

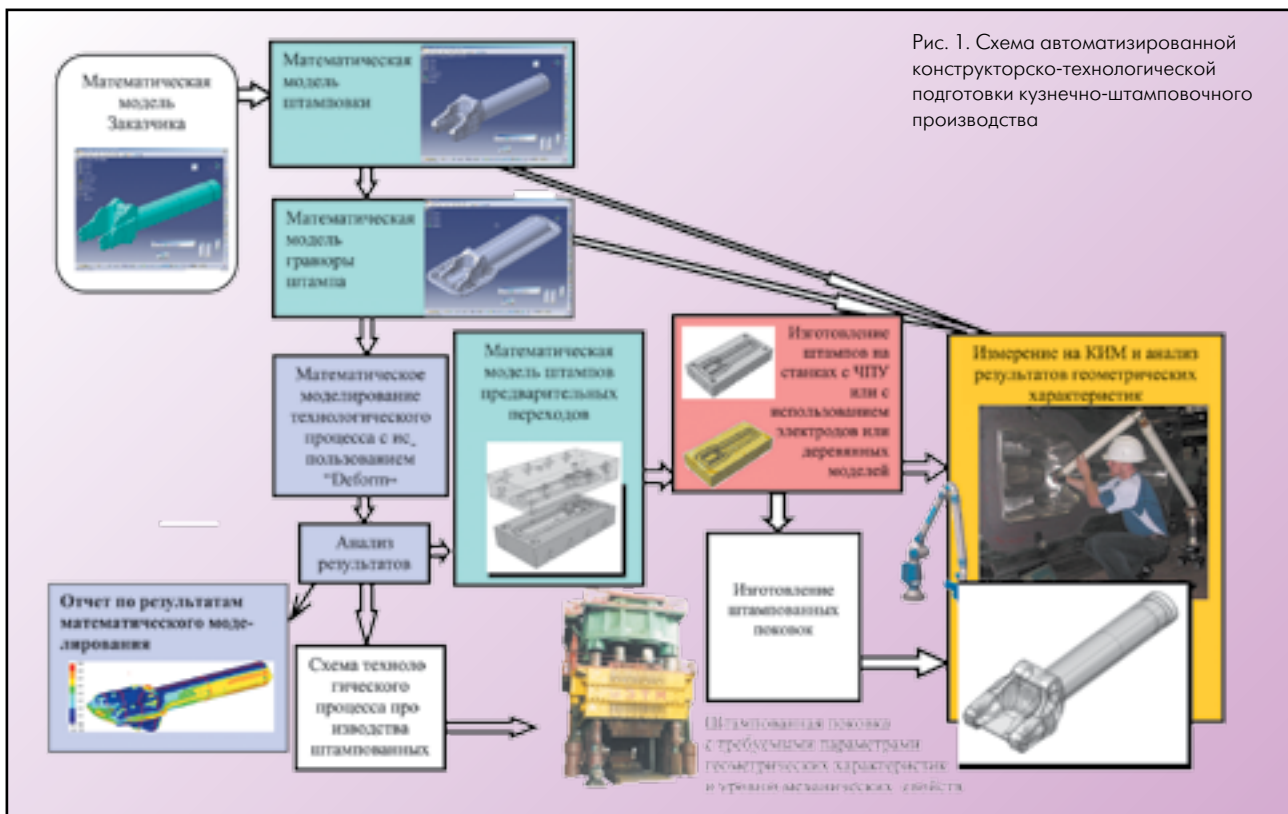
# Автоматизированная подготовка кузнечно-штамповочного производства

При производстве деталей для авиационной промышленности ввиду особо ответственного назначения данной продукции к ее качеству и срокам изготовления предъявляются особо высокие требования. Соответствие этим требованиям в настоящее время в значительной степени обеспечивается применением современных систем автоматизированной конструкторско-технологической подготовки производства. В статье описана организация процесса проектирования и изготовления штампованных поковок авиационного назначения из титановых сплавов в ОАО "Корпорация ВСМПО-АВИСМА".

