

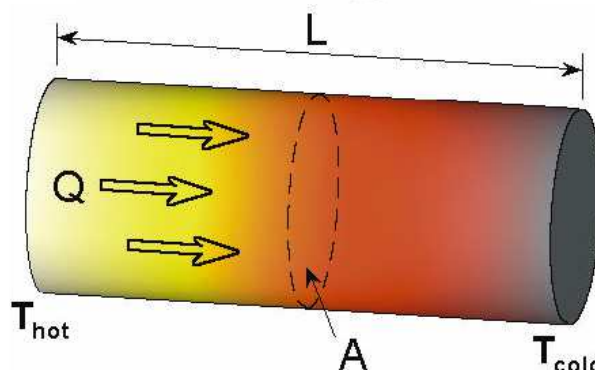
## Моделирование теплопередачи

Существует три способа передачи тепла: теплопередача, конвекция и излучение. При моделировании в программе DEFORM учитываются все эти способы.



Теплопередача – это передача тепла через сплошной материал или передача тепла от одного объекта к другому при непосредственном контакте. Закон Фурье описывает, что тепловая энергия в объекте будет перераспределяться из областей с высокими температурами в области с более низкими температурами. Скорость теплового потока  $Q_{\text{cond}}$  может быть выражена следующим образом:

$$Q_{\text{cond}} = \frac{k A (T_{\text{hot}} - T_{\text{cold}})}{L}$$



где  $A$  – это площадь поперечного сечения,  $L$  - расстояние, на которое передавалось тепло. Количество переданного тепла данным способом прямо пропорционально градиенту температуры и коэффициенту теплопроводности материала. Высокое значение теплопроводности означает большой тепловой поток.

Конвекция является передачей тепла через жидкость или газ с учетом фактического движения текучей среды. Конвективный теплообмен описывается законом Ньютона об охлаждении, в котором говорится, что скорость теплового потока  $Q_{\text{conv}}$  может быть выражена следующим образом:

$$Q_{\text{conv}} = h A (T_{\text{surface}} - T_{\text{fluid}})$$

### 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)

где  $h$  – коэффициент конвективного теплообмена,  $A$  - открытая область объекта. Это тепло прямо пропорционально коэффициенту конвективного теплообмена и градиенту температуры между изделием и текучей средой.

Излучение – это передача тепла посредством испускания электромагнитных волн, которые отводят энергию от излучаемого объекта. В уравнении Стефана-Больцмана утверждается, что скорость теплового потока  $Q_{rad}$  между температурой тела  $T_{surf}$  и температурой окружающей среды  $T_{env}$  может быть выражена следующим образом:

$$Q_{rad} = \sigma \varepsilon A F_{1-2} (T_{surf}^4 - T_{env}^4)$$

где  $\sigma$  - постоянная Стефана-Больцмана,  $\varepsilon$  - коэффициент излучения,  $A$  – область поверхности тела и  $F_{1-2}$  – коэффициент, определяющий площадь объекта, участвующего в теплообмене (масштабный коэффициент). Поток тепла от излучения пропорционален четвертой степени градиента температуры между поверхностью детали и окружающей средой.

Тепловая лучистая энергия, выделяемая телом, зависит от излучения поверхностей тела. Это излучение зависит от типа материала и состояния поверхности. Значения излучения находятся в пределах от 0 до 1. Например, значение излучения от абсолютно черного тела (поглощает всю энергию, попадающую на него) равно 1. Значение излучения алюминия обычно равно 0.1, значения излучения для других металлов варьируется в пределах от 0.3 до 0.7. Когда в процессе участвуют несколько тел, то лучистый теплообмен зависит от геометрии, температуры и расположения изделия. Лучистый теплообмен пропорционален масштабному коэффициенту  $F_{1-2}$ . Для получения точных результатов при моделировании излучения в высокотемпературных процессах необходимо его учитывать.

Конвекция являются доминирующим способом передачи тепла между объектом и окружающей средой с температурой ниже 1000°F. При высоких температурах (>2000°F), доминирующим способом теплопередачи с окружающей средой становится излучение, а конвекция становится вторым по значимости фактором. В интервале между 1000°F и 2000°F, конвекция и излучение имеют одинаковое влияние.

Последние разработки позволяют при моделировании в DEFORM учитывать расчет масштабного коэффициента. Ранее, для уменьшения времени моделирования, при вычислении излучения использовалась упрощенная модель абсолютно черного тела.

