

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СРЕДСТВАМИ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА: ОМД И МЕХАНООБРАБОТКА**

Илюшкин М.В.

Моделирование процессов давно используется инженерами для предсказания поведения конструкции или процесса на стадии его проектирования. Моделирование технологических процессов в сфере обработки материалов позволяет получить данные необходимые для создания высокоэффективных и экономичных технологических процессов.

Задачи которые стоят перед инженерами при проектировании процессов ОМД и механообработки это:

- определение напряженно деформированного состояния;
- определение энергосиловых параметров процесса;
- определение формы готовой детали (отклонение от чертежа, наличие пружинения и т.п.);
- зоны возникновения дефектов (при наличии);
- определение формы и размеров отхода.

Применение моделирования процессов позволяет значительно сократить или вовсе убрать количество реальных экспериментов, т.е. на стадии проектирования можно увидеть, что происходит с деталью в процессе обработки. Кроме того, моделирование позволяет заглянуть внутрь детали, например, определить НДС в любой точке детали и времени обработки, что невозможно или крайне сложно в экспериментальных исследованиях.

Моделирование позволяет провести варьирование исходных параметров с целью поиска оптимальных или рациональных параметров процесса (схем деформирования для ОМД или режимов обработки для механообработки).

Для получения адекватных данных в процессе моделирования требуется соблюдение следующих правил:

- применение адекватных моделей материала, заготовки и инструмента (упругих, пластических, хрупких и т.д.);
- применение адекватных параметров материала (точно соответствующих реальным материалам);
- применение адекватных параметров процесса (нагрузок, ограничений, взаимодействий и т.п.).

Для получения адекватных параметров материала требуется проведение механических испытаний (к примеру, испытание на одноосное растяжение и кручение). После которых мы получаем требуемые диаграммы деформирования. Осуществляют аналогичные испытания и в программах инженерного анализа (рис. 1). После чего, сравнивают результаты реальных испытаний материалов с результатами моделирования. Необходимым условием

для адекватного моделирования является наличие совпадения этих результатов.

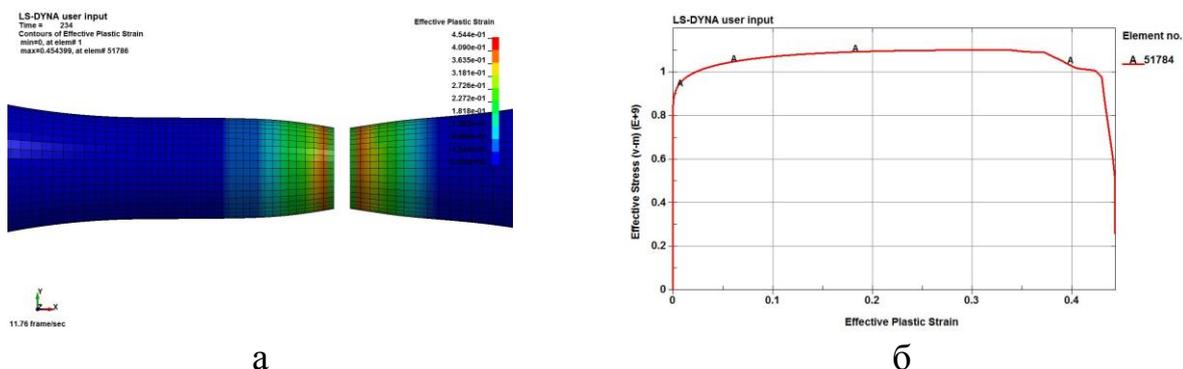


Рис. 1. Пример моделирования механического испытания на одноосное растяжение: а – общий вид образца после разрыва, б – график деформирования

Сложность возникает на участках близких к разрушению, на участках возникновения шейки, связанных тем, что зона разрушения при моделировании связана с размером конечно-элементной сетки. Также сложность возникает при моделировании материалов отличных от металлов - это резина, пена, композиты и т.п. А также в случае нагружения по сложным схемам воздействия, где данные результатов испытания полученных при одноосном растяжении брать не корректно. В таком случае, рекомендуется проводить дополнительное моделирование, связанное с подбором и уточнением параметров.

К примеру, влияние адгезии при моделировании деформирования материала с лакокрасочным покрытием или клеевого слоя при моделировании процессов сверления композитов. В этом случае существующая модель материала может не в полной мере отражать реальные модели (стандартная модель, к примеру, не учитывает физику распространения адгезии на прилегающие слои).