С целью уменьшения сроков и затрат на конструкторско-технологическую подготовку и освоение производства штампованных поковок на объединении внедрена единая, логически завершенная система автоматизированной конструкторско-технологической подготовки кузнечно-штамповочного

производства (рис. 1), которая включает в себя пять основных этапов:

1. Проектирование и создание штампованных поковок и штамповочной оснастки в CAD-системах CATIA и SolidWorks по чертежам или математическим моделям заказчика.
2. Математическое моделирование формообразующих технологических переходов и термической обработки с использованием CAE-системы DEFORM с учетом физических и механических свойств материалов моделируемых объектов (заготовка-инструмент).
3. Разработка управляющих программ с использованием САМ-пакетов Cimatron, CATIA, Pro/Engineer; проверка и оптимизация программ в системе VERICUT.
4. Изготовление на станках с ЧПУ прототипов и гравюр штамповочной оснастки.



5. Контроль геометрии штамповочной оснастки на всех этапах ее изготовления и штампованных поковок с использованием CAI-систем (Computer Aided Inspection) CAM2 Measure, PowerINSPECT, PC-DMIS и при помощи координатно-измерительных машин (КИМ) FaroArm, CimCore, DEA и HMM.

Использование одинаковых с заказчиком CAD-систем позволяет специалистам ОАО "Корпорация ВСМПО-АВИСМА" напрямую сотрудничать с их конструкторскими бюро, делает "прозрачными" для них разрабатываемые математические модели.

Создаваемая на этапе конструкторской подготовки производства "твердотельная" трехмерная математическая модель с выполненными уклонами и радиусами скругления окончательной штампованной поковки и поковок предварительных переходов является многофункциональным продуктом. Создание полномасштабного виртуального образа будущей поковки позволяет упростить, а значит, и сократить сроки написания управляющих программ для станков с ЧПУ, на которых производится изготовление гравюры штампов. Виртуальная модель является также эталоном при последующем контроле геометрических характеристик штамповочной оснастки и штампованных поковок и может напрямую использоваться в САЕ-системе DEFORM.

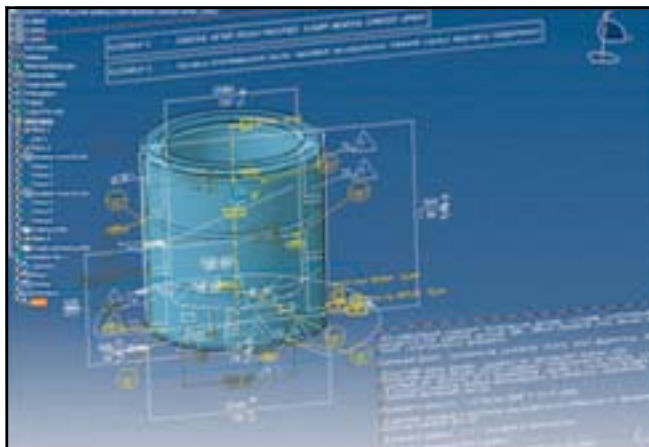


Рис. 2. Пример MBD-пакета данных

Опыт компьютерного проектирования и использование математических моделей на предприятии позволяют существенно сократить бумажный документооборот, сопровождающий процессы проектирования, разработки технологий изготовления, производства и сдачи продукции. Включение в модель, помимо собственно геометрии, данных о материале, допусках на отклонение формы и т.п. увеличивает функциональные возможности математических моделей. Математическая модель изделия, таким образом, несет всю необходимую информацию для производства изделия, включая ссылки на стандарты, другие нормативные документы и контрактные условия (пакет данных Model Based Definition – MBD, рис. 2). Такой подход к математическому моделированию соответствует мировой практике, что позволяет успешно и продуктивно сотрудничать практически со всеми крупнейшими фирмами-потребителями продукции предприятия, а

также сокращать сроки поставок и повышать качество производства.

