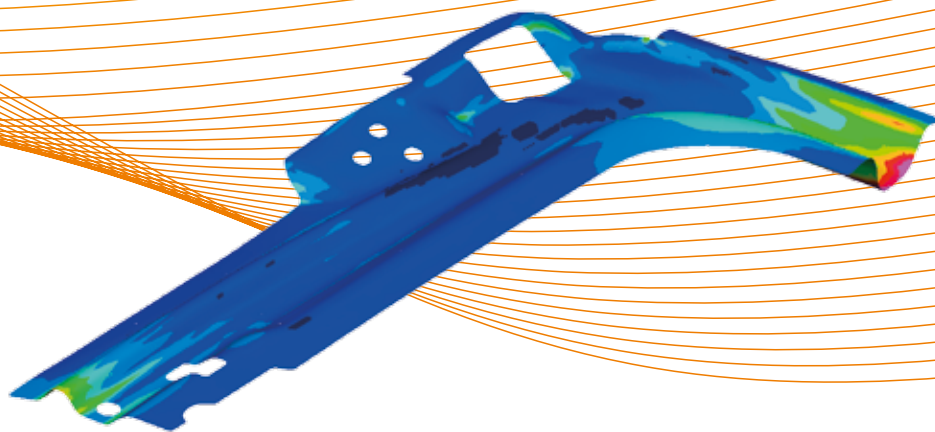
Использование модуля Core Blowing позволяет в короткие сроки оптимизировать режимы заполнения стержневого ящика, определить оптимальное расположение вентиляционных каналов в оснастке для полного заполнения и отверждения стержня.



Сравнения результатов моделирования заполнения стержневого ящика с экспериментальными данными



Результаты продувки стержня - зоны неполного отверждения смеси



Штамповка | PAM-STAMP

Компания ESI Group предлагает полное интегрированное масштабируемое решение PAM-STAMP для моделирования процессов обработки металлов давлением, которое позволяет технологам значительно быстрее принимать решения по разработке и совершенствованию технологических процессов и быть уверенными в полученных результатах.





PAM-STAMP 2G охватывает весь процесс листовой штамповки от проектирования штампа до характеристик формоизменения и проведения проверки, в том числе прогнозирование пружинения и внесение необходимых технологических корректировок.

PAM-STAMP 2G позволяет пользователям принимать решения в режиме реального времени с привлечением инженера-конструктора, поставщика материала, конструктора штамповой оснаст-

ки и разрабатывать, корректировать и оптимизировать технологический процесс с ранних стадий разработки.

Модульная структура программы направлена на моделирование всех элементов процесса штамповки – от проектирования инструмента и выбора заготовки до расчета осуществимости процесса и итогового проверочного расчета с определением всех технологических параметров перед запуском в производство.

В программе создан механизм проектирования будущего штампа и исходной заготовки перед штамповкой с помощью быстрого и простого в использовании модуля решения обратной задачи (развертки детали) PAM-INVERSE и конструкторского решения по созданию геометрии инструментальной наладки с возможностью параметрического конструирования PAM-DIEMAKER.

Основные расчетные модули PAM-STAMP

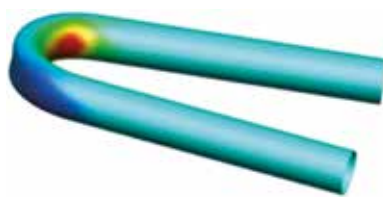
AUTOSTAMP

Модуль AUTOSTAMP предназначен для проведения расчета процесса листовой штамповки, позволяющего промоделировать всю технологическую цепочку от укладки заготовки на поверхность штампа до окончательных отделочных операций.

Помимо операций штамповки данный решатель позволяет рассчитывать деформацию труб – гибку и гидроформовку.

Результатом расчета является следующая информация:

- ▶ анимация всей цепочки штамповки;
- ▶ эпюры деформаций, напряжений, утонений/утолщения металла;
- ▶ энергосиловые параметры оборудования;
- ▶ оценка качества изделия по диаграмме предельной формоустойчивости FLD;
- ▶ наличие /отсутствие дефектов производства – трещин, разрывов, гофрированности;
- ▶ величины пружинения детали после извлечения ее из штампа.



Гибка труб, рассчитанная в AUTOSTAMP



Гидроформовка трубы, рассчитанная в AUTOSTAMP



Образование трещин при штамповке (реальное изделие)



Образование трещин при штамповке (моделирование процесса)



Die Compensation

Расчет пружинения заготовки может проводиться после любого этапа штамповки – эти данные могут быть использованы в модуле Die Compensation. Данный инструмент предназначен для изменения геометрии деформирующего инструмента с целью компенсации пружинения готового изделия.

Весь процесс реализован следующим образом:

1. Импорт начального инструмента и заготовки с полями смещения в результате пружинения.
2. Задание пределов допуска габаритных размеров детали.

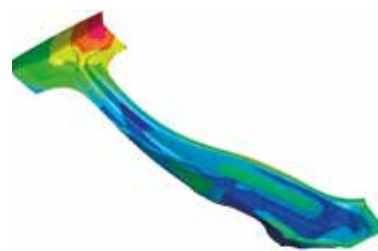
3. Выбор стадий штамповки, которые будут учитываться при расчете.

4. Запуск оптимизатора, который изменяет сеточную модель матрицы и пуансона для компенсации пружинения.

5. Проведение нового расчета всей цепочки штамповки с изменением инструмента с определением величины пружинения.

6. Сравнение формы заготовки с референсной моделью – штамповкой до пружинения и определение попадания в допуск.

7. При соблюдении допусков расчет завершается и скомпенсированный инструмент может быть



Пружинение в детали после штамповки

экспортирован в CAD, в обратном случае запускается новый расчет оптимизатора, согласно пункту 4.

PAM-DIEMAKER

Основная задача PAM-DIEMAKER состоит в создании готовой штамповой оснастки, которая в дальнейшем может использоваться как при расчетах, так и быть запущена в производство.

При работе в продукте существует две возможности проектирования: от готовой детали или от существующей оснастки.

Первый вариант обычно применяется в случае проектиро-

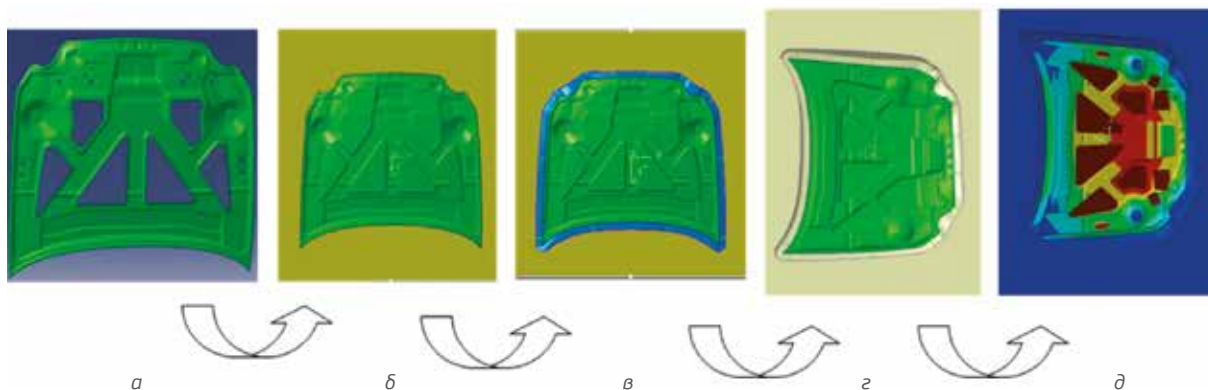
вания технологии изготовления новой детали.

Этапы проектирования в расчетном модуле PAM-DIEMAKER:

- ▶ импорт геометрии готового изделия;
- ▶ закрытие отверстий, удаление фланцев, обработка внешней кромки;
- ▶ создание параметрической поверхности прижима;
- ▶ создание штампового разреза на основе сети

кривых с заданными параметрами;

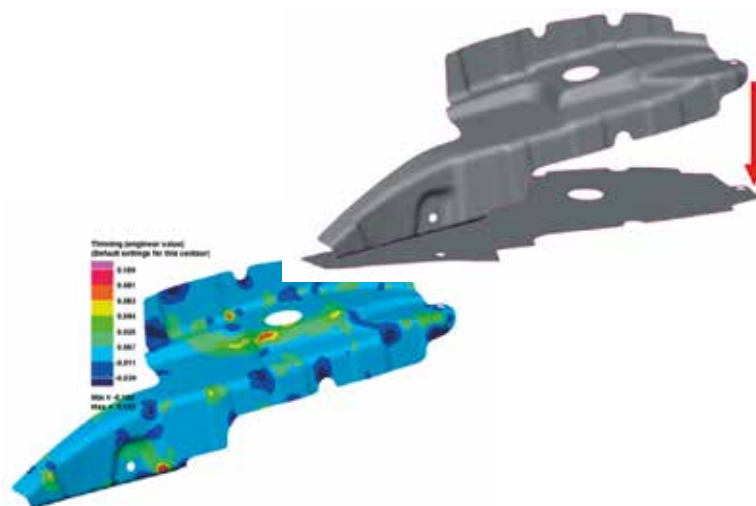
- ▶ обрезка внутренней части поверхности прижима и получение готовой матрицы;
- ▶ проверка инструмента на поднутрения;
- ▶ автоматическая генерация пуансона, прижима;
- ▶ экспорт полного набора инструментальной наладки для расчета в программе.



Шаги подготовки геометрии инструмента: а – изделие, которое необходимо получить; б – подготовка поверхности изделия и создание поверхности под прижим; в – создание переходов и радиусов; г – удаление лишних поверхностей и получение готового инструмента; д – проведение проверочного расчета

PAM-INVERSE

Развертка детали в PAM-INVERSE позволяет получить форму и размеры исходной заготовки перед штамповкой, а также наложить кривые обрезки на изделие. При решении обратной задачи также оценивается напряженно-деформированное состояние металла и величины утолщений, что позволяет получить первые сведения о технологичности процесса.



Получение развертки и предварительный анализ полей в модуле PAM-INVERSE

QUIKSTAMP PLUS

Быструю оценку технологии на осуществимость можно провести в течение нескольких минут с помощью модуля QUIKSTAMP PLUS, который покажет картину дефор-

мации металла, основные дефекты производства и предоставит необходимую информацию для корректировки технологии.

При этом QUIKSTAMP PLUS

является полнофункциональным решателем - учитываются все стадии листовой штамповки и полный набор оснастки.



Дополнительные возможности | PAM-STAMP

Гидроформовка

Процесс гидроформовки является уже не новой технологией, но при этом все еще остается непростым для реализации без использования каких-либо программных средств.

PAM-STAMP 2G представляет собой удобный инструмент для подбора параметров гидроформовки и создания модели оснастки, который дает возможность пользователю быстрее достичь устойчивого процесса. Програм-

ма позволяет проводить точное пошаговое моделирование, начиная с мгновенной оценки деформации и напряжений и заканчивая определением качества получаемого изделия.

PAM-STAMP 2G включает в себя инструмент Fluid Cell, который автоматически рассчитывает график подачи давления, что особенно важно при проектировании гидроформовки.

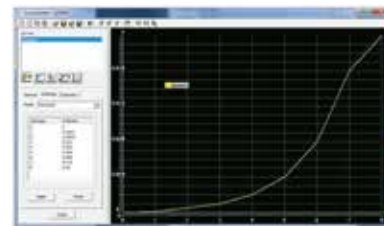
В инструменте Fluid Cell также

можно самостоятельно задать график подачи давления, указав объем используемой жидкости, скорость подачи, максимальную скорость перемещения частей заготовки, площадь контакта между заготовкой и матрицей, которая должна быть достигнута после завершения формовки.

К тому же существует возможность моделирования гидроформовки материалов, находящихся в состоянии сверхпластичности.



Труба, полученная гидроформовкой



Задание графика подачи давления для гидроформовки



Горячая и теплая штамповка

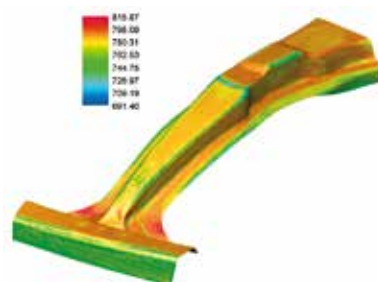
Горячая и теплая штамповка становится все более и более важной в обрабатывающей промышленности, целью которой является достижение высокого уровня деформаций в изделии.

В PAM-STAMP 2G реализована возможность:

- ▶ проверки осуществимости горячей штамповки, оценки времени производственного цикла, времени закалки, оптимизации начальной формы заготовки;
- ▶ учета тепловых, механических и металлургических явлений, таких как изменения

температуры инструмента, температурного расширения заготовки, потерь тепла конвекцией и многих других;

- ▶ анализа спроектированных охлаждающих каналов в инструменте;
- ▶ для материала задаются модуль Юнга, коэффициент Пуассона и кривые упрочнения в зависимости от температуры, теплопроводность, теплоемкость, так же указываются параметры температурного расширения и другие тепловые характеристики.



Температура изделия после горячей штамповки

Загибка роликами

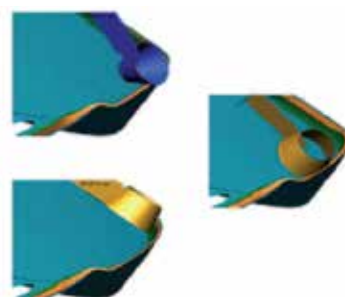
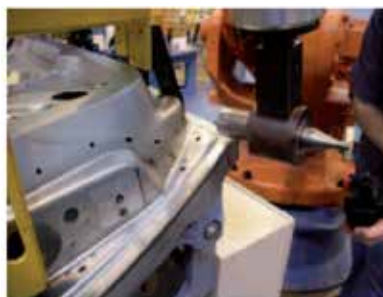
Подгиб является обычным методом сборки большинства автомобильных «закрытых» дверей, багажников и капотов. Традиционно подгиб делали с помощью пресс-операций или с помощью настольных подгибных машин.

В настоящее время все чаще загиб выполняют с помощью роботизированной машины при помощи ролика. Используя моделирование загибки, автопроизводители могут прогнозировать точную форму сборки, определять и устранять проблемы «закатки» и «раскатки», возможные трещины краев изделия и дефекты поверхности. PAM-STAMP 2G

имеет специальный модуль для моделирования роботизированного подгиба роликами.

Таким образом, программный комплекс PAM-STAMP является универсальным инструментом, который позволяет проектиро-

вать и изучать все варианты процесса листовой штамповки, проводить оптимизацию и получать на выходе готовую технологию для переноса ее в реальное производство.

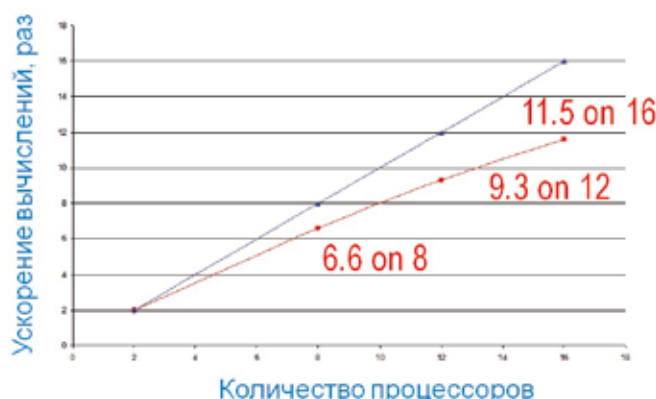


Загибка роликами: реальный процесс и моделирование

Многопроцессорность программы

PAM-STAMP может проводить расчет в параллельном режиме в двух вариантах: SMP и DMP.

SMP режим предназначен для расчета на одной машине на одной машине и хорошо параллелится до 8 процессоров, DMP режим рекомендуется для многопроцессорных систем и кластеров с числом вычислительных ядер свыше 8.



Ускорение расчета при распараллеливании

Мультиоперационная компенсация инструмента

PAM-STAMP 2G предлагает решения для управления компенсацией всех инструментов, участвующих в операциях. Специальные возможности позволяют автоматически управлять компенсацией обрезного инструмента для обеспечения хорошей совместимости с соответствующим формующим инструментом. Другие возмож-

ности позволяют точно позиционировать заготовку благодаря подстройке инструмента в течение всей технологической цепочки. Также можно компенсировать инструменты в какой-то одной операции с учетом окончательного пружинения в конце полной цепочки.

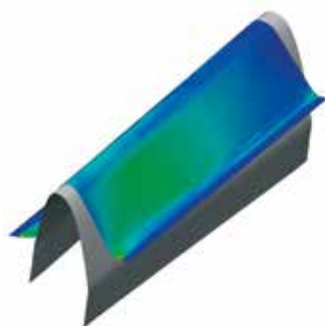
Для изготавливаемых таким

способом внешних панелей автомобиля может быть достигнуто превосходное качество поверхности, так как фактически нет контакта штампа с деталью. С PAM-STAMP 2G процесс может быть смоделирован для того, чтобы подобрать лучшие параметры. Также может быть рассчитано пружинение и его компенсация.

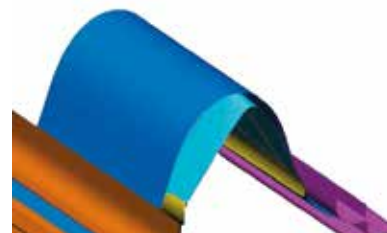
Обтяжка

В современной промышленности существуют различные варианты процесса обтяжки, начиная от гибки растяжением профилей до обтяжки панелей, от внешних панелей фюзеляжа до передней кромки крыла.

Сам процесс является достаточно деликатным, и очень важно найти правильный баланс технологических параметров, чтобы получить хорошее качество деталей и уменьшить количество опытных партий, особенно, когда стоимость сырья и материалов для аэрокосмической отрасли (алюминия и титана) достаточно высока. PAM-STAMP 2G широко используется в аэрокосмической промышленности для прогнози-



Получение изделия обтяжкой



Моделирование процесса обтяжки в PAM-STAMP

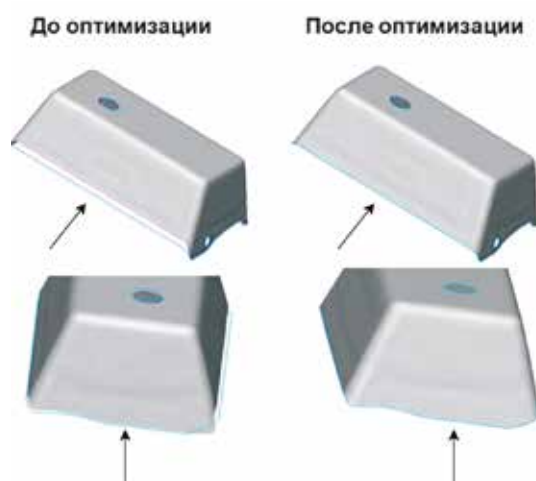
рования качества формируемых деталей для данного процесса.

При помощи данного программного продукта может быть проанализирована и оптимизирована сложная кинематика

процесса гибки растяжением. Помимо этого можно проанализировать пружинение и осуществить его компенсацию.

Оптимизация

Помимо прямого моделирования процесса штамповки в программе PAM-STAMP реализованы два оптимизационных инструмента, которые позволяют проводить оптимизацию начальной формы заготовки и кривых обрезки с целью получения требуемой формы конечного изделия. При этом учитывается вся многостадийность процесса, соответственно, можно оптимизировать процесс последовательной штамповки.



Оптимизация формы заготовки: исходный вариант и после оптимизации

Прогнозирование поверхностных дефектов

Появление поверхностных дефектов тесно связано с явлением пружинения. Обнаружение мелких дефектов возможно только в результате очень точного моделирования пружинения, которое реализуется в PAM-STAMP 2G. Программа определяет местоположение вновь появившихся дефектов, используя метод виртуальной шлифовки или датчик для обнаружения дефектов и их количественной оценки. С этими



Анализ состояния поверхности

данными пользователь может легко локализовать дефекты,



Анализ состояния поверхности

как это делают на производстве, и измерить их глубину и площадь.

Сверхпластичная формовка

Сверхпластичное формоизменение – особенность механического поведения некоторых алюминиевых и титановых сплавов, при котором может быть получен чрезвычайно высокий уровень пластичности, что позволяет успешно штамповать изделия сложных форм, которые невозможно создать в ином случае. На протяжении многих лет эта особенность используется в аэрокосмической отрасли и все



Удлинение заготовки в состоянии сверхпластичности

чаще применяется в автомобильной промышленности.

При этом проектирование этого процесса является очень сложной и трудной задачей. PAM-STAMP 2G имеет встроен-

ные модули для помощи в поиске оптимальной схемы процесса и технологических параметров для оптимизации времени процесса и использования материала.

Создание виртуальных прототипов всей цепочки штамповки

Изначально целью моделирования штамповки была оценка стадии формоизменения, результаты которой использовались для устранения трещин и складок. Затем техника моделирования продвинулась вперед до оценки пружинения и его компенсации.

С PAM-STAMP 2G возможно создать полный виртуальный прототип всей цепочки штамповки, в том числе:

- ▶ формоизменение и пружинение;
- ▶ правка и пружинение;
- ▶ фланцевание и пружинение;

- ▶ подгиб краев и пружинение.

Это позволяет инженеру иметь полный контроль над всем процессом штамповки, обеспечивая высокое качество и отсутствие «сюрпризов» во время испытаний реальных прототипов.

Создание диаграммы предельной формоустойчивости

Диаграмма предельной формоустойчивости FLD позволяет критерияльно оценить качество получаемого изделия и показать в каких частях деформированного металла возможно образование гофр и разрывов. Помимо возможности задания кривых для диаграммы FLD пользователем в программе реализована эмпирическая модель Keeler, которая позволяет строить диаграммы автоматически для целого ряда сталей.



Качественный анализ состояния поверхности по диаграмме предельной формоустойчивости

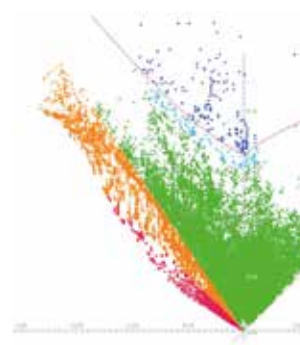
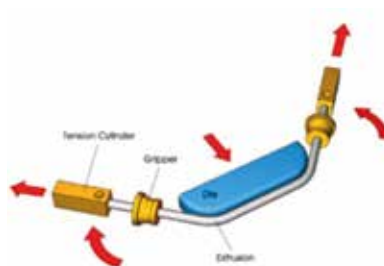


Диаграмма предельной формоустойчивости

Трубогибочное моделирование

В ответ на потребность рынка в деталях сложной формы с небольшой степенью изгиба, RAM-TUBE 2G обеспечивает точное трубогибочное моделирование с реалистичным воспроизведением поведения инструмента для получения хороших результатов формоизменения и для того, чтобы избежать проблем на дальнейших стадиях.



Схематичное изображение процесса гибки



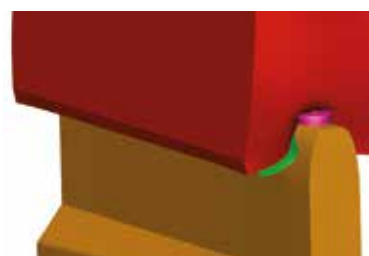
Создание модели гибки трубы

Штамповка эластичной средой

Для малых объемов производства, в основном в аэрокосмической отрасли, существует технологический процесс формовки эластичным пуансоном, который позволяет производить изделия очень сложных форм. Кроме того, для изготавливаемых таким способом внешних панелей автомобиля может быть достигнуто пре-

восходное качество поверхности, так как фактически нет контакта штампа с деталью.

С RAM-STAMP 2G процесс формовки эластичным пуансоном может быть смоделирован для того, чтобы подобрать лучшие параметры процесса. Также может быть рассчитано пружинение и его компенсация.



Формовка изделия полиуретановым пуансоном

Усовершенствованный решатель с применением режима Speed Up

Новая возможность позволяет в среднем увеличить скорость расчета по сравнению с прежним решателем в три и более раз! Это достигается за счет специальных расчетных методов, созданных ESI Group.

Отпадает необходимость вручную настраивать параметры для более быстрого расчета. Можно проводить расчеты на качественной сетке конечных элементов с полным соблюдением физичности процесса. Но при этом скорость расчета будет выше.



Формовка изделия полиуретановым пуансоном

Примеры:

- ▶ холодная штамповка;

	Время расчета без новой опции SSU	Время расчета с новой опции SSU	Ускорение расчета
Прижим	25 мин	11 мин	2.27
Формовка	49 мин	15 мин	3.26
Общее время	1ч 14 мин	26 мин	2.84

Моделирование проводилось в DMP режиме на 4 процессорах Intel XEON E5530 2.4 GHz / 24 Gb RAM в системе RedHat 5.7



- ▶ горячая штамповка;

	Время расчета без новой опции SSU	Время расчета с новой опции SSU	Ускорение расчета
Прижим	02 мин	01 мин	2
Формовка	42 мин	20 мин	3.5
Закалка	8ч 58 мин	5ч 38 мин	1.6
Общее время	9ч 42 мин	5ч 51 мин	1.66

Моделирование проводилось в DMP режиме на 8 процессорах Intel XEON E5-2680 2.7 GHz / 64 Gb RAM в системе Linux 2.6.32



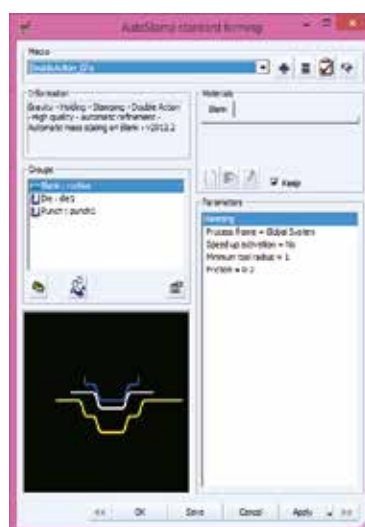
- ▶ холодная штамповка с использованием объемных элементов;

	Время расчета без новой опции SSU	Время расчета с новой опции SSU	Ускорение расчета
Прижим	3ч 36 мин	1ч 13 мин	2.98
Формовка	3ч 49 мин	1ч 23 мин	2.77
Общее время	7ч 25 мин	2ч 36 мин	2.85

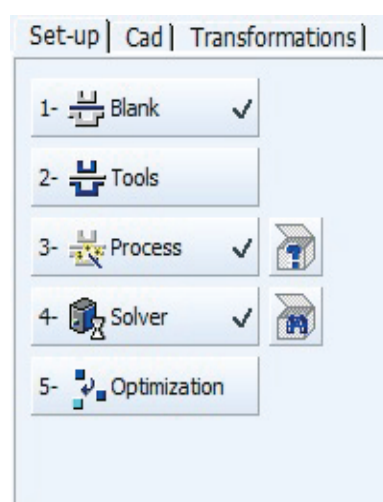
Моделирование проводилось в DMP режиме на 4 процессорах Intel XEON E5640 2.67 GHz / 32 Gb RAM в системе Linux 2.6.32

Мастер подготовки исходных данных

Реализован новый подход к заданию исходных параметров: пошаговое введение требуемых данных пользователем. Все необходимые параметры располагаются в логичной последовательности, позволяя пользователю шаг за шагом готовить задачу для моделирования. Никакие данные не будут потеряны или забыты: начиная от импорта геометрии и заканчивая запуском на расчет. Все это может быть реализовано с большей легкостью и удобством.



Задание параметров макроса



Мастер подготовки исходных данных

Прямой импорт геометрии

В программе реализован прямой импорт геометрии из Siemens NX, Parasolid, CATIA V5. Обмен данными становится намного быстрее и не требует применения промежуточных форматов файлов.

*.igs	*.vda	*.x_t
*.x_b	*.xmt_txt	*.xmt_bin
*.drc	*.xml	*.cdb
*.asc	*.bf	*.unv
*.nas	*.pc	*.ps
*.pnf	*.stl	*.fma
*.af	*.mif	*.t52

Форматы для импорта

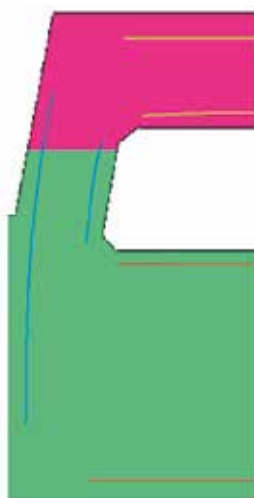
Применение сварных заготовок

В PAM-STAMP реализована возможность создания и расчета составных сварных заготовок, позволяющих снизить вес деталей.

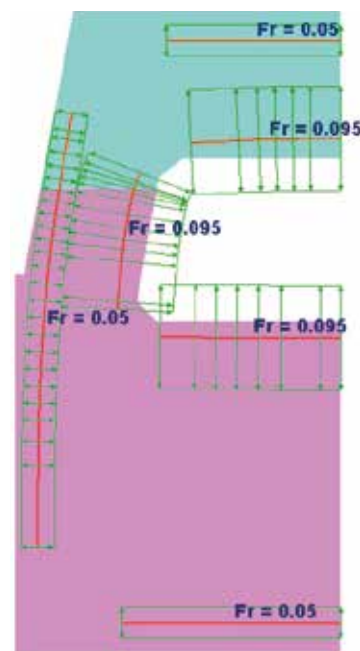
Задание всех параметров происходит в стандартном редакторе заготовок. Осуществляется определение сварного шва, назначаются разные свойства материалов, которые затем учитываются в процессе расчета. Кроме того, при создании перетяжных ребер эти параметры также учитываются.

Данная возможность позволяет полностью промоделировать процесс штамповки составных заготовок, точно оценить пружинение (предсказание которого является сложным в условиях производства), оценить эффективность перетяжных ребер

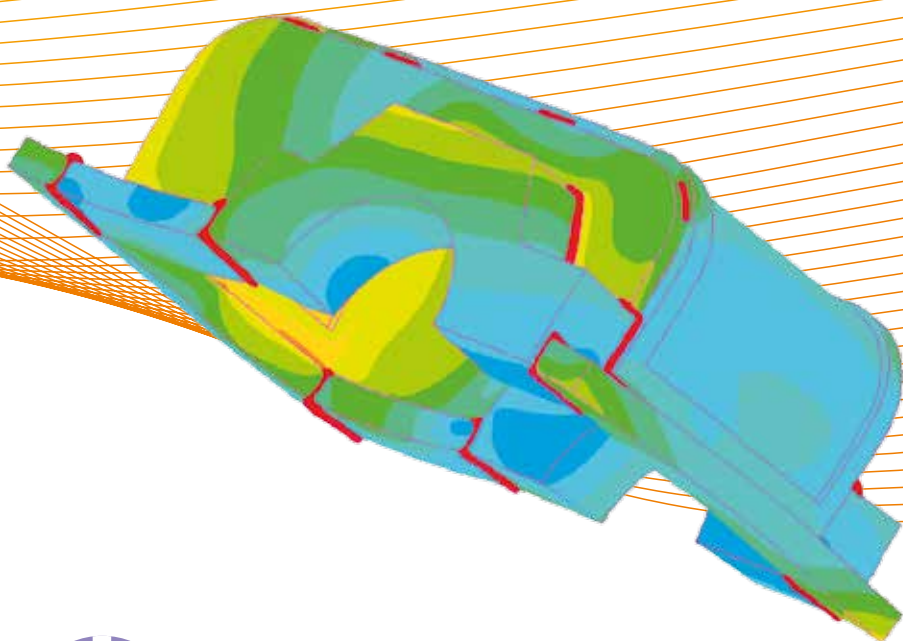
и скорректировать их в зависимости от параметров сваренных частей заготовки, увидеть поведение самого сварного шва.



Применение сварной заготовки и задание перетяжных ребер



Применение сварной заготовки и задание перетяжных ребер



Сварка и термообработка I VIRTUAL WELDING & ASSEMBLY SUITE

Одним из направлений работы ESI является моделирование процессов сварки и термической обработки металлов. Для этой цели разработан ряд программных продуктов, объединенных в линейку VIRTUAL WELDING & ASSEMBLY SUITE.

В неё входят:

- ▶ VISUAL-WELD для моделирования локальных участков конструкций;
- ▶ WELD PLANNER для моделирования процесса сварки тонколистовых конструкций;
- ▶ PAM-ASSEMBLY для моделирования сложных сборок.





Моделирование сварки в VISUAL-WELD



Моделирование процесса сварки основывается на решении тепловой, металлургической и механической задач.

Схема расчетов представлена на рисунке.

Схема расчета процессов сварки

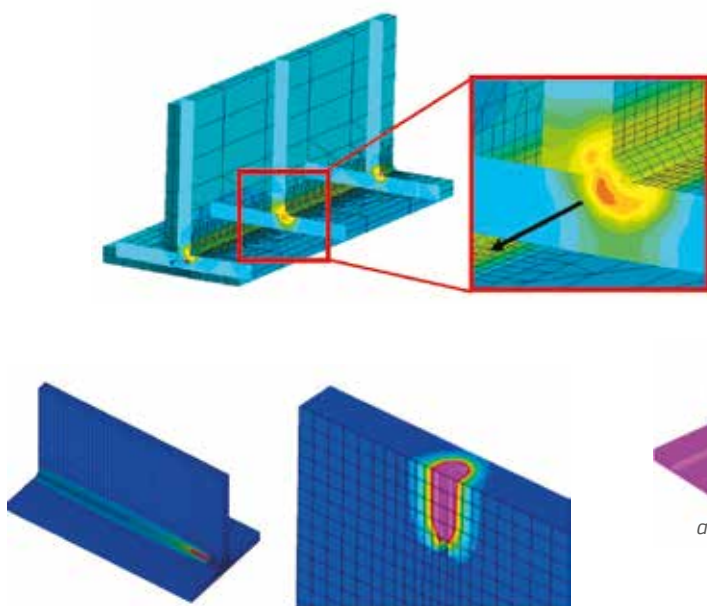
Моделирование сварочных процессов предполагает следующие входные параметры:

- ▶ режимы сварки: ток, напряжение, скорость сварки;
- ▶ условия закрепления конструкции;
- ▶ количество проходов в многопроходных швах;
- ▶ температуру предварительного подогрева;
- ▶ наличие ТО после сварки;
- ▶ характеристики основного и сварочного материала.

Расчеты позволяют определить следующие данные:

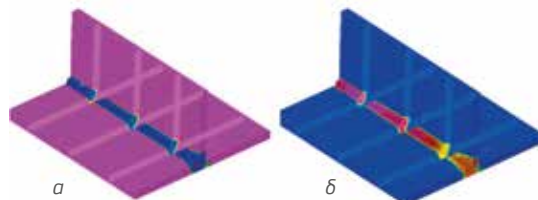
- ▶ напряженно-деформированное состояние сварных соединений и элементов сварной конструкции в зависимости от условий закрепления и видов закреплений;
- ▶ остаточные сварочные напряжения и деформации;
- ▶ эксплуатационные напряжения с учетом

- остаточных сварочных напряжений и деформаций;
- ▶ глубина проплавления, ширина зоны термического влияния;
- ▶ возможность образования холодных и горячих трещин в сварном соединении;
- ▶ структура шва и зоны термического влияния;
- ▶ твердость материала по Виккерсу.