Таким образом, дополнительное исследование (моделирование и практическая проверка) требуется, к примеру, при исследовании материала с покрытием или сверления композита и сравнение результатов моделирования и практики. Соответственно результаты этих исследований должны совпадать между собой. При этом, схема воздействия при дополнительном моделировании должна быть близка к схеме воздействия в реальном процессе.

Один из примеров дополнительного исследования является пробивание шариком материала с покрытием или композиционной пластины (рис. 2) и сравнение этих результатов.

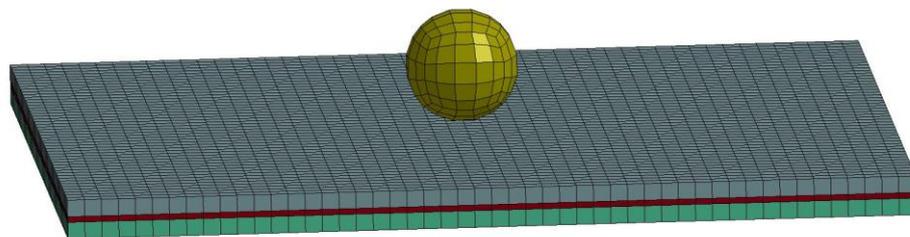


Рис. 2. Пример дополнительного моделирования пробивание шариком материала с покрытием или композиционной пластины

Если результаты отличаются, то необходим подбор параметров моделирования до тех пор, пока результаты не будут адекватны между собой. Только после этого можно моделировать основной процесс.

Моделирование процессов ОМД широко используется на АО “Ульяновский НИИТ”, а именно моделирование процессов формообразования и резки гнутых профилей.

Один из примеров моделирования представлен на рис. 3, где моделируется процесс резки круглой трубы в отрубном штампе. Целью моделирования был поиск рациональной формы ножа, обеспечивающей минимальное усилие резки [1].

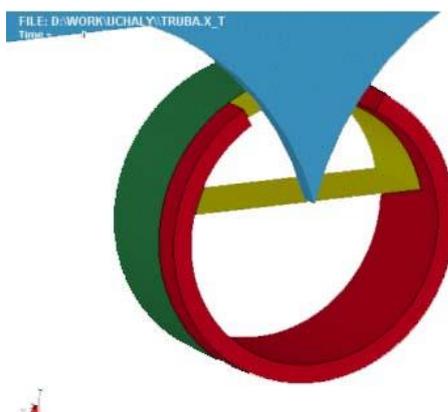


Рис. 3. Моделирование процесса резки круглой трубы в отрубном штампе

Другой пример моделирования представлен на рис. 4, где исследовался процесс формообразования гнутого профиля швеллерообразного типа. Целью моделирования, было в сравнении нескольких схем формообразования и выбор схемы обеспечивающей минимальную аксиальную деформацию по краям полок, превышение которой вызывает неустранимый дефект кромковой волнистости [2].



Рис. 4. Моделирование процесса формообразования гнутого профиля швеллерообразного типа

Еще один пример моделирования процесса формообразования гнутого профиля корытообразного типа из оцинкованной стали представлен на рис. 5, где целью было установить величины контактных давлений по уголковым зонам профиля. Превышение предельной величины контактных давлений вызывает сдир покрытия и уменьшение коррозионостойкости таких изделий. В данном моделировании также было рассмотрено несколько технологических схем с различными схемами формообразования радиусов [3].



Рис. 5. Моделирование процесса формообразования гнутого профиля корытообразного типа

Моделирование процессов формообразования несимметричных гнутых профилей позволяет установить величину скрутки гнутого профиля и скорректировать до изготовления реальной оснастки. Кроме этого, было установлено, появление дефекта кромковой волнистости по одной из полок несимметричного профиля, что также было подтверждено практическими исследованиями (рис. 6). Обнаружение этого дефекта позволило еще на стадии проектирования принять меры к его устранению (в данном случае было введено дополнительное межклетьевое устройство) [4].