В дальнейшем совершенствовании CAD/CAE/CAM/CAI-технологии, при нарастающих объемах электронного документооборота и переходе на безбумажные технологии, возрастающая роль принадлежит PLM-системам. Применяемые в ОАО "Корпорация ВСМПО-АВИСМА" программные продукты PLM-линейки ENOVIA VPLM призваны помочь в упорядочивании электронного набора данных об изделии в рамках всего его жизненного цикла, а также в организации доступа к ним и дифференциации прав всех служб, участвующих в проекте (ТБ, конструкторских и технологических бюро по механообработке и штамповочному производству, службы качества и т.д.). Программные продукты ENOVIA VPM и ENOVIA DMU из состава ENOVIA VPLM поддерживают работу с конструкторскими и производственными данными, но имеют различную функциональную направленность. Встроенные в них средства интеграции обеспечивают совместимость применяемых на предприятии систем, также возможна совместимость с другими CAD/PDM-системами.

ENOVIA VPM применяется в качестве программного обеспечения, управляющего интеллектуальной собственностью, накопленной в течение всего жизненного цикла продукта. Система позволяет создать последовательную, обширную и распределенную модель изделия и связанных с ним процессов с целью их оптимизации. ENOVIA VPM обеспечивает пользователей графическими инструментами для совместной работы, обмена и накопления информации о продуктах и процессах.

ENOVIA DMU необходима для расширения трехмерной визуализации продукта за пределы отдела разработки. Продукт можно устанавливать в качестве средства просмотра 3D-модели, а также для навигации по трехмерным цифровым продуктам. Он позволяет не только визуально рассматривать цифровую модель, пользователь (от конструктора до технолога по механической обработке и специалиста по ультразвуковому контролю) может оставлять комментарии, замечания, выноски, что позволяет на стадии разработки проекта обойтись без выпуска промежуточной проектной документации и в целом сократить время на проектную разработку.

Применение математического моделирования технологических процессов в кузнечно-штамповочном производстве позволяет вносить необходимые корректировки в схему технологического процесса и в геометрию гравюры штамповочной оснастки технологических переходов на стадии ее проектирования (рис. 3). Это преследует несколько целей: минимизация как зон затрудненной деформации, так и зон локализации деформации для исключения образования деформационного перегрева и формирования отрицательной текстуры поковки, достижение необходимого уровня свойств готовых изделий путем оптимизации режимов деформирования на ковочных и штамповочных переходах.

В период с конца 90-х по 2001 год в ОАО "Корпорация ВСМПО-АВИСМА" было проведено тести-

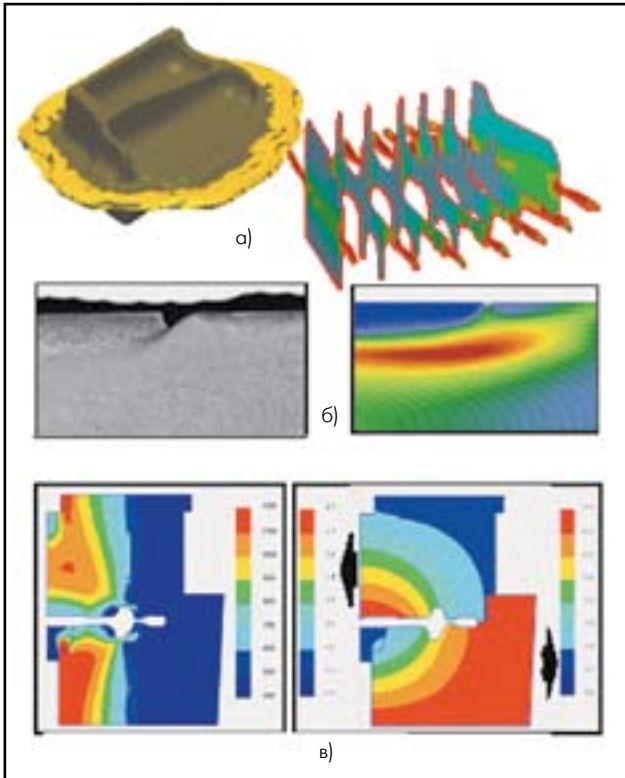


Рис. 3. Математическое моделирование технологических процессов:  
 а) анализ накопленной деформации по сечениям штамповки;  
 б) прогнозирование дефектообразования;  
 в) анализ напряженно-деформированного состояния штампов.