Поля распределения температуры от сварочного источника

Остаточные напряжения после сварки



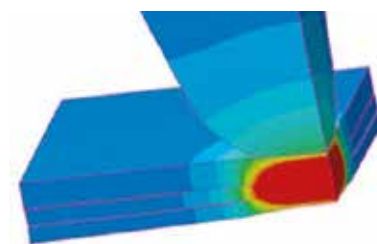
Структура сварного соединения после сварки, где:

а – доля основного материала;
б – доля наплавленного материала



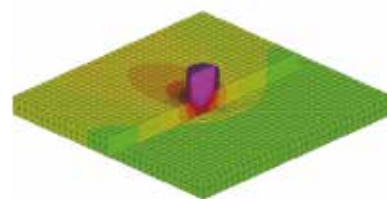
Моделируемые технологии сварки в VISUAL-WELD

- ▶ ручная дуговая сварка покрытым электродом;
- ▶ полуавтоматическая сварка плавящимся электродом в среде активных газов;
- ▶ полуавтоматическая сварка неплавящимся электродом в среде инертных газов;
- ▶ электронно-лучевая сварка;
- ▶ лазерная сварка;
- ▶ автоматическая сварка под флюсом;



Поля температур в процессе контактно точечная сварка

- ▶ контактная точечная и шовная сварка;



Поля температур в процессе сварки трением с перемешиванием

- ▶ сварка трением с перемешиванием.



Моделирование сварки в WELD PLANNER

WELD PLANNER создан для расчета процессов сварки методом «усадки».

Этот метод позволяет быстро оценить общие сварочные коробления в зависимости от схемы закрепления конструкции. Основная задача, решаемая с помощью ПО, – минимизация общих сварочных деформаций и короблений конструкции.

При помощи WELD PLANNER возможно в короткие сроки определить характер коробления детали, а также минимизировать их, применяя различные варианты

последовательности выполнения швов и условий закрепления.

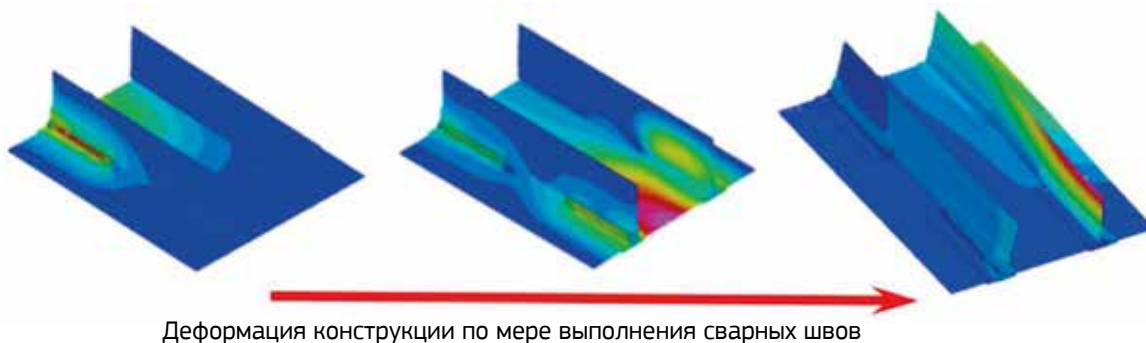
Оценка общих деформаций методом «усадки» предполагает следующие входные данные:

- ▶ последовательность выполнения сварочных швов;
- ▶ условия закрепления конструкции;
- ▶ механические характеристики основного и сварочного материала.

Расчеты позволяют определить поля общих деформаций и перемещений после сварки.



Схема расчета сварочных деформаций методом «усадки»



Деформация конструкции по мере выполнения сварных швов

Коробления детали по мере выполнения сварочных швов

Моделируемые технологии сварки в WELD PLANNER

- ▶ ручная дуговая сварка покрытым электродом;
- ▶ полуавтоматическая сварка плавящимся электродом в среде активных газов;
- ▶ полуавтоматическая сварка неплавящимся электродом в среде инертных газов;
- ▶ электронно-лучевая сварка;
- ▶ лазерная сварка;
- ▶ автоматическая сварка под флюсом;
- ▶ контактная точечная и шовная сварка.





Моделирование сварки в PAM-ASSEMBLY

PAM-ASSEMBLY создан для расчета процессов сварки методом «усадки». ПО использует SYSWELD в качестве решателя.

В основу работы ПО заложен локально-глобальный подход. Идея метода основывается на индивидуальном расчете местных и общих сварочных деформаций. Локальная модель — отдельно

взятое сварное соединение, при расчете которого учитываются нелинейные и нестационарные процессы, влияющие на остаточные сварочные напряжения и деформации. Локальная модель рассчитывается при помощи VISUAL-WELD.

Глобальная модель — свариваемая конструкция, на которую

переносятся результаты локальных моделей. Перенос результатов осуществляется согласно заданной последовательности выполнения сварных швов.

Основная задача данного ПО — оценка и минимизация общих сварочных деформаций и короблений конструкции.

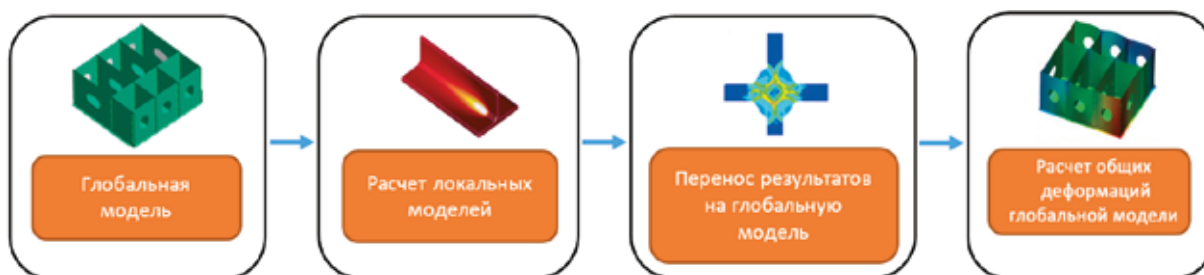
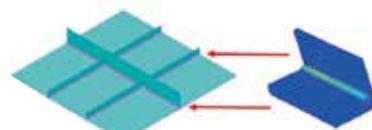


Схема работы PAM-ASSEMBLY

Оценка общих деформаций методом «усадки» предполагает следующие входные данные:

- ▶ последовательность выполнения сварных швов;
- ▶ условия закрепления конструкции;
- ▶ используемые основной и сварочный материалы.

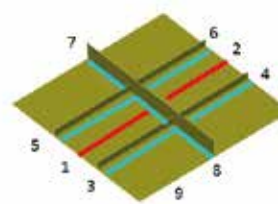
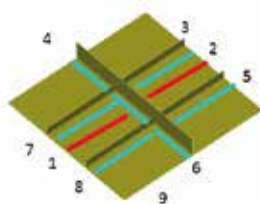
Расчеты позволяют определить напряженно-деформированное состояние сварных соединений и элементов сварной конструкции в зависимости от условий закрепления и последовательности сварки.



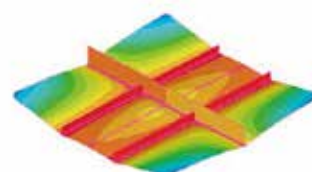
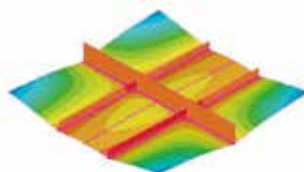
Компьютерная модель изделия и локальные соединения

Моделируемые технологии сварки в PAM-ASSEMBLY

- ▶ ручная дуговая сварка покрытым электродом;
- ▶ полуавтоматическая сварка плавящимся электродом в среде активных газов;
- ▶ полуавтоматическая сварка неплавящимся электродом в среде инертных газов;
- ▶ электронно-лучевая сварка;
- ▶ лазерная сварка;
- ▶ автоматическая сварка под флюсом;
- ▶ контактная точечная и шовная сварка.



Порядок выполнения сварочных швов



Результаты моделирования коробления детали в зависимости от последовательности сварки





Моделирование термообработки в VISUAL-HEAT TREATMENT

Моделирование ТО основывается на решении тепловой, металлургической и механической задач. При моделировании химико-термической обработки учитываются также диффузионные процессы. Схема моделирования представлена на рисунке.

Схема расчета процессов ТО



Моделирование процессов ТО предполагает следующие входные данные:

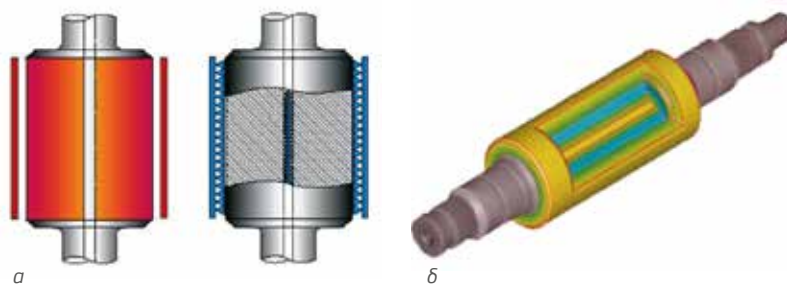
- ▶ режим ТО: скорость нагрева и охлаждения, время выдержки;
- ▶ условия закрепления конструкции;
- ▶ количество циклов ТО;

- ▶ тип охлаждающей среды;
- ▶ материал детали. Расчеты позволяют определить следующие данные:
- ▶ поля напряжений и деформаций;
- ▶ рабочие напряжения с учетом остаточных напряжений и деформаций после ТО;

- ▶ решение тепловой задачи с учетом скрытой теплоты фазовых переходов;
- ▶ возможность образования холодных и горячих трещин в детали при ТО;
- ▶ микроструктура изделия;
- ▶ твердость материала по Виккерсу.

Моделируемые технологии ТО

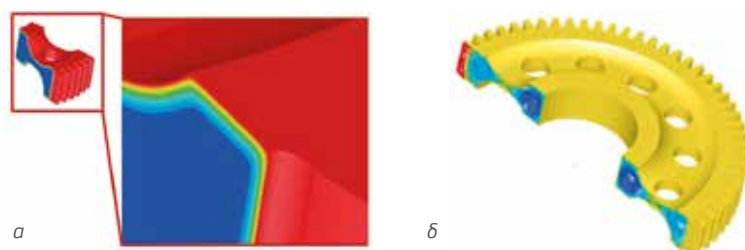
- ▶ сквозная закалка;
- ▶ химико-термическая обработка:
 - цементация;
 - азотирование;
 - цианирование;
- ▶ изотермическая термообработка:
 - отжиг;
 - отпуск;
 - старение;
- ▶ поверхностная закалка.



Структура прокатного вала после закалки: а – Схема процесса термической обработки; б – Распределение структур после ТО

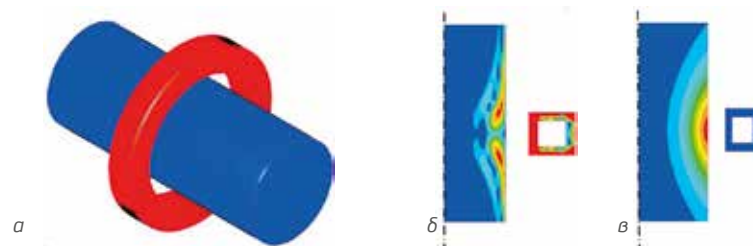
ХТО шестерни редуктора:

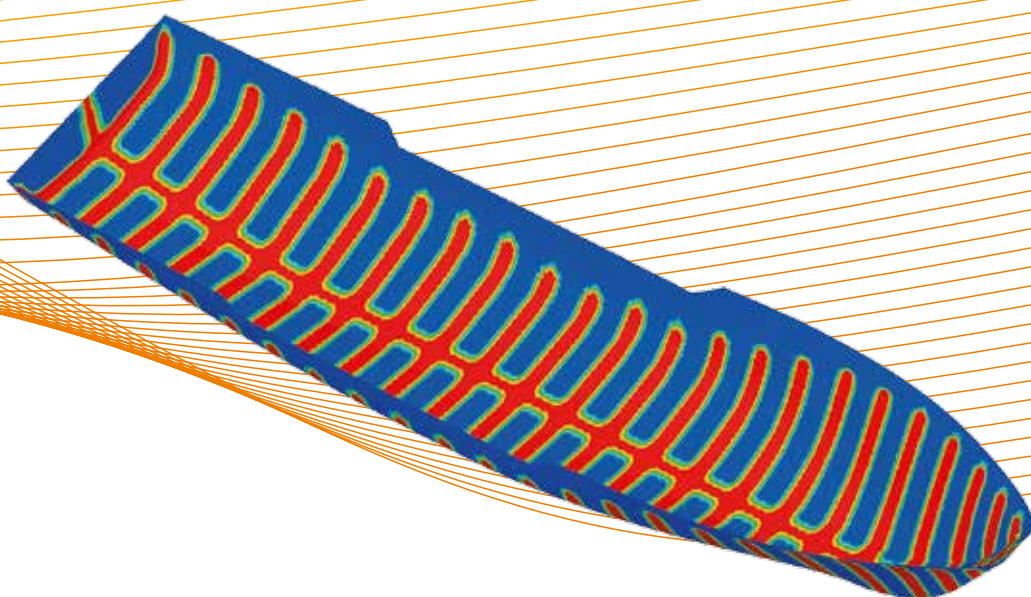
а – распределение углерода после ХТО;
б – распределение мартенсита после ХТО



Индукционная закалка вала:

а – компьютерная модель детали и индуктора;
б – распределение вихревых токов;
в – распределение температур





Композиты I PAM-RTM, PAM-FORM, PAM-DISTORTION

Решения компании ESI Group в области проектирования технологий изготовления изделий из композиционных материалов отвечают на все основные потребности производства (инжекционные методы, формовка, анализ короблений) и позволяют разработать оптимальный процесс изготовления конструкции в кратчайшие сроки.





Моделирование инъекционных процессов I PAM-RTM

Моделируемые процессы в PAM-RTM

- ▶ подача смолы под давлением в закрытую форму, технология RTM, Light RTM (изотермический процесс пропитки);
- ▶ вакуумная инфузия (VARI);
- ▶ RTM с приложением дополнительного давления на форму и комбинированный RTM под давлением (CRTM);
- ▶ предварительный нагрев оснастки, изделия и смолы;
- ▶ неізотермическая пропитка (с учетом теплообмена между оснасткой, изделием и связующим);
- ▶ полимеризация изделия;
- ▶ расчет угла сдвига волокон в соответствии с криволинейностью формы (основан на геометрическом алгоритме) и многое другое;
- ▶ проведение быстрого моделирования (порядка одной минуты) для оценки конечного распределения фронта пропитки.

Получаемые результаты расчетов

- ▶ скорость фронта связующего;
- ▶ время заполнения изделия;
- ▶ время полимеризации;
- ▶ прогнозирование расположения зон недопропитки;
- ▶ определение необходимого объема связующего для процесса пропитки, а также величины его потерь и т.д.

Варьируемые параметры

- ▶ технология производства (RTM, Light RTM, VARI, CRTM и т.д.);
- ▶ свойства моделируемых материалов (матрица и армирующий наполнитель), толщину изделия, объемное содержание волокна;
- ▶ температурный цикл производства (температура нагревательных элементов и связующего);
- ▶ схема производства, расположение вентиляционных и вакуумных отверстий, давление на входе, расход связующего и т.д.



Инжекция днища кузова-пропитка 40%



Инжекция днища кузова-пропитка 60%



Инжекция днища кузова-пропитка 80%

Возможности программы PAM-RTM

Взаимосвязь с другими продуктами

Для моделирования процесса пропитки важно учитывать изменение проницаемости, возникающее из-за углов сдвига волокон. Импорт результатов драпировки возможен из собственного модуля QIUKFORM или из продуктов FiberSim и CATIA.

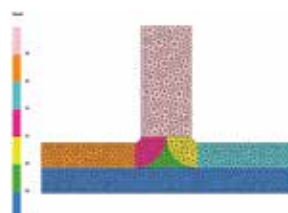
Импортируемый файл содержит информацию о расположении зон выкладки, составе ламината, толщине и ориентации каждого слоя. При работе с файлами из внешних программных продуктов импорт осуществляется в автоматическом режиме, через специальный модуль DEX Process (Visual Environment).

Далее пользователь может использовать преобразованную КЭ модель в расчетах в программе PAM-RTM.

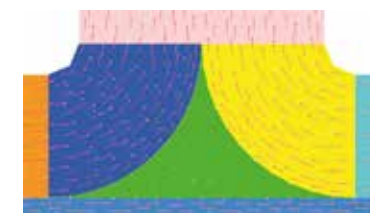
Другой подход к учету ориентации волокон утка и основы – указание данных свойств вручную непосредственно в программе PAM-RTM.



Оболочечная модель. Визуализация толщины ламината.
Модуль DEX Process, Visual Environment

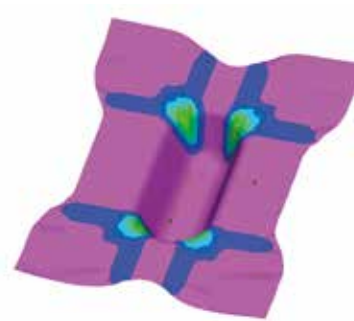
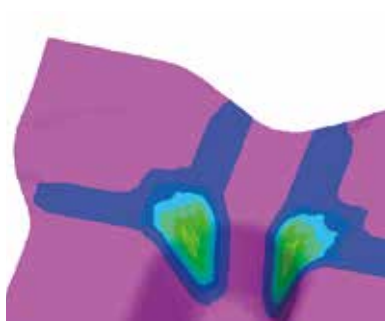


Визуализация ориентации нитей основы для части изделия в PAM-RTM



Учет углов сдвига волокон, модуль QUIKFORM

Данный модуль входит в состав продукта RAM-RTM. Работа данного модуля основана на геометрическом алгоритме. На рисунке приведена картина распределения углов сдвига волокон в соответствии с криволинейностью формы изделия. В углах детали произошли наибольшие искажения углов – при этом на центральной части и боковых стенках материал остался без изменений.

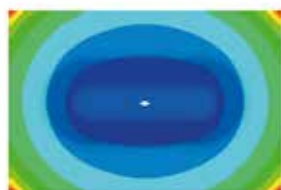


Поле визуализации углов сдвига между волокнами сухой ткани после проведения процесса формовки изделия

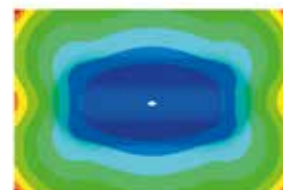
Учет стадии формовки

При проектировании изделий из композиционных материалов важно учитывать все стадии производства. Картины распределения времени пропитки приведены на рисунках ниже. Левый рисунок соответствует результатам пропитки без учета сдвига волокон, правый – с учетом (переменный коэффициент проницаемости).

Заметно, что без учета результатов моделирования формовки композита фронт пропитки



Без учета драпировки



С учетом драпировки

Время пропитки изделия для детали с постоянной и переменной проницаемостью

– равномерный концентрический, что не соответствует реальной картине течения, в то время как на рисунке справа пропитка со-

ответствует реальности – здесь расчет проведен с учетом изменения углов.

Объемное моделирование

При проектировании оптимальной технологии пользователь может проводить расчет для сечения (если такое возмож-

но определить), для оболочечной модели или для трехмерной конструкции.

Анализ результатов для раз-

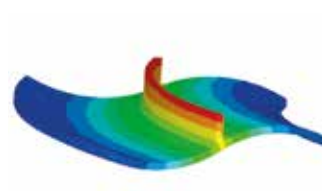
личных постановок: сечение, оболочка и 3D модель – дают одинаковые значения.



Модель сечения детали.
Время пропитки 20.2 сек



Оболочечная модель.
Время пропитки 21.3 сек



Трехмерная модель.
Время пропитки 19.9 сек

В первом приближении удобнее работать на модели с меньшим количеством конечных элементов. Однако для оптимального сравнения с экспериментом желательно проводить сравнение с трехмерной конструкцией. Такой анализ дает более подроб-

ное описание технологического процесса и позволяет оценить дефекты внутри изделия. Например, при моделировании процесса вакуумной инфузии, за счет использования трехмерной модели возможно явным образом описать слой распределитель-

ной ткани и получить реальный фронт распределения связующего. Вначале смола пропитывает распределительную сетку и далее движется вниз, по толщине изделия.

Неизотермическое моделирование

При расчете неизотермической задачи, в первую очередь, учитывается изменение вязкости связующего в зависимости от температуры и времени. Расчет ведется с учетом теплообмена между изделием, оснасткой и связующим.

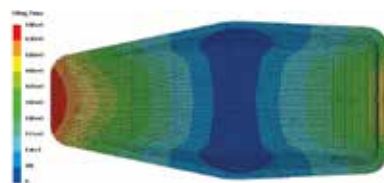
В продукте PAM-RTM моделируются следующие неизотермические задачи:

- ▶ предварительный нагрев изделия в оснастке

Данный модуль помогает подобрать оптимальный режим нагрева для обеспечения равномерного прогрева заготовки. Неизотермический расчет предварительного нагрева оснастки и изделия с учетом теплообмена и свободной конвекции.

- ▶ неизотермический процесс пропитки

Моделирует процесс пропитки с учетом изменения вязкости связующего и теплообмена меж-



Время пропитки авиационного изделия



Распределение степени полимеризации в конце пропитки авиационного изделия

ду смолой, изделием и оснасткой. Расчет ведется с учетом свободной конвекции.

- ▶ полимеризация изделия

В данном модуле рассчитывается неизотермический процесс полимеризации. Моделирование ведется с учетом теплообмена между смолой, изделием и оснасткой. Пользователь может учитывать нагрев системы или свободную конвекцию. Для данного модуля обновлен программный код для расчета процессов полимеризации. Добавлен адаптивный шаг по времени для расчета процессов полимеризации.

- ▶ непрерывное моделирование
- Для максимального приближения расчётных значений к экспериментальным, необходимо проводить непрерывное неизотермическое моделирование.

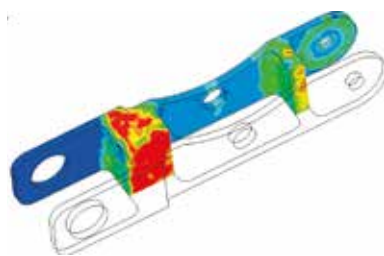
При таком подходе поочередно моделируется каждая из описанных выше задач, с последовательной передачей результатов с одного этапа производства на следующий: расчет предварительного нагрева (сохранение тепловых полей), расчет неизотермической пропитки (сохранение тепловых полей и степени полимеризации), процесс полимеризации.

Прогнозирование пористости

Одной из функций PAM-RTM является определение оптимальной переменной скорости подачи связующего, соблюдение которой обеспечит минимальное содержание микро и макропор в изделии (на основе экспериментальных данных).

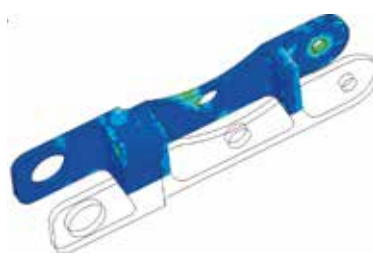
Специализированный функционал PAM-RTM позволяет в автоматическом режиме осуществить подбор оптимальной переменной скорости подачи связующего таким образом, что количество пор в готовом изделии будет минимальным.

На рисунке приведено содержание пор в пропитываемом композиционном материале, которые



Содержание пор в готовом изделии. Пропитка велась с постоянной скоростью инъекции

образуются при постоянной скорости инъекции. Красным показаны зоны, где процент пор превышает максимально допустимое для данной конструкции значение. Их количество определяется скоростью течения фронта смолы внутри композитной ткани.



Содержание пор в готовом изделии. Пропитка велась с переменной скоростью инъекции

После автоматической оптимизации скорости подачи связующего процент пористости сократился более чем в два раза, при этом образования пор, выходящих за пределы допустимого, удалось избежать.

Моделирование последовательной пропитки

Моделирование последовательной пропитки в продукте PAM-RTM реализуется за счет управления специальным функ-

ционалом «триггер». Закрытие и открытие портов подачи/отвода связующего возможно осуществлять в нужном порядке при до-

стижении необходимого значения давления, температуры и т.д.

Моделирование процесса RTM с дополнительным сжатием формы

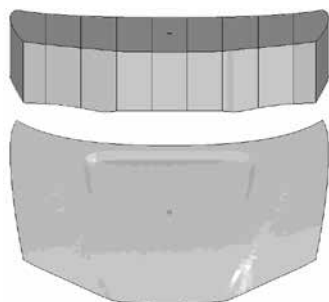
Усовершенствованная технология, позволяет получить качественное изделие за короткий промежуток времени. Применяется, в основном, в автомобильной промышленности.

Технология осуществляется

следующим образом. Производится впрыск необходимого количества связующего, и далее за счет давления инструмента происходит перераспределение смолы по всей площади детали. Такая технология позволяет эко-

номить связующее и значительно сократить время производства.

В продукте PAM-RTM возможно проводить расчет такого тех. процесса, используя монолитный или составной инструмент в зависимости от поставленной задачи.



Моделируемая деталь - автомобильный капот и группа инструментов, оказывающее внешнее давление на изделие

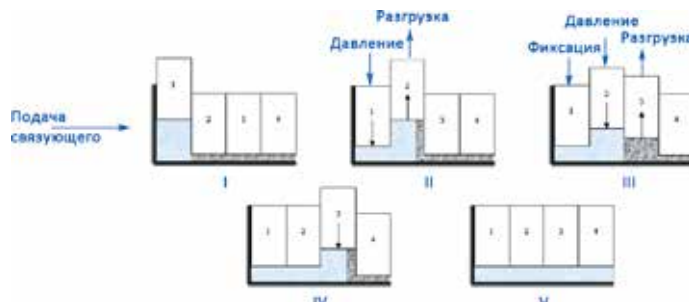


Схема пропитки изделия в модуле CRTM, внешнее давление на конструкцию осуществляется за счет составной группы инструментов



Дополнительные возможности PAM-RTM

Автоматическое определение оптимальных точек инжекции
Специализированный модуль позволяет в автоматическом режиме определять оптимальные порты подачи связующего. Работа модуля основана на родительском алгоритме. Выбор оптимальных портов осуществляется по критерию времени пропитки.

Быстрый расчет времени пропитки и определение последнего пропитанного элемента

При активации данного функционала проводится быстрая оценка выбранной технологической схемы. Определяется, какая часть изделия пропитается в последнюю очередь.

Моделирование больших моделей, более 100000 элементов
Детальное описание изделия, проведение расчета для объемных, крупногабаритных конструкций, без потери точности.

DMP решатель. Продолжи-

тельность расчета зависит от предоставляемого типа решателя. Наличие DMP решателя, значительно сокращает время расчета, что особенно актуально для крупногабаритных изделий.

Создание дополнительных зон непосредственно в продукте PAM-RTM

В ходе постановки задачи в продукте PAM-RTM пользователь может выбрать группу элементов и определить их в новую зону. Это позволит для выбранных элементов определить собственные свойства материалов.

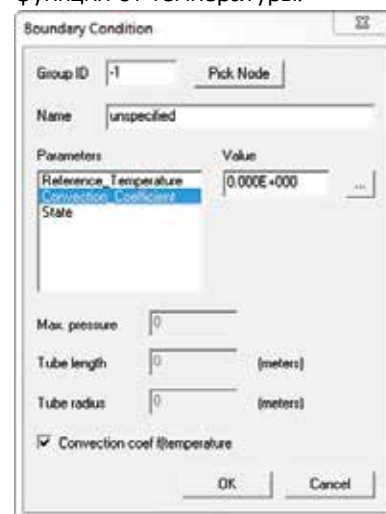
Возможность использования не связанной сетки между заготовкой и оснасткой для неизоотермических задач

При моделировании неизоотермических задач: предварительный нагрев, RTM – процесс с учетом изменения вязкости смолы, полимеризация (Preheating, Heated-RTM, Curing) - теперь есть

возможность использовать не связанную сетку между заготовкой и оснасткой.

Расчет коэффициента конвекции в зависимости от заданного граничного условия температуры

При задании граничного условия «конвекция» коэффициент конвекции может быть задан как функция от температуры:



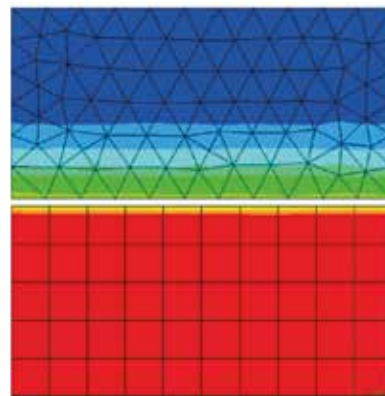
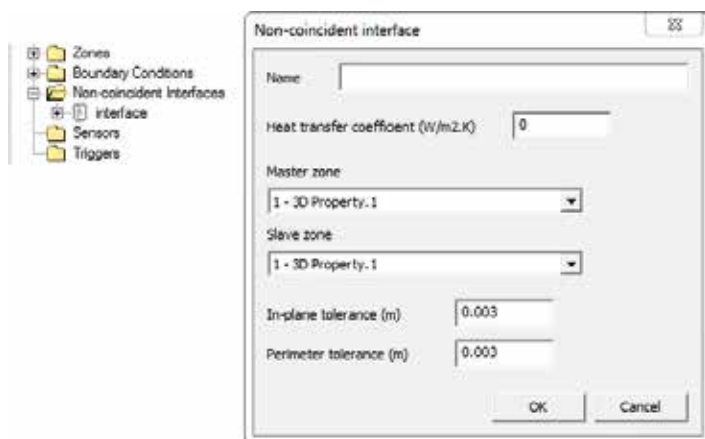
Это упрощает этап подготовки и работу с заготовкой и оснасткой. При таком подходе для каждого тела существует возможность задавать свой коэффициент теплопередачи.

Учет подающих трубок

Имеется возможность ограни-

чить значение массового расхода на входе, исходя из геометрии подающей трубки. Пользователь может задать длину и радиус трубки. Исходя из этих параметров, PAM-RTM на основании уравнения Пуазейля рассчитывает максимальный расход для

предложенной геометрии трубы. Если скорость потока меньше заданной (исходя из значения давления на входе), граничное условие «давление на входе» будет заменено на значение массового расхода вычисленного из уравнений Пуазейля.



Моделирование процессов формовки | PAM-FORM

В программном продукте PAM-FORM возможно моделировать процессы производства композиционных изделий методом формовки, термоформовки и формовкой мембранами, выбирая подходящий материал, набор инструментов и оптимальные параметры процесса. В ходе виртуального производства пользователь имеет возможность варьировать параметрами процесса:

- ▶ скоростью инструментов;
- ▶ параметрами прижимов;
- ▶ температурным циклом;
- ▶ циклом давления;
- ▶ типами материалов и т.д.

Проведение предварительного численного моделирования процессов формовки позволяет про-

гнозировать:

- ▶ образование складок;
- ▶ гофрированность;
- ▶ толщину изделия;
- ▶ ориентацию волокон в готовом изделии.

В программном продукте PAM-FORM моделирование процессов формовки проводится как для сухих материалов, так и для препрегов. Используются следующие модели материалов:

- ▶ ленты;
- ▶ переплетённый тканевый композит;
- ▶ однонаправленная ткань;
- ▶ текстильные композиты.

Моделирование формовки происходит на уровне слоев, где каждый из слоев задается набором

конечных элементов, с собственными размерами, свойствами и направлениями укладки.

Такой подход позволяет моделировать такие явления как межслойные сдвиги, деламинация, образование складок, гофр, предсказание разрывов. Так же проводится оценка дефектов внутри слоев.

В зависимости от заданных свойств материалов можно моделировать упругое, пластическое или вязко-упругое поведение материала.

Таким образом, PAM-FORM представляет собой законченный промышленный инструмент, созданный в помощь специалистам в области производства композитов.





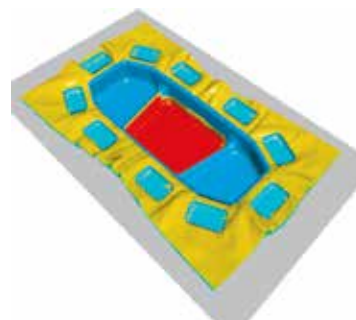
Возможности программы PAM-FORM

Формовка и термоформовка

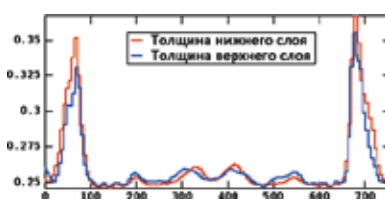
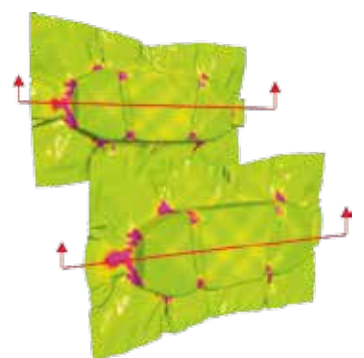
В программе PAM-FORM можно моделировать технологии формовки и термоформовки таких материалов, как препреги и сухие ткани. Основным отличием процесса термоформовки является возможность учета изменения свойств материалов в зависимости от заданной температуры.

В программе PAM-FORM пользователь может варьировать все параметры процессов формовки/термоформовки, такие как:

- ▶ температурный цикл;
- ▶ условия закрепления;
- ▶ расположение составной группы инструментов и т.д.

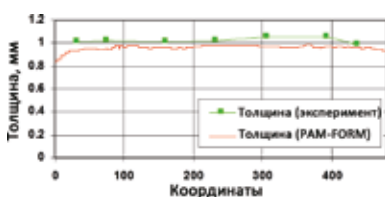


Условия закрепления, определенные в PAM-FORM



Толщина отдельного слоя ламината.
Значение определено в программе PAM-FORM

В ходе моделирования пользователь может прогнозировать: образование складок в процессе производства, гофрированность ткани, толщину каждого слоя изделия, ориентацию волокон и т.д.

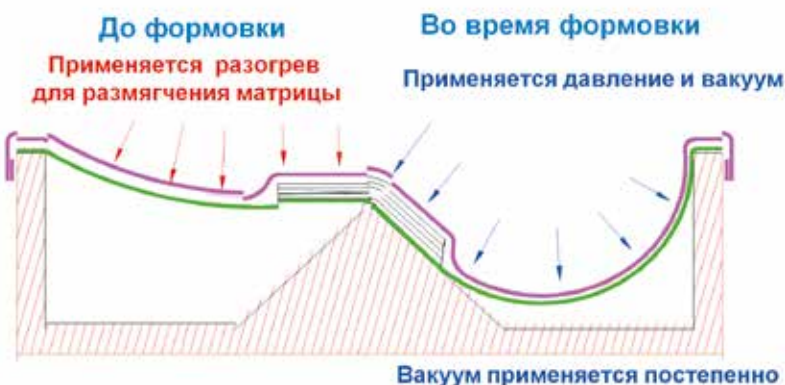


Толщина ламината.
Сравнение экспериментальных и расчетных значений

Формовка мембранами

Специальной возможностью в продукте PAM-FORM является возможность проведения формовки композита с помощью гибких мембран.

Технология изготовления изделия с помощью гибких мембран заключается в следующем. До начала процесса формовки оснастка подвергается тепловому воздействию – это необходимо для придания мягкости инструменту. После чего постепенно подается вакуум. Под воздействием мембраны заготовка наформовывается на оснастку, в результате чего материал принимает нужную форму.

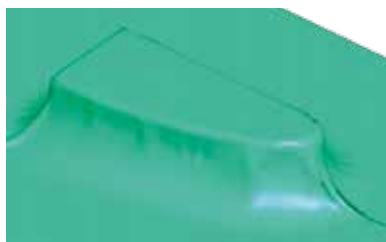


В некоторых случаях дополнительно используется давление для придания изделию нужной формы.