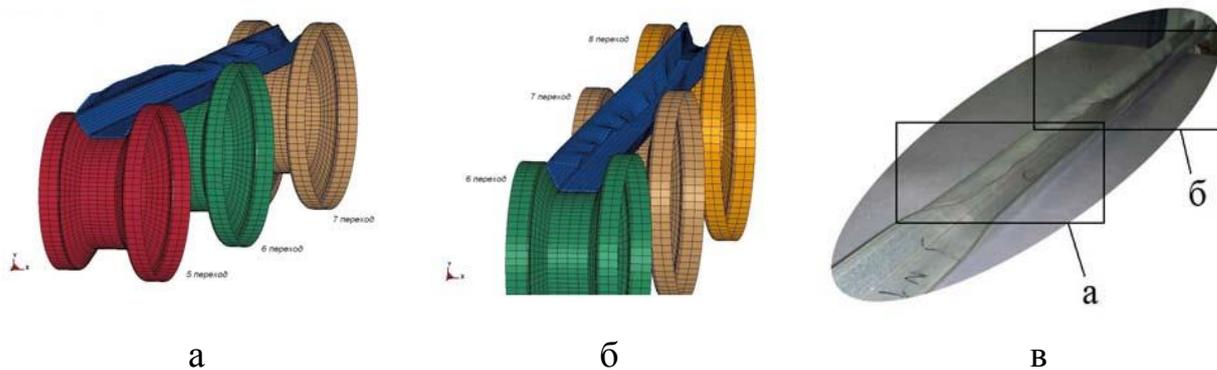


Рис. 6. Дефекты профиля несимметричного типа после моделирования (а, б) и на практике (в)

Результаты моделирования приведенных схем и анализ с практически-ми результатами позволил говорить, что применяемое в АО “Ульяновский НИАТ” программа динамического анализа LS-DYNA хорошо подходит для исследования схем формообразования гнутых профилей и может быть применена для исследования ответственных процессов, например для авиационной промышленности.

Был исследован процесс формообразования гнутых профилей методом стесненного изгиба, применяемых для изготовления профилей для фюзеляжа самолета (рис. 7), где было изучено НДС в зоне сгиба и предварительно оценены величины утолщения от технологических параметров процесса.

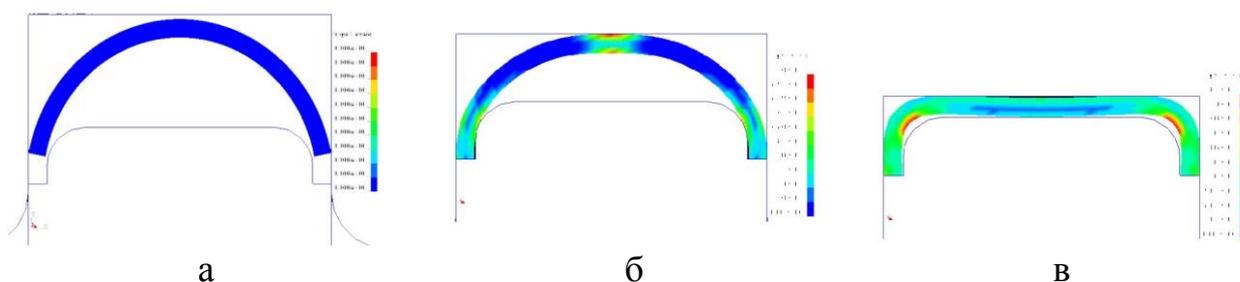
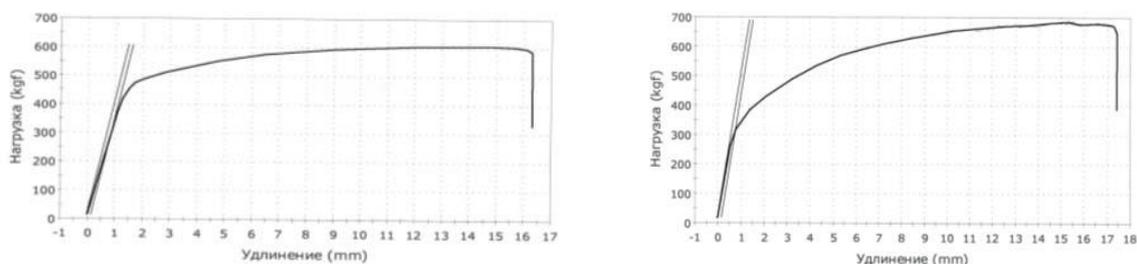


Рис. 7. Этапы формования части профиля Z-образного типа методом стесненного изгиба

Для адекватного моделирования процесса, требуется ввод правильных параметров моделей материала, для этого были проведены серии механических испытаний для определения этих данных (рис. 8).