рование ряда CAE-пакетов для анализа процессов обработки металлов давлением (ОМД). По результатам тестирования выбор был остановлен на системе DEFORM. Пакет программ DEFORM в базовой поставке предназначен: для математического моделирования процессов формоизменения с учетом механических и физических свойств моделируемых материалов, как в холодном, так и в горячем состоянии; анализа напряженно-деформированного состояния в деформируемом и в деформирующем теле с учетом различных граничных условий на контактной и свободной поверхностях (трения, температуры, скорости деформирования, характера прикладываемой нагрузки и т.д.). Версия DEFORM 2D предназначена для решения вышеперечисленных задач для плоского напряженно-деформированного состояния, DEFORM 3D – для объемного напряженно-деформированного состояния.

Возможность предварительного математического моделирования приобретает наибольшую значимость при отработке технологии штамповки изделий роторного качества и крупногабаритных конструкционных штампованных поковок.

Накопленный опыт освоенных штампованных поковок, анализ деформационных и температурных полей штамповочных переходов, проводимый путем их математического моделирования в DEFORM, и анализ получаемых механических свойств позволяет в настоящий момент производить оптимизацию формы и геометрии подготовительных штамповочных переходов не в процессе освоения, а до момента изготовления

штамповочной оснастки, т.е. на стадии ее проектирования. Другим из основных направлений математического моделирования является оптимизация скоростей деформирования (скоростей движения траверсы прессы) с целью предотвращения образования участков интенсивного деформационного разогрева. Эти данные (графики прикладываемых нагрузок) используются при задании скоростей движения траверсы штамповочных прессов усилием 30 000 и 75 000 тонн-сил, оснащенных системами автоматизированного управления параметрами рабочего хода.

Начало процесса освоения в ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» штамповок для инофирм в 1997-1998 годах выявило неготовность механо-штамповых отделов инструментального производства к масштабному проведению сертификационных работ. Главной проблемой являлось отсутствие оборудования с ЧПУ для обработки гравюр штампов. Единственный станок с ЧПУ – 6Б444Ф3 был оснащен морально и физически устаревшей системой H55, программносителем являлась перфолента, что ограничивало объем управляющих программ (УП) и не позволяло проводить обработку гравюр штампов сложнее обрезных. Для изготовления штампов использовались копировально-фрезерные станки, производящие обработку гравюры штампа копированием прототипа штамповки – деревянной модели.

В связи с этим было принято решение о проведении поэтапной модернизации копировально-фрезерных станков в станки с ЧПУ. По согласованному техническому заданию была проведена модернизация и восстановление 12 копировально-фрезерных станков различных моделей. Станки получили возможность работать в режиме ЧПУ. Передача программ на станки осуществляется от центрального компьютера в режиме постоянной «подкачки», тем самым сняты все ограничения по объему УП, что позволяет обрабатывать гравюры штампов любой сложности.

Одновременно началась подготовка к расширению числа рабочих мест инженеров-программистов. В инструментальном производстве уже был опыт эксплуатации САМ-системы Cimatron, используемой для разработки управляющих программ обработки камерных матриц и хорошо себя зарекомендовавшей. Поэтому основное расширение числа мест инженеров-программистов было произведено на базе данной САМ-системы.

Одной из важных задач при изготовлении штампов является безошибочная генерация УП для окончательной обработки гравюры штампа. Для проверки УП в кодах станка, оптимизации рабочих подач и быстрых перемещений были внедрены рабочие места специальной программы VERICUT, которые позволили практически исключить ошибки в УП.

