

Для получения точных результатов моделирования необходимо предварительно сделать правильный выбор материала и точно задать исходные данные процесса. Для некоторых процессов, таких как штамповка в холодном состоянии, соответствующие данные можно получить при испытаниях на сжатие. Для других процессов, таких как термическая обработка, определяющие параметры процесса получить значительно труднее.

### Обратное вычисление коэффициента теплопередачи

Коэффициент конвекции теплопередачи во время закалки – это один из параметров, которые трудно получить как аналитическим, так и экспериментальным путем, но он оказывает существенное влияние на данный процесс. Коэффициенты меняются в зависимости от положения и ориентации изделия. Скорость остывания пропорциональна коэффициенту теплообмена, который влияет на микроструктуру материала и распределение остаточных напряжений.

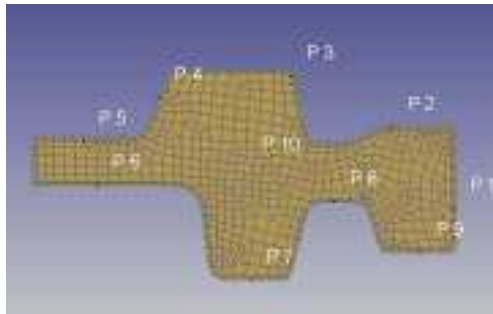


Рис. 1: На рисунке показана модель диска турбины с нанесенной конечно-элементной сеткой. Точки представляют собой термопары с экспериментальными данными.

Стандартным подходом для получения необходимых данных является способ размещения термопар на изделии, полученные данные с которых позволяют построить кривую зависимости температуры от времени во время процесса закалки. Моделирование процесса производят до тех пор, пока скорректированные данные коэффициента конвекции на кривой температуры в зависимости от времени не совпадут с данными, полученными с термопары. Этот процесс осуществляется вручную или с помощью внешних программ. После получения кривых коэффициента теплообмена, эти данные могут быть использованы для задач с похожим расположением и ориентацией аналогичных деталей при аналогичной среде закалки.

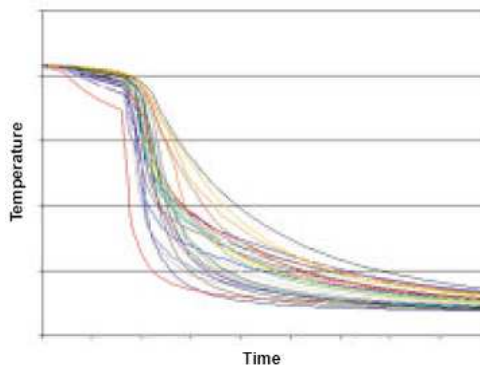


Рис. 2: На рисунке показаны кривые температуры в зависимости от времени, построенные на основе экспериментальных данных для каждой термопары во время операции закалки, последовавшей за операцией переноса изделия по воздуху.

В рамках DARPA (Управление перспективного планирования оборонных научно-исследовательских работ) совместно с Accelerated Insertion of Materials Initiative, компания SFTC успешно реализовало проект определения коэффициентов теплопередачи с использованием метода обратного анализа. Этот метод позволил упростить процесс получения кривых откалиброванного коэффициента теплопередачи на основе данных термопар. В DEFORM используется оптимизационная подпрограмма для поиска наилучшей кривой коэффициента теплопередачи из приведенных данных.

Ниже приведен пример проверочного процесса. Изделие было оборудовано 29 термопарами, которые фиксировали значения температуры в изделии во время переноса по воздуху и во время процесса закалки в масле.

Первое моделирование было проведено с предполагаемыми коэффициентами теплопередачи. Результирующая кривая зависимости температуры от времени показана на рисунке 3. Обратите внимание на несоответствие между данными моделирования и экспериментальными данными.

#### Наш адрес:

ООО «АРТЕХ»  
127015, Москва, ул. Новодмитровская,  
д.5А, стр. 1, оф.1509Б

Телефон/факс: (495) 795-64-48

Web: [www.artech-eng.ru](http://www.artech-eng.ru)

E-mail: [info@artech-eng.ru](mailto:info@artech-eng.ru)

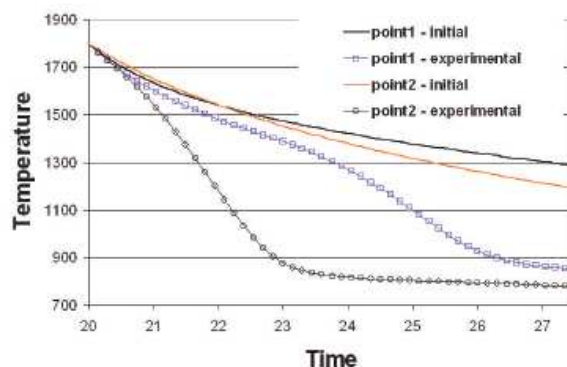


Рис. 3: На рисунке показаны кривые температуры в зависимости от времени, построенные на основании полученных результатов.

Данные изменяются и моделирование повторяется до тех пор, пока ошибка между результатами моделирования и экспериментальными данными не будет сведена к минимуму. На рисунке 4 показаны результаты моделирования после оптимизации. На рисунке 5 показаны начальные и оптимизированные кривые коэффициента конвекции.

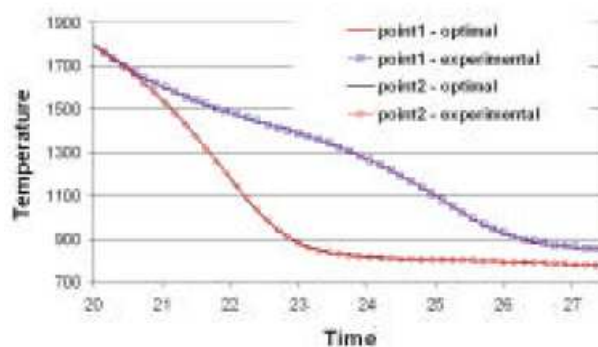


Рис. 4: С использованием оптимизированных коэффициентов кривые температуры в зависимости от времени совпадают с экспериментальными данными.