Влияние масштабного коэффициента представлено на рисунке ниже. Был смоделирован нагрев девяти заготовок в печи с температурой в 2000°F. Как показано на рисунке, заготовки были загружены в три ряда. Из представленного распределения температур видно влияние данного коэффициента. В центре заготовка нагревается медленнее всех из-за того, что она находится в тени других, окружающих ее, объектов. Если бы коэффициент был отключен, то температура во всех заготовках была бы одинаковой.

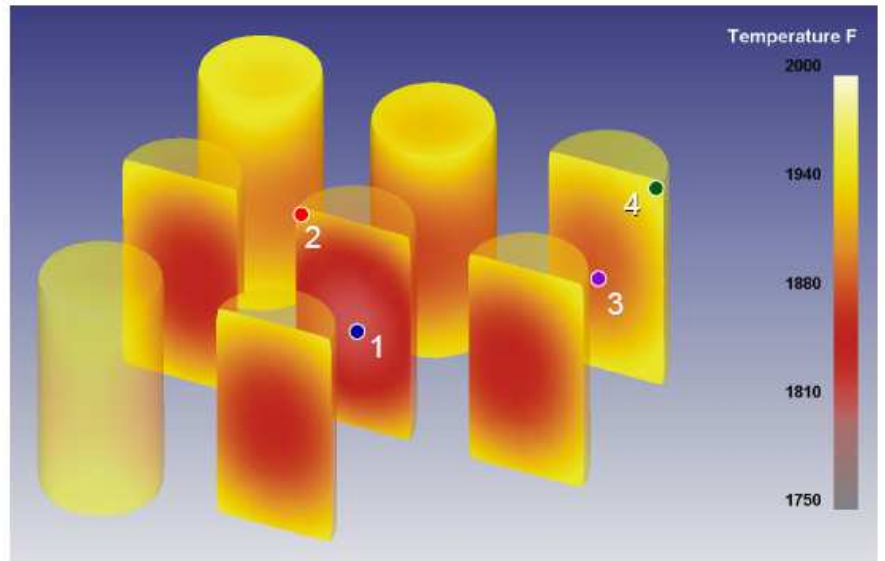
#### Наш адрес:

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

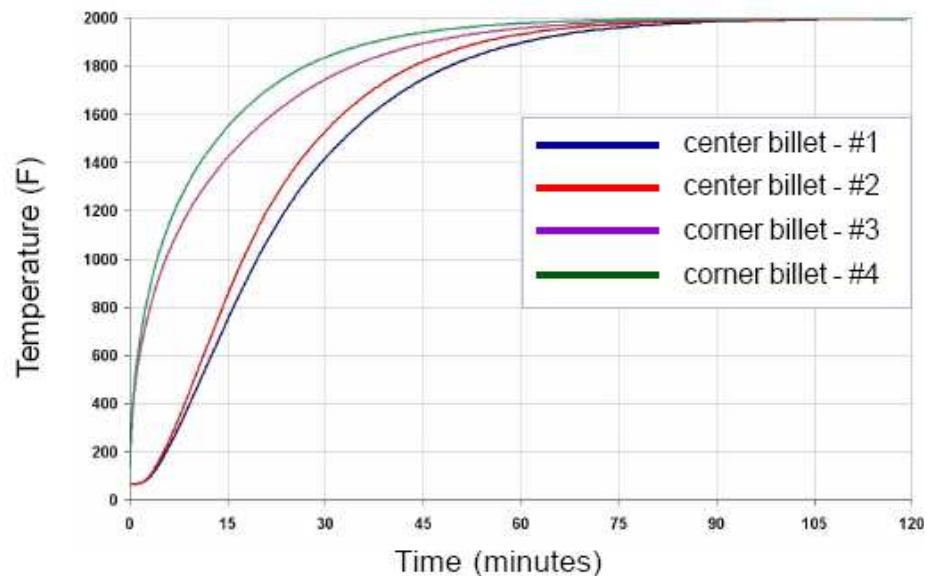
Телефон/факс: (495) 795-64-48

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

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



На рисунке показано моделирование нагрева девяти заготовок в DEFORM. Эффект попадания в тень центральной заготовки получен при использовании масштабного коэффициента. Графики зависимости температуры от времени показаны на рисунке ниже. Заготовка в центре прогревается медленнее, чем предполагалось. Высокая стоимость энергии оправдывает моделирование процессов нагрева.



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

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)