Проведение всего комплекса работ по внедрению CAD/CAM-технологий позволило существенно расширить «узкие» места, сделать первые шаги к внедрению безбумажной технологии, получить следующие существенные преимущества:

- ▶ повысилось качество и скорость изготовления мастер-моделей для универсальных копировально-фрезерных станков и электродов для электроэрозионных станков, исключив значительную часть труда модельщиков и шаблонщиков;
- ▶ возросла точность изготовления моделей и шаблонов;
- ▶ при обработке гравюр штампов в режиме ЧПУ изготовление деревянных моделей и шаблонов не требуется;
- ▶ качество поверхности гравюры штампа после обработки на станке с ЧПУ позволяет снизить объем слесарных работ по доводке штампа;
- ▶ появилась возможность полного контроля гравюры штампа с применением КИМ FaroArm, CimCore.

Благодаря своевременно проведенному комплексу работ по внедрению CAD/CAM-технологий по проектированию и изготовлению штамповочного инструмента, модернизации станков удалось в кратчайшие сроки провести масштабную сертификацию уникальных штамповок для фирмы Goodrich по проектам "А-380", "Боинг 777".

Вместе с тем цикл изготовления штамповочного инструмента еще оставался значительным. Прорывом в этом направлении стало внедрение технологии и оборудования для высокоскоростного фрезерования. Первый станок этого класса фирмы Mekoff – модель CS500, внедренный в инструментальном цехе, отлично себя зарекомендовал. Подготовка к дальнейшему внедрению оборудования с возможностью высокоскоростного, в том числе пяти координатного, фрезерования ведется в настоящее время.

Контроль геометрии первого изделия (First Article Inspection – FAI) является составной частью сертификации новых изделий, изготавливаемых на ОАО "Корпорация ВСМПО-АВИСМА", и проводится согласно стандарта SAE AS 9102.

В условиях современного рынка, жесткой конкуренции и постоянного совершенствования технологий на предприятиях различных областей промышленности остро встает проблема быстрого и всестороннего контроля деталей, оснастки, заготовок.

Традиционные средства измерения зачастую не позволяют провести контроль геометрии в локальных зонах, указанных по требованию заказчика, для контроля которых возникает необходимость изготовления специальных шаблонов и приборов контроля. Изготовление подобной оснастки требует значительных финансовых и временных затрат, а кроме того, необходимы большие специализированные площади для ее хранения. Использование автоматизированных средств контроля, или координатно-измерительных машин, призвано решить все вышеназванные проблемы. К тому же, использование КИМ позволяет проводить практически стопроцентный контроль геометрических характеристик сложноконтурных штамповок и штамповочной оснастки, что невозможно сделать при использовании обычного измерительного инструмента и специальных шаблонов.

Первая сдача геометрии штамповок аудиторам инофирм проводилась на стационарной координат-



Рис.4. Контроль гравюры длинномерного штампа при помощи КИМ FaroArm P08-05, установленной на прецизионный рельс длиной 3 метра фирмы FARO Technologies

но-измерительной машине НММ-965 в 1997 году. Обладая всеми вышеперечисленными преимуществами по сравнению с традиционными способами измерения, данное оборудование имеет ограниченные параметры рабочего стола, что существенно сужает сферу его применения. В настоящее время на ВСМПО дополнительно используются четыре портативные КИМ FaroArm и четыре КИМ CimCore, позволяющие производить оперативный и качественный контроль геометрических параметров поковок и штамповочной оснастки практически любых размеров, в том числе и в производственных условиях. Для увеличения рабочей зоны измерений КИМ FaroArm и повышения точности измерений длинномерных штампов и поковок в 2005 году установлен прецизионный рельс длиной 3 метра фирмы FARO Technologies (рис. 4).

Контроль геометрических характеристик штамповок и штамповочной оснастки возможно проводить 2D- или 3D-способами.