Цикл производства изделия с помощью двух диафрагм



Данная технология формовки позволяет получать изделие с высоким качеством поверхности и содержанием ткани, вне зависимости от сложности детали. Кроме того, сокращается время при установке и снятии оснастки. Деталь производится в один этап независимо от сложности формы.



Деформация верхней мембраны в PAM-FORM

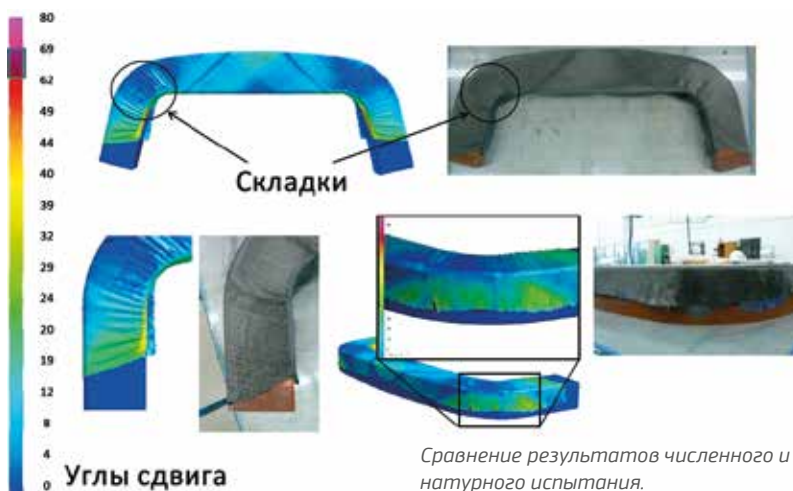


Авиационная деталь, изготовленная методом формовки с помощью мембран

Анализ драпировки изделия

Одним из результатов расчета процесса формовки является значение углов сдвига в готовом композитном изделии. Анализ данного параметра является крайне важным. Превышение допустимых значений углов сдвига сказывается на прочности конструкции.

Данный анализ необходимо проводить при производстве изделия из препрега и при формовке сухой композитной ткани.



Сравнение результатов численного и натурного испытания. Прогнозирование образования дефекта «складки»

Экспорт в PAM-RTM

Все больше деталей производится методами инъекции/инфузии. Возможность экспорта данных из PAM-FORM в PAM-RTM (программа, предназначенная для моделирования процессов пропитки) позволяет учитывать многостадийность производства

композитного изделия и проводить расчет пропитки с учетом предыдущего этапа – формовки ткани.

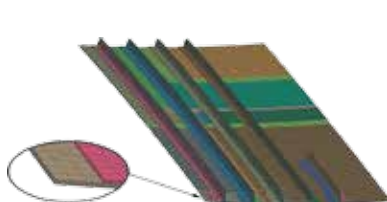
Учет угла сдвига, ориентации волокна, толщины изделия, а также геометрии преформы – важны для получения реалистич-

ной картины пропитки детали. Результаты, полученные в PAM-FORM, можно экспортировать в PAM-RTM (моделирование инфузии). Такой подход позволяет получить результат, максимально приближенный к реальному.

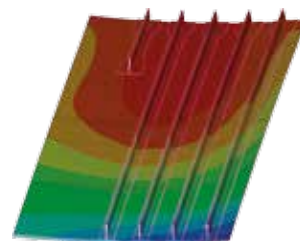


Анализ коробления | PAM-DISTORTION

В настоящее время в условиях активно развивающегося рынка композиционных материалов, очень важно получать бездефектные изделия, удовлетворяющие самым жестким требованиям. При производстве высокоответственных изделий важным является соблюдение точных допусков изделия. Программный продукт PAM-DISTORTION дает возможность предприятию выполнить



Конечно-элементная модель обшивки крыла



Результат распределения тепловых полей в конце полимеризации детали

данную задачу и при этом максимально сократить количество

дорогостоящих физических экспериментов.



Под воздействием тепловых полей в процессе производства происходит искажение формы, что вызывает трудности при сборке и влияет на характеристики готового изделия. Моделирование в продукте PAM-DISTORTION дает возможность оценить такие производственные дефекты, как:

- ▶ остаточные напряжения;
- ▶ коробления изделия;
- ▶ расслоения композита.

Все возможные дефекты можно минимизировать путем изменения процесса производства и варьированием параметров:

- ▶ тип материала;
- ▶ последовательность укладки;

- ▶ параметры инструментов;
- ▶ цикл нагрева и пр.

Продукт PAM-DISTORTION интегрирован в другие решения ESI Group, что позволяет проводить многостадийное моделирование изделий из композиционных материалов.



Возможности продукта | PAM-DISTORTION

Моделирование процессов производства композитного изделия в продукте PAM-DISTORTION включает в себя два основных этапа:

- ▶ Расчет процесса полимеризации изделия

Вычисление степени полимеризации изделия с учетом температурного режима нагрева изделия.

- ▶ Прогнозирование коробления изделия

Проведение термехимического анализа напряжений в изделии с учетом изменения температуры и истории полимеризации.

Расчет процесса полимеризации

В процессе отверждения в композите происходят сложные процессы, зависящие от схемы производства и свойств самого композита. Изменение напряженно-деформированного состояния

в процессе полимеризации может приводить к различным дефектам. В связи с этим возникает необходимость в подробном описании процесса отверждения связующего.

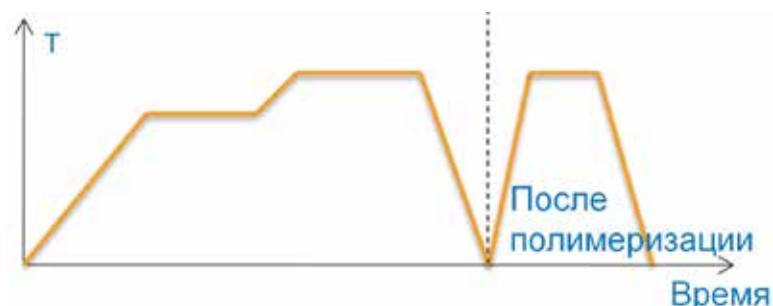
Для проведения расчета процесса полимеризации пользователь должен иметь 3D модель изделия находящуюся в твердой оснастке.

Также в качестве исходных данных используются температура окружающей среды и цикл нагрева исследуемого изделия. Пользователь имеет возможность проанализировать поведение изделия не только в ходе производства, но и при необходимости провести повторный нагрев после окончания процесса полимеризации. Такой подход часто используется для «снятия» остаточных напряжений в детали. Этот этап также моделируется в продукте PAM DISTORTION.

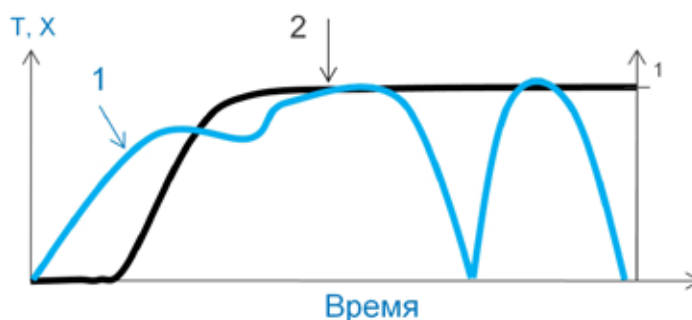
В результате первого этапа моделирования пользователь будет иметь:

- ▶ анализ тепловых полей изделия и оснастки;
- ▶ степень полимеризации.

На первом этапе моделирования предполагается, что связующее имеет только две фазы: жидкую и твердую – как видно из графика ниже.



Цикл нагрева изделия, до и после процесса полимеризации



Полимеризация композита.

График 1 – цикл нагрева изделия. График 2 – полимеризация изделия



Расчет коробления изделия

На втором этапе моделирования оценка остаточных напряжений и короблений изделия ведется по линейной вязкоупругой модели. Здесь учитывается уже три агрегатных состояния связующего: жидкое, вязкое и твердое состояние.

В ходе процесса производства, под воздействием тепловых полей, смола изменяет агрегатное состояние. При температурах выше T_g (температура стеклования) полимер становится мягким, при температурах ниже T_g материал находится в твердом состоянии.

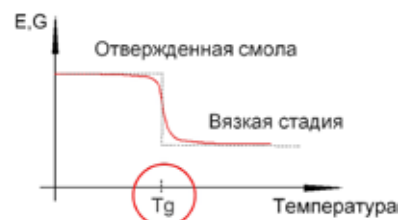
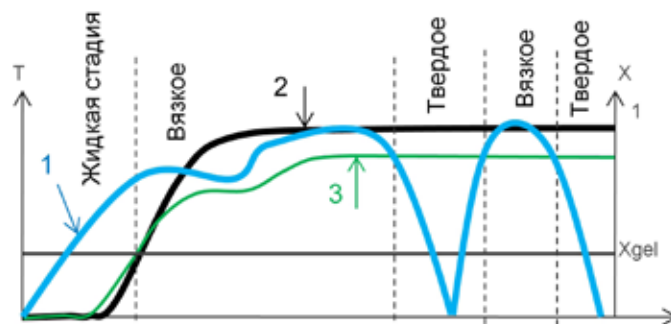


График зависимости упругих свойств композита от температуры и агрегатного состояния связующего

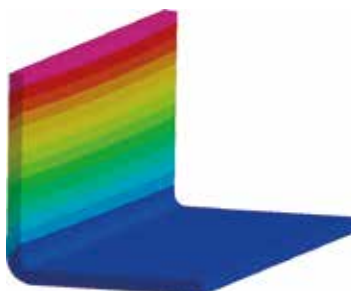
Значение остаточных напряжений в PAM-DISTORTION рассчитываются по линейной вязкоупругой модели с учетом неизо термических условий, цикла полимеризации и изменения агрегатного состояния связующего.

Учет изменения агрегатного состояния и накопление напряжений, приводящих к деформации изделия, позволяет определить точное поведение материала и рассчитать степень полимеризации композита.



Полимеризация композита. График 1 – цикл нагрева изделия. График 2 – полимеризация изделия (жидкая и твердая фазы). График 3 – полимеризация изделия (жидкая, вязкая и твердая фазы)

Моделирование происходит с учетом тепловых полей, химической усадки. Ведется расчет напряжений, в результате накопления которых, происходит коробление изделия.



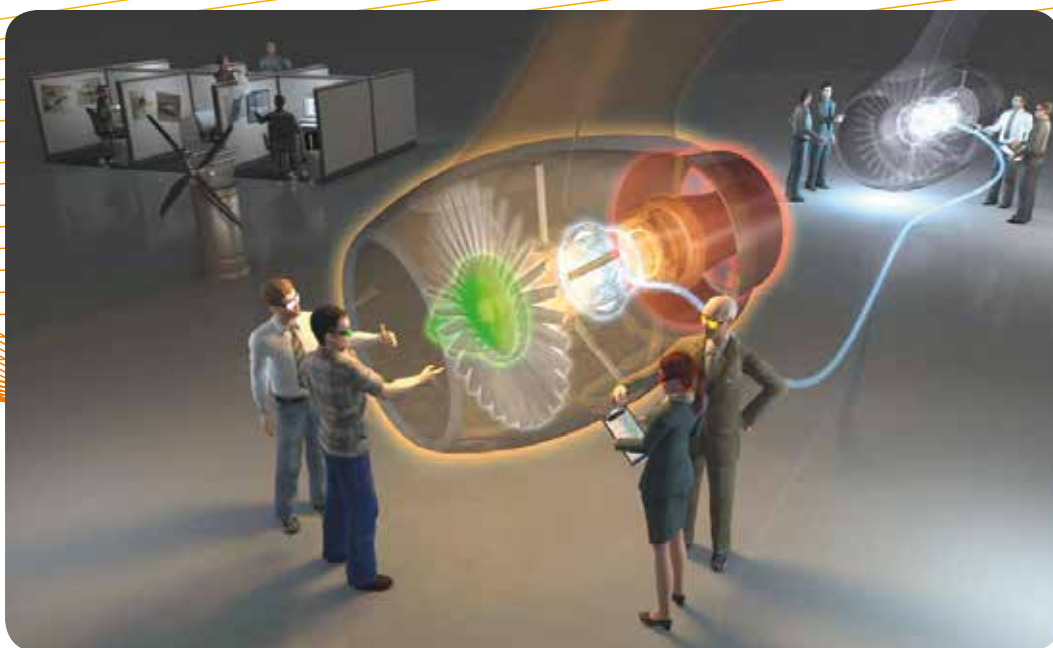
Рассчитано по линейной вязкоупругой модели с неизо термическими условиями и учетом цикла полимеризации

Таким образом, проводя моделирование в PAM-DISTORTION, пользователь может:

- ▶ проанализировать температурные пики, наличие остаточных напряжений, коробление изделия;

- ▶ оценить степень полимеризации в процессе технологического цикла;
- ▶ рассчитать остаточные напряжения изделия после отверждения композита;
- ▶ спрогнозировать расслоение

- композита и искажение формы детали еще до получения первого физического прототипа;
- ▶ контролировать форму готового композитного изделия.



Виртуальное прототипирование | IC.IDO

Ускорение процесса проектирования и улучшение качества продукции при сокращении временных и финансовых издержек – цель любого производителя. В условиях конкурентной борьбы только так можно удержать свои позиции на рынке. Как показывает практика компании-производители, которые осознают необходимость инвестирования в модернизацию технологий и активно используют систему виртуального прототипирования IC.IDO, не только сохранили свои позиции, но и расширили свое влияние на рынке.



Виртуальное прототипирование IC.IDO

IC.IDO – лидирующее мировое решение в области систем принятия совместных решений, основанных на технологиях виртуальной реальности. Система позволяет нашим заказчикам организовать плодотворное сотрудничество с поставщиками и покупателями в среде виртуальной реальности.

IC.IDO является незаменимым инструментом создания конкурентоспособной продукции для любого современного производства. Решение IC.IDO минимизи-

рует риски дефектов, снижает стоимость испытаний и сокращает время вывода продукта или изделия на рынок. Разработка, осуществляемая в сотрудничестве нескольких предприятий, становится более эффективной. Решение позволяет увидеть и оценить конечный результат не только разработчикам, но и клиентам, партнерам, причем на любой стадии проектирования и жизненного цикла изделия.

Решение для создания интерактивной виртуальной реально-

сти IC.IDO может использоваться на любой стадии разработки изделия, а также является инструментом продаж, обслуживания и продвижения продукта.



Дизайн-ревью в Herrenknecht

Технология

Технология виртуальной реальности IC.IDO, в комплексе с инженерными системами проектирования изделий, используется крупными международными корпорациями для повышения конкурентоспособности изделий на рынке.

IC.IDO, обладая такими основными характеристиками как пространственное изображение в натуральную величину в сочетании с интерактивным погружением в режиме реального времени, обеспечивает среду для работы с виртуальным прототипом как локально, так и уда-

ленно через сетевое соединение. Решение может использоваться как стандартное приложение для компьютера, так и как ПО для больших виртуальных сред, которые могут транслироваться на один (PowerWall) или несколько экранов (Multi-Side Powerwall), а также в «Пещере» - виртуальном кубе (CAVE).

Интерактивность обеспечивается системой трекинга. Пользователь передвигается внутри объемного изображения, взаимодействуя с моделью посредством специальных устройств управления («флайстика», джойстиков,

сенсорной перчатки). Система трекинга опознает положение пользователя по отношению к виртуальной модели и изменяет положение модели относительно пользователя. Пользователи могут располагаться вне модели или вокруг нее, а также внутри модели, что и обеспечивает полное трехмерное погружение.

IC.IDO позволяет полностью взаимодействовать с моделью.

Область применения системы IC.IDO

Инженерные решения

При проектировании сложные изделия должны пройти огромное количество испытаний и проверок на функциональность, работоспособность, удобство использования и обслуживания, правильность установки и т.д. В ходе таких тестирований немаловажно наладить взаимодействие технологических, проектных и производственных отделов, а также поставщиков и заказчиков.



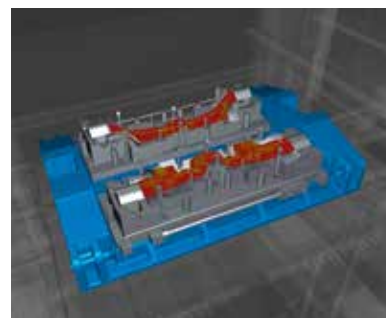
Проверка эргономики в Bausch+Stroebel



Комплексное рассмотрение составляющих процесса проектирования и производства, включая деятельность всех участников производственного процесса, с помощью систем IC.IDO позволяет заранее оценить соответствие техническим условиям, пространственным и размерным требованиям, оптимизировать компоненты и их конфигурацию для

организации наиболее эффективного и своевременного взаимодействия при производстве.

Возможности удаленного использования системы IC.IDO позволяют наладить сотрудничество разрозненных подразделений, избегая дополнительных расходов на поездки и транспортировку тестируемых моделей.



Виртуальная модель пресса Gabler

Интерактивные презентации изделий

Чем более сложным является изделие, тем труднее продемонстрировать заказчику его специфические характеристики и преимущества.

В отраслях экономики с высокой степенью конкуренции необходимо наиболее полно представлять потенциальным заказчикам как продукцию, так и компанию-производителя. Для этих целей решение ESI Group IC.IDO подходит идеально. Использование системы IC.IDO для демонстрации изделий как на производстве, так и на выставочных площадях и марке-

тинговых мероприятиях, значительно повышает понимание и восприятие презентуемого продукта, а также является эффективным инструментом привлечения внимания. А вовлечение заказчиков в виртуальную демонстрацию изделия на ранних стадиях разработки позволяет существенно ускорить процесс продажи.

IC.IDO позволяет не только осуществить эффектную презентацию продукта, но и демонстрацию его конструктивных особенностей, реального и правильного функционирования в условиях эксплуатации.



Демонстрация метро-вагона УВЗ на выставке

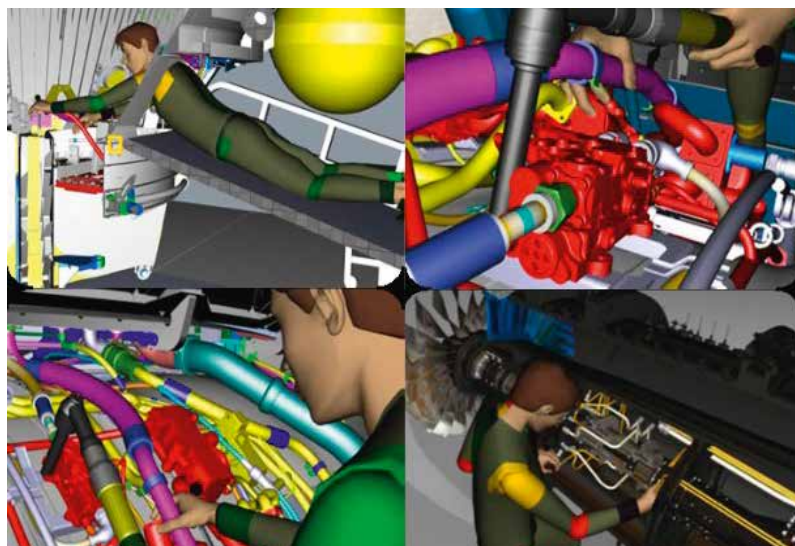


Презентация автомобиля Ford

Обслуживание, ремонт, обучение

Сложные изделия регулярно подвергаются специализированному техническому обслуживанию. Если технологический процесс обслуживания и ремонта не был учтен при проектировании изделия, то его осуществление может потребовать дополнительных финансовых и временных затрат.

Для решения проблем дорогостоящего обслуживания система IC.IDO позволяет оптимизировать эргономические и геометрические характеристики изделия на стадии проектирования для удобного и эффективного осуществления операций по сервису и ремонту.



Примеры виртуального технического обслуживания

Также при обучении персонала работе с тем или иным изделием зачастую возникает вопрос недостаточно эффективных учебных пособий и материалов.

Система IC.IDO представляет собой модель реального изделия со всеми его специфическими характеристиками и образом поведения в реальных условиях, тем

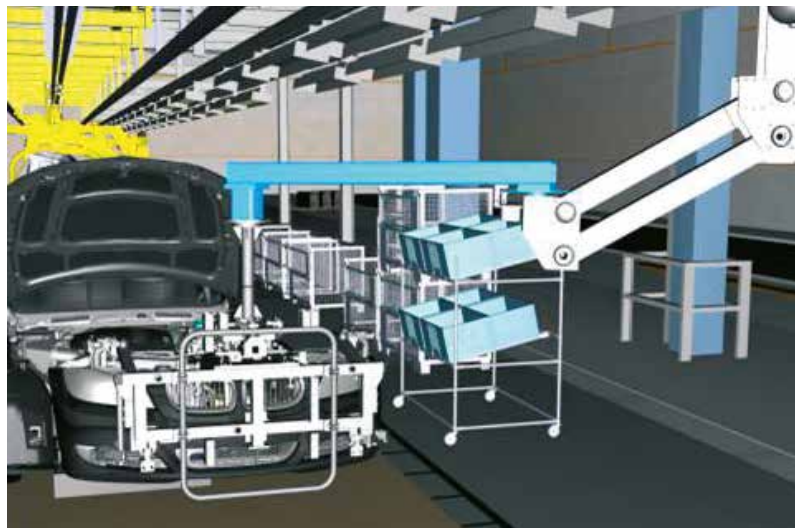
самым предлагая наиболее точное учебное пособие для проведения тренингов и курсов повышения квалификации персонала.

Сборка

Проектирование и оценка процесса сборки изделия является важнейшим этапом разработки продукта, так как данный процесс затрагивает различные стадии производства – от создания проекта до разработки технологических процессов и систем обслуживания.

На данном этапе необходимо учесть множество вопросов, а именно:

- ▶ возможна ли сборка данного изделия в существующем виде;
- ▶ какова последовательность сборочных операций;
- ▶ какой инструмент и оснастку целесообразно использовать;
- ▶ достаточно ли имеющееся оборудование для сборки изделия;
- ▶ как эффективно обучить персонал, занятый в данном процессе и т. д.



Виртуальная производственная линия BMW

Эти вопросы зачастую решаются экспериментальным путем непосредственно в процессе сборки, с использованием физических прототипов изделия. Но сегодня это недопустимо удорожает процесс производства и увели-

чивает сроки вывода продукта на рынок. Решение ESI Group для моделирования виртуальной реальности IC.IDO позволяет всем участникам производственной цепочки оценить и повлиять на процесс на самых ранних стадиях.

IC.IDO – это инструмент, помогающий производителю принимать своевременные и правильные решения, используя технологии виртуальной реальности.

IC.IDO позволяет значительно сократить число физических прототипов (а в некоторых слу-

чаях, вообще отказаться от них), минимизировать риски, снизить материальные и финансовые затраты, быстрее вывести продукт на рынок.

Пользователями и стратегическими партнерами IC.IDO являются всемирно известные предприятия машиностроения,

автомобилестроения, аэрокосмической отрасли, такие как Audi, Airbus, BMW, Boeing, Bombardier, Caterpillar и John Deere.



Описание модулей IC.IDO

IDO.Explore



IDO.Explore предлагает целый набор инструментов для начала работы в системе визуализации принятия решений. Программа пригодна для использования как настольное компьютерное приложение, так и как система полного погружения с полномасштабным отображением (PowerWall, CAVE), IDO.Explore снабжена всеми важ-

ными функциями для принятия быстрых, надежных и разумных решений с их последующей документацией. Существенным преимуществом этой системы является параллельная обработка данных, что позволяет проводить комплексные испытания продукта в режиме реального времени не только в статике, но в динамике.

IDO.SolidMechanics



IDO.SolidMechanics это прорыв в области симуляции физического поведения модели. Это уникальный модуль способный максимально приблизить ваши модели к реальности благодаря симуляции сложных кинематических цепей, при одновременной обработке столкновений, зату-

хающих колебаний, гравитации и пр. Благодаря этому модулю можно присваивать деталям сборки свои материалы и задавать им свои физические свойства (плотность, модуль Юнга, т.д.), а также в зависимости от свойств осуществлять выбор материалов и их проверку.

IDO.Ergonomics



Виртуальные человеческие модели в IDO.Ergonomics обладают обширным набором функций для решения любых эргономических задач в режиме реального времени на ранних стадиях проектирования на основе 3D-моделей задолго до создания физического прототипа. Используя интуитивно понятный пользовательский интерфейс, очень просто проводить оценки эрго-

номических характеристик: видимости, зон доступа и комфорта в пространственном отображении объектов в натуральную величину. Система имеет обширную базу данных антропометрических особенностей населения разных стран с автоматическим анализом результатов, что позволяет целевой группе принимать решения.

IDO.Elastic1D



IDO.Elastic1D это расширение IDO.SolidMechanics, основанное на последних технологиях в области физической симуляции поведения гибких объектов. Реалистичное поведение геометрически сложных гибких объектов,

с обработкой столкновений, затухающих колебаний, гравитации.

Широкая библиотека материалов гибких частей с поддержкой возможности создания своих материалов с необходимыми физическими свойствами.

IDO.Present



С IDO.Present все операции и манипуляции с виртуальным прототипом могут быть записаны как анимация и затем экспортированы в 2D и 3D-видео.

Это можно использовать как для презентаций, так и для документации последовательности операций, обучения персонала

и пр. IDO.Present позволяет начинающим пользователям представлять свои идеи в виртуальной среде не боясь ошибиться.

IDO.Reflect



IDO.Reflect высококачественно рассчитывает вид и поведение отражений и теней объекта, что позволяет реалистично визуализировать их, учитывая воздействие света, зеркальных отражений, и теней объектов. IDO.Reflect служит для качественной визуализации сложных объектов и характеризуется высокой производительностью процесса

трассировки лучей, даже в интерактивном режиме. Таким образом, в режиме реального времени можно просмотреть различные источники света и материалы изделия, что позволяет выбрать оптимальные варианты материалов исполнения изделий и проверить их внешний вид при различном освещении уже на ранних стадиях проектирования.

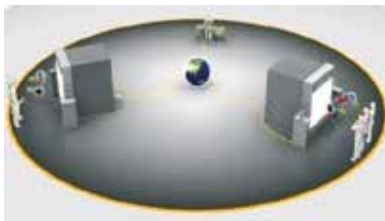
IDO.Illuminate



IDO.Illuminate это расширение IDO.Reflect с поддержкой технологий Global Illumination и Ambient Occlusion, осуществляющее рендеринг различных сцен глобального освещения при визуализации 3D-модели изделия. Можно создавать великолепное

трехмерное окружение, чтобы оценить визуальный дизайн изделия. Механизм регулировки соотношения качества визуализации и быстродействия интерактивности позволяет добиться требуемой производительности при рендеринге сцен.

IDO.Cooperate



С IDO.Cooperate команды разработчиков, находящиеся даже в разных частях света, могут одновременно принимать решения, отмечать изменения и создавать список актуальных вопросов, используя виртуальный прототип и, таким образом, они не только снижают расходы на команди-

ровки и затраты на проектирование физического прототипа, но и принимают срочные и важные решения согласованно. IDO.Cooperate позволяет осуществить подключение нескольких разных систем (CAVE, PowerWall, ПК) для совместной работы со сложными 3D-моделями.

IDO.SpecialTrack



Для реалистичного и взаимодействия в виртуальных средах IDO.SpecialTrack позволяет пользователю связать реальные объекты с их виртуальными 3D-моделями.

IDO.SpecialTrack дает возможность провести ассоциацию между реальными объектами и виртуальной средой. Таким

образом, поддерживается и интерактивная связь инструмента, например, отвертки с его виртуальным аналогом, и виртуальное позиционирование реального сидения и его 3D-модели внутри цифрового прототипа.

IDO.MultInteract

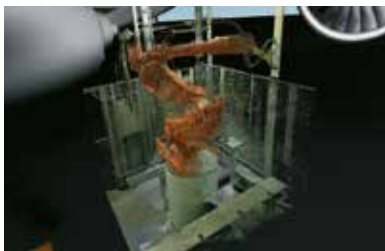


IDO.MultInteract позволяет пользователю взаимодействовать с виртуальным прототипом обеими руками. Используя специальные джойстики с тактильной обратной связью пользователь может производить операции с виртуальным прототипом обе-

ми руками так же, как и в реальной жизни.

IDO.MultInteract позволяет с легкостью провести анализ и оценку производственных, эксплуатационных и сервисных операций на ранних стадиях проектирования.

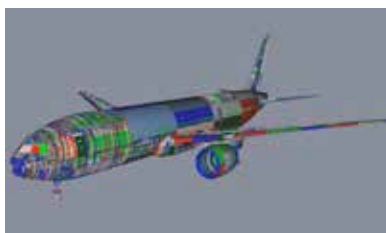
IDO.Pointcloud



IDO.Pointcloud позволяет визуализировать огромные массивы точек, полученные при сканировании объектов лазерным 3D-сканером. После формирования и обработки соответственным программным обеспечением (драйвером) лазерного сканера

эта информация может быть импортирована в IC.IDO через файловый формат хуз ASCII. Визуализация массивов точек может сочетаться с другими геометрическими объектами, импортированными из CAD-систем.

IDO.MassiveData



С приложением IDO.Massive Data и динамической потоковой технологией обработки информации визуализация даже очень больших объемов геометрических данных, таких как детализированные сборочные чертежи самолетов или кораблей, является возможным. Благодаря ис-

пользованию технологии гибридного рендеринга этот модуль позволяет работать с большими объемами данных при их подробной визуализации в режиме реального времени без потери производительности системы и с высоким уровнем интерактивности.

IDO.Process



IDO.Process позволяет ясно и прозрачно описать производственные процессы. Для каждого процесса можно задать несколь-

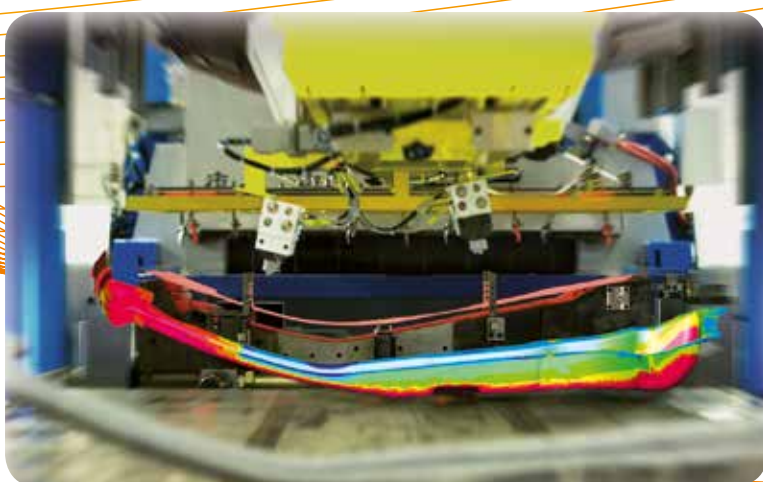
ко состояний, которые можно переключать вне зависимости от состояния других производственных процессов.

IDO.Script



IDO.Script это модуль для внешнего программирования процессов и состояний объектов в IC.IDO на языке программирования Python. Таким образом,

функции IC.IDO и загруженной геометрии могут быть под контролем независимых систем и внешних программ.



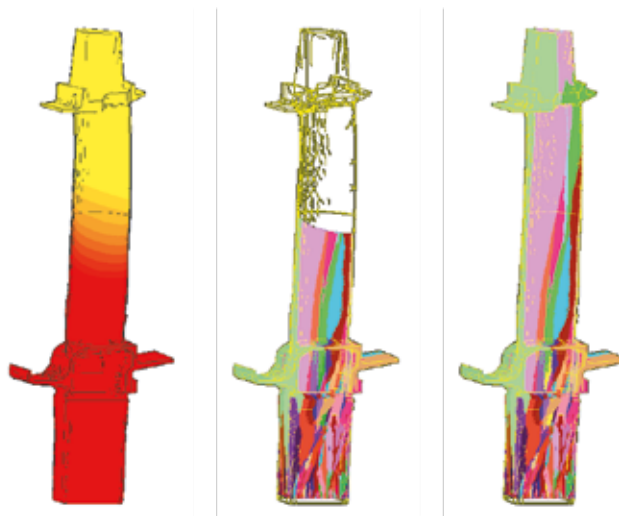
Решения ESI Group для отраслей промышленности

Решение компании ESI Group используются во многих отраслях промышленности, а ее программные продукты разрабатываются с учетом особенностей каждой из них. Многие инженеры из ведущих компаний со всего мира используют решения ESI Group для разработки оптимальной технологии производства своей продукции, создания виртуальных прототипов и проведения численных экспериментов как для целого изделия, так и для отдельных его компонентов.





В авиастроении постоянно необходимо повышать эксплуатационные свойства и надежность применяемых конструкций. Важными характеристиками для изделий авиационной промышленности является вес, стоимость и долговечность деталей. Но при этом немаловажным фактором остается сокращение времени проектирования и затрат на производство. Решения ESI Group соответствуют постоянно растущим требованиям авиационной промышленности. Использование компьютерного моделирования является залогом успеха в достижении этих целей.



Расчет структуры зерна лопатки при направленной кристаллизации отливки (SNECMA Aerospace, Франция)

Расчет структуры зерна лопатки

В авиационной отрасли ProCAST применяется для моделирования стандартных технологий литья в песчаные формы, кокиль, по выплавляемым моделям для получения корпусных деталей

и элементов конструкции.

Кроме того, для изготовления лопаток авиационных двигателей ProCAST позволяет провести моделирование литья с направленной кристаллизацией и монокристал-

лического литья, а при помощи специального модуля CAFE можно также определить зерновую структуру отливки после литья и оценить связанные с ней дефекты.

Моделирование отливки для ОАО «НАЗ «Сокол»

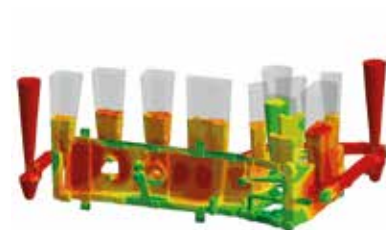
Изготовление отливки такой сложной конфигурации и большими габаритами приводило к появлению многочисленных холодных трещин. Расчет проводился, в первую очередь, с целью определения тепловой картины охлаждения отливки в форме и конечного напряженно-деформированного состояния изделия.

Параметры технологического процесса:

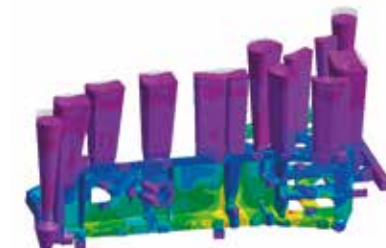
- ▶ материал отливки: AM4,5кд;
- ▶ масса отливки: 32 кг;
- ▶ материал холодильников: сталь 20Л;
- ▶ материал формы: песчано-глинистая смесь;
- ▶ время заливки формы: 15 сек.

Анализ результатов моделирования в ProCAST показал, что система питания отливки жидким металлом разработана качественно: кристаллизация отливки имеет строго направленную структуру и появление усадочных дефектов в изделии полностью подавлено. Оценка НДС выявила опасные места в отливке с высокой концентрацией остаточных напряжений.

Это были зоны с переменными толщинами стенок отливки, где происходило возникновение напряжений в результате неравномерного охлаждения, а также места, где имело место сопротивление усадке металла стержнями.