а

б

Рис. 8. Диаграммы после механических испытания на растяжение для металлов: а – В95АМ, б – В1469

Результаты механических испытаний использовались для моделирования процесса получения профилей стрингер и шпангоут для фюзеляжа самолета МС-21 (рис. 9).

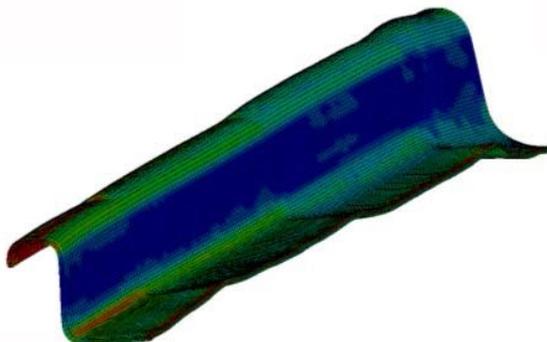


Рис. 9. Моделирование процесса изготовления профиля стрингер

В программе инженерного анализа LS-DYNA было проведено моделирование процесса изготовления профиля шпангоут с различной продольной кривизной. Анализ этих данных позволил установить НДС по сечению профиля, зависимость от величины продольного радиуса и установить критические значения кривизны, при которой возникает дефект кромкой волнистости.



Рис. 10. Моделирование процесса изготовления профиля шпангоут с продольной кривизной

Последнее время все чаще программы инженерного анализа используются и в процессах механообработки.

Программа динамического анализа LS-DYNA позволяет моделировать процессы фрезерования, точения, сверления, шлифования (рис. 11).

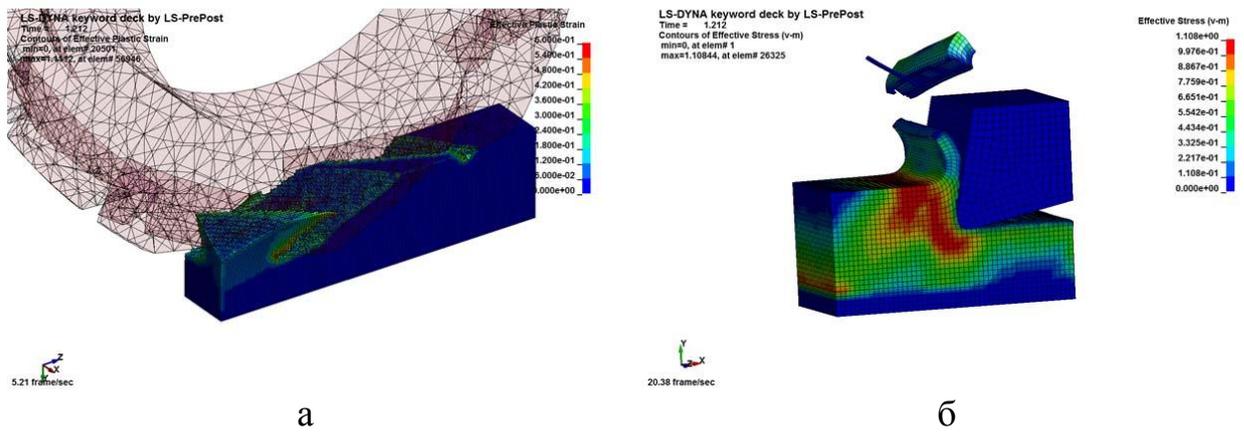


Рис. 11. Примеры моделирования процесса механообработки в программе LS-DYNA: а – фрезерование, б – точение

На кафедре ТЗШП при АО “Ульяновский НИАТ” было проведено тестовое моделирование процессов сверления металлических (рис. 12) и композиционных материалов (рис. 13).