Основной принцип 2D-измерений заключается в следующем: деталь разбивается на простейшие геометрические фигуры, такие как плоскость, цилиндр, конус и т.п. Используя геометрические характеристики этих элементов, можно полученные размеры сравнить с размерами, указанными на чертеже. Функции для проведения 2D- и 3D-измерений геометрических характеристик изделий в полной мере представлены в программном продукте фирмы DELCAM Power Inspect.

При 3D-измерении происходит оцифровка точек на поверхности измеряемого изделия, автоматически производится анализ и формируется отчет или разрабатывается инспекционный план (ИП) с использованием ПО CATIA или CAM2 Automotive (измерения проводятся в соответствии с разработанным ИП с использованием CAM2 Measure).

Контактный способ измерения – измерение точек с поверхности проводится с помощью измерительного щупа. Бесконтактный способ измерения – измерение точек с поверхности проводится с помощью лазерного сканера, либо других средств контроля.

Использование лазерных сканеров позволяет с высокой точностью (до 0.006") проводить обратный инжиниринг изделий, повысить скорость прове-

дения измерений. Для этого в ОАО "Корпорация ВСМПО-АВИСМА" КИМ фирмы FARO Technologies были дооснащены двумя лазерными сканирующими головками Kreon Zephyr KZ-50 фирмы Kreon Technologies (Франция).

Для сканирования с использованием лазерного сканера Kreon применяется ПО Polygonia. Данное ПО позволяет сгенерировать облако оцифрованных точек в формате, пригодном для дальнейшего анализа. Метрологическое ПО Prelude Inspection фирмы MDTVISION (Франция) разработано в соответствии со стандартом ISO 9000 и предназначено для проведения измерений на КИМ портального и портативного типа. Любое измерение в ПО Prelude Inspection проводится согласно программе измерений (инспекционному плану). Разработка ИП возможна в двух режимах: сначала разрабатывается ИП, затем проводятся измерения либо ИП разрабатывается непосредственно в процессе измерений.

Технология проведения измерений с использованием лазерной сканирующей головки Kreon состоит в следующем: оцифровывается облако точек и передается в ПО Prelude Inspection, далее производится совмещение облака измеренных точек с математической моделью изделия либо автоматически (по ИП), либо вручную (в случае экспресс-анализа), затем производится получение геометрических характеристик изделия и генерируется отчет по результатам измерений.

Использование КИМ FaroArm совместно с лазерными сканирующими головками Kreon, нового ПО Polygonia и Prelude Inspection позволяет сократить сроки, необходимые для проведения измерений новых и серийно выпускаемых изделий, достичь высокой точности проведения измерительных работ, а также значительно сократить время для подготовки программ проведения измерений.

По прошествии одиннадцати лет с момента первого тестирования САD-систем и использования станков с ЧПУ в технологической цепочке изготовления гравюр штамповочной оснастки можно констатировать, что успешное продвижение ОАО "Корпорация ВСМПО-АВИСМА" на мировой рынок производства штампованных поковок из титановых сплавов было бы невозможным без проведения вышперечисленного комплекса работ. И в том, что предприятие является на настоящий момент первой по объему поставок данных изделий для компаний Boeing и Airbus Industry, а также наращивает объемы производства штампованных поковок роторного качества для ведущих двигателестроительных фирм, есть несомненная "заслуга" современных информационных технологий, применяемых в конструкторско-технологических службах и цехах объединения.

**А. С. Шибанов, В. Б. Тимохов, А. Н. Литвинов,  
Г. Л. Афанасьев, А. В. Лесков, В. А. Кропотков,  
ОАО "Корпорация ВСМПО-АВИСМА"**

www.metal-build.ru

## METALBUILD 2010

Международная выставка металла в строительстве и архитектуре  
International exhibition of metal in construction and architecture

16-19 Февраля  
Москва, Крокус Экспо  
16-19 February  
Moscow, Crocus Expo

**RUSBUILD**

Организаторы  
Генеральный информационный спонсор  
Генеральный интернет-партнер  
Оргкомитет

тел./факс: +7 (495) 956-48-22  
e-mail: metalbuild@m-expo.ru  
http://www.metal-build.ru