Заливка формы сплавом



Концентрация остаточных напряжений в отливке



Моделирование процессов штамповки

Методами обработки металлов давлением изготавливается большая часть деталей для авиационной техники.

К таким изделиям относятся:

- ▶ детали фюзеляжа и крыльев самолетов;
- ▶ части обшивки: обтекатели, воздухозаборники, крышки переднего и заднего капота;
- ▶ детали стоек шасси;
- ▶ барабаны и реборды самолетных колес;
- ▶ лопасти самолетных винтов;
- ▶ лопатки двигателей и др.

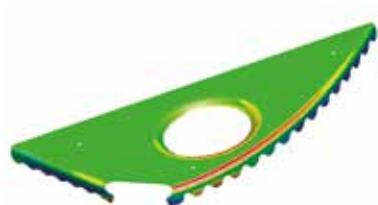
Для производства авиационных деталей применяются различные материалы, в том числе с высокими эксплуатационными свойствами (титановые сплавы и др.), позволяющие элементам самолета служить в течение долгого времени, несмотря на жесткие условия эксплуатации. Такие материалы, как правило, не технологичны, а также обладают достаточно высокой стоимостью, поэтому брак и количество де-

фектов должны быть сведены к минимуму. В тоже время, к деталям для авиационной техники, как правило, имеющим сложную геометрическую форму, предъявляются высокие требования по точности размеров.

Сложная геометрия изделий для авиации, а также применение материалов с высокими механическими свойствами приводит к необходимости поиска альтернативных методов производства таких изделий. В авиации все чаще используют сверхпластичную формовку, горячую штамповку, гибку с растяжением, формовку резиновым пуансоном для изготовления деталей, соответствующих предъявляемым требованиям. Сложность реализации таких процессов заключается в правильном подборе параметров, которые позволят избежать появления складок, разрывов или трещин.



Изготовление методом сверхпластической формовки двери-трапа самолета вместо сваренной из 23 частей

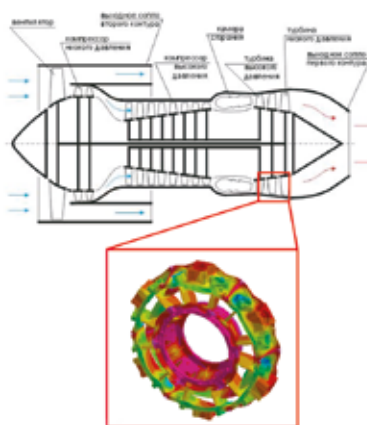


Сравнение полученных результатов моделирования с реальным экспериментом

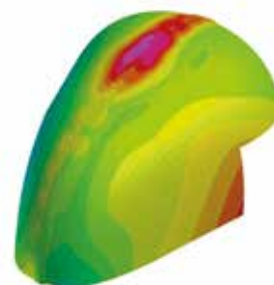
Прогноз сварочных деформаций компонентов двигателя и корпуса фюзеляжа

В настоящее время производство авиационно-космической техники немыслимо без использования различных видов сварки, применяемых при производстве фюзеляжей самолетов и корпусов ракет, корпусов и внутренних деталей двигателей, прецизионных приборов, а также технологической оснастки различного назначения. Сборка-сварка в общей трудоемкости изготовления авиационной техники составляет 40-50%.

Среди используемых материалов широко распространены сплавы на основе никеля, титана и алюминия, аустенитные и ферритные стали.



Поля сварочных деформаций направляющего аппарата



Сварка обтекателя фюзеляжа, где:
а – зона разупрочнения после сварки;
б – смещения после сварки, мм

Изготовление композитной авиационной панели

В авиационной отрасли для производства высоконагруженных или ответственных изделий долго применялись исключительно автоклавные технологии. Сейчас эти детали все чаще изготавливаются с помощью RTM-технологии или вакуумной инфузии, с использованием только одной жесткой оснастки. При производстве крупногабаритных изделий, таких как, например, как авиационные панели, длина детали может достигать десятков метров. При таких размерах конструкции, экономия на оснастке оказывается значительной при

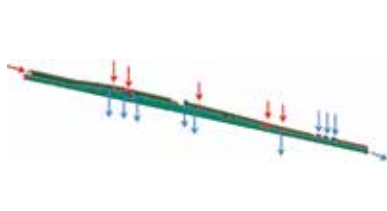
изготовлении детали технологией вакуумной инфузии.

Осуществление перехода с одной технологии производства на другую – не простая задача и требует значительного опыта в области композиционных материалов. Кроме того, необходимо проведение серии экспериментов подтверждающих оптимальность выбранной новой схемы производства. Очень важно изготовить эти детали с первого раза без образования производственных дефектов, таких как, например: сухие зоны при пропитке, высокий уровень пористости и т.д.

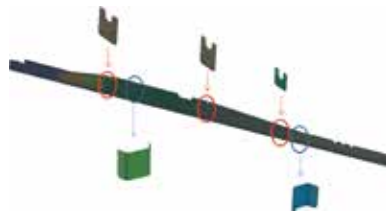


Модель авиационной панели.
Длина изделия 18 м

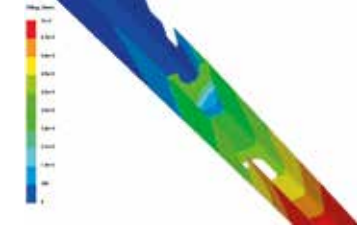
Таким образом, на этапе определения оптимальной технологии производства не обойтись без численного моделирования, особенно при разработке новой схемы изготовления крупногабаритного изделия.



Последовательная схема пропитки изделия



Расчетная модель



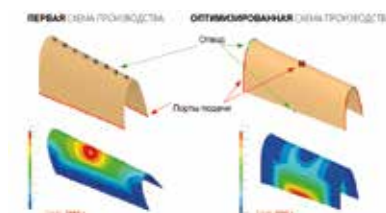
Распределение фронта пропитки на части изделия

Технология изготовления элементов крыла

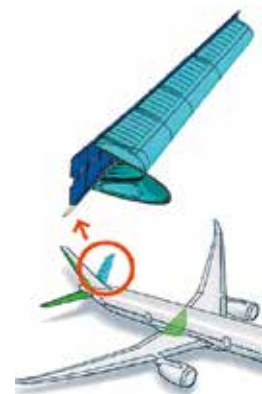
Перед инженерами Аернова стояла задача перехода с препреговой технологии к инъекции. Впервые RTM-технологию инженеры Аернова попытались применить на двух деталях Airbus A350 XWB – фланец и передняя кромка горизонтального стабилизатора. Цель заключалась в разработке технологии производства бездефектного изделия. Очень важно было выполнить эти детали без образования производственных дефектов.

По результатам анализа, проведенного в PAM-RTM, инженеры

Аернова добавили дополнительные порты отвода, что позволило устранить все сухие пятна. Эти усовершенствования в схеме производства помогли значительно улучшить воспроизводимость процесса.



Прогнозирование времени пропитки в PAM-RTM



Передняя кромка, произведенная с помощью RTM процесса

Виртуальное прототипирование

Ведущие мировые авиастроительные компании, такие как Boeing, Airbus, CAIGA и пр. более 10 лет успешно используют систему виртуальной реальности IC.IDO при проектировании своих изделий, для этих компаний уже

давно немыслимо производство физических прототипов без многочисленных проверок виртуальных прототипов своих изделий, а также их производства, эксплуатации и технического обслуживания. Эти производители

на практике убедились, что нет смысла строить лишний физический прототип, тратя много временных и финансовых ресурсов, если большинство задач можно отработать на виртуальном прототипе.



Ниже приведены распространенные способы использования IC.IDO на различных этапах жизненного цикла изделия в авиационной промышленности.

Прежде всего, преимуществом от использования IC.IDO является то, что можно заранее увидеть свое изделие целиком, как только появились 3D-модели, посмотреть интересующие детали в отдельности или в сборке с другими частями, рассмотреть все варианты исполнения детали/сборки и выбрать из них подходящий. Чаще всего у виртуальных прототипов в авиационной промышленности проверяют различные эксплуатационные характеристики изделия, такие как открытие-закрытие дверей, заслонок (не мешают ли движению другие объек-

ты), расположение камер (какой у них обзор, нет ли «слепых пятен»), установка сидений в салоне (хватает ли места в проходах, комфортен ли вход в ряд и пр.), эргономику кабины пилота (зоны видимости пилота, может ли он дотянуться до необходимых панелей управления и рычагов), решение задач разводки кабелей и труб в салоне и кабине экипажа, как лучше провести и установить провода (например, антенные кабели в вертикальном оперении), изучение поведения гибких частей при движении подвижных частей (например, не будут ли задевать или перегибаться кабели при подъеме шасси и пр.)



Модель AIRBUS A320 кабина пилота



Дизайн-ревью кабины пилота (Boeing)

Виртуальное проектирование производства

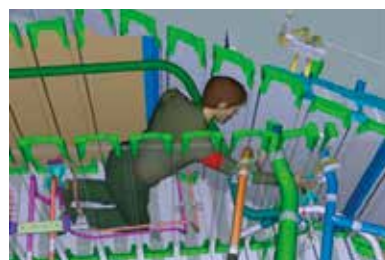
Классическим примером применения IC.IDO при планировании производства является симуляция сборочных последовательностей, выбор оптимальной сборочной последовательности из нескольких вариантов (для интеграции электрической системы и системы климат-контроля в фюзеляж), или операции подготовки к сборке (подготовка и установка модулей в сетке пола).

Чтобы верно спланировать процесс производства нужно учесть многие факторы и особенности изготовления изделия, на данном этапе жизненного цикла изделия система виртуаль-

ного прототипирования может принести свои плоды не только в том, что касается конструктивных особенностей изделия, станков и механизмов для его производства, но также и для определения оптимальной технологии его изготовления: симулировать одновременную работу неограниченного числа рабочих (например, операции целой бригады в цехе), анализировать основные эргономические критерии охраны труда (может ли работник дотянуться до детали, достаточный ли у него обзор, насколько безопасны и комфортны его производственные операции).



Симуляция сборочной последовательности



Проверка зон доступа рабочего

Виртуальное техническое обслуживание

Что может быть выгоднее для производителя, чем иметь возможность заранее продумать технологию технического обслуживания своего изделия. Благодаря современным технологиям, даже когда не произведено ни единой детали, авиастроители могут заранее проверить, может ли рабочий установить/демонтировать какую-то определенную деталь или сборку, какой инструмент при этом ему нужно

будет использовать, или это можно будет сделать, используя робот-манипулятор и пр., насколько будут безопасны и комфортны операции работников (и вообще возможны ли).

Помимо этого можно проверить, насколько целесообразно и удобно проведение тех или иных планируемых операций, используя новую оснастку, манипуляторы или инструмент, также многое другое.



Проверка операций при техническом обслуживании



Транспортное машиностроение в России непрерывно развивается за счет инноваций в этой сфере. Поскольку основные грузо- и пассажироперевозки на дальние расстояния осуществляются посредством железнодорожного транспорта, то обеспечение надежности парка подвижного состава является важной задачей отрасли. Кроме того, создание высокоскоростных

дорог требует от отечественных производителей применения современных технологий для создания продукции, удовлетворяющей требованиям скоростного движения и способной конкурировать с импортными аналогами. Продукты компании ESI позволяют уйти от метода «проб и ошибок», испытать технологию в виртуальном пространстве и оценить надежность получаемых изделий.

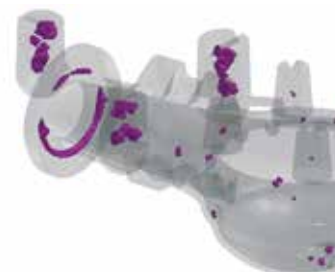


Заполнение формы сплавом с распределением температуры потока

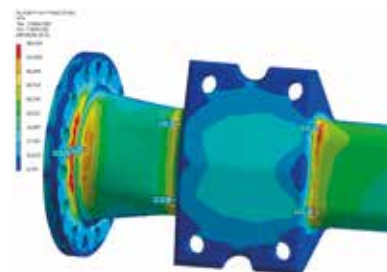
Расчет отливки «Балка переднего моста» для ОАО «Камаз-Металлургия»

Одним из примеров моделирования процесса литья в автомобильной промышленности может служить расчет отливки «Балка переднего моста», выполненный для ОАО «Камаз-металлургия». Отливка изготавливалась из высокопрочного чугуна марки ВЧ50 методом литья в песчаные формы, масса отливки составляла более 200 кг. Пробные партии изделий выходили из строя на испытательном стенде при требуемой нагрузке, поэтому моделирование литейного процесса в ProCAST проводилось с целью определения основных литейных дефектов в отливке (прежде всего усадки и остаточных напряжений), а также их влияния на эксплуатационные свойства балки

переднего моста. Моделирование процесса в ProCAST позволило выявить потенциально опасные места образования усадочных дефектов, которые при приложении нагрузки изделия увеличивали концентрацию напряжений в рассматриваемых узлах. Кроме того, после первого моделирования был выполнен связанный прочностной расчет в специализированном пакете с учетом влияния тех усадочных дефектов, которые были получены в результате литья. Второй расчет подтвердил экспериментальные данные, основная причина разрушений: наличие усадочных дефектов в наиболее нагруженных узлах отливки, которые играют роль концентраторов напряжений.



Усадочные дефекты в отливке



Анализ отливки на прочность после моделирования литейных дефектов

Расчет отливки «Звездочка» для Ульяновского автомобильного завода

Другой пример моделирования – отливка «Звездочка» Ульяновского автомобильного завода. Из-за ограничений автоматической формовочной линии с вертикальным разъемом было трудно обеспечить направленное затвердевание отливок в форме, что приводило к появлению многочисленных усадочных дефектов, также в процессе заливки происходил размыв формы и наблюдалась большая концентрация неметаллических включений в отливке.



Заполнение формы сплавом при исходной (слева) и оптимизированной технологии (справа)



Основной задачей моделирования являлось определение характера кристаллизации и оптимизация технологии для устранения данных дефектов. Параметры технологического процесса:

- ▶ материал отливки: ВЧ-50;
- ▶ масса металла на форму: 13 кг;
- ▶ температура заливки металла: 1410°C;
- ▶ материал формы: песчано-глинистая смесь;
- ▶ время заливки формы: 11 сек.



Скорость потока в начальной стадии заполнения для исходной (слева) и оптимизированной технологии (справа)

Расчет исходной технологии показал значительную скорость потока в стояке при начальном заполнении формы, что гарантированно приведет к размыву формы и появлению включений. Также наличие одной боковой прибыли было недостаточным

для полного питания отливки, что приводило к образованию большого количества усадочных дефектов.

По результатам проведенного расчета была оптимизирована технология изготовления отливки «Звездочка», которая позво-

лила исключить дефекты размыва формы и песчаных засоров за счет оптимизации литниковой системы, а также значительно сократить количество дефектов усадочного происхождения.

Расчет отливки «Остов» для Новочеркасского электровозостроительного завода

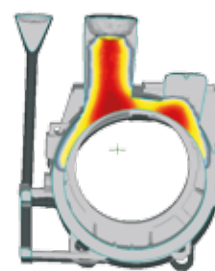
Ниже приведен пример моделирования отливки «Остов», которое проводили специалисты Новочеркасского электровозостроительного завода с целью уменьшения количества усадочных дефектов и контроля остаточных напряжений в изделии.

Параметры технологического процесса:

- ▶ материал отливки: сталь 20Л;
- ▶ масса отливки: 1,9 тонн;
- ▶ материал холодильников: сталь 20Л;
- ▶ материал формы: песчано-глинистая смесь;
- ▶ время заливки формы: 60 сек.

В результате проведенного расчета удалось выявить характер кристаллизации отливки, причину образования усадочных дефектов и принять меры для их устранения. А именно, для получения направленного затвердевания отливки было решено использовать дополнительный стержень из хромитовой смеси, который будет выполнять роль внешнего холодильника.

Применение такой технологии позволило существенно снизить брак отливок по усадке. На рисунке отображен процесс затвердевания отливки исходной и модифицированной технологии.



Кристаллизация отливки по сечению

Примеры штамповки деталей автомобиля

Без процессов обработки металлов давлением невозможно представить конструкцию любого современного легкового или грузового автомобиля. Процессы штамповки и прессования подхо-

дят для массового производства, позволяют сделать детали более легкими прочными. Программное обеспечение PAM-STAMP позволяет рассчитывать штамповку крупногабаритных деталей,

таких как панель кузова. Оценка напряженно-деформированного состояния и контроль размеров изделия помогают устранить возможные дефекты.

Примерами могут служить такие изделия как:

- ▶ заготовки деталей подвески (передние и задние рычаги, рулевые тяги, корпуса тормозных цилиндров и другие штамповки);
- ▶ капоты, двери;
- ▶ рамы кузова и кабины;
- ▶ профили для изготовления стенок, полов, потолков фургонов, кузовов прицепов и полуприцепов;
- ▶ лонжероны грузовых и легковых автомобилей;
- ▶ корпуса шаровых шарниров;
- ▶ детали автомобильных фонарей и арматура кронштейна ремня безопасности.



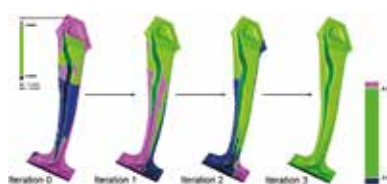
Качественный анализ состояния поверхности панели по диаграмме предельной формоустойчивости



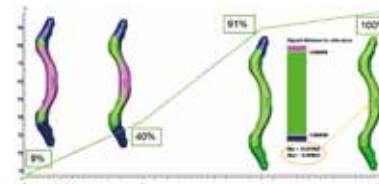
Применение составных сваренных заготовок: красная часть имеет толщину материала 1,3 мм, синяя – 0,7 мм



Результаты расчета сваренных заготовок: поле распределения первого главного напряжения, ГПа



Расчет автоматической компенсации пружинения за 3 итерации



Расчет автоматической компенсации пружинения: процент достижения требуемой величины пружинения по итерациям

С помощью программного обеспечения PAM-STAMP 2G такие крупные производители автомобильных комплектующих как Tata motors, Aethra Automotive Systems, PSA Peugeot Citroen,

Tecnalia-Labein смогли обеспечить качество деталей согласно пожеланиям клиентов, экономя время и деньги на проектирование.

Оценка остаточных сварочных напряжений в шестерни коробки передач легкового автомобиля

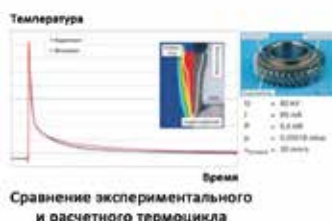
На всех этапах производства легковых и грузовых автомобилей и прочих транспортных средств всегда актуальны задачи, связанные с технологическими процессами обработки металлов давлением, сварки, термообработки и механической обработки. Перед инженерами стоят вопросы повышения качества сварочных швов за счет снижения коробления деталей при сварке и сборке узлов рамы кузова, увеличения прочности швов и их долговечности. Задача усложняется, когда конструкции обладают разнообразной геометрией, несут в себе большое количество элементов жесткости: ребер, упоров, откосов. При термической обработке инженеры сталкиваются с проблемами сквозной закалки шестерен, вкладышей и прочих деталей, которые работают, например, в условиях знакопеременных динамических нагрузок.

При помощи программных продуктов от компании ESI Group возможно спроектировать сварочную оснастку для отдельно взятого сварного узла автомобиля, «вживую» посмотреть как проходит нагрев, плавление и кристаллизация металла шва, получить данные

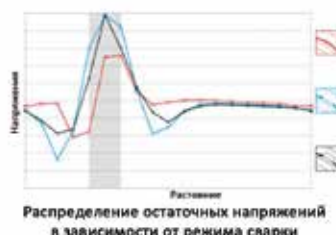
об остаточных сварочных напряжениях и деформациях, а также об эксплуатационных напряжениях. Продукты ESI для сварки уже активно используются такими ведущими мировыми концернами как BMW, Skoda, VW.



Предоставлено VW

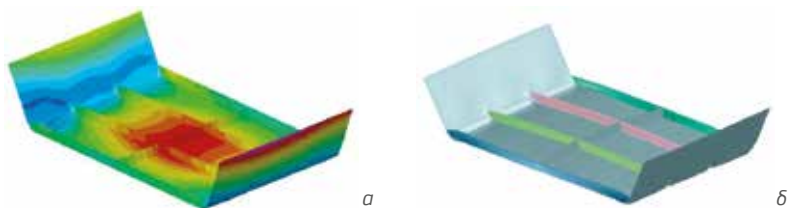


Сравнение экспериментальных и расчетных данных, полученных для некоторых технологических операций изготовления шестерни коробки передач



Сварка элемента днища судна

Судостроение сочетает множество наукоемких процессов и технологий. Среди них на лидирующих позициях находится сварка. Благодаря этому процессу становится возможным быстро и надежно соединить большие и малые части конструкции между собой.



Сварка элемента днища судна:
а – поля общих короблений, б – деформации в масштабе 5:1

Расчет крупногабаритных композитных деталей

Популярность использования композиционных материалов в транспортном машиностроении растет. Объясняется это тем, что композиционные материалы имеют не только меньший вес, но и высокую коррозионную стойкость.

Крупногабаритные детали изготавливают технологией вакуумной инфузии. Отработка оптимальной схемы производства за время жизни связующего без образования сухих зон возможна в результате проведения численного моделирования. Примером использования численного моделирования для проектирования технологии изготовления крупногабаритного изделия методом вакуумной инфузии может служить крыша вагона хоппера.

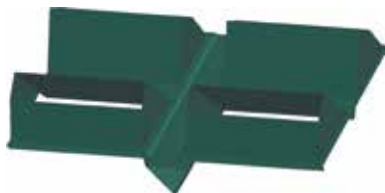


Выявление дефектов для примененной схемы вакуумирования, также обнаруженные во время реальной пропитки



Процесс пропитки полноразмерной крыши вагона хоппера ООО «НТИЦ АПАТЭК-Дубна»

Монолитное изделие, предназначенное для перевозки сухих сыпучих грузов, может быть изготовлено методом вакуумной инфузии:



Расчетная модель

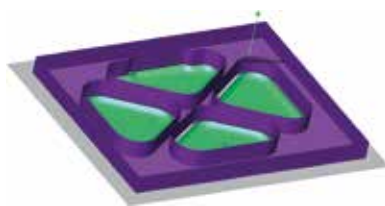


Распределение фронта связующего

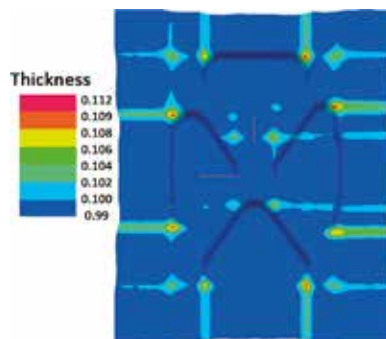
Силовой элемент днища автомобиля изготовленный из композитов

В настоящее время перед современным автомобилестроением стоит задача снижения массы автомобиля и, как следствие, повышение его топливной экономичности. Кроме того, высокие требования к качеству и безопасности вынуждают производителя использовать новые композиционные материалы. В новых моделях автомобилей насчитывается порядка 400 гластмассовых узлов и деталей, и их количество в дальнейшем только будет расти.

Сегодня для автомобилестроения из композиционных материалов изготавливаются и силовые изделия. Расчет процесса формовки силового элемента днища возможен, используя решения ESI Group.



Постановка задачи в PAM-FORM



Толщина изделия

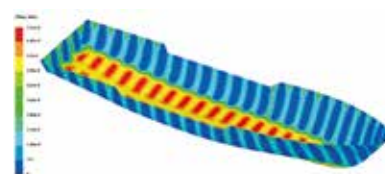
Моделирование инфузии корпуса судна

В настоящее время в судостроении композиционные материалы активно используются при производстве, как малых лодок, так и крупногабаритных судов.

Использование специализированного программного продукта RAM-RTM дает возможность технологам в кратчайшие сроки осуществить переход к современной тех-



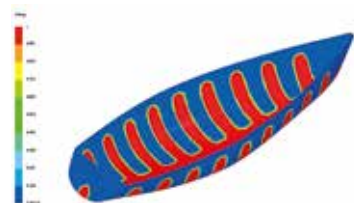
Схема производства корпуса судна



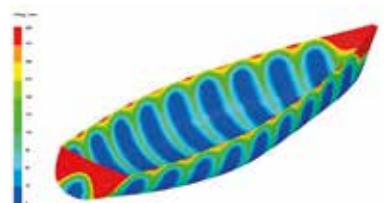
Время пропитки корпуса судна

нологии производства в «закрытой форме». Это не только более технологично, но и позволяет сэкономить на проветривании помещений.

Также это помогает определить оптимальную схему производства и решить ряд проблем возникающих при производстве.



Распределение фронта связующего по корпусу судна



Время пропитки корпуса судна



Распределение полей давления

Виртуальное прототипирование

Изначально система виртуального прототипирования IC.IDO задумывалась для использования приоритетно в автомобильной компании. На сегодняшний день, помимо позиции «первооткрывателя» и мирового лидерства на рынке систем виртуальной реальности, IC.IDO стала по-настоящему стандартом в индустрии немецкого автомобилестроения.

Лидирующие автопроизводители целиком и полностью уповают на технологии виртуальной реальности для ускорения темпов и совершенствования своего продукта. И как показывает практика помимо экономии времени, у этих компаний значительно снижаются издержки.

Технология IC.IDO оказывает реальную помощь на всех этапах раз-



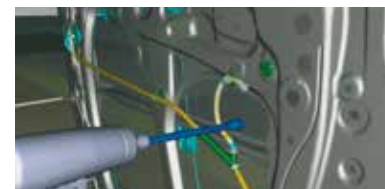
Дизайн-ревью интерьера в CAVE (Jaguar Land Rover)



Проверка демонтажа обивки крыши (Audi)



Подбор инструмента при установке заднего сидения (Renault)



Прокладка кабеля (Honda)

работки изделия: от дизайна до вопросов инсталляции оборудования, исследования экстерьера, интерьера, от производственных процессов до интерактивных презентаций для клиентов.



Подбор освещения в цехе технического обслуживания (Volkswagen)

Выход мировой экономики из затяжного кризиса прошлых лет сказался и на рынке спецтехники. И, несмотря на то, что последнее годы наблюдается тенденция постоянного увеличения спроса на продукцию, конкурентный прессинг на рынке спецтехники один из самых жестких.



а Примеры использования IC.IDO (Jungheinrich)



б – техническое обслуживание погрузчика



Производители, осознающие необходимость инвестирования в модернизацию технологий, активно использующие систему

виртуального прототипирования IC.IDO для ускорения сроков разработки новых изделий и повышения качества продукции,

смогли не только удержать, но и расширить свои позиции на рынке.

IC.IDO нашла широкое применение в области транспортного машиностроения.

С помощью нее решаются такие задачи как (на примере производства поездов):

- ▶ эксплуатация поезда;
- ▶ испытания нового поезда (только на основе 3D-моделей);
- ▶ увязка различных систем между собой, спроектированные разными конструкторскими отделами;
- ▶ определение оптимальной сборочной последовательности;
- ▶ концепция подключения и фиксации оборудования;
- ▶ обеспечение необходимого пространства для комфорта пассажиров, экипажа и работников сервиса;
- ▶ обеспечение безопасности работников при эксплуатации и обслуживании поезда;

- ▶ проектирование прокладки кабелей;
- ▶ подбор инструмента для производственных операций и операций технического обслуживания;
- ▶ исключение конструкторских ошибок на стадии проектирования;
- ▶ создание наглядной эксплуатационной и ремонтной документации, в т.ч. обучающих фильмов;
- ▶ виртуальное обучение персонала на производстве и техническом обслуживании и пр.



Продольное сечение полной сборки поезда (Bombardier Transportation)



Проверка возможности доступа к багажной полке



Пример проработки операций технического обслуживания

В судостроительной промышленности актуально использование новейших технологий проектирования, анализа и расчетов необходимы для точного прогнозирования характеристик будущего корабля.

IC.IDO помогает решить все типичные проблемы в дизайне и проектировании кораблей. Система незаменима, в случаях если:

- ▶ данные о модели корабля получены из разных приложений (одна часть – выполнена в одной программе, другая часть – в другой и пр.);
- ▶ огромные усилия тратятся на совместные обсуждения и попытки сотрудничества между подразделениями на стадии детального проектирования и дизайна

(особенно для совместных проектов между разными организациями);

- ▶ наблюдается высокая степень вмешательства поставщиков и заказчика на стадии разработки и производства (обусловленная высоким давлением в части временных и финансовых затрат на проектирование и производство очень сложных систем и оборудования).

Это инструмент для оценки, анализа, симуляции поведения и визуализации продукта, дающий возможность надежного мультидисциплинарного подхода к своевременному решению задач и принятию продуманных и беспроигрышных решений.



Совещание в Meyer Werft



а



б

Дизайн-ревью в CAVE (DCNS)

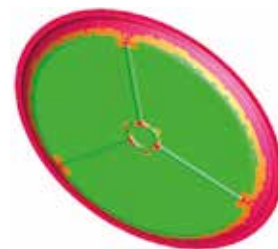
а - установка детали,

б - презентация для заказчика

Повышение эффективности использования ресурсов, развитие конкурентоспособности топливно-энергетического комплекса и укрепление позиций на мировых энергетических рынках – вот основные задачи отрасли. Кроме того, компаниям, занимающимся производством и распре-

делением энергии, приходится соответствовать постоянно повышающимся требованиям и совершенствовать оборудование.

Использование современных технологий, в том числе компьютерного моделирования, позволяет эффективно решать поставленные задачи.



Штамповка днища: оценка состояния поверхности по диаграмме предельной формоустойчивости

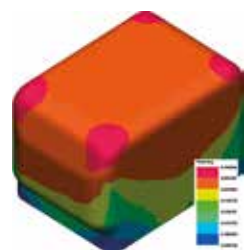
Обработка металлов давлением

Одно из самых важных и ответственных направлений промышленности – энергетика, требует огромного количества изделий, произведенных методами обработки металлов давлением.

Без этих изделий трудно представить современную жизнь, они отвечают за наше благополучие, комфорт, являются важными конструктивными элементами. К таким элементам можно отнести корпуса парогенераторов, сложных приборов, трубы в качестве оболочек тепловыделяющих элементов атомных реакторов, силовые кабели, солнечные коллекторы и т. д.

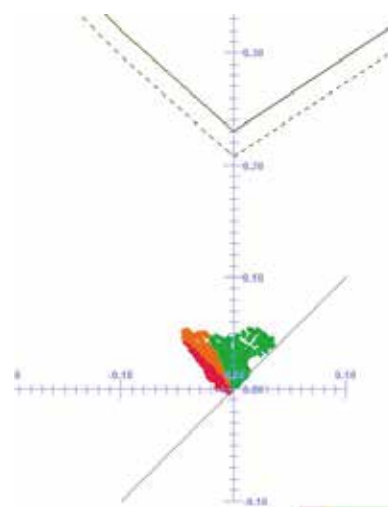


а



б

Корпус прибора. а) модель изделия б) результат моделирования: распределение утонения после штамповки, мм



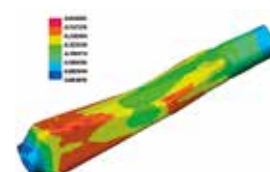
Усадочные дефекты в отливке



Получение труб требуемой формы: реальное изделие



Получение труб требуемой формы: подготовка к моделированию



Получение труб требуемой формы: результаты расчета

Оценка сварочных напряжений и деформаций при изготовлении и ремонте оборудования АЭС

Атомная промышленность всегда ставит перед инженерами сложные задачи, связанные с изготовлением, эксплуатацией и ремонтом свариваемого оборудования ядерных установок. Как правило, это сложно выполнимые сварные соединения сталей, принадлежа-

щих к разным классам и имеющих разные категории свариваемости. Соединения работают в широких температурных диапазонах и при сложных условиях нагружения. К таким узлам и деталям относятся элементы котлов и парогенераторов – форсунки, резервуары, цистерны.



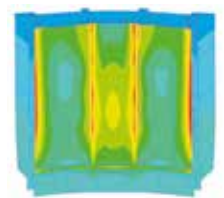
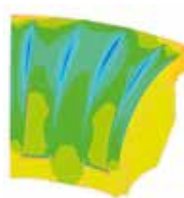
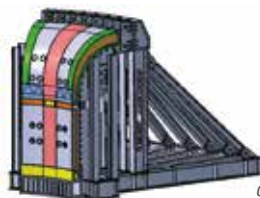
Остаточные напряжения после ремонта резьбового соединения

Вопрос о моделировании процессов сварки и термообработки очень актуален для этой отрасли, так как иногда провести эксперимент в «железе» не представляется возможным, и осуществление математического моделирования является для технолога и конструктора способом получения качественного изделия в минимальные сроки.

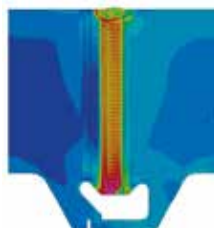
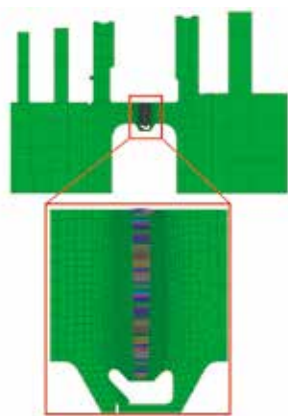
Среди моделирующего ПО наиболее универсальным и полнофункциональным является SYSWELD от ESI Group. Данные продукты уже применяются для расчетов различных задач в этой сфере.



Вварка стенки в корпус парогенератора, где: а – КЭ модель части корпуса со стенкой; б – Остаточные напряжения после сварки



Вварка элемента корпуса ITER, где: а – компьютерная модель элемента корпуса ITER; б, в – коробления верхней и нижней части



КЭ модель сварки составного ротора паровой турбины, где: а – место сварки частей ротора; б – остаточные сварочные напряжения

На сегодняшний день в теплоэнергетической сфере актуальны задачи, связанные с изготовлением и ремонтом толстостенных резервуаров, магистральных газопроводов с применением технологии врезки под давлением.

Кроме того, сложными являются задачи сборки-сварки больших корпусов энергоустановок. Среди таких изделий – корпуса гидротурбин, парогенераторов и их деталей, а также их частичный ремонт.

Виртуальное прототипирование

Энергетические станции становятся все более и более сложными, и при их проектировании необходим мультидисциплинарный подход.

Любые ошибки в проектировании способствуют увеличению издержек на их исправление и срывам сроков сдачи объекта, что влечет за собой огромные штрафы по контрактам. Используя систему виртуального прототипирования IC.IDO, конструкторские ошибки выявляются и устраняются еще на стадии проектирования, а не на готовой конструкции с дополнительными издержками и простоями, к тому же

намного улучшая качество проекта. Специалисты из других областей (не только проектировщики), при полномасштабной демонстрации модели могут принимать участие в обсуждениях модели, полностью понимая предмет дискуссий.



Обнаружение конструкторских ошибок (Hitachi Power Europe GmbH)



Совещание по проекту с участием поставщиков и заказчиков в головном офисе (Mitsubishi Hitachi Power Systems, Ltd)



Дизайн-ревью (Hitachi Power Europe GmbH)



Нефтегазовая промышленность

Значительный объем мировых ресурсов нефти располагается на территории России. Нет ничего удивительного в том, что нефтегазовая отрасль является одной из основных отраслей отечественной промышленности.