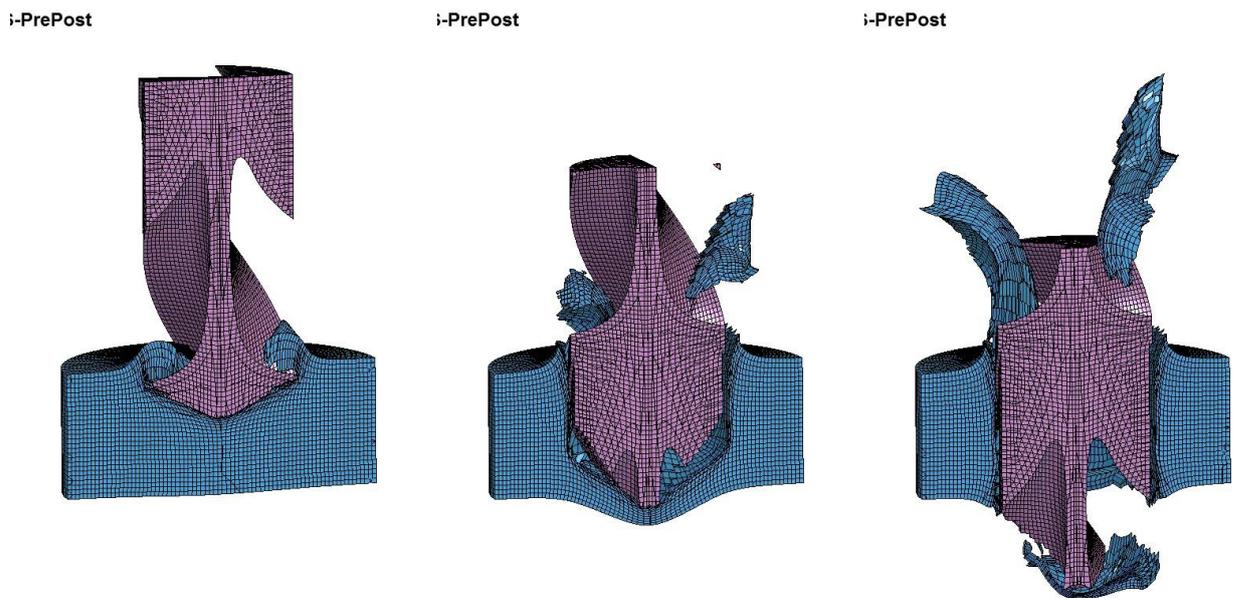


Рис. 12. Этапы моделирования процесса сверления сплава ВТ-6

S-PrePost

S-PrePost

S-PrePost



Рис. 13. Этапы моделирования процесса сверления композита M21/34%UD194/IMA

Программа позволяет оценить как величины энергосиловых параметров процесса, так и показать, что будет происходить с материалом при реальном процессе сверления. Все это позволяет использовать программы инженерного анализа для подбора режима сверления (подача, величина оборотов) при которых не будет происходить, к примеру, деламинация слоев композита и осуществляться качественное изготовление отверстий.

### Выводы

Применение средств инженерного анализа, а именно программы LS-DYNA, позволяет с большой точностью моделировать существующие процессы ОМД и механообработки, что позволяет сразу увидеть процесс, как бы он происходил в реальных условиях. Моделирование позволяет получить все необходимые данные по НДС и энергосиловым характеристикам процесса.

При наличии дефектов моделирование покажет как это было бы в реальном эксперименте.

Для получения адекватных данных необходимо построение модели соответствующей реальной со всеми физическими параметрами процесса, соответствии модели материала, нагружению, тепловым свойствам и т.д.

Для адекватного моделирования требуется адекватное составление соответствующих методик, включающих в себя:

- испытание материала (практическое и моделирование);
- постановочные исследования (практическое и моделирование);
- моделирование основного процесса.

Только при адекватных результатах первого и второго пункта можно говорить об адекватных результатах основного моделирования.

## Библиографический список

1. Илюшкин М.В., Баранов А.С., Марковцев В.А. Отработка процесса рубки толстостенного профиля полузамкнутой формы // Формообразование гнутых профилей: теория и практика. (2012 г.): Сборник научных трудов / под науч. ред. д-ра техн. наук, профессора В.И. Филимонова. – Ульяновск : УлГТУ, 2012. – с. 75-79.
2. Илюшкин М.В., Марковцев В.А., Филимонов В.И. Влияние остаточных деформаций на дефект кромковой волнистости полок // Формообразование гнутых профилей: теория и практика. (2013 г.): Сборник научных трудов / под науч. ред. д-ра техн. наук, профессора В.И. Филимонова. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – с. 35-46.
3. Илюшкин М.В., Марковцев В.А., Баранов А.С. Выбор способа формовки уголкового профиля корытного типа в роликах на основе анализа действующих контактных давлений // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 12, № 1(2), 2010 – с. 362-365
4. Марковцев В.А., В.И. Филимонов, Илюшкин М.В., Баранов А.С., Волков А.А. Формообразование несимметричных профилей на профилировочных станках // Технология металлов.-2011.-№3.- с. 8-12.