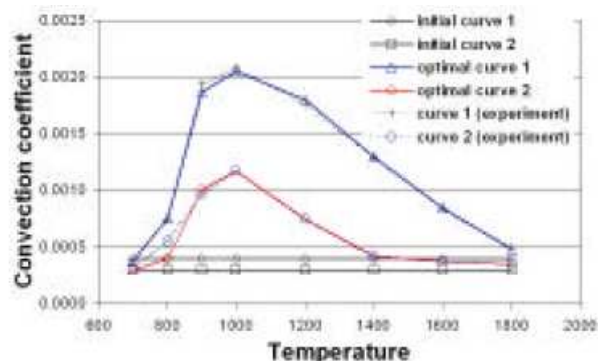


Рис. 5: На рисунке показаны начальные и оптимизированные кривые коэффициента конвекции, для двух произвольно выбранных термодпар.

### Газовые ловушки

DEFORM-2D v.8.0 позволяет учитывать в моделировании влияние газовых ловушек с помощью вычислений сжимаемости воздуха, определяемого по формуле закона идеального газа.

$$pV = nRT$$

В законе говорится, что произведение давления (P) на удельный объем (V) остается постоянной величиной при постоянной температуре (T). Так как во время операции штамповки объем воздуха снижается, то обратно пропорционально этому повышается давление.

#### Наш адрес:

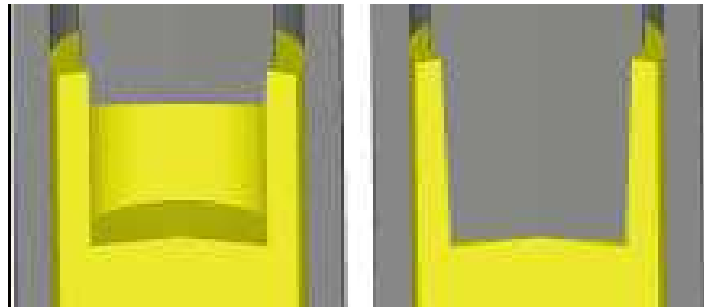
ООО «АРТЕХ»  
127015, Москва, ул. Новодмитровская,  
д.5А, стр. 1, оф.1509Б

Телефон/факс: (495) 795-64-48

Web: [www.artech-eng.ru](http://www.artech-eng.ru)

E-mail: [info@artech-eng.ru](mailto:info@artech-eng.ru)

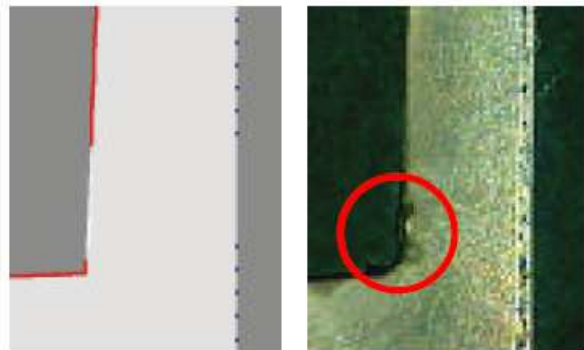
Газовые и смазочные ловушки могут привести к не заполнению полости штампа, несмотря на увеличение усилия штамповки. Введение воздухоотводных каналов и изменение конструкции штампа зачастую являются единственным решением для предотвращения образования газовых и смазочных ловушек.



На рисунке показаны начальный (слева) и конечный (справа) этап операции холодной штамповки

Например, в случае холодного процесса обратного выдавливания, конусообразный пуансон в начальный момент операции захватывает в ловушку значительный объем воздуха. Этот объем воздуха сжимается во время всего процесса выдавливания, что, в конечном счете, приводит к незаполнению. Контакт пуансона и заготовки показан на левом рисунке. Видно незаполнение в левом углу пуансона. Это хорошо соотносится с правым рисунком, на котором показана реальная картина процесса. Был также промоделирован инструмент с воздухоотводным каналом. Результаты моделирования показали хорошее заполнение инструмента.

В случае со смазкой, стеклом, паром или водой – сжимаемость этих сред будет меньше чем у воздуха. Сейчас ведутся разработки, которые позволят учитывать незаполняемость штампа при использовании этих сред. Обратитесь в компанию ООО «Артех», если Вам нужна помощь в настройке задачи с учетом газовых ловушек.



В результате моделирования в программе DEFORM (рисунок слева) было показано незаполнение без учета воздухоотводящих каналов в инструменте. Контакт инструмента с заготовкой показан красной линией. Реальное незаполнение показано на правом рисунке. Обратите внимание на едва различимую полость в углу пуансона (красная окружность).



В результате моделирования в программе DEFORM (рисунок слева) было показано хорошее заполнение с учета воздухоотводящих каналов в инструменте. Контакт инструмента с заготовкой показан красной линией. Реальное заполнение показано на правом рисунке.

### Наш адрес:

ООО «АРТЕХ»  
127015, Москва, ул. Новодмитровская,  
д.5А, стр. 1, оф.1509Б

Телефон/факс: (495) 795-64-48

Web: [www.artech-eng.ru](http://www.artech-eng.ru)

E-mail: [info@artech-eng.ru](mailto:info@artech-eng.ru)

Перевод осуществлен компаниями ООО «Артех» и ООО «НТП «РадиалПро».