Расчет отливки крестовины

Отливки, используемые в нефтегазовой отрасли (корпуса запорной арматуры, элементы задвижек, корпуса насосов) характеризуются большими габаритами и высокими требованиями к наличию усадочных дефектов, т.к. изделия работают в условиях высокого давления. Применение ProCAST в этом случае позволяет значительно снизить расходы при отработке технологии и повысить качество выпускаемого литья.

Примером моделирования литья является расчет отливки «Крестовина». Технология изготовления данной отливки предусматривает применение экзотермических прибылей, холодильников, выполненных из стали и хромитового стержня. При этом изготовление оснастки для такой крупной отливки требует больших временных и денежных затрат, поэтому наличие дефектов литья не допустимо.

Задачами моделирования являлись расчет заполнения формы сплавом с учетом теплового воз-

большое количество российских предприятий занимается производством нефтегазового оборудования, сталкиваясь с теми или иными проблемами.

Использование численного моделирования позволяет с мини-

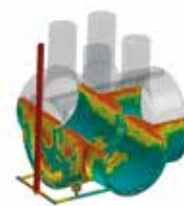
действия холодильников и экзотермической смеси, оценка кристаллизации и образования внутренних тепловых узлов и получаемых усадочных дефектов.

Параметры технологического процесса:

- ▶ материал отливки: сталь 20ГЛ;
- ▶ масса отливки: 14,5 тонн;
- ▶ материал холодильников: см³;
- ▶ материал формы: жидкостекло-стекляная смесь;
- ▶ материал стержней: жидкостекло-стекляная, хромитовая, холодно-твердеющая смеси;
- ▶ материал утеплителя прибылей: экзотермическая смесь;
- ▶ время заливки формы: 8 мин.

В результате расчета удалось выяснить, что применение экзотермических прибылей не достаточно для полного питания нижних массивных тепловых узлов. В этих местах отливки образуются крупные усадочные дефекты, поэтому необходимо применение дополнительных холодильников для захлаждения металла.

мальными материальными затратами и в короткие сроки оценить технологию, оптимизировать ее и определить эксплуатационные характеристики готового изделия.



Температура потока при заливке



Кристаллизация отливки в форме



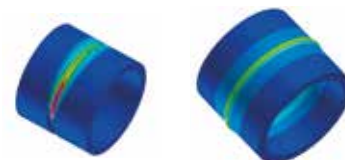
Усадочные дефекты по сечению отливки

Орбитальная сварка

В нефтегазовой сфере применяется огромное количество изделий различного назначения. Главным образом, это электросварные трубы и запорная арматура. Снижение производственных затрат и рисков получить бракованную продукцию возможно в результате применения специализированных программных продуктов для моделирования процессов сварки

и термообработки. Такие продукты разрабатывает компания ESI group. ПО позволяет провести многодисциплинарное компьютерное моделирование процессов формирования сварного шва.

С помощью ПО можно анализировать тепловую картину сварки, оценивать микроструктуру и рассчитывать остаточные напряжения и деформации.



а
б
Сварка неповоротного кольцевого шва
а – тепловые поля от действия источника, б – сварочные коробления





Тяжелое машиностроение

Тяжелое машиностроение является ведущей отраслью отечественной промышленности. Растущая глобальная конкуренция вынуждает предприятия отрасли сокращать производственные затраты и постоянно повышать качество продукции. Быстрым и эффективным способом для вы-

вода изделия на рынок является использование виртуального моделирования производственного процесса, позволяющего оценить надежность и эффективность технологии до запуска реального производства. Компания ESI предлагает полный спектр продуктов с целью инженерного моделиро-

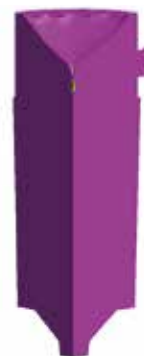
вания для создания разнообразного промышленного оборудования. Решения ESI соответствуют потребностям предприятий и дают дополнительные возможности для производства высококачественного оборудования с одновременным снижением затрат и времени на производство.

Расчет литья стального слитка в изложницы

Крупные отливки для тяжелого машиностроения требуют особенного контроля, т.к. затраты на изготовление их оснастки и потери при браке несопоставимо выше, чем для менее крупных отливок. Поэтому применение ProCAST даже для стандартных задач моделирования заполнения и кристаллизации наиболее эффективно и позволяет исключить брак в первой партии отливок. Примером использования программного продукта ProCAST в тяжелой промышленности служит расчет литья стального слитка в изложницы, выполненный для Sheffield Forgmater (Англия). Данный слиток массой 150 тонн является заготовкой для производства прокатных валов, которые позднее применяются в производстве листов шириной до 5 метров в судостроительной отрасли. Применение ProCAST

позволило уйти от традиционной методики проектирования оснастки, основанной на использовании существующего производственного опыта. Старый подход требовал больше времени на отработку технологии и приводил к значительным затратам.

Предварительное моделирование в ProCAST процессов заливки сплава в изложницу, с расчетом тепловой задачи и напряженно-деформированного состояния заготовки позволило оптимизировать форму слитка и уменьшить количество поверхностных дефектов, трещин, сохранив высокие показатели выхода годного. Производство слитков по новой технологии показало высокую сходимость результатов моделирования с реальностью и подтвердило эффективность применения ProCAST для производства слитков в изложницы.



Температура и усадочные дефекты в слитке (Sheffield Forgmater, Англия)

Виртуальное прототипирование

Система виртуального прототипирования IC.IDO нашла успешное применение и в сфере тяжелого машиностроения.

Основной целью производителей в области тяжелого машиностроения является наличие возможности участия всех заинтересованных сторон в процес-

се разработки изделия начиная с ранних стадий проектирования, визуализация изделия с ранних этапов конструирования в масштабе 1:1 и взаимодействие их в режиме реального времени, что позволяет проверять изделия быстрее и выпускать их в производство.



Пример использования IC.IDO (Oerlikon Neumag)





а



б

Пользовательский пример
(Herrenknecht) а - Gripper TBM, б – ду-
зайн-ревью Gripper TBM в IC.IDO

Herrenknecht, Rheinmetall, Optima Packaging, Voith, Trumpf и другие компании используют IC.IDO для усовершенствования эргономических исследований своего продукта и подробной оценки безопасности, видимости, достижимости, моделирования проводов и шлангов, а также для анализа процессов сборки-разборки в режиме реального времени. Используя эргономичное и интуитивное программное обеспечение IC.IDO технические специалисты, специалисты маркетинга, и специалисты по продажам вовлекают в процесс разработки со стороны заказчиков лиц, принимающих решения, и лиц, влияющих на решения, – напрямую взаимодействуя с ис-

полнителями, инженерами и операторами; обеспечивая всеобщее понимание текущего изделия и будущих проектов и избегая ошибок от недопонимания, неверного толкования, которые часто встречаются при разработке, опираясь на чертежи и мини-макеты. Благодаря IC.IDO удаленные друг от друга участники проекта могут использовать открытую 3D-модель изделия как основу для дизайн-ревью в режиме реального времени, обеспечивая постоянное взаимодействие и сотрудничество всех заинтересованных сторон вне зависимости от их месторасположения, начиная с самых ранних стадий разработки изделия.

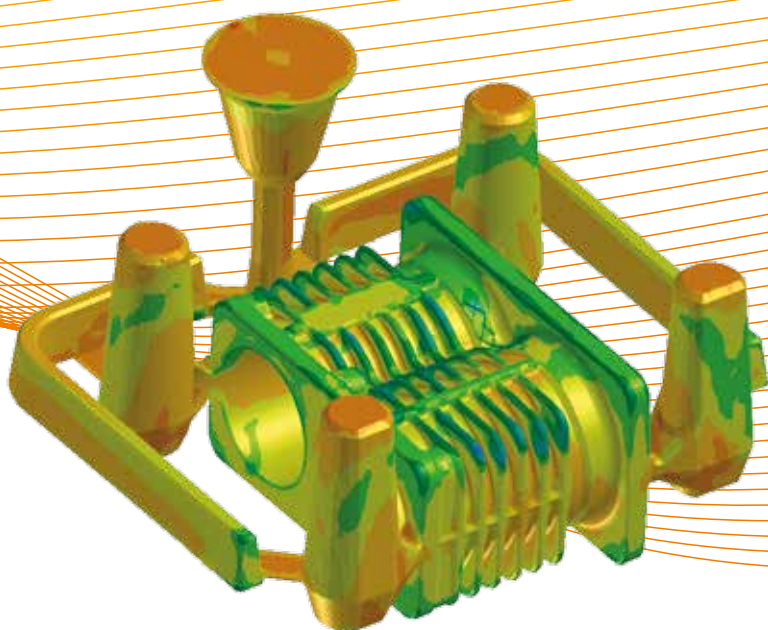
Огромные объемы 3D-данных от различных источников (производителей, их заказчиков и субподрядчиков) можно моментально открывать все вместе в одной среде, учитывая частые периодические внесения изменений в проект, обеспечивая тем самым постоянную осведом-

ленность команды с последними разработками изделия. Принимая правильные решения в правильное время, такие компании значительно уменьшают время и затраты на разработку своих изделий.



Анимация работы производственной
линии (Voith)





Примеры выполненных проектов и ОТЗЫВЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

В ходе производственной деятельности многие предприятия сталкиваются с комплексными инженерными задачами, решение которых традиционными методами может занять продолжительное время и потребовать значительных материальных затрат.

Группа компаний «ПЛМ Урал»-«Делкам-Урал», обладая штатом высококвалифицированных специалистов с большим опытом решения задач, собственными программными средствами и необходимым аппаратным обеспечением, предлагает комплекс услуг по реализации сложных и наукоемких инженерных задач предприятия по моделированию технологических процессов и созданию виртуальных прототипов изделий.



Моделирование изготовления отливки «Пробка шарового крана» для ОАО «Тяжпромарматура»



Выявленные зоны усадочных рыхлотов после проведения дефектоскопии

Рассматриваемое изделие является запирающим элементом в кранах магистральных газопроводах, поэтому к нему предъявляются высокие требования по макро- и микропористости, при этом на внешней стенке пробки снимается достаточно большой слой металла при механообработке, а затем шлифуется для достижения высокой точности поверхности. После выполнения этой операции на поверхности отливки при помощи капиллярной дефектоскопии отслеживается большое количество микропор усадочного происхождения, наличие такого вида дефекта неприемлемо и большой процент полученных изделий уходил в брак.

Расчет заполнения формы показал, что в зоне подвода металла создается очень высокое течение потока. Струя долгое время воздействует на стержень с большой скоростью, что может привести к размытию формовочной смеси и появлению неметаллических включений. Большинство данных включений всплывут в прибыль, однако возможно небольшое их скопление в перемычке пробки.

При анализе теплового расчета выявлена неравномерная кристал-

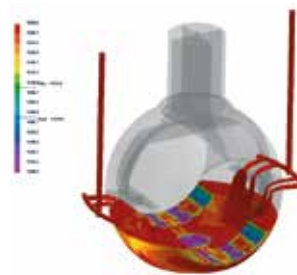
лизация сплава верхней стенки отливки: фронт затвердевания проходит от прибыли к месту подвода металла с образованием большого количества небольших закрытых участков жидкого металла. Такой характер кристаллизации связан в первую очередь с быстрым охлаждением сплава из-за использования хромитовой смеси, а также местным перегревом в зоне питателей. В результате в данной зоне образуется большое количество усадочных рыхлотов.

Для устранения данного дефекта рекомендовалось заменить хромитовый песок на кремниевый в облицовочной смеси верхней полуформы, чтобы замедлить скорость кристаллизации металла в проблемной зоне и дать возможность прибыли пропитать металлом данный участок.

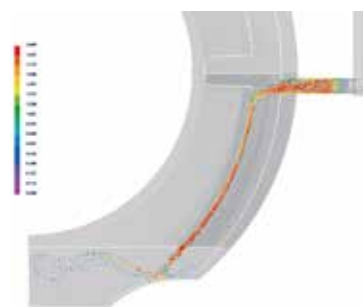


Распределение усадочных дефектов в отливке

на», получаемой методом литья в песчаные формы. В форме используется облицовочная смесь, выполненная из хромитового песка, 10 внешних стальных холодильников для захлаживания металла в основных тепловых узлах, а также экзотермическая и теплоизоляционная оболочки для поддержания высокой температуры в прибыли.



Заливка формы сплавом с распределением температуры металла, тепловое влияние холодильников



Вектора течения металла по сечению питателя



Неравномерная кристаллизация металла в объеме отливки

Расчет отливки «Букса» в ProCAST для ООО «Алтайвагон»



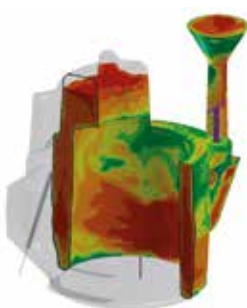
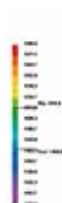
Расчетная конечно-элементная сетка отливки «Букса» (форма модели скрыта)

Цель работы: показать возможность решения задач железнодорожной тематики в ProCAST, в том числе и использованием технологии с внутренними холодильниками. Выявление основных дефектов и причин их образования в отливке «Букса».

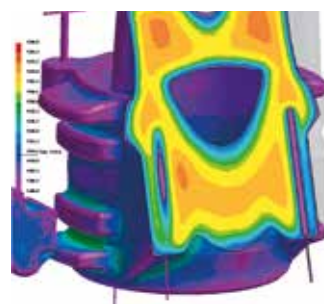
Проводилось моделирование отливки, изготавливаемой из сплава 20ГЛ методом литья в песчано-глинистые формы. Технология подразумевала использование стержней, выполненных из ХТС, и внутренних стальных холодильников.

Задачами моделирования являлись: 1. Расчет заполнения формы сплавом, оценка характера заполнения и связанных с ним дефектов. 2. Моделирование кристаллизации металла в форме, с учетом тепловой картины охлаждения и влияния внутренних холодильников. 3. Оценка напряженно-деформированного состояния отливки после заливки, кристаллизации и охлаждения до температуры выбивки. Определение возможности появления холодных и горячих трещин, коробления отливки.

Моделирование заливки формы показывает характер тепловой картины, места с высоким течением, турбулентным потоком, возможные зоны размыва формы, места скопления неметаллических частиц. В данном случае оценка температуры металла в момент заполнения формы выявила высокую вероятность появления пригара в месте подвода металла, за счет высокого перегрева стержня в данном месте.



Место перегрева в зоне подвода металла в момент заливки формы



Влияние внутренних холодильников на тепловую картину при охлаждении отливки в форме



Образование локальных жидких участков при кристаллизации отливки (слева) и конечное распределение усадочных дефектов (справа)

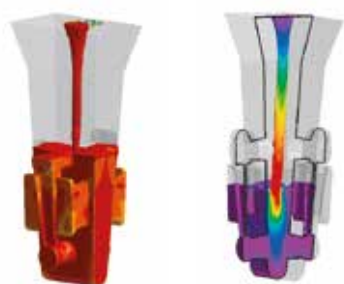


Распределение средних нормальных напряжений в отливке (слева) и деформация отливки от первоначального положения (увеличено в 5 раз) (справа)

Кроме того можно точно определить влияние холодильников на охлаждение металла в форме, время их расправления. Расчет задачи кристаллизации позволил выявить недостаточность влияния холодильников на внутренние тепловые узлы отливки. В результате во время затвердевания отливки образуются локализованные жидкие участки металла, испытывающие недостаток питания, и усадочные дефекты.

Оценка напряженно-деформированного состояния отливки после охлаждения в форме выявила потенциально опасные места концентрации напряжений (на рисунке выделены красным цветом), где возможно образование холодных трещин.

Расчет стальной отливки в ProCAST для ОАО «Кумертауское авиационное производственное предприятие»



Заливка оболочки сплавом: температура металла и скорость потока в сечении



Кристаллизация отливки и распределение усадочных дефектов

Оценка напряженно-деформированного состояния отливки показывает основную причину появления холодных трещин в отливке: высокую концентрацию растягивающих напряжений в зоне перехода тонкой и толстой стенки. Концентрация напряжений в этом месте вызвана несколькими причинами. Во-первых, образованием механических напряжений, вызванных сопротивлением формы при усадке металла. В результате нижняя часть отливки приподнимается вверх, уводя за собой питатель, что приводит к деформации отливки в данном месте. Во-вторых, появлением термических напряжений в отливке, так как тонкая стенка кристаллизуется и испытывает усадку быстрее, чем толстая стенка с подведенным к ней питателем. В результате этого возникает растягивающее напряжение, концентрирующееся в граничной зоне.

Для минимизации данных негативных факторов был предложен

Цель работы: определение причин образования трещин в отливке и предложение методов оптимизации технологии, сравнение результатов моделирования в ProCAST с реальными данными.

В данном примере проводилось моделирование стальной отливки из сплава 35ХГСЛ методом литья по выплавляемым моделям.

При производстве данных отливок в 50% случаев возникал брак: в нижней части изделия появлялись трещины. Поэтому основной задачей моделирования являлось определение напряженно-деформированного состояния отливки, выявление зон образования холодных и горячих

трещин, оценка коробления отливки.

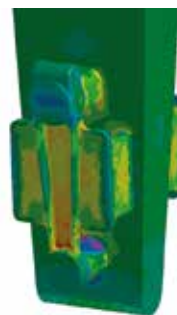
Также проводился расчет заполнения формы и кристаллизации отливки с определением картины распределения усадочных дефектов.

Анализ заливки формы показывает очень хорошие результаты: заполнение проходит плавно, без всплесков и турбулентного течения. В результате исключается появление газовых раковин, засоров отливке.

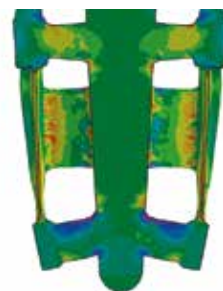
Кристаллизация сплава имеет строго направленную структуру: от отливки к питателям и стояку, что обеспечивает получение отливки без усадочных дефектов.

комплекс мер: увеличение минимальной толщины стенки отливки на 2-3 мм, увеличение радиуса скругления в месте соединения тонкой и толстой стенки, уменьшение диаметра нижнего питателя для снижения перегрева толстой стенки отливки. Данные действия помогут снизить разницу во времени кристаллизации разных частей отливки и, таким образом, уменьшить образование высоких растягивающих напряжений в данной зоне.

Также при расчете напряженно-деформированного состояния отливки можно оценить места возникновения горячих трещин. За это отвечает специальный инструмент «Индикатор горячих трещин», который оценивает появление напряжений в отливке в момент ее кристаллизации, коробление отливки и возможность появления разрывов в не до конца затвердевших частях отливки.



Концентрация остаточных напряжений в отливке



Деформация отливки после затвердевания и охлаждения сплава (масштаб увеличен в 10 раз)



В данном случае основные места образования горячих трещин – зона перехода тонкой и толстой стенки отливки – также вызваны неравномерностью кристаллизации отливки и появлением напряжений в момент, когда толстая часть отливки еще не затверде-

ла. Основные рекомендации для устранения этого дефекта такие же как и для предыдущего случая: уменьшение разницы толщин стенок отливки и снижение перегрева толстой стенки за счет уменьшения толщины питателя.



Места образования горячих трещин в отливке

Расчет отливки «Крышка» в ProCAST для ОАО «Камаз-Металлургия»



Заполнение формы с распределением температуры металла



Эвакуация воздуха (синий цвет) из формы при заливке; выявление закрытых воздушных участков

Оценка распределение усадочных дефектов позволила выявить места возникновения пористости в отливке: крупные зоны в основании крышки и распределенная рыхлота в тонких стенках. Применение программного обеспечения ProCAST для моделирования литья под давлением наиболее эффективно, так как предварительный расчет литейного процесса позволяет оптимизировать процесс заполнения формы, подпитки металла, подобрать наилучший режим литейной машины, а также исключить дорогостоящее изготовление пресс-форм для пробной партии отливок.

Цель работы: определение эффективности текущей системы вентиляции пресс-формы, оценка возможных дефектов газоусадочной пористости в отливке.

Для ОАО «Камаз-Металлургия» проводился расчет алюминиевой отливки «Крышка», получаемой из сплава АК7ч методом литья под давлением.

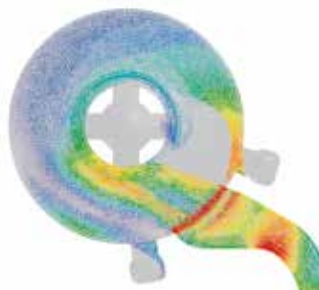
Основными целями моделирования являлись:

- ▶ анализ характера заполнения формы сплавом с учетом температурного и скоростного режима заливки;
- ▶ расчет эвакуации воздуха при заполнении;
- ▶ оценка результатов усадочных дефектов.

Анализ заполнения пресс-формы прежде всего используется для определения характера тече-

ния металла, скоростного режима заполнения формы, образования закрытых воздушных карманов, где не установлены венты для вывода воздуха из формы, а значит возможно образования газовой пористости.

Анализ векторного течения металла позволил выявить места вихревого течения в зоне нижнего промывника, где металл при заполнении разбивается на два потока. Следовательно, в этом месте возможно появление газовой пористости (в следствии захвата воздуха) и окисных плен. Также здесь наглядно видно повышение скорости в районе подвода питателя за счет уменьшения площади поперечного сечения.



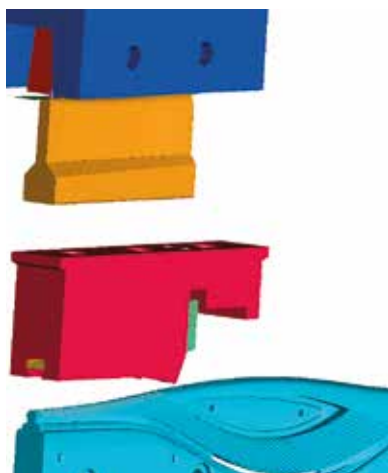
Векторное отображение течения металла в полости пресс-формы



Распределение усадочных дефектов в теле отливки



Моделирование процесса производства изделия «Накладка» для факела Зимней Олимпиады 2014 в Сочи



Модели инструмента и заготовки для формовки ручки

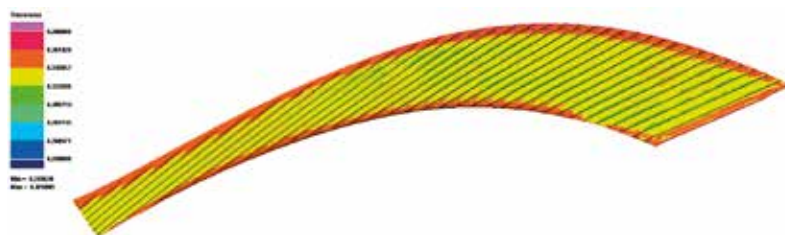
Далее подготовленная геометрия была обработана в сеточном генераторе программы PAM-STAMP и Visual-Mesh. По заданным параметрам производилось построение сетки конечных элементов: для заготовки и твердого металлического инструмента использовалась поверхностная сетка (shell - элементы); для эластичной среды, используемой при изготовлении каждой детали, объемная сетка (объемные элементы).

Постановка задачи в программе PAM-STAMP осуществлялась полностью вручную; в нее входили следующие этапы: задание толщины, материала заготовки, задание материала для эластичного инструмента, внесение всех технологических параметров процесса штамповки и параметров для расчета пружинения в изделии, установка параметров решателя. В качестве материала эластичной среды использовался полиуретан SKY-7Л, а материал заготовки - сталь 08X18H10T.

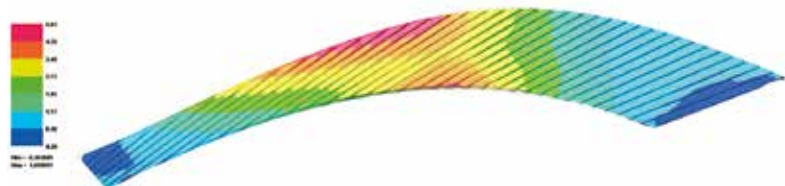
Цель работы: оценить возможность изготовления изделия из четырех частей с применением штамповки эластичной средой и выявление возможных дефектов.

При разработке технологии изготовления накладки олимпийского факела на ОАО «Красмаш» появилась необходимость проверки нескольких вариантов проведения процесса. Одним из таких вариантов стал процесс изготовления изделия из четырех отдельных частей: две боковые части, ручка и верхняя накладку. Процесс изготовления каждой из

частей индивидуальный и был рассмотрен отдельно. Модели инструментов и заготовок были подготовлены заказчиком в программном комплексе SolidWorks. Перед передачей моделей в редактор построения конечнотетраэдрной сетки и основной расчетный модуль программы PAM-STAMP проводилась предварительная проработка, которая включала определение используемых для расчета частей инструмента и заготовок, их позиционирование, редактирование для передачи в сеточный генератор.



Распределение толщины после штамповки в боковой части



Пружинение в боковой части



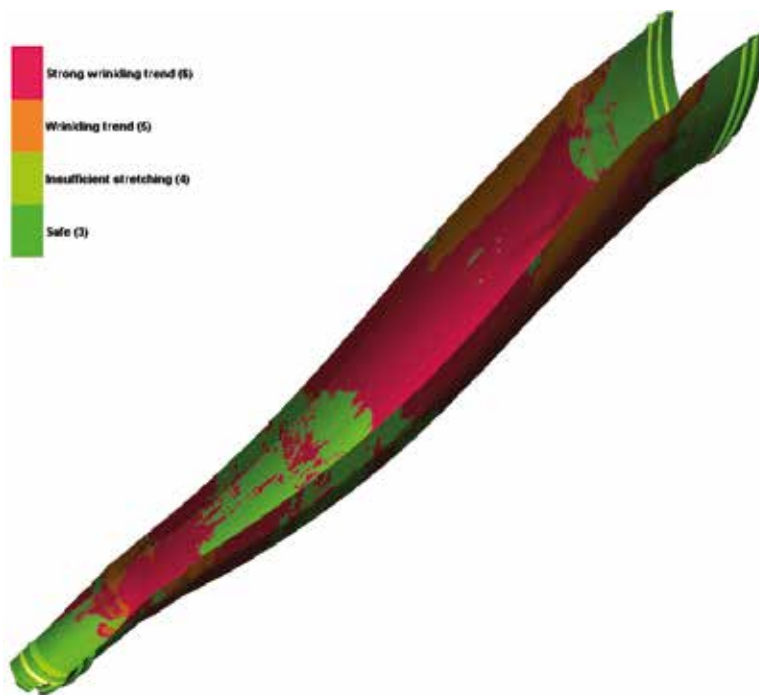
Пружинение в изделии после формовки верхней части



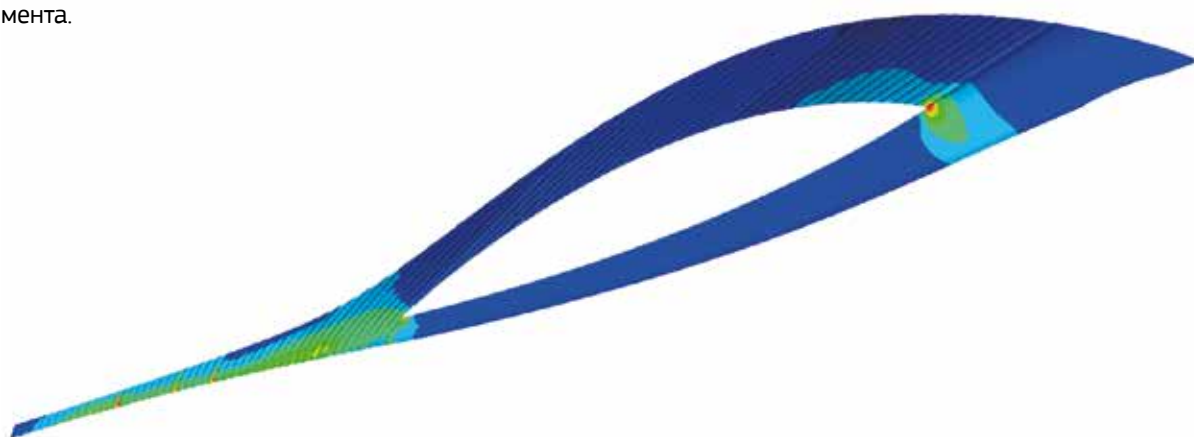
По результатам расчета формовки боковых частей и ручки можно заключить, что, во-первых, в связи с небольшим уровнем деформации и значением вытяжки достигаются сравнительно небольшие значения сопротивления деформации и утонения, которые позволяют говорить об отсутствии дефектов, связанных с превышением уровня пластичности материала и возможным разрушением (появление трещин, разрывов).

Во-вторых, по диаграмме предельной формуемости определены места появления дефекта типа складка – однако, эти места расположены локально и, скорее всего, говорят о временном попадании в область вероятного образования складки.

В-третьих, величина пружинения в изделии относительно его длины невелика – данное пружинение может быть устранено небольшой корректировкой инструмента.



Состояние поверхности верхней части изделия по диаграмме предельной формуемости



Распределение степени деформации

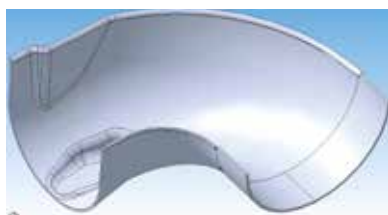
В результате моделирования изготовления верхней части изделия были получены следующие данные. По величине утонений и конечной толщины изделия данный вариант изготовления является хорошим – даже с учетом промежуточного растяжения заготовки величина утонения в рабочей области детали не превышает 5%. Однако, необходи-

мо следить за местами сильного утонения в местах контакта заготовки с прижимом. По напряженно-деформированному состоянию конечного изделия можно заключить, что места концентрации напряжений возникают в зоне ребер прижима. В некоторых проверочных вариантах расчета при недостаточном усилии прижима, а также при неполной

формовке изделия верхняя накладка эластичной подушкой на боковой поверхности возникали коробления, которые в последующем приведут к браку.

Это подтверждается при рассмотрении диаграммы предельной формуемости – на боковых частях вероятно появление складок.

Расчет формовки изделия «Половина патрубка правая» для ОАО «Уралтрансмаш»



Модель изделия
«Половина патрубка правая»

Цель работы:

- ▶ оценка формуемости изделия, определение возможных дефектов и их устранение;
- ▶ оценка временных и прямых затрат на освоение новых изделий с помощью PAM-STAMP.

При внедрении в производство изделия «Патрубок» было выявлено образование дефекта – разрыв. Для оценки причин образования дефекта и поиска вариантов устранения проблемы был применен программный комплекс

PAM-STAMP.

Исходными данными для моделирования были:

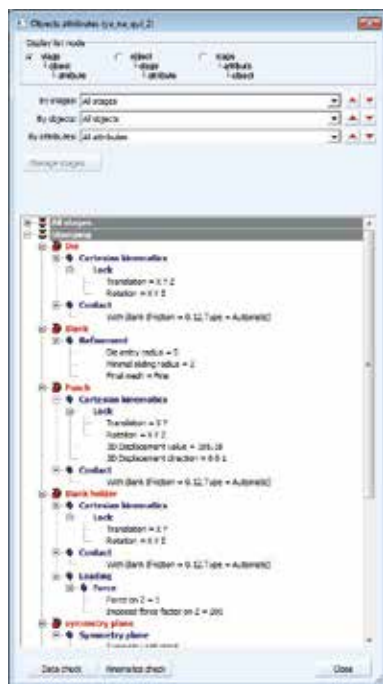
- ▶ объемная модель готового изделия;
- ▶ форма заготовки под формовку;
- ▶ материал и толщина заготовки;
- ▶ технологические параметры процесса;
- ▶ данные по нормочасам, затраченным на каждый этап проектирования.

В программном комплексе PAM-STAMP на основе модели изделия созданы все необходимые инструменты: матрица, пуансон, прижим и конечно-элементные модели всех объектов.

Также в процессе постановки задачи были заданы все скоростные и силовые параметры инструмента, материал, размеры заготовки, параметры смазки, все необходимые расчетные параметры.



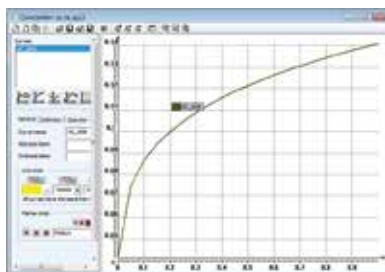
Подготовленная геометрия для моделирования штамповки изделия



Постановка задачи штамповки

В первичном расчете (с неизменными параметрами) получены результаты:

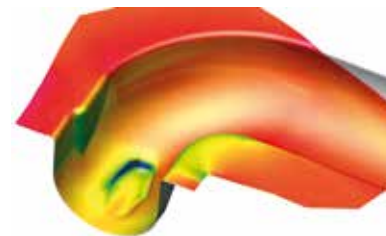
- ▶ сильное утонение на боковой поверхности формуемого углубления – больше 50% (толщина составляет менее 1мм при исходной толщине 2мм);
- ▶ утонение порядка 18% (толщина порядка 1,65 мм)



Кривая зависимости сопротивления деформации от степени деформации

найдено на боковых стенках и радиусах;

- ▶ обнаружено место двухосного растяжения, что вероятно приведет к образованию разрыва в данной области;
- ▶ на остальной поверхности изделия уровень напряжений не превышает критических значений.



Поле распределения утонения в изделии: синий цвет – очень большое утонение, приводящее к разрыву





Поле распределения первого главного напряжения, ГПа

Для снижения вероятности разрыва были предложены следующие меры:

- ▶ стенки штампа подняты на 2 мм, радиус увеличен с 4 до 6 мм;
- ▶ снижено усилие на прижиме со 150 до 100 кН;

- ▶ дополнительно увеличен радиус скругления для высокой стенки углубления с целью уменьшения натяжения формируемой части.

Дополнительно увеличены усилия прижима до номинального, чтобы избежать складок-гофра (красный цвет) в готовом изделии – изделие получено без дефектов



Распределение поле толщины металла после оптимизации процесса, мм



Качественный анализ состояния поверхности изделия после штамповки в соответствии с диаграммой предельной формоустойчивости

Расчет последовательной штамповки для СГАУ

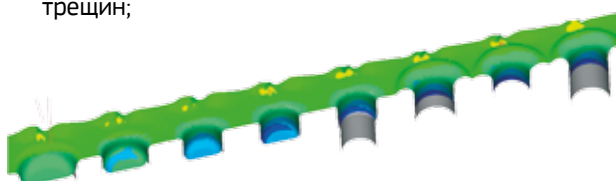


Процесс штамповки по шагам и конечный вид изделия

Цели работы:

- ▶ моделирование процесса последовательной штамповки на прессе;
- ▶ выявление зоны складок, трещин;

- ▶ определение размеров детали, получаемой по данной технологии.



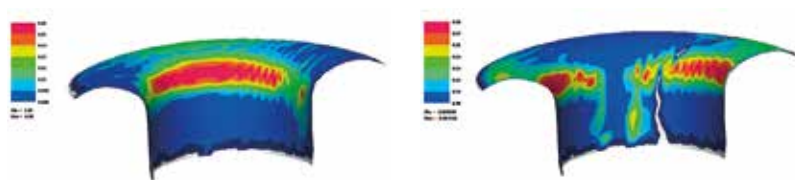
Геометрия основных инструментов – пуансонов и матрицы – была построена в CAD-программе и экспортирована в формате IGS. Сетка на инструментах создавалась автоматически по заданным параметрам при импорте геометрии в программу PAM-STAMP. Все остальные элементы, необходимые для проведения моделирования: заготовка, плоскость симметрии, система координат создавались при помощи внутренних удобных инструментов PAM-STAMP. Для расчета исполь-

зовался сплав CuZn37 из базы данных программы. В качестве заготовки использовалась длинная полоса. Это позволило провести моделирование последовательной штамповки так, как это было бы в реальном процессе, т.е. с постепенным перемещением заготовки на величину шага к следующему пуансону и одновременной деформацией полосы в нескольких очагах. Таким образом было учтено влияние жестких концов, изгиба полосы в вертикальном и горизонталь-

ном направлениях на укладку полосы на зеркало штампа, процесс деформирования, образование складок и иных дефектов.

По результатам проведенного моделирования установлено, что размеры полученного изделия соответствуют размерам на предоставленных чертежах с учетом допусков. Максимальное рассчитанное утонение заготовки находится в пределах 0,170-0,175 мм (42% от начальной толщины полосы) и сосредоточенно в месте наибольшей вытяжки.

Для оценки глубины поверхностных дефектов и мест вероятного появления складок использовались модули Stoning contour & sections и Renderer.



Анализ дефектов – глубина трещины в металле

В первом производилось сканирование поверхности изделия сенсором, движущимся вдоль указанных направлений. Оценка результатов данного сканирова-

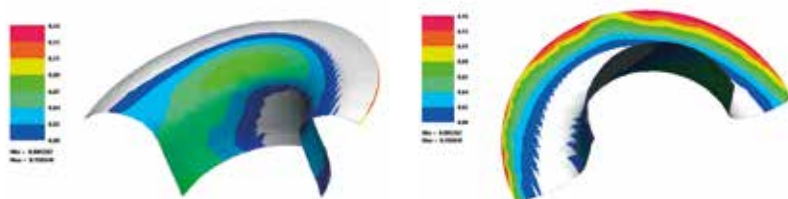
ния показала, что наибольшая глубина дефектов изделия сосредоточена вдоль всего перегиба и составляет 0,07-0,08мм. Во втором модуле анализ складок

производился сканированием поверхности параллельными лучами света. Складки были выявлены, их вероятное расположение показано.

Также был рассчитан процесс штамповки и искажения формы детали вследствие пружинения (максимальное значение составило 0,16 мм, при этом оно было распределено практически равномерно по всей периферии изделия). На внутреннем контуре пружинение оказалось не столь велико - не превышало 0,09 мм.



Анализ дефектов – с помощью света



Пружинение в готовом изделии

Моделирование процесса штамповки кожуха для Иркутского Авиационного завода (ИАЗ)



Готовое изделие

Для производства целого спектра деталей из листового материала все чаще применяется штамповка эластичной средой, что позволяет с одной стороны уменьшить стоимость инструментальной наладки и, с другой, производить изделия сложной формы.

При этом проблемы качества и точности геометрии получаемого

изделия по-прежнему являются актуальными, а отладка технологического процесса при помощи моделирования является одним из наиболее эффективных способов сокращения промышленных издержек. В качестве примера было проведено моделирование штамповки кожуха эластичным пуансоном в программном комплексе PAM-STAMP 2G.



Цели работы:

- ▶ оценка качества получаемого изделия;
- ▶ определения величины пружинения после снятия нагрузки;
- ▶ коррекция формы инструмента для компенсации пружинения.

Моделирование проводилось с полным учетом штамповой оснастки: нижнего металлического штампа, прижима и эластичного пуансона, форма которого была приближена к форме конечного изделия.

В результате расчета были получены картины распределения деформаций, напряжений, утонения и утолщения детали, возникающих контактных давлений и диаграмма предельной формоустойчивости.

Показатель утонения при штамповке составил менее 8%, что говорит о хорошем состоянии металла в данной зоне и отсутствии тенденции к образованию разрывов.

Тот же самый вывод можно сделать, если оценить эквивалентную деформацию, значение которой не превышает 0,14.

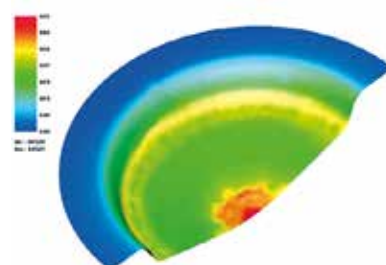
Величины напряжений не превысили 450 МПа, что для низкоуглеродистой стали является допустимым значением. Величины растягивающих напряжений не превышают 370 МПа.

Следующей важной величиной, которая была определена в ходе расчета, было пружинение - упругая деформация после снятия нагрузки.

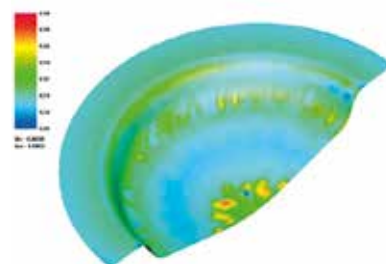
Моделирование показало, что отклонение центральной части для небольшого изделия существенное и превышает 0,3 мм. Соответственно начальная форма инструментов не обеспечивает попадание конечного изделия в поля допусков. Для данного изделия необходимо сделать противоизгиб профиля штампа



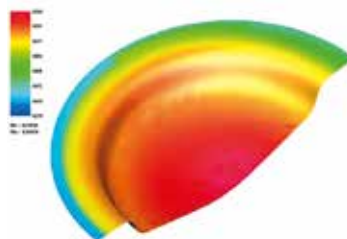
Этапы формовки: начало и конец



Утонение в готовом изделии



Уровень эквивалентных напряжений



Пружинение после формовки



Пружинение в изделии после компенсации

в направлении обратном пружинению. Однако его величина не является точно определенным параметром даже для данной геометрии, не говоря уже о более сложных профилях.

Для решения данной проблемы был использован встроенный в программу алгоритм компенсации пружинения, который автоматически меняет форму инструмента, проводит новый расчет с определением пружинения и если нужно снова изменяет инструмент. Таким образом, за несколько итераций программа предлагает форму инструмента, которая позволяет получить изделие в пределах допуска заданного пользователем.

После расчета компенсации штампа для детали «Кожух» видно, что большая часть заготовки находится вблизи нулевой отметки по отклонению - при этом есть локальные смещения в пределах 0,2 мм, что связано с сеточной моделью матрицы и может быть сглажено в CAD пакете.

В целом заметно, что модель после автоматической компенсации стала ближе к требуемой форме. На выходе была получена новая модель штампа, которая была передана в CAD и на основе нее созданная 3D модель требуемого инструмента, которую можно передать на изготовление.



Расчет сварочных напряжений и деформаций детали локомотива «балка поперечная» для ЗАО «ЦНИИ «ТрансЭлектроПрибор»



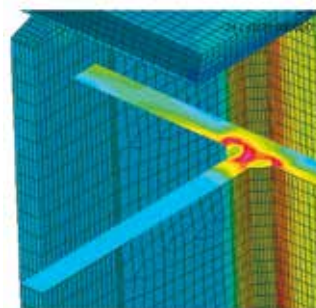
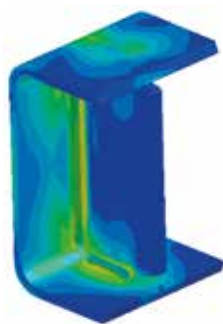
КЭ модель изделия

Цель работы:

- ▶ обеспечение минимального уровня местных остаточных деформаций и напряжений после сварки;
- ▶ определение эффективной схемы закрепления

конструкции, позволяющей минимизировать коробления изделия после сборки и сварки.

Для решения первой задачи был использован метод «усадки», реализованный в продукте WELD PLANNER. По компьютерной модели была построена модель конечных элементов (КЭ) конструкции. Входными данными являлись последовательность выполнения сварочных швов, свойства основного и сварочного материалов, а также схема закрепления конструкции. На основании этих данных была произведена серия расчетов, где анализировались конечные перемещения после сварки в зависимости от предложенной схемы закрепления. В результате сравнения перемещений была определена наиболее эффективная схема закрепления.

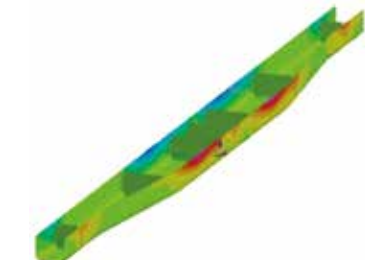


Местные остаточные напряжения после сварки

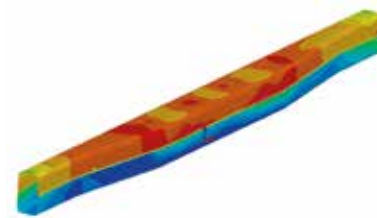
Вторая задача была решена в продукте VISUAL-WELD. Были проанализированы участки вварки ребер жесткости в корпус балки, так как это потенциальные концентраторы сварочных напряжений. Моделировались структурные и фазовые превращения в каждом сварном шве и зоне

термического влияния.

С помощью моделирования стало возможно оценить и минимизировать местные и общие напряжения и деформации. Также была предложена схема закрепления, обеспечивающая минимальные коробления готового изделия.



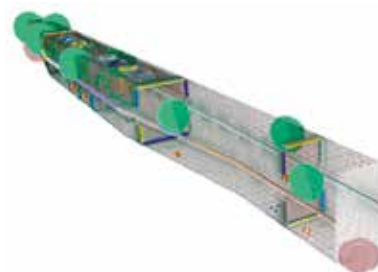
а



б

Перемещения после сварки:

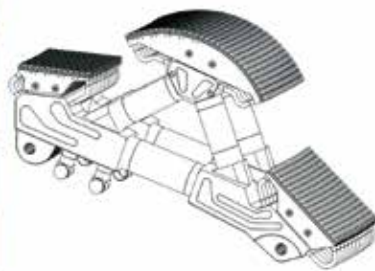
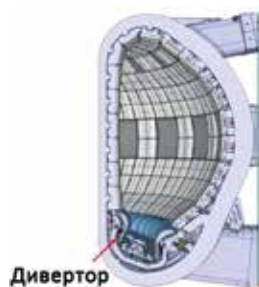
а – первой половины изделия; б – второй половины изделия



Предложенная схема закрепления изделия (цветными маркерами показаны места закреплений)



Определение оптимальной последовательности сварки корпуса силовой опорной конструкции центральной сборки дивертора (СОК ЦСД) в рамках проекта «ИТЕР» для НИИЭФА



Дивертор в составе первого барьера

Цель работы:

- ▶ определить последовательность выполнения сварочных швов, при которой остаточные сварочные напряжения и деформации будут иметь минимальные значения;
- ▶ оценить эффективность применения термической обработки после сварки.

Расчеты осуществлялись при помощи программного продукта VISUAL-WELD от ESI Group. Было проведено многодисциплинарное нестационарное моделирование процесса сварки с учетом температурной зависимости теплофизических и механических характеристик. Исследовались реологические свойства материалов в условиях изотермической выдержки.

Для решения задач была построена КЭ модель СОК ЦСД, сварочной оснастки и оснастки для термообработки. Входными данными являлись свойства основного и сварочного материалов, а также схема закрепления кон-

струкции. Последовательность выполнения швов была найдена путем сравнения результатов серии расчетов. Эффективность термообработки была определена по степени релаксации напряжений, которая была задана заказчиком.

Компьютерные исследования позволили определить последовательность выполнения сварных швов, удовлетворяющую поставленной задаче. Анализировались поля перемещений, напряжений и деформаций как в сварных швах, так и во всей конструкции после сварки и термообработки. Некоторые результаты показаны на рисунке.



Сварочная КЭ модель дивертора



Общие перемещения после сварки

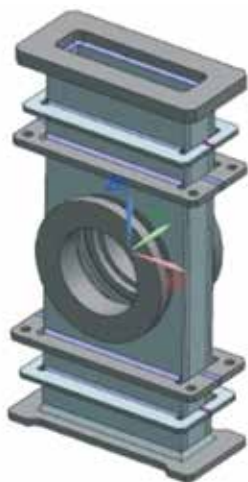
Разработка технологии сборки и сварки корпуса шиберной задвижки для ЗАО «КОНАР»

Специалисты ГК «ПЛМ Урал» - «Делкам-Урал» провели НИОКР, направленную на снижение сроков и стоимости производства трубопроводной арматуры для магистральных нефтепроводов высокого давления, для специализированного предприятия по производству деталей трубопроводной арматуры ЗАО «КОНАР».

Цель работы: разработка и проверка на опытном образце технологии сборки и сварки корпуса шиберной задвижки DN400 PN25.

Было проведено полное многодисциплинарное моделирование процесса сборки и сварки и последующей термообработки сваренной конструкции в паке-

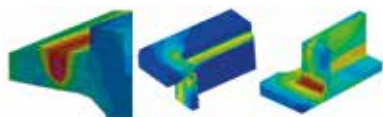
те SYSWELD с учетом взаимного влияния сварных швов и различных вариантов последовательности их выполнения. Проведен проверочный расчет на прочность при действии испытательных и рабочих нагрузок с учетом остаточных технологических напряжений.



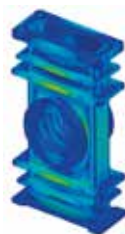
Компьютерная модель задвижки

Для решения задачи была построена КЭ модель задвижки. Входными данными являлись свойства основного и сварочного материалов. Расчеты проводились сериями для каждого этапа сборки-сварки. В каждой серии выбирались оптимальные варианты, которые обеспечивали эффективную и реализуемую на практике систему креплений для минимизации остаточных сварочных напряжений и деформаций. Расчеты на прочность были проведены с учетом технологических напряжений после сварки и термообработки.

Сравнение расчетных и экспериментальных значений короблений конструкции показало высокую сходимость. Важным результатом работы явилось подтверждение возможности производства корпуса задвижки по предложенной технологии с учетом требований, предъявляемых к трубопроводной арматуре высокого давления. Кроме того, была предложена компоновка сварочной оснастки и система креплений детали в ходе сборки-сварки.



Остаточные сварочные напряжения



Напряжения при испытании задвижки



Общий вид стола для сборки-сварки изделия



Композиты

Верификация пропитки стеклоткани инфузионным методом для CompMechLab

Цель работы: верификация свойств материала на примерах стекловолоконных лент для использования полученных данных в дальнейших расчетах изделий состоящих из исследуемого материала. Лаборатория «Вычислительная механика» CompMechLab поставила задачу перед инженерами ГК «ПЛМ Урал»-«Делкам-Урал» промоделировать процесс пропитки стекловолоконной ленты шириной 15 мм и длиной 100 мм. В качестве технологии была выбрана вакуумная инфузия, нахо-

дящая все большее применение в современной промышленности.

Пропитываемый материал представляет собой стекловолоконную ленту, по периметру которой располагается материал с повышенной проницаемостью (обозначим его как Flow Media). Правый торец изделия определен как место подачи связующего, а через левый торец производится отвод смолы. В торцевых и боковых зонах находится так называемая FlowMedia - среда течения, с более высокой проницаемостью,

которой в данном случае обусловлена наличием воздушных пустот между волокнами и вакуумной пленкой.

Процесс пропитки схематично изображен на рисунке ниже:



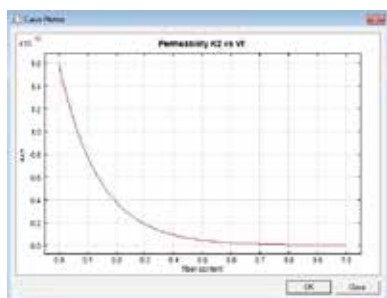
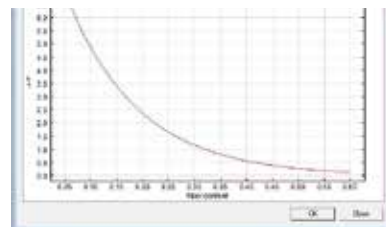
Моделирование процесса вакуумной инфузии проводилось в пакете PAM-RTM. Для запуска на расчет задавали следующие исходные данные:

- ▶ вязкость связующего;
- ▶ проницаемость и сжимаемость материалов;
- ▶ толщину изделия;
- ▶ пористость материалов;
- ▶ величину избыточного давления действующего на систему;
- ▶ величины давления на границах подачи и отвода связующего.

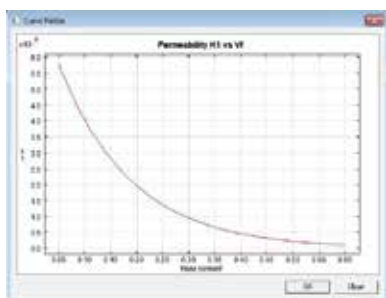
В ходе процесса моделирования под действием внешнего давления изменяется значение проницаемости и сжимаемость материалов в каждом направлении. С помощью специальных инструментов, имеющихся в пакете PAM-RTM, необходимые

параметры были заданы в виде функциональных зависимостей. Так, например, проницаемость материалов в направлениях утка и основы описывается параболической функцией, а в третьем направлении изменяется линейно.

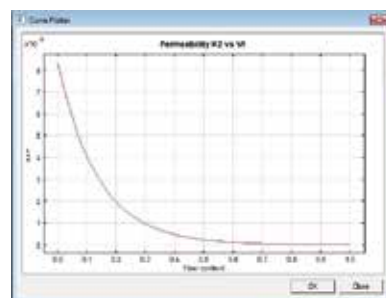
Проницаемость стеклоткани в направлении оси K1 (основы)



Проницаемость стеклоткани в направлении оси K2 (утка)



Проницаемость материала Flow Media в направлении оси K1 (основы)



Проницаемость материала Flow Media в направлении оси K2 (утка)

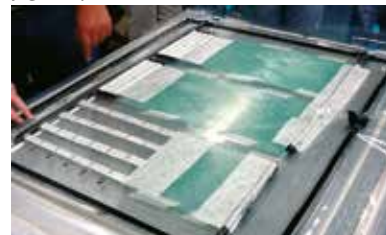
Начальная толщина материала равна 2,2 мм, пористость составляет 50%, перепад давления между входом и выходом 0,1 атм. Толщина ткани, указанная в граничных условиях, используется как начальная толщина без приложения давления. В дальнейшем PAM-RTM рассчитывает фактическую толщину ткани в зависимости от кривой сжимаемости и оказываемого давления.

В результате проведенного расчета были получены эпюры распространения связующего, распределение давления в изделии, количество поданной смолы и величина потерь. Время пропитки составило 23 минуты.

Также было проведено сравнение моделирования с натурным экспериментом. Эксперимент состоял в пропитке четырех образцов стекловолоконной ленты. В ходе его проведения фиксировалось время процесса и визуально при помощи шкалы определялся фронт пропитки и его продвижение.

Моделирование показало очень близкие результаты к натурному эксперименту как по форме фронта пропитки, так и по времени распространения связующего. Таким образом, сравнение расчета и реального процесса позволило сделать вывод о применимости программного

обеспечения для решения задач инфузионной пропитки. Моделирование в дальнейшем может применяться специалистами компании CompMechLab вместо проверочных экспериментов при разработке технологии пропитки более сложных и многослойных деталей из стекловолоконной ленты.

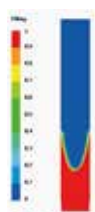


Рабочий экспериментальный стол для пропитки



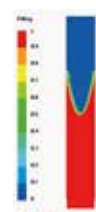
Экспериментальная величина пропитки в момент времени 100 секунд

Величина пропитки при моделировании в момент времени 105 секунд



Экспериментальная величина пропитки в момент времени 380 секунд

Величина пропитки при моделировании в момент времени 387 секунд

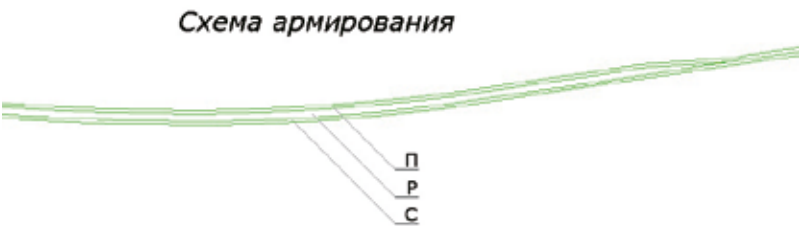


Производство изделия «Крышка» методом вакуумной инфузии в PAM-RTM для ОАО «Авиадвигатель»

Цель работы: определение оптимальной схемы производства детали «Крышка» на основании результатов численного моделирования в программе PAM-RTM, оценка проводилась на основании реализуемости выбранной схемы на практике и количества затраченного связующего.

В данной задаче оптимизировался процесс пропитки детали «Крышка» методом вакуумной инфузии. Было промоделировано три различных схемы производства. Варьировались место подачи и отвода связующего вещества. В производстве деталь «крышка» изготавливается

из углеродистой ленты и эпоксидной смолы. На рисунке ниже показана схема армирования изделия. Модель изделия состоит из трех пакетов слоев: П, Р и С.



Внешние границы изделия состоят из 16 слоев пакетов П и С. Их толщина составляет порядка 2 мм с ориентацией слоев 0° (вдоль оси X) и 90° (вдоль оси Y). Средняя часть изделия состоит из пакета Р из 26 слоев с толщиной около 3,5 мм и ориентацией 90°.

В данной задаче анализировалось время, затрачиваемое на пропит-

ку изделия и количество израсходованного связующего вещества.

Было промоделировано три различных схемы производства.

Таблица 1

	Время, затраченное на пропитку изделия, с	Количество связующего затраченного на пропитку изделия, м³	Количество потерянного связующего, м³
Подача и отвод связующего с торцов заготовки	264	$6,815 \cdot 10^{-3}$	$8,695 \cdot 10^{-6}$
Линейная подача вдоль оси симметрии детали, отвод с боковых торцов	5,83	$9,338 \cdot 10^{-3}$	$2,519 \cdot 10^{-3}$
Точечная подача в центре детали, отвод с боковых торцов	101	$6,835 \cdot 10^{-3}$	$7,713 \cdot 10^{-5}$

Первым моделировался процесс подачи и отвода связующего с торцов детали.

Вторым - линейная подача связующего вдоль оси симметрии детали, отвод производился с боковых торцов крышки.

Последним моделировалась точечная подача связующего в центр детали, отвод также производился с боковых торцов.

Результаты, полученные в ходе расчета, представлены в табл. 1.



Схема 1. Подача и отвод связующего с торцов детали. Граничные условия: Группа 1 - подача связующего, Группа 2 - отвод связующего



Схема 1. Подача и отвод связующего с торцов детали. Время пропитки изделия



Моделирование показало, что все три технологии применимы для получения качественного изделия без дефектов пропитки. Различие между вариантами заключается во времени пропитки и различном распределении давления связующего по изделию. Наиболее оптимальным является второй вариант, при линейной подаче связующего вдоль оси симметрии детали.

Программа PAM-RTM позволяет моделировать технологию пропитки композитных материалов, оптимизировать схему и параметры подачи связующего, прогнозировать и определять места вероятных дефектов, минимизировать непропитанные области за счет переменной скорости и давления подаваемой смолы.

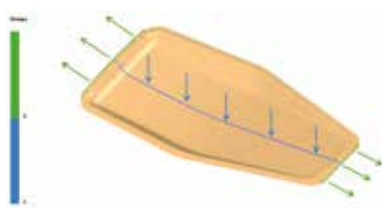


Схема 2. Линейная подача вдоль оси симметрии детали, отвод с боковых торцов. Граничные условия: Группа 1 - подача связующего, Группа 2 - отвод связующего

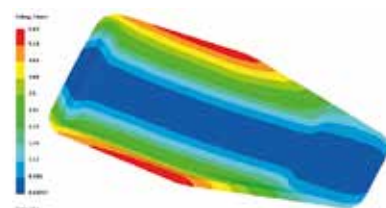


Схема 2. Линейная подача вдоль оси симметрии детали, отвод с боковых торцов. Время пропитки изделия

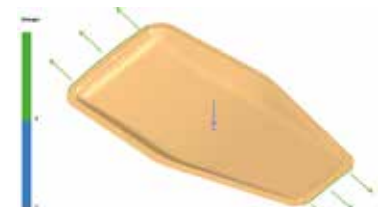


Схема 3. Точечная подача в центре детали, отвод с боковых торцов. Граничные условия: Группа 1 - подача связующего, Группа 2 - отвод связующего



Схема 3. Точечная подача в центре детали, отвод с боковых торцов. Время пропитки изделия

Моделирование процесса пропитки изделия «Оснастка» методом вакуумной инфузии в продукте PAM-RTM для Дальневосточного Федерального Университета

Целью данной работы было показать применимость продукта PAM-RTM на примере пропит-

ки изделия «Оснастка» методом вакуумной инфузии и в ходе расчета спрогнозировать места

образования сухих зон при производстве детали.

Исследуемое изделие «Оснастка» используется в качестве матрицы при производстве композитной конструкции методом автоклавного формования. Данная деталь изготавливается из стеклоткани методом вакуумной инфузии. Изделие «Оснастка» однородно и состоит из ламината с симметричной укладкой слоев. На поверхность детали выкладываются «распределительные полосы», вдоль которых располагаются штуцеры, через которые

подается связующее.

Вначале пропитки смола движется по «распределительным полосам» – лентам с высокой проницаемостью, затем по корпусу изделия. Для повторения такого характера течения связующего в моделировании изделие было разделено на три зоны, каждой из которых были присвоены соответствующие толщины и свойства проницаемости. Расчет технологии ведется на оболочечной модели.

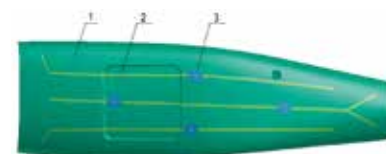


Схема укладки ламината в изделии, Visual Mesh. Каждой зоне соответствует собственный ламинат слоев. Зона 1 – основная часть изделия, Зона 2 – полосы подачи связующего, Зона 3 – питающие штуцеры

Каждой зоне присвоен собственный ламинат слоев. Перед запуском на расчет в автоматическом режиме происходит пересчет толщины и эквивалентной проницаемости. При

решении данной задачи учитываются свойства смолы и материала, толщина конструкции, процентное содержание волокна и выбранная схема производства. Подача связующего ведется

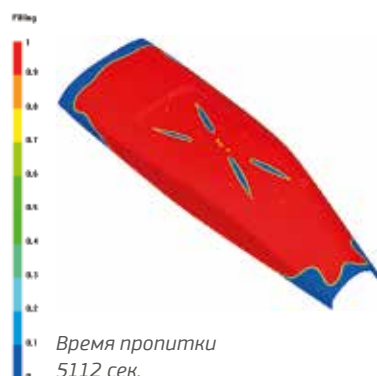
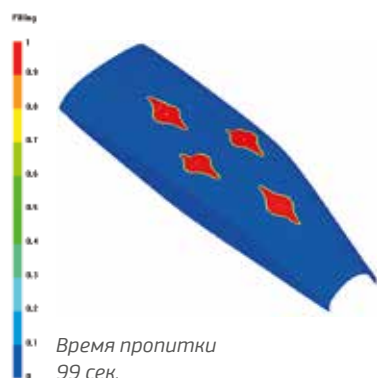
в центр питающих штуцеров (Группа 1). Схема расположения вакуумных портов на исследуемой детали приведена на рисунке. Пропитка ведется до физического вакуума.

При разработке технологии пропитки конструкции необходимо учитывать, что в изделии могут остаться сухие зоны материала. Моделирование пропитки останавливается с некоторым количеством не заполненных элементов, как видно из рисунка. При данной схеме подачи и отвода связующего в изделии оказы-

вается большое количество непропитанных областей, что видно из результатов расчета. Сухие зоны остаются в центре изделия и по углам детали. Возможным решением этой проблемы является добавление точек отвода связующего в непропитанных местах и увеличение зоны на обработку.



Схема расположения вакуумных портов, PAM-RTM.
Группа 1 – порты подачи связующего



Проанализировав результаты, можно предположить, что непропитка в центре детали возникает из-за схождения потоков и образования отрицательного градиента давления в данной области. Сухие зоны в углах детали могли быть вызваны недостаточным перепадом давления на входе или высокой вязкостью связующего.

Данная работа позволяет качественно оценить характер течения при различных схемах производства, время изготовления и объем затраченного связующего. Проведенный численный расчет позволяет получить пред-

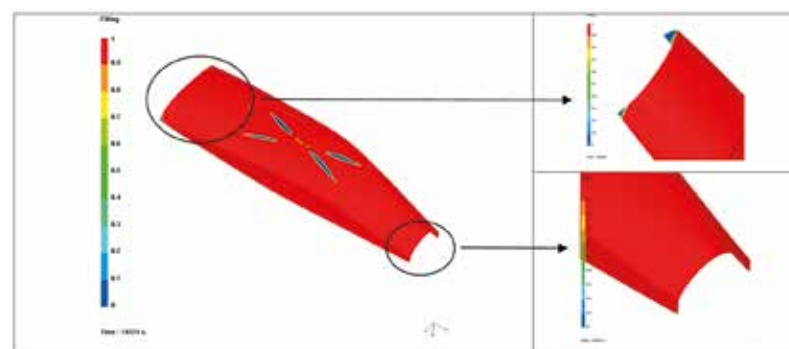


Схема расположения вакуумных портов, PAM-RTM.
Группа 1 – порты подачи связующего

ставление о ходе производства и возможных дефектах, что впоследствии позволило сократить

количество стендовых экспериментов.





УрФУ и Уральский НИИ фтизиопульмонологии визуализировали легкие человека в IC.IDO

Сегодня инновационные технологии проникают во все сферы деятельности человека. Медицина не является исключением. Современные технологии позволяют выявлять заболевания еще на ранней стадии, сокращать риск ошибки при диагностике, проводить эффективное обучение

молодых специалистов и многое другое.

Уральский Федеральный Университет и Уральский НИИ фтизиопульмонологии Минздрава России разработали метод 3D визуализации патологических образований в лёгких человека с возможностью количественно-

го измерения объёма поражения и навигации при проведении хирургических вмешательств и диагностических процедур. Такой метод позволяет повысить точность, информативность и безопасность диагностики и лечения данной патологии.

Цель разработки:

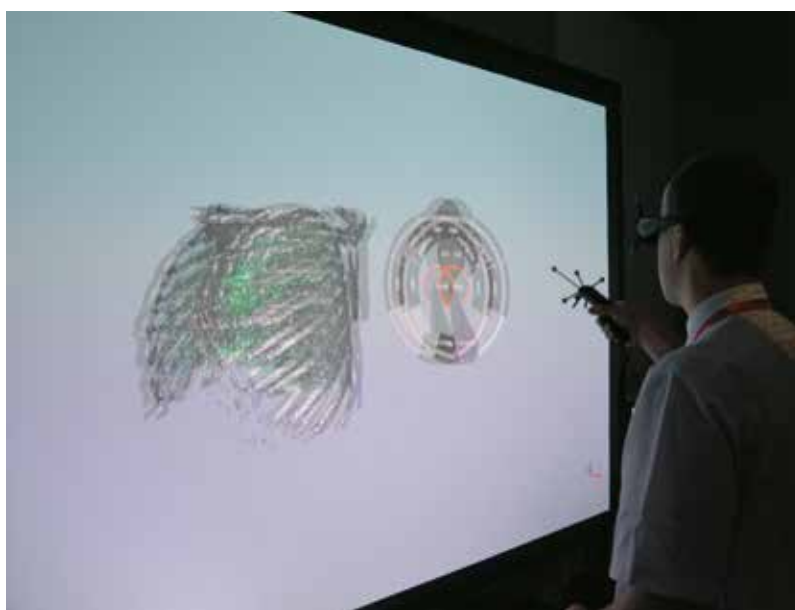
- ▶ устройство - тренажер с применением виртуальной и дополненной реальности для обучения студентов, интернов, ординаторов и врачей фтизиатрии (туберкулёз), пульмонологии и торакальной (грудной клетки) хирургии;
- ▶ разработка программно-аппаратного комплекса построения интерактивной виртуальной модели на основе данных реального пациента для поддержки принятия решения о тактике

хирургического вмешательства и его поведения в условиях виртуальной реальности с последующим анализом и планированием реальной операции, в том числе с диагностической целью;

- ▶ создание метода объективной оценки объёма поражения ткани лёгких при различных заболеваниях, в том числе при диссеминированных процессах (рассеянных), с учетом динамики, в том числе как на фоне проводимого лечения так и без такового.



Высокая эффективность данного метода достигается при использовании инновационной системы виртуального прототипирования IC.IDO



Ожидаемые эффекты от применения метода:

- ▶ накопление опыта и базы знаний;
- ▶ уменьшение числа ошибок и осложнений;
- ▶ сокращение сроков и стоимости пребывания и лечения пациента в стационаре.



Уралвагонзавод использует IC.IDO для демонстрации изделий на выставках

Одной из важных видов деятельности любого производителя является демонстрация своей продукции заказчикам. Отраслевые выставки стали одним из самых популярных способов продвижения изделий на рынке. Но участие в подобных мероприятиях порой сопровождается большими расходами и сложностями, связанными с необходимостью транспортировки экспонатов, габариты и вес которых могут быть велики.

Для решения подобных задач современные зарубежные компании используют систему виртуального прототипирования IC.IDO компании ESI Group, которая позволяет не создавая физического прототипа, демонстрировать дизайн, возможности и конструктивные особенности изделия. Урал-



Общий вид модели цеха, двигателя и танков

вагонзавод, крупнейший в России многопрофильный машиностроительный комплекс, использовал систему IC.IDO для демонстрации 12-поршневого дизельного двигателя В-92 от танка Т-90СМ на международной выставке вооружения Russia Expo Arms-2013.

Инженер ГК «ПЛМ Урал» - «Делкам-Урал» визуализировал

в IC.IDO полную сборку двигателя В-92 производства ЧТЗ-УРАЛТРАК, находящегося в производственном цеху, а также виртуальные модели танков Т-90СМ с различными вариантами покраски, которые включают в общей сложности более 20 000 деталей и более 60 млн. полигонов.



Сечение модели двигателя



Оценка эргономики с помощью виртуальных моделей людей



По решению заказчика в выставочном павильоне была дополнительно установлена настоящая физическая модель двигателя В-92. Для транспортировки данного образца весом более одной тонны пришлось разбирать стену павильона и заливать бетоном пол для его дальнейшей установки. На это потребовался целый рабочий день и бригада строителей. В то же время, для установки мобильной версии системы виртуальной реальности IC.IDO понадобилось всего 40 минут. Ее можно транспортировать легковым автомобилем и самолетом, что, несомненно, гораздо удобнее для подобных мероприятий, чем транспортировка физических прототипов.



Физический прототип двигателя В-92



Особое впечатление посетителей выставки вызвала анимация работы двигателя в IC.IDO. Некоторым деталям изделия была придана прозрачность, благодаря чему можно было наглядно посмотреть, как движутся поршни, клапаны, вращаются шестерни, коленвал и пр.

Подобной наглядности конструктивных особенностей и возможностей изделия не всегда возможно достичь с помощью реального прототипа.

Руководство корпорации высоко оценило работу стенда на выставке, который пользовался большой популярностью, в том числе благодаря использованию IC.IDO для наглядной виртуальной демонстрации двигателя.

Демонстрация полупрозрачной модели, иллюстрирующей работу двигателя



Уралвагонзавод совместно с Bombardier Transportation представляют проект вагона метро в системе виртуальной реальности IC.IDO

Мировой лидер в области рельсового транспорта и технологий канадская компания Bombardier Transportation и ведущий производитель железнодорожного подвижного состава в России «Научно-производственная корпорация Уралвагонзавод» представили собственный проект, созданный в рамках программы по развитию и производству поездов метро, отвечающий требованиям Московского метрополитена.



Генеральный директор НПК «УВЗ» Олег Сиенко представляет модель концептуально нового вагона-метро руководителю Администрации президента РФ Сергею Иванову



Заместитель председателя правительства Российской Федерации Аркадий Дворкович на демонстрации виртуальной модели нового метровагона

Осенью 2013 года был объявлен конкурс на поставку вагонов для московского метро в период с 2015 до 2020 года. К началу декабря 2013 года компании-производители должны были представить свои проекты для участия.

С помощью системы виртуальной реальности IC.IDO НПК «Уралвагонзавод» и Bombardier Transportation смогли подготовить к показу свой концептуально новый проект вагона метро в двухнедельный срок, имея в наличии лишь дизайнерскую 3D-модель.

Демонстрация проекта состоялась с 5 по 7 декабря 2013 года в рамках выставки «Транспорт России 2013».

На стенде корпорации гости выставки имели возможность оценить виртуальный прототип метровагона, его удобство при эксплуатации и превосходный дизайн, а также его конструктивные и технические особенности в системе IC.IDO. Все желающие могли виртуально пройтись по всему составу метropоезда и, находясь в салоне, оценить уровень комфорта для пассажиров. Стенд УВЗ пользовался большим спросом на выставке и привлек внимание руководства администрации президента и членов правительства РФ.

IC.IDO дает возможность производителю и заказчику уже на ранних этапах проекта увидеть разрабатываемое изделие в натуральную величину, поработать с виртуальным прототипом в режиме реального времени, провести проверку конструкционных особенностей, выявить и устранить ошибки и неточности, что в результате позволяет повысить качество изделия и вывести его на этап производства в кратчайшие сроки.



Модель метровагона и станции в IC.IDO



Оценка удобства вагона с точки зрения пассажира



Сиденья-трансформеры, которые можно складывать в час пик



Отзывы

ООО «ПК «Новочеркасский Электровозостроительный Завод»

Отдел главного металлурга Новочеркасского Электровозостроительного Завода ООО «ПК» НЭВЗ» выражает благодарность специалистам ГК «ПЛМ Урал»-«Делкам-Урал» за грамотно подготовленные учебные видеоматериалы по построению конечно-элементной сетки на примере отливки «Корпус» для программного комплекса ProCAST.

Этот краткий видео курс позволит улучшить навыки работы

наших специалистов в данном программном обеспечении в области построения сетки и снизить время, необходимое для выполнения трудоемкого процесса. Нуждаемся в пополнении учебных материалов новыми примерами. Просим Вас рассмотреть возможность создания видео курса по построению расчетной сетки для отливки и формы, назначения начальных условий процесса литья с использованием плоскости симметрии на приме-

ре отливки «Букса», выпускаемой на нашем предприятии.

Надеемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество между нашими организациями.

Главный металлург ООО «ПК «НЭВЗ»
С.Д. Сарыев



ОАО «КАМАЗ-Металлургия»

ОАО «КАМАЗ - Metallургия» выражает благодарность ГК «ПЛМ Урал»-«Делкам-Урал» за отличную работу по поставке программного обеспечения ProCAST в рамках проекта «Внедрение системы управления жизненным циклом продукции на литейный завод ОАО «КАМАЗ-Металлургия».

ГК «ПЛМ Урал»-«Делкам-Урал» точно в срок выполнила поставку программного обеспечения ProCAST, на высоком профессиональном уровне провела обуче-

ние технических специалистов, что позволило в кратчайшие сроки начать получать планируемый результат.

Специалисты ГК «ПЛМ Урал»-«Делкам-Урал», участвующие в проекте, проявили себя как профессионалы, оперативно и качественно решающие все возникающие вопросы.

Будем рады дальнейшему сотрудничеству между нашими организациями!

Главный технолог литейного завода
ОАО «КАМАЗ-Металлургия»

Н.Ф. Гумадеев



ОАО Авиацiонные редуктора и трансмиссии пермские моторы (ОАО «РЕДУКТОР-ПМ»)

Для проектирования и изготовления литейной оснастки на ОАО «Редуктор-ПМ» было принято решение использовать один из программных продуктов для компьютерного моделирования процессов литья.

Для выбора наилучшего программного продукта была сформулирована тестовая математическая задача на основе реального дефекта для отливки серийного производства. Наилучшую сходимость результатов компьютерного моделирования с реальной картиной наблюдаемых дефектов показал пакет программного обеспечения ProCAST, тестовый расчет в котором был проведен специалистами ГК «ПЛМ Урал» - «Делкам-Урал». В итоге ProCAST, являющийся одним из мировых лидеров в области моделирования процессов литья, был выбран для использования на нашем предприятии при проектировании литейной оснастки.

С октября 2011 года на

ОАО «Редуктор-ПМ» проводилась опытная эксплуатация пакета программного обеспечения ProCAST, для этого ГК «ПЛМ Урал»-«Делкам-Урал» была предоставлена бесплатная тестовая лицензия и техническая помощь для полноценного освоения продукта.

В марте 2012г. были приобретены лицензии на необходимые для решения задач предприятия модули пакета ProCAST.

В декабре 2012 года специалистом ГК «ПЛМ Урал» - «Делкам-Урал» был проведен курс обучения «Основы работы в программном комплексе ProCAST», обучение прошли 5 специалистов ОАО «Редуктор-ПМ». На текущий момент при проектировании литейной оснастки на ОАО «Редуктор-ПМ» в обязательном порядке используется ProCAST для обеспечения проектирования оптимальной литниково-питающей системы и подбора оптимальных параметров заливки сплава.

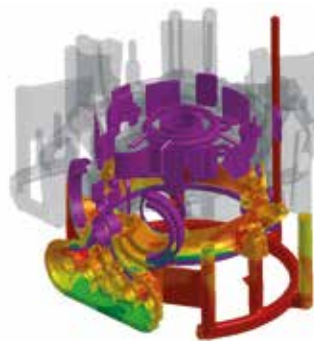
На протяжении всего време-

ни работы с ProCAST ГК «ПЛМ Урал»-«Делкам-Урал» оказывает высококвалифицированную техническую поддержку и поставляет обновления программного обеспечения.

Специалисты ОАО «Редуктор-ПМ» в полной мере удовлетворены работой с ГК «ПЛМ Урал»-«Делкам-Урал» и уровнем подготовки специалистов оказывающих техническую поддержку.

Заместитель
управляющего директора
по информационным технологиям
ОАО «Редуктор-ПМ»

А.Я. Сушин



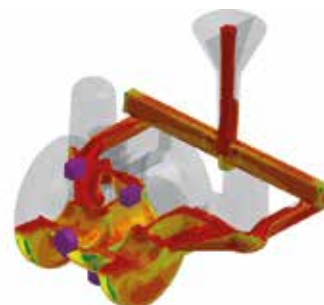
ООО «Промышленная компания «Бежицкий сталелитейный завод»

ООО «ПК «БСЗ» выражает благодарность ГК «ПЛМ Урал» - «Делкам-Урал» за отличную работу в поставке программного обеспечения ProCAST в рамках проекта внедрения системы моделирования литейных процессов.

ГК «ПЛМ Урал»-«Делкам-Урал» на высоком профессиональном уровне провела обучение инженеров и предоставила тестовую лицензию программного обеспечения, что позволило в кратчайшие сроки начать получать планируемый результат, а также принять

взвешенное решение о приобретении ProCAST. ГК «ПЛМ Урал»-«Делкам-Урал» зарекомендовала себя, как надежный и ответственный партнер. Также хотелось бы отметить оперативность, профессионализм и гибкий подход к решению возникающих проблем менеджеров и технических специалистов ГК «ПЛМ Урал»-«Делкам-Урал», участвующих в данном проекте. Надеемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество между нашими организациями.

Главный металлург ООО «Промышленной компании «Бежицкий сталелитейный завод» **Ю.В. Шкляров**



ФГБОУ ВПО «Самарский Государственный Аэрокосмический Университет имени академика С.П.КОРОЛЕВА»

ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)» выражает благодарность специалистам технической поддержки отдела инженерного анализа ГК «ПЛМ Урал»-«Делкам-Урал» и, в особенности, Ершову Александру Алексеевичу за решение задачи последовательной штамповки изделия из сплава Л63 в программном комплексе PAM-STAMP 2G.

Данная работа позволила на новом

высоком уровне оценить технологию производства, получить точные данные по напряженно-деформированному состоянию, энергосиловым параметрам, местам образования складок, разрывов, величинам утонения металла и значениям пружинения в изделии после снятия нагрузки. Также решение задачи и подробное описание ее постановки показали возможность применения программного обеспечения PAM-STAMP 2G в решении научно-исследовательских задач и учебном процессе.

Декан инженерно-технологического факультета ФГБОУ ВПО СГАУ, к.т.н., доцент **Хардин М.В**



ОАО «Красноярский машиностроительный завод»

ОАО «Красноярский машиностроительный завод» выражает благодарность специалисту ГК «ПЛМ Урал»-«Делкам-Урал» старшему инженеру технической поддержки Ершову Александру Алексеевичу за проведенный расчет процесса листовой штамповки в программе PAM-STAMP (компания ESI Group) изделия «Накладка» для факела зимней Олимпиады 2014 в г. Сочи. Расчет был проведен на высоком уровне. Были учтены все особенности процесса штамповки: применение эластичной среды

для формовки, наличие нескольких переходов, параметры и возможности используемого оборудования и материалов заготовки. В результате проведенного моделирования процесса удалось определить места образования дефектов при штамповке и исключить на стадии подготовки к производству варианты технологии, приводящие к браку в конечном изделии. Благодарим за оказанную помощь в решении сложной производственной задачи и надеемся на наше дальнейшее сотрудничество!

Заместитель генерального директора ОАО «Красноярский машиностроительный завод» технический директор **О.П. Якубович**



ООО «Сименс»

ООО «Сименс» в лице ведущего инженера Бройтмана Олега Аркадьевича выражает благодарность инженерам отдела технической поддержки ГК «ПЛМ Урал»-«Делкам-Урал» за проведение консультаций при выполнении ряда ответственных проектов по моделированию сварочных процессов.

Особо хотелось бы отме-

тить вклад и высокую квалификацию инженера Биленко Георгия Андреевича. В ходе проведения нами последней работы, в рамках которой производили исследование процессов сварки цилиндрических тел в условиях непрерывной миграции источника тепла, обеспечивающего предварительный локальный разогрев зоны шва, указанным

специалистом был оказан широкий спектр консультационных услуг, что позволило нашей компании решить поставленную задачу в полном объеме и в срок.

Надеемся на дальнейшее успешное сотрудничество между нашими компаниями.

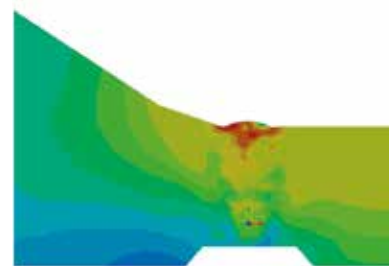
Ведущий инженер отдела корпоративных технологий ООО «Сименс», к.т.н. Бройтман О.А.

ГНЦ ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей»

ГНЦ ФГУП «ЦНИИ Конструкционных материалов «ПРОМЕТЕЙ» выражает благодарность специалистам технической поддержки отдела инженерного анализа ГК «ПЛМ Урал»-«Делкам-Урал» за помощь в решении задач сварки кольцевых неповоротных стыков сосудов большого объема, работающих под высоким давлением, в программном продукте VISUAL-WELD ESI Group. Результаты расчетов позволили на новом высоком уровне оценить

технология сварочного производства, получить точные данные о напряженно - деформированном состоянии сваренных стыков, их микроструктуре, величинам коробления и деформаций после сварки. Благодаря точному моделированию основных процессов сварки плавлением, программный продукт VISUAL-WELD может быть применен при решении отраслевых научно-исследовательских задач и в учебном процессе.

Ведущий специалист группы технологического моделирования ГНЦ ФГУП «ЦНИИ Конструкционных материалов «ПРОМЕТЕЙ» Груздев Д.В.



Центр композитных технологий Казанского национального исследовательского университета им. А.Н. Туполева

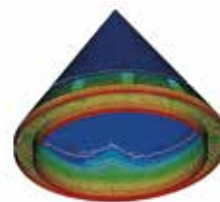
Центр композитных технологий Казанского национального исследовательского университета им. А.Н. Туполева выражает благодарность инженерам технической поддержки ГК «ПЛМ Урал» - «Делкам-Урал» за проделанную работу в рамках внедрения программного обеспечения ESI Group.

Хотелось бы отметить слаженную и грамотную работу и высокую квалификацию инженера технической поддержки Пещеренко Екатерины, и поблагодарить за высокое качество обучения сотрудников университета программным комплексам PAM-RTM и PAM-FORM, за техническую поддержку в ходе

проводимых исследовательских работ и взаимодействие со специалистами компании ESI Group.

В процессе использования продуктов ESI Group был сделан вывод, что численное моделирование технологий производства изделий из композиционных материалов в программных модулях PAM-RTM и PAM-FORM в должной мере соответствует реальным технологическим процессам. В настоящее время данные программные комплексы внедрены в научно-исследовательскую и учебную деятельность нашего университета и обеспечивают решение поставленных производственных задач.

Зав. кафедрой производства ЛА, Руководитель Центра композитных технологий, д.т.н., профессор В.И. Халиулин



Дальневосточный Федеральный Университет

Дальневосточный Федеральный Университет выражает благодарность специалистам ГК «ПЛМ Урал» - «Делкам-Урал» за проделанную работу по моделированию процесса пропитки композитного изделия методом вакуумной инфузии.

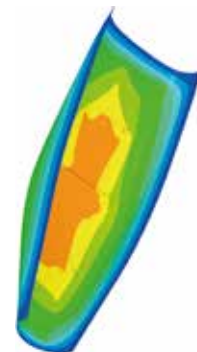
Расчет, проведенный в программном продукте PAM-RTM, позволил наглядно продемонстрировать технологию производства изделия, спрогнозировать места образования и причины появления дефектов. Проведение численного

моделирования помогло улучшить понимание технологии процесса и избежать образования дефектов при производстве.

В результате проведенной работы были сделаны выводы о целесообразности применения программного продукта PAM-RTM для расчета технологических задач производства композитных изделий методом инъекции связующего в форму.

Надеемся на наше дальнейшее плодотворное сотрудничество!

*Заведующий Кафедрой технологий
промышленного производства
Инженерной школы ДВФУ
Змеу К.В.*



Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана выражает благодарность специалисту ГК «ПЛМ Урал» - «Делкам-Урал», инженеру технической поддержки Пещеренко Екатерине Сергеевне за проведенное обучение программному продукту PAM-RTM компании ESI Group.

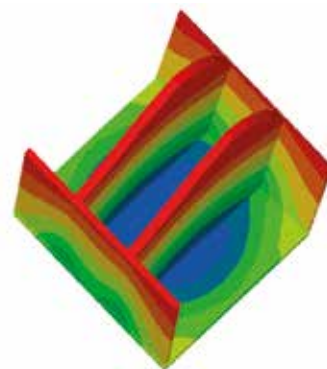
Обучение было проведено на высоком уровне. Программа курса включала в себя решение задач производства композиционных изделий методом инъекции связующего в форму. В рамках про-

веденного обучения было рассмотрено моделирование следующих технологий: RTM, RTM с применением дополнительного давления на форму, вакуумная инфузия, расчет полимеризации.

В результате проведенного обучения удалось самостоятельно начать решение собственных исследовательских и производственных задач.

Благодарим за оказанную помощь в освоении программного продукта и надеемся на наше дальнейшее сотрудничество!

*Главный технолог НОЦ «НМКН» (ИЦ)
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
руководитель опытно-промышленного
производства
Скиба О.В.*





Курсы обучений

В группе компаний «ПЛМ Урал»-«Делкам-Урал» организован и успешно функционирует учебный центр, предлагающий комплекс учебных курсов. Специалисты проводят обучение как базовым инструментам, так и специализированным модульным программам. Курсы полностью сертифицированы разработчиками, и по окончании обучения пользователи получают официальные свидетельства и сертификаты.





Курс обучения работе с ProCAST

Общая информация:

1. Презентация общих возможностей компьютерного моделирования литейных процессов в ProCAST.
2. Основные принципы взаимодействия программ ProCAST и Visual-CAST, основные этапы работ в Visual-CAST.

Особенности подготовки трёхмерной геометрии для моделирования в ProCAST:

1. Общие принципы подготовки трёхмерной геометрии в CAD-пакете.
2. Особенности передачи трёхмерной геометрии в Visual-Mesh.



Построение конечно-элементной сетки в Visual-Mesh:

1. Основные этапы построения конечно-элементной сетки в Visual-Mesh.
2. Изучение интерфейса программы Visual-Mesh.
3. Практический пример построения конечно-элементной сетки для отливки:

3.1 импорт parasolid-геометрии в Visual-Mesh;

- 3.2 проверка качества и корректировка геометрии;
- 3.3 построение поверхностной сетки по загруженной геометрии;
- 3.4 исправление локальных ошибок в поверхностной сетке;
- 3.5 построение объемной сетки для отливки.



4. Практический пример построения конечно-элементной сетки отливки, формы и других элементов:

- 4.1 импорт parasolid-геометрии отливки, холодильников и формы в Visual-Mesh;
- 4.2 проверка качества и корректировка геометрии;

сборка загруженной геометрии, определение контактов всех тел;

- 4.3 построение поверхностной сетки для всей модели;
- 4.5 исправление локальных ошибок в поверхностной сетке;
- 4.6 построение объемной сетки для всех элементов модели.

5. Практический пример построения конечно-элементной сетки для моделирования литья по выплавляемым моделям:

- 5.1 импорт parasolid-геометрии куста с отливками;
- 5.2 проверка качества и корректировка геометрии;
- 5.3 построение поверхностной сетки для отливки;
- 5.4 исправление локальных ошибок в поверхностной сетке отливки;
- 5.5 построение конечно-эле-

ментной модели оболочки в Visual-Mesh;

- 5.6 исправление локальных ошибок в поверхностной сетке

оболочки;

- 5.7 построение объемной сетки для отливки и оболочки.



Установка технологических данных процесса литья и запуск моделирования:

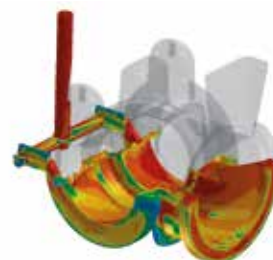
1. Интерфейс программы Visual-CAST.
2. Основные этапы настройки технологического процесса: материалы и начальные условия, коэффициенты теплопередачи, граничные условия, параметры моделирования.
3. Запуск задачи в Visual-CAST и проверка статуса моделирования.

Просмотр результатов моделирования в Visual-Viewer:

1. Интерфейс программы Visual-Viewer.
2. Отображение результатов заполнения формы, кристаллизации сплава, усадочных дефектов, напряженно-деформированного состояния отливки.
3. Экспорт результатов моделирования в виде графиков, изображений, анимаций.

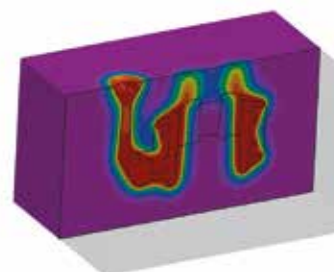
Задача №1. Моделирование литья в песчано-глинистую форму (виртуальная модель формы)

1. Построение конечно-элементной сетки отливки.
2. Настройка параметров виртуальной формы.
3. Настройка параметров технологического процесса литья в песчано-глинистую форму.
4. Запуск моделирования задачи гидродинамики заполнения формы и кристаллизации отливки.
5. Просмотр результатов моделирования.



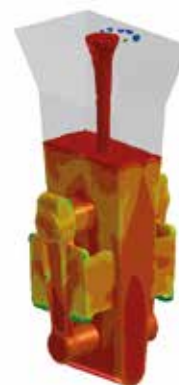
Задача №2. Моделирование литья в песчано-глинистую форму (реальная модель формы)

1. Построение конечно-элементной сетки отливки и формы, создание сборки моделей.
2. Настройка параметров технологического процесса литья в песчано-глинистую форму.
3. Запуск моделирования задачи гидродинамики заполнения формы и кристаллизации отливки.
4. Просмотр результатов моделирования.



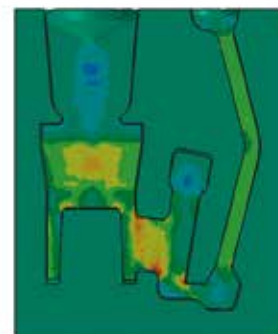
Задача №3. Моделирование литья по выплавляемым моделям

1. Построение конечно-элементной сетки отливки и оболочки.
2. Настройка параметров виртуальной формы для наполнителя опоки.
3. Настройка параметров технологического процесса литья по выплавляемым моделям.
4. Запуск моделирования задачи гидродинамики заполнения формы и кристаллизации отливки.
5. Просмотр результатов моделирования.



Задача №4. Моделирование литья в кокиль с расчетом остаточных напряжений в отливке

1. Построение конечно-элементной сетки отливки и кокиля, создание сборки моделей.
2. Настройка параметров технологического процесса литья в кокиль.
3. Запуск моделирования задачи гидродинамики заполнения формы, кристаллизации отливки и расчета напряженно-деформированного состояния.
4. Просмотр результатов моделирования.



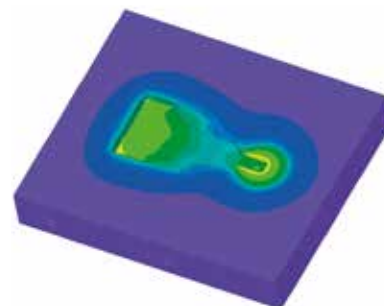
Задача №5. Моделирование литья под давлением

1. Построение конечно-элементной сетки отливки и пресс-формы, создание сборки моделей.
2. Настройка параметров технологического процесса литья под высоким давлением.
3. Запуск моделирования задачи гидродинамики заполнения формы и кристаллизации отливки.
4. Просмотр результатов моделирования.



Задача №6. Моделирования 10 циклов литья под давлением

1. Построение конечно-элементной сетки отливки и пресс-формы, создание сборки моделей.
2. Настройка параметров технологического процесса литья под высоким давлением.
3. Установка продолжительности каждого цикла и его этапов;
4. Запуск моделирования 10 циклов заполнения и кристаллизации отливки с определением динамики разогрева пресс-формы.
5. Просмотр результатов моделирования.



Курс обучения работе с PAM-STAMP

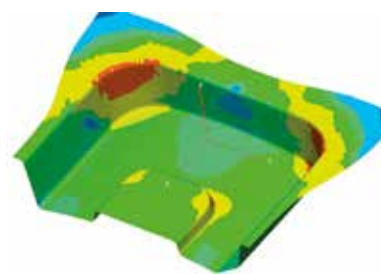
Содержание курса

1. Общая информация
 - 1.1 Презентация PAM-STAMP 2G.
 - 1.2 Обзор возможностей (модули и функционал).
2. Создание нового проекта
 - 2.1 Варианты импорта геометрии.
 - 2.2 Интерфейс программы, панели инструментов (Cad, Transformation, Process, Contours, Project, Visibility)



Задача №1. Однопроходная штамповка на прессе двойного действия

1. Подготовка исходных данных:
 - 1.1 импорт геометрии матрицы и скругление углов;
 - 1.2 создание геометрии будущего прижима и пуансона в Tool Builder;
 - 1.3 создание заготовки в Blank Creation;
 - 1.4 постановка задачи в Data Setup Wizard;
 - 1.5 проверка данных и кинематики через Data Check и Kinematics Check;
- 1.6 установка параметров решателя Hosts.
2. Макрос double-action, использование стадии штамповки Stamping.
3. Создание history-элементов и плоскости симметрии.
4. Просмотр результатов моделирования (поля распределения толщины, утонения, напряжений, деформаций, FLD-диаграмма и т.д.).



Задача №2. Многопроходная штамповка на прессе двойного действия

1. Изменение плоскости расположения заготовки.
2. Макрос double-action со стадиями укладка, прижим, штамповка gravity-holding-stamping.
3. Создание направляющих guides.
4. Построение перетяжных ребер Drawbeads.
5. Добавление нового материала в базу данных: построение кривой упрочнения, ввод параметров анизотропии.



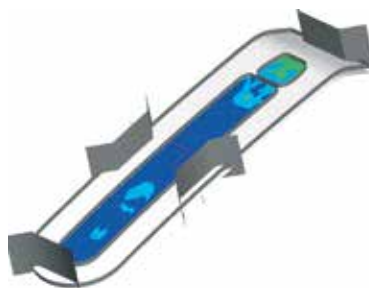
Задача №3. Многопроходная штамповка на прессе одинарного действия

1. Изменение плоскости расположения заготовки.
2. Использование нескольких макросов (single-action и springback).
3. Создание направляющих guides.
4. Расчет пружинения и обрезка заготовки.



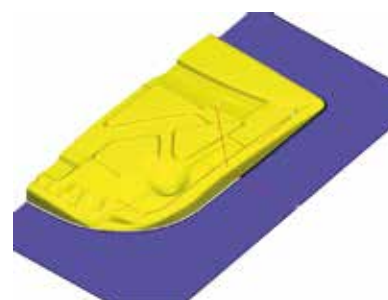
Задача №4. Компенсация пружинения

1. Создание заготовки по импортированному контуру.
2. Расчет пружинения.
3. Расчет компенсации инструмента.
4. Применение iCapp PanelShop для получения геометрии компенсированного инструмента.



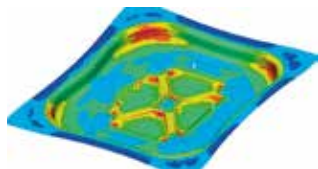
Задача №5. Штамповка изделия капот

- Самостоятельное решение, повторение пройденного материала, включая назначение плоскости симметрии, пружинение и компенсацию.



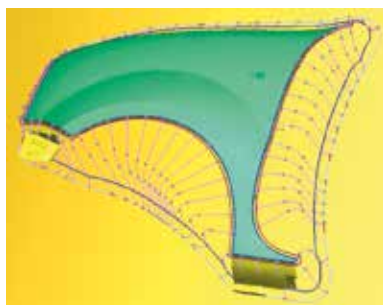
Задача №6. Создание инструментальной оснастки и расчет штамповки детали «днище»

1. Создание инструментальной оснастки в автоматическом режиме по модели готовой детали: построение параметрических моделей матрицы, пуансона, прижима в модуле PAM-DIEMAKER.
2. Задание направления штамповки, плоскости симметрии.
3. Экспорт данных в основной проект.
4. Моделирование штамповки в быстром решателе QUICKSTAMP PLUS, переход к основному решателю AUTOSTAMP.



Задача №7. Создание инструментальной оснастки и расчет штамповки крыла автомобиля

1. Создание инструментальной оснастки в модуле PAM-DIEMAKER с ручной корректировкой параметризованной геометрии: закрытие отверстий, фланцев, создание линии разреза.
2. Экспорт данных в основной проект и проведение расчета штамповки.



Задача №8. Работа в PAM-DIEMAKER - изменение геометрии существующего инструмента

1. Импорт в модуль PAM-DIEMAKER существующих моделей оснастки и их параметризация.
2. Перестройка моделей оснастки с изменением параметров штамповочного разреза и направления штамповки.
3. Проверка инструмента на отсутствие поднутрений, острых углов и других дефектов.
4. Экспорт данных в основной проект и проведение расчета штамповки.



Курс обучения работе с пакетом программ VIRTUAL WELDING & ASSEMBLY SUITE

Содержание курса

1. Общая информация

1.1 Презентация пакета программ моделирования сварочных процессов VIRTUAL WELDING & ASSEMBLY SUITE.

1.2 Обзор возможностей и функционала программ: VISUAL-WELD/SYSWELD, WELD PLANNER и PAM-ASSEMBLY.

2. Определение микроструктуры сварного соединения, остаточных напряжений и деформаций в программе VISUAL-WELD:

2.1 Введение в нестационарное и нелинейное моделирование сварочных процессов;

2.2 Методы создания конечно-элементной (КЭ) модели в Visual-Mesh;

2.3 Задание свойств основного и сварочного материала;

2.4 Особенности выбора и применения моделей источников тепла;

2.5 Граничные условия сварки и их определение в КЭ модели.

3. Оценка сварочных короблений и деформаций

конструкции в программе WELD PLANNER

3.1 Теоретическая основа инженерного метода «усадки»;

3.2 Методы создания КЭ модели в Visual-Mesh;

3.3 Калибровка модели расчета сварочных деформаций в WELD PLANNER;

3.4 Задание свойств основного и сварочного материала;

3.5 Граничные условия сварки и их определение в КЭ модели;

3.6 Расчет и вывод результатов в WELD PLANNER.

4. Оценка сварочных короблений и деформаций конструкции в программе PAM-ASSEMBLY

4.1 Теоретическая основа инженерного метода локально-глобального моделирования;

4.2 Особенности создания и расчета локальных КЭ моделей в VISUAL-WELD;

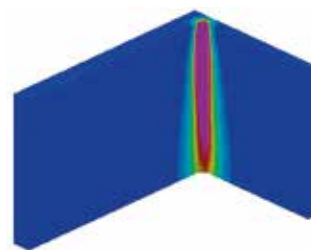
4.3 Особенности создания и расчета глобальной КЭ модели конструкции в PAM-ASSEMBLY.



Список практических задач

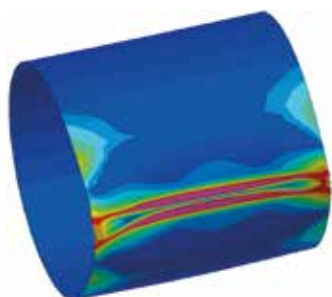
Задача №1. Моделирование ручной и механизированной сварки

1. Подготовка компьютерной модели соединения.
2. Построение сетки КЭ.
3. Настройка эллиптической модели источника тепла.
4. Задание граничных условий для тепловой и механической задачи.
5. Расчет и вывод результатов в Visual-Viewer.



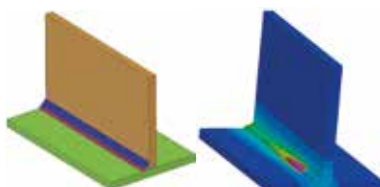
Задача №2. Моделирование лазерной сварки

1. Подготовка компьютерной модели соединения.
2. Построение сетки КЭ.
3. Настройка Гауссовой модели источника тепла.
4. Задание граничных условий для тепловой и механической задачи.
5. Расчет и вывод результатов в Visual-Viewer.



Задача №3. Моделирование ручной и механизированной многопроходной сварки

1. Подготовка компьютерной модели детали.
2. Построение сетки КЭ.
3. Задание граничных условий для тепловой и механической задачи.
4. Определение последовательности и направления сварки для каждого прохода.
5. Расчет и вывод результатов в Visual-Viewer.



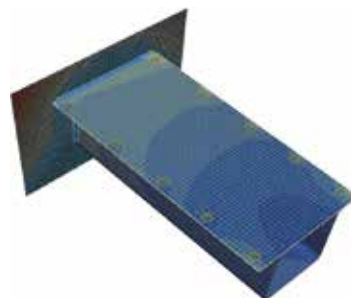
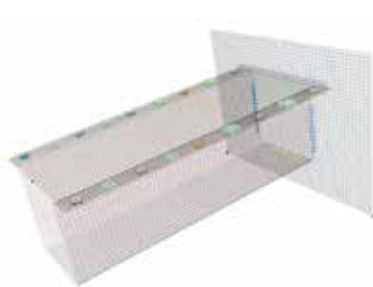
Задача №4. Оценка общих сварочных деформаций автомобильной рамы

1. Подготовка КЭ модели для экспорта в WELD PLANNER.
2. Определение последовательности и направления сварки для каждого прохода.
3. Задание граничных условий для механической задачи.
4. Расчет и вывод результатов в WELD PLANNER /Visual-Viewer.



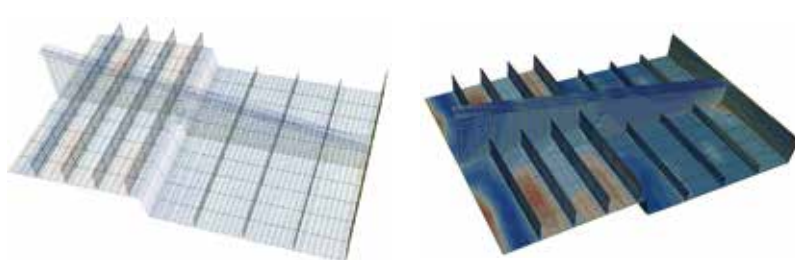
Задача №5. Оценка общих сварочных деформаций силового элемента

1. Подготовка КЭ модели для экспорта в WELD PLANNER.
2. Задание последовательности выполнения контактной точечной сварки.
3. Задание граничных условий для механической задачи.
4. Расчет и вывод результатов в WELD PLANNER /Visual-Viewer.



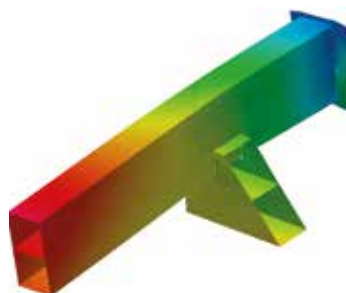
Задача №6. Оценка общих сварочных деформаций сегмента моста

1. Подготовка КЭ модели для экспорта в WELD PLANNER.
2. Задание последовательности и направления сварки для каждого прохода.
3. Задание граничных условий для механической задачи.
4. Расчет и вывод результатов в WELD PLANNER /Visual-Viewer.



Задача №7. Определение общих сварочных деформаций силового элемента автомобильной рамы

- | | |
|--|--|
| 1. Построение глобальной и локальных КЭ моделей конструкции в Visual-Mesh. | 3. Создание базы данных локальных моделей. |
| 2. Расчет локальных моделей в VISUAL-WELD. | 4. Определение граничных условий и расчет глобальной модели. |



Курс обучения работе с PAM-RTM

Содержание курса

Курс обучения моделированию процессов пропитки в продукте PAM-RTM включает в себя пять основных этапов:

1. Общая информация о продукте PAM-RTM.
2. Лекционная часть.
3. Основные этапы создания нового проекта.
4. Моделирование в продукте PAM-RTM, практические задания.
5. Закрепление пройденного курса на примерах самостоятельного решения задач.

Моделируемые процессы: RTM, вакуумная инфузия, неизотермическая пропитка (с учетом теплообмена между оснасткой, изделием и связующим), предварительный нагрев оснастки и изделия, расчет полимеризации, RTM с приложением дополнительного давления на форму, проведение быстрого моделирования (порядка одной минуты) для оценки конечного распределения фронта пропитки, расчет угла сдвига волокон в соответствии с криволинейностью формы (геометрический алгоритм), оптимизация скорости подачи связующего для сокращения микро и макро пор и т.д.



Общая информация о продукте PAM-RTM

1. Презентация PAM-RTM.
2. Моделирование в продукте PAM-RTM.
3. Обзор возможностей (модули и функционал).
4. Интерфейс программы, панели инструментов.

Лекционная часть

1. Решаемые задачи.
2. Типы граничных условий.
3. Основные этапы создания проекта.
4. Специальные возможности; примеры.

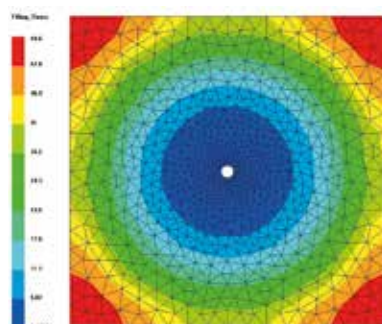
Основные этапы создания нового проекта

1. Импорт геометрии.
2. Определение параметров процесса и свойств материалов.
3. Определение граничных условий.
4. Запуск на расчет.
5. Анализ результатов.

Моделирование в продукте PAM-RTM, практические задания

Задача №1. Моделирование процесса пропитки пластины методом RTM

1. Создание проекта процесса пропитки методом RTM.
2. Импорт модели и задание граничных условий.
3. Задание параметров моделирования для расчета пропитки.
4. Просмотр результатов моделирования (процесс пропитки, время пропитки, поле давлений и т.д.).
5. Построение графика зависимости изменения давления во времени в интересующих узлах (используется Sensor)



Время пропитки

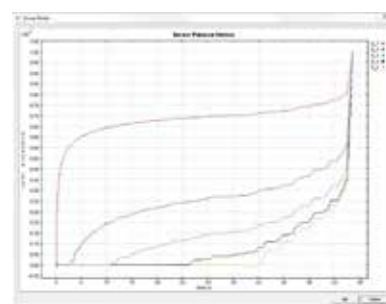


График изменения значения давления от времени для группы сенсоров

Задача №2. Моделирование процесса пропитки пластины с зонами различной проницаемости, метод RTM

1. Создание проекта процесса пропитки методом RTM.
2. Задание двух зон с различной проницаемостью.
3. Просмотр результатов моделирования (процесс пропитки, время пропитки, поле давлений и т.д.).



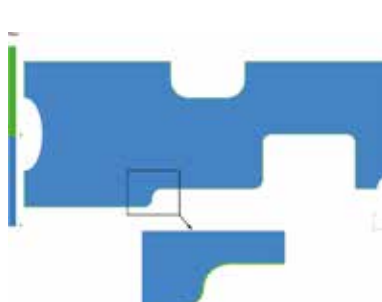
Визуализация зон



Время пропитки

Задача №3. Моделирование процесса пропитки конструкции с зонами различной проницаемости, метод RTM

1. Создание проекта процесса пропитки методом RTM.
2. Задание двух зон с различной проницаемостью.
3. Просмотр результатов моделирования (процесс пропитки, время пропитки, поле давлений и т.д.).



Визуализация зон



Время пропитки

Задача №4. Моделирование процесса пропитки шасси методом RTM

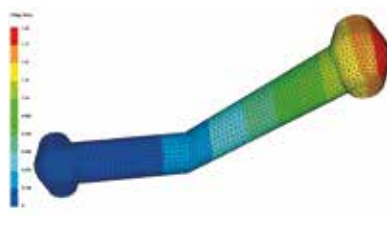
1. Создание проекта процесса пропитки методом RTM.
2. Импорт модели и задание граничных условий.
3. Задание параметров моделирования для расчета пропитки.
4. Просмотр результатов моделирования (процесс пропитки, время пропитки, поле давлений и т.д.).



Время пропитки

Задача №5. Моделирование процесса пропитки шасси методом вакуумной инфузии, VARI

1. Создание проекта процесса пропитки методом вакуумной инфузии, VARI.
2. Задание свойств волокон (кривая проницаемости, сжимаемость ткани).
3. Просмотр результатов (толщина изделия).



Время пропитки

Задача №6. Моделирование процесса пропитки детали методом вакуумной инфузии, VARI

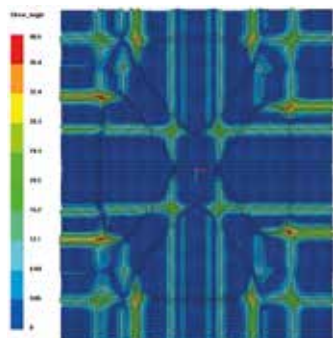
1. Создание проекта процесса пропитки методом вакуумной инфузии, VARI.
2. Задание свойств волокон (кривая проницаемости, сжимаемость ткани).
3. Просмотр результатов (толщина изделия).



Время пропитки

Задача №7. Моделирование процесса драпировки в PAM-QUIKFORM

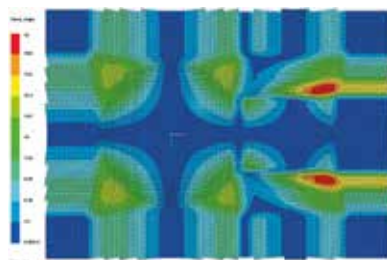
1. Создание процесса драпировки в модуле QUIKFORM.
2. Определение углов сдвига волокон в соответствии с геометрией заготовки.
3. Импорт полученной ориентации волокон в PAM-RTM для последующего проведения процесса пропитки.
4. Просмотр результатов (углы сдвига волокон).



Значение углов сдвига волокон

Задача №8. Моделирование процесса драпировки в PAM-QUIKFORM

1. Создание процесса драпировки в модуле QUIKFORM.
2. Определение углов сдвига волокон в соответствии с геометрией заготовки.
3. Импорт полученной ориентации волокон в PAM-RTM для последующего проведения процесса пропитки.
4. Просмотр результатов (углы сдвига волокон).



Значение углов сдвига волокон

Задача №9. Пропитка ламината конструкции, создание 3D модели в PAM-RTM

1. Постановка задачи по стандартному алгоритму.
2. Импорт результатов драпировки полученных в модуле QUIKFORM.
3. Визуализация углов сдвига и направление волокон.
4. Создание слоев ламината.
5. Автоматическое создание зон для каждого слоя ламината и задание индивидуальных свойств.
6. Просмотр результатов пропитки изделия.



Визуализация зон

Задача №10. Моделирование пропитки изделия с учетом сдвига волокон на стадии формовки

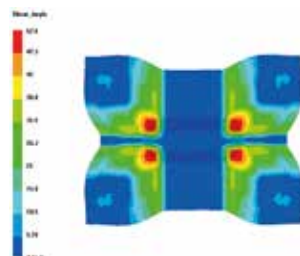
1. Постановка задачи.
2. Импорт результатов драпировки из PAM-FORM (значения сдвига волокон и направление утка и основы).
3. Моделирование производится для четырех слоев ламината.
4. Проницаемость волокна в направлении утка и основы задается через экстраполированную

функцию и зависит от содержания волокна и углов сдвига.

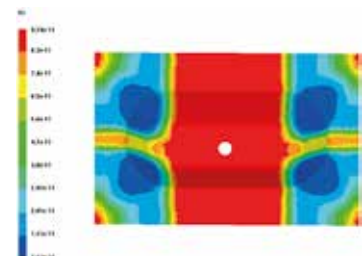
5. Визуализация результатов.



Визуализация слоев для драпировки



Значения углов сдвига



Визуализация проницаемости по направлению основы (K1)

Задача №11. Автоматическое определение портов инъекции

1. Постановка задачи по стандартной схеме.
2. Активация модуля GenPorts для автоматического получения в результате расчета оптимального количества портов инъекции.
3. Визуализация полученных результатов (расположение оптимальных портов инъекции).



Оптимальные точки подачи связующего

Задача №12. Автоматическое определение портов инъекции

1. Постановка задачи по стандартной схеме.
2. Активация модуля GenPorts для автоматического получения в результате расчета оптимального количества портов инъекции.
3. Визуализация полученных результатов (расположение оптимальных портов инъекции).



Оптимальные точки подачи связующего

Задача №13. Последовательная инъекция

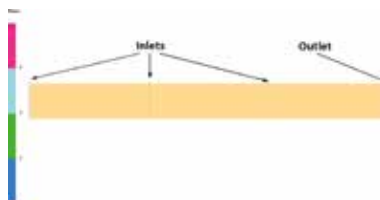
1. Постановка задачи.
2. Активация модуля Trigger manager для моделирования процесса последовательной инъекции. Пропитка детали проводится через несколько портов, которые открываются и закрываются в ходе решения.
3. Визуализация результатов (линия фронта потока или давления).



Распределение давления после достижения смолы сенсора S1

Задача №14. Последовательная инъекция

1. Постановка задачи.
2. Активация модуля Trigger manager для моделирования процесса последовательной инъекции. Пропитка детали проводится через несколько портов, которые открываются и закрываются в ходе решения.
3. Визуализация результатов (линия фронта потока или давления).



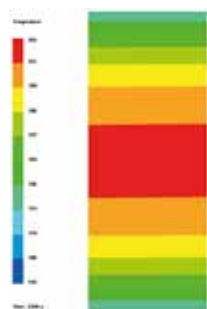
Граничные условия



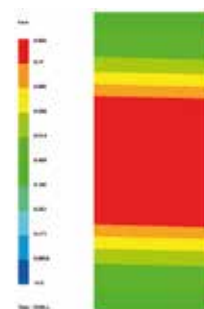
Визуализация полей давления

Задача №15. Моделирование процесса полимеризации детали

1. Постановка задачи процесса отверждения.
2. Моделирование процесса полимеризации крыла содержащего твердую вставку с учетом теплопроводности волокна и смолы.
3. Анализ результатов (степень полимеризации, распределение температур).



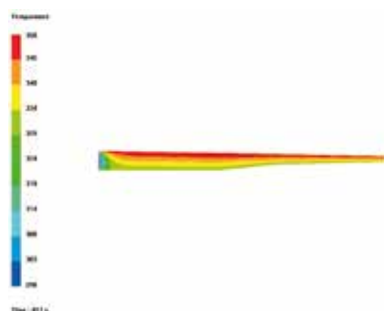
Поля распределения температур



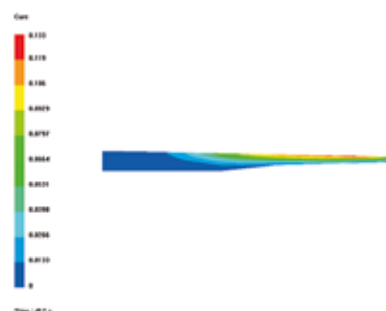
Степень полимеризации

Задача №16. Полимеризация детали переменного сечения, подбор оптимальной схемы подогрева

1. Постановка задачи процесса отверждения.
2. Моделирование процесса полимеризации крыла содержащего твердую вставку с учетом теплопроводности волокна и смолы.
3. Анализ результатов (степень полимеризации, распределение температур).



Поля распределения температур



Степень полимеризации

Задача №17. Полимеризация композитного крыла самолета с алюминиевым вкладышем

1. Постановка задачи процесса отверждения.
2. Моделирование процесса полимеризации крыла содержащего твердую вставку с учетом теплопроводности волокна и смолы.

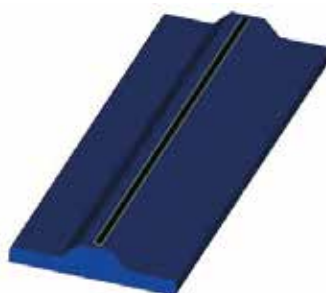
3. Анализ результатов (степень полимеризации, распределение температур).



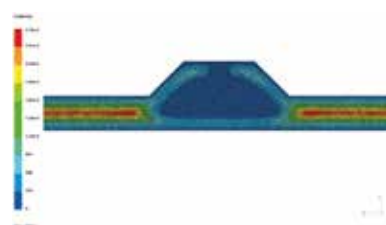
Степень полимеризации

Задача №18. Полимеризация детали с твердым включением

1. Постановка задачи процесса отверждения.
2. Моделирование процесса полимеризации изделия содержащего твердую вставку с учетом теплопроводности волокна и смолы.
3. Анализ результатов (степень полимеризации, распределение температур).



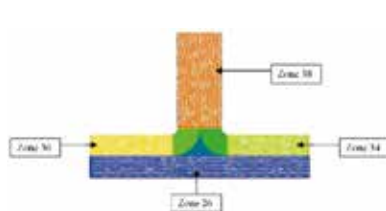
3D модель изделия



Поле экзотермической реакции в ходе полимеризации

Задача №19. Пропитка конструкции с зонами с различной ориентацией волокон

1. Постановка задачи.
2. Задание ориентации волокон для каждой зоны заготовки.
3. Проведение процесса пропитки изделия с учетом разнаправленности волокон в каждой зоне заготовки.
4. Визуализация результатов.



Визуализация зон



Время пропитки

Задача №20. Моделирование пропитки авиационной панели в различных геометрических представлениях

1. Постановка задачи по стандартной схеме.
2. Проведение расчета.
3. Анализ результатов для 2D,

2,5D и 3D (Использование поверхностной, оболочечной и трехмерной сетки дает одинаковые результаты. Это подтверждает

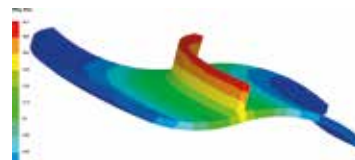
согласованность работы в PAM-RTM для различных вариантов постановки).



Время пропитки 20.2, 2D постановка



Время пропитки 21.3, оболочечная модель



Время пропитки 19.9, 3D постановка

Задача №21. Минимизация пористости в композиционном материале за счет оптимизации скорости инъекции

1. Постановка задачи.
2. Уменьшение количества микро и макро пустот за счет автоматической оптимизации скорости инъекции.

3. Визуализация результатов (микро и макро пористость, поле или график оптимальной скорости инъекции).

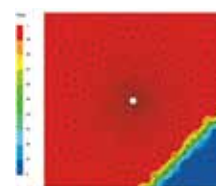


Общее количество пустот (микро и макро)

Задача №22. Задача определения непропитанных областей и дефектов запыряния воздуха в процессе инъекции

1. Постановка задачи.
2. Активация параметра Detect air traps для обнаружения в процессе моделирования воздушных пустот и проведения расчета

давления в них.
3. Закрытие и открытие портов инъекции в определенный момент времени.
4. Визуализация результатов.



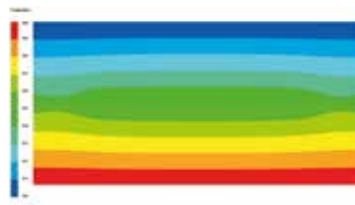
Время пропитки, прогнозирование образования сухих зон

Задача №23. Оптимизация температур металлических пластин для обеспечения равномерного прогрева композита

1. Постановка задачи для моделирования процесса предварительного нагрева композита.
2. Указание параметров для теплообмена между металлическими пластинами.
3. Визуализация результата (поле температур).



Визуализация зон, 2,3 – оснастка, 1 – изделие



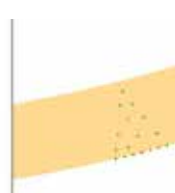
Поля распределения температур

Задача №24. Проведение быстрого расчета пропитки методом RTM

1. Создание проекта процесса пропитки методом RTM используя функцию OneShot.
2. Задание параметров моделирования для расчета пропитки.
3. Оценка выбранной схемы пропитки, в результатах указывается, какой участок заполнится последним.



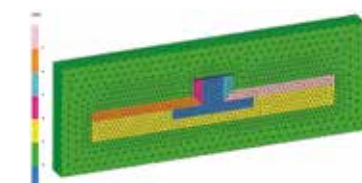
Группа точек, показывающих последнее место пропитки изделия при выбранной схеме



Время пропитки

Задача №25. Моделирование неизотермических процессов

1. Непрерывное неизотермическое моделирование, с передачей результатов с одного этапа моделирования на другой.
 - a. Создание проекта в модуле Preheating, расчет предварительного нагрева.
 - b. Создание проекта в модуле Heated RTM, проведение неизотермической пропитки.
 - c. Создание проекта в модуле Curing, проведение расчета полимеризации.
2. Задание параметров для каждого типа расчета
3. Проведение полного цикла моделирования неизотермической задачи и анализ выбранной температурной схемы и технологии пропитки.



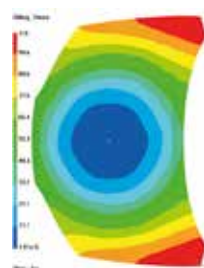
Визуализация зон, 1,2 – оснастка, 3,4,5,6,7 – изделие



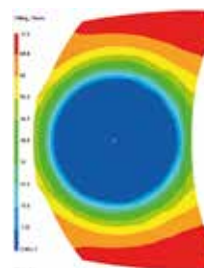
Расчет в модуле Curing. Полимеризация изделия

Задача №26. Моделирование RTM процесса с дополнительным давлением на форму, модуль Compression RTM

1. Создание проекта процесса пропитки методом RTM
2. Создание проекта процесса пропитки методом CRTM
3. Задание параметров моделирования для каждого расчета пропитки.
4. Сравнение проведенных расчетов, оценка времени пропитки и количества затраченного связующего.



Время пропитки, RTM – технология



Время пропитки, CRTM – технология (пропитка с дополнительным сжатием формы)

Закрепление пройденного курса на примерах самостоятельного решения задач

Самостоятельная работа в продукте PAM-RTM. Решение задач пропитки на типовых изделиях. Отработка стандартных схем и подходов. Моделирование ведется на оболочечной и трехмерной конструкции. В ходе самостоятельного решения задач пользователь повторяет основные действия необходимые для создания проекта:

1. Выбор моделируемого процесса.
2. Определение списка вычисляемых параметров.

3. Задание начальных свойств смолы, армирующего наполнителя, оснастки.
4. Описание ламината слоев.
5. Задание ориентации утка и основы.
6. Расчет эквивалентных свойств.
7. Задание граничных условий и выбор оптимальной схемы производства.
8. Анализ полученных результатов. Ответы на вопросы.



Курс обучения работе с PAM-FORM

Содержание курса

Курс обучения моделированию процессов формовки в продукте PAM-FORM включает в себя четыре основных этапа:

1. Общая информация о продукте PAM-FORM.

2. Лекционная часть.

3. Основные этапы создания нового проекта.

4. Моделирование в продукте PAM-FORM, практические задания.

Общая информация

1. Презентация PAM-FORM.
2. Моделирование в продукте PAM-FORM.
3. Обзор возможностей (модули и функционал).
4. Интерфейс программы, панели инструментов.

Лекционная часть

1. Решаемые задачи.
2. Типы граничных условий.
3. Специальные возможности.
4. Список необходимых экспериментов.
5. Примеры.

Основные этапы создания нового проекта

1. Импорт геометрии.
2. Определение параметров процесса и свойства материалов.
3. Определение граничных условий.
4. Запуск на расчет.
5. Анализ результатов.

Моделирование в продукте PAM-FORM, практические задания

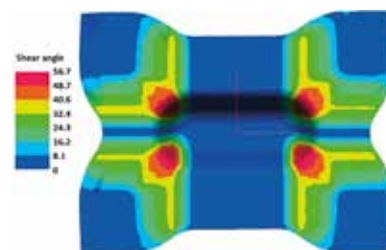
Задача №1. Моделирование процесса формовки композитной ткани

1. Подготовка исходных данных (основное):

- 1.1 импорт геометрии матрицы;
- 1.2 создание геометрии будущего прижима и пуансона;
- 1.3 создание заготовки;
- 1.4 проверка параметров расчета и процесса кинематики;
- 1.5 установка параметров

решателя.

2. Просмотр результатов моделирования (поле распределения толщины, углы сдвига волокон, наличие складок и т.д.).
3. Импорт полученного сдвига волокон в PAM-RTM для проведения дальнейшего процесса пропитки изделия.



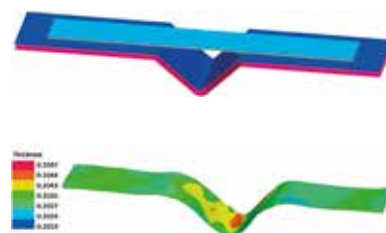
Значение углов сдвига волокон

Задача №2. Моделирование процесса формовки многослойной композитной ткани

1. Постановка задачи по стандартному алгоритму.
2. Создание плоскости симметрии детали, создание дополнительной системы координат для задания скорости движения пуансона.
3. Описание свойств композиционного материала (модуль упругости, коэффициент Пуассона, мо-

дуль сдвига, плотность и т.д.).

4. Процесс формовки для нескольких слоев ткани. Создание ламината с помощью специальной функции.
5. Задание разных свойств для каждого слоя ламината.
6. Анализ результатов, в том числе межслойных сдвигов в пакете слоев.

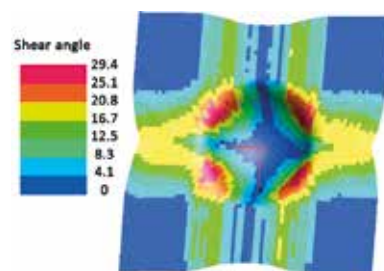


Распределение значение толщин для многослойного изделия



Задача №3. Термоформовка композиционного материала пуансоном в виде полусферы

1. Постановка задачи.
2. Задание термических свойств для оснастки и заготовки.
3. Создание элементов хранения истории параметров и построение графиков их изменения в процессе формовки для выбранных областей.
4. Анализ полученных результатов и влияния тепловых полей.



Значение углов сдвига волокон

Задача №4. Формовка многослойного композита эластичной мембраной



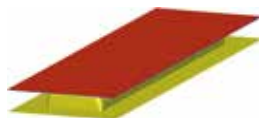
Распределение значение толщин

1. Постановка задачи.
2. Задание четырех слоев материала, размещенных между гибкой мембраной и матрицей.
3. Приложение возрастающего давления на мембрану.
4. Проведение расчета и анализ полученных результатов.

Задача №5. Формовка четырех слоев композита двойной мембраной

1. Постановка задачи.
2. Задание пакета слоев материала, размещенных между двумя соединенными по краям мембранами.
3. Задание граничных условий - вакуума под нижней мембраной

- и давления на верхнюю.
4. Проведение расчета и анализ полученных результатов.



Деламинация композита в процессе формовки мембраной

Задача №6. Испытание на растяжение слоя композитной ткани



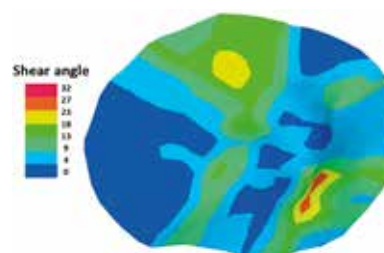
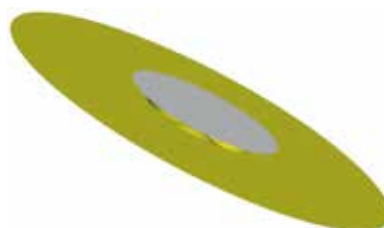
Композитная пластина

1. Постановка задачи испытания на растяжения.
2. Задание граничных условий жесткой заделки одного торца и приложение скорости к проти-

- воположному, задание величины перемещения.
3. Проведение расчета и анализ полученных результатов.

Задача №7. Ручная выкладка композита

1. Постановка задачи.
2. Создание заготовки по импортированному в программу контуру.
3. Создание давлений задается на нескольких областях заготовки.
4. Проведение расчета.
5. Анализ результатов, в том числе, сдвига волокон, полученных в процессе выкладки.



Значение углов сдвига



Курс обучения работе с PAM-DISTORTION

Содержание курса

Курс обучения моделированию процессов коробления в продукте PAM-DISTORTION включает в себя четыре основных этапа:

1. Общая информация о продукте PAM-DISTORTION.
2. Лекционная часть.
3. Основные этапы создания нового проекта.
4. Моделирование в продукте PAM-DISTORTION, практические задания.

Общая информация о продукте PAM-DISTORTION

1. Презентация PAM-DISTORTION.
2. Моделирование в продукте PAM-DISTORTION.
3. Обзор возможностей (модули и функционал).
4. Интерфейс программы, панели инструментов.

Лекционная часть

1. Решаемые задачи.
2. Типы граничных условий.
3. Основные этапы создания проекта.
4. Специальные возможности.
5. Примеры.

Основные этапы создания нового проекта

1. Импорт геометрии.
2. Определение параметров процесса и свойств материалов.
3. Определение граничных условий.
4. Запуск на расчет.
5. Анализ результатов.

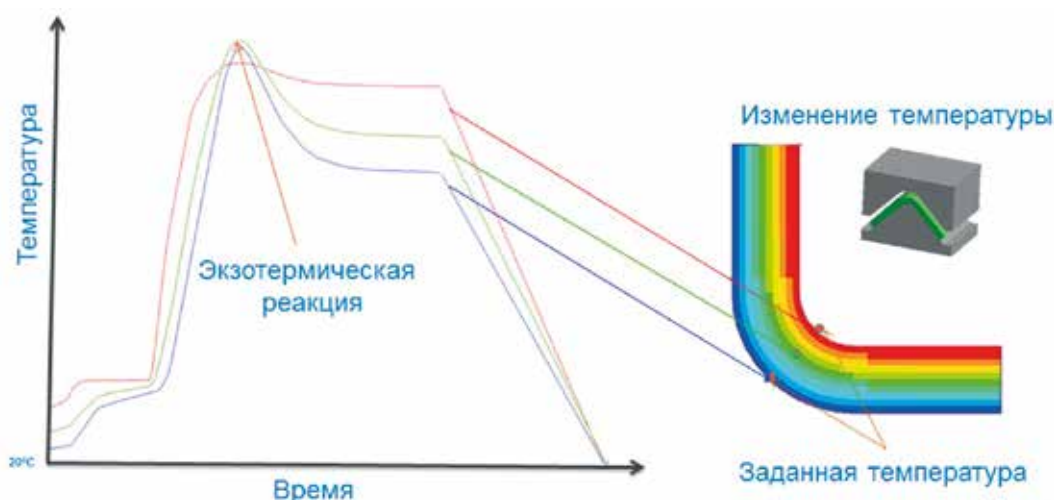
Моделирование в продукте PAM-DISTORTION

В рамках практических задач будут рассмотрены следующие этапы:

1. Импорт геометрии;
2. Создание трехмерной модели;
3. Задание свойств материалов;
4. Расчет полимеризации: термический и химический анализ;
5. Расчет коробления по линейной вязкоупругой модели с учетом неизо термических условий, цикла полимеризации и изменения агрегатного состояния связующего;
6. Проверка параметров расчета;
7. Установка параметров решателя;
8. Анализ результатов моделирования:
 - 8.1 прогнозирование температуры и степени полимеризации в композитном изделии;
 - 8.2 оптимизация нагрева оснастки;
 - 8.3 анализ проблем производства и наличие температурных пиков.



Коробление композитного изделия



Цикл нагрева изделия и распределение тепловых полей в детали





Курс обучения работе с Visual-Mesh

Содержание курса

Курс обучения созданию оболочечных и трехмерных КЭ моделей в продукте Visual-Mesh включает в себя три основных этапа:

1. Общая информация о продукте Visual-Mesh.
2. Создание КЭ модели в продукте Visual-Mesh,

практические задания.

3. Специализированный модуль DEX Process для передачи информации о выкладке композита на оболочечную модель.

Общая информация о продукте Visual-Mesh

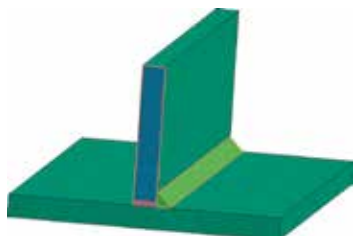
1. Обзор возможностей (модули и функционал).

2. Интерфейс программы, панели инструментов.

Создание КЭ модели в продукте Visual-Mesh, практические задания

Задача №1. Создание CAD-модели в среде Visual-Mesh

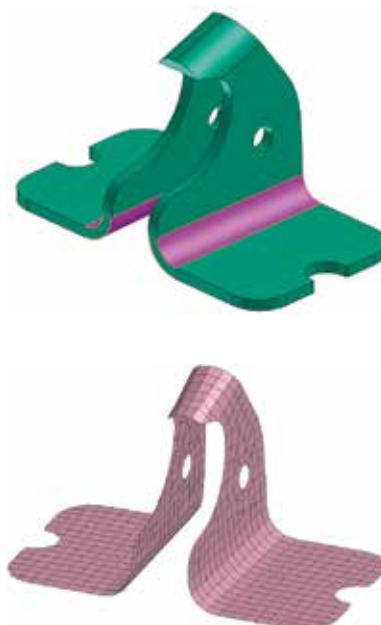
1. Создание узлов, линий, поверхностей.
2. Создание поверхностей граничным методом.
3. Создание поверхностей методом экструзии.
4. Редактирование имеющихся точек, узлов, поверхностей.



Коробление композитного изделия

Задача №2. Построение поверхностной сетки на оболочечной модели

1. Редактирование объемной геометрии, удаление дублирующих поверхностей.
2. Автоматическое создание срединной поверхности объемной детали.
3. Построение поверхностной сетки автоматическим методом.
4. Способы редактирования сетки.
5. Разделение объекта на несколько «Зон».
6. Сгущение сетки у отверстий.
7. Способ выделения новой зоны с помощью функции Blend и создание сетки.
8. Проверка качества сетки.



Задача №3. Построение поверхностной сетки через полуавтоматический функционал «Торо mesh»



1. Особенности проектирования КЭ модели.
2. Способы задания размеров сетки на границах поверхностей.
3. Дублирование заданных размеров сетки с одной границы на другую.
4. Разделение поверхности по кривым или точкам на несколько

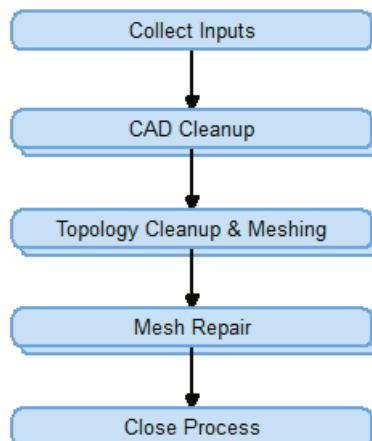
областей.

5. Разделение изделия на несколько «Зон».
6. Редактирование расположения вершин и узлов.
7. Автоматический способ задания сгущения сетки вблизи отверстия.
8. Проверка качества сетки.



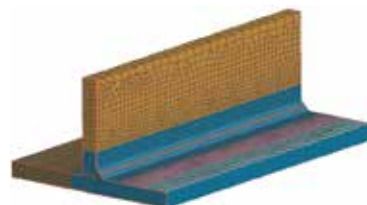
Задача №4. Построение сетки в автоматическом режиме

На основании предыдущей задачи построение оболочечной модели ведется через автоматический модуль Mesh Process.



Задача №5. Построение 3D сетки

1. Создание оболочечной сетки различными способами.
2. Вытягивание оболочечной сетки.
3. Построение объемной модели.

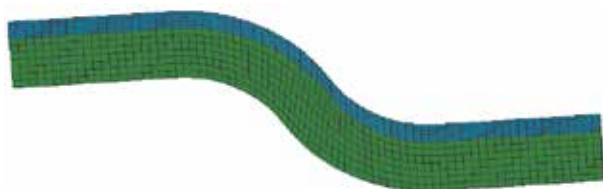


Задача №6. Построение объемной сетки на трубе переменного сечения

1. Редактирование 3D модели.
2. Выделение кривых по границам поверхностей.
3. Создание дополнительной поверхности по кривым.
4. Создание поверхности вращения.
5. Создание объемной сетки на основании поверхности вращения.



Задача №7. Поверхностная сетка. Канал переменного сечения



1. Создание средней линии изогнутой поверхности.
2. Выравнивание сетки по средней линии.
3. Копирование сетки для симметричных граней.

Задача №8. Редактирование геометрии и создание поверхностной сетки

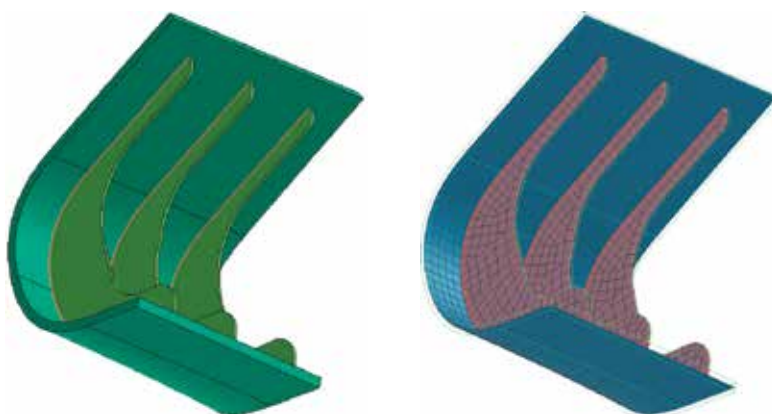
1. Устранение дефектов в геометрии изделия:
 - 1.1 удаление дублирующих поверхностей;
 - 1.2 удаление зазоров между поверхностями;
 - 1.3 удаление отверстий исходя из размера радиуса;
 - 1.4 разделение поверхностей в соответствии с выкладкой;
 - 1.5 сшивание нескольких граней в одну поверхность;
 - 1.6 добавление скруглений между гранями;
2. Создание сетки через функционал «Торо Mesh». Создание сгущений сетки у отверстий.



3. Редактирование положения вершин.
4. Проверка качества сетки.

Задача №9. Создание поверхностной сетки. Элемент обшивки корпуса с усиленными ребрами

1. Редактирование геометрии.
2. Создание срединных линий.
3. Проецирование кривых на поверхность обшивки.
4. Разбиение поверхности обшивки по направляющим линиям.
5. Перемещение сетки обшивки.
6. Копирование сетки ребер на симметричные поверхности.
7. Выравнивание сетки вдоль направляющей линии.
8. Соединение узлов сетки для разных поверхностей в одно изделие.
9. Использование инструментов для ручного редактирования сетки.
10. Проверка качества сетки.



Специализированный модуль DEX Process

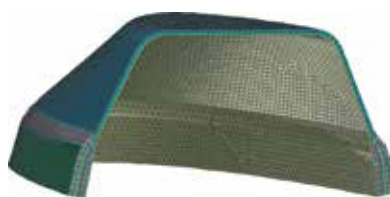
Задача №10. Автоматизированное создание сетки крыла

1. Запуск DEX Process.
2. Проецирование результатов выкладки на поверхностную сетку.
3. Оценка результатов наложения.
4. Экспорт сетки.



Задача №11. Построение объемной сетки крыши кабины (Специализированная задача)

1. Запуск DEX Process.
2. Проецирование результатов выкладки на поверхностную сетку.
3. Оценка результатов наложения.
4. Экспорт сетки с сохраненными свойствами материалов.
5. Автоматическое создание объемной модели, с учетом элементов сбега.





ПОСТАВКА И ВНЕДРЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Наши специалисты оказывают профессиональные консультационные услуги по номенклатуре и количественному составу приобретаемого комплекса ESI, который позволит оптимально и в полном объеме решать стоящие перед заказчиком задачи и при этом не приобретать «лишних» модулей и рабочих мест.

Мы выполняем непосредственную инсталляцию (установку) программного обеспечения на аппаратные средства предприятия-заказчика, осуществляем настройку программного и аппаратного обеспечения с учетом особенностей администрирования сети предприятий, специфики требуемых уровней доступа, стратегии защиты данных предприятия, особенностей имеющихся на предприятии аппаратных и программных средств.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА

ГК «ПЛМ Урал»-«Делкам-Урал» предлагает пользователям широкий спектр услуг по сопровождению и технической поддержке решений ESI в ходе эксплуатации на предприятиях. Высокий уровень технической поддержки, которую оказывают наши специалисты, подтвержден официальными сертификатами компании-разработчика, а также благодарственными письмами от предприятий-пользователей.

Оперативность, высокий профессионализм и доброжелательность являются основными принципами работы инженеров технической поддержки ГК «ПЛМ Урал»-«Делкам-Урал».

Комплексная автоматизация
промышленных предприятий

620131, Екатеринбург
ул. Metallургов, 16-Б
тел. (343) 214-46-70

PLM **УРАЛ**  ДЕЛКАМ **УРАЛ** 
г р у п п а к о м п а н и й

www.esi-russia.ru
www.cae-systems.ru | www.delcam-ural.ru