

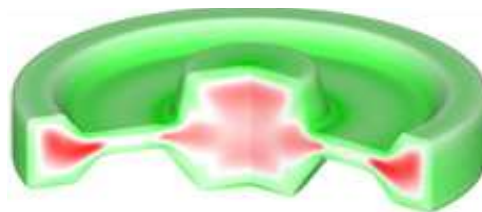
Процессы механической обработки часто вызывают неконтролируемые и непредсказуемые искажения изделия, которые неблагоприятно влияют на его качество, процент отбраковки и стоимость самого изделия. Моделирование процесса можно использовать для повышения точности изделия и прогнозирования искажений от механической обработки. Моделирование позволяет понять и оценить те наиболее важные факторы, которые влияют на величину искажений, а также помогает значительно улучшить процесс обработки и проектирования.

### Искажения от механической обработки

Процессы механической обработки часто вызывают неконтролируемые и непредсказуемые искажения изделия, которые неблагоприятно влияют на его качество, процент отбраковки и стоимость самого изделия. Моделирование процесса можно использовать для повышения точности изделия и прогнозирования искажений от механической обработки. Моделирование позволяет понять и оценить те наиболее важные факторы, которые влияют на величину искажений, а также помогает значительно улучшить процесс обработки и проектирования.

Распределение остаточных напряжений в изделии является результатом предварительной термомеханической обработки, и особенно термической обработки. Термообработка необходима для достижения требуемых механических свойств изделия. На распределение остаточных напряжений во время термической обработки влияют геометрия заготовки и скорость охлаждения. Процесс механической обработки так же способствует образованию остаточных напряжений, особенно вблизи поверхности изделия. В настоящее время, в DEFORM не учитываются параметры взаимодействующей пары "заготовка-инструмент", которые зависят от скорости, подачи и глубины резания.

После термической обработки в изделии, как правило, наблюдаются сжимающие остаточные напряжения на поверхности и растягивающие остаточные напряжения внутри. На рисунке ниже показано распределение остаточных напряжений внутри диска турбины после термической обработки, но до процесса окончательной механической обработки. Зеленным выделены зоны сжимающих напряжений, красным – зоны растягивающих напряжений.



После удаления материала в процессе механической обработки, внутренние напряжения перераспределяются. Геометрия изделия искажается в результате попыток внутренних напряжений найти новое равновесное энергетическое состояние. Это является причиной искажения формы изделия после процесса механической обработки.

Отмечено, что остаточные напряжения по-прежнему присутствуют в изделии после окончательной механической обработки (см. рисунок ниже).



#### Наш адрес:

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

Телефон/факс: (495) 795-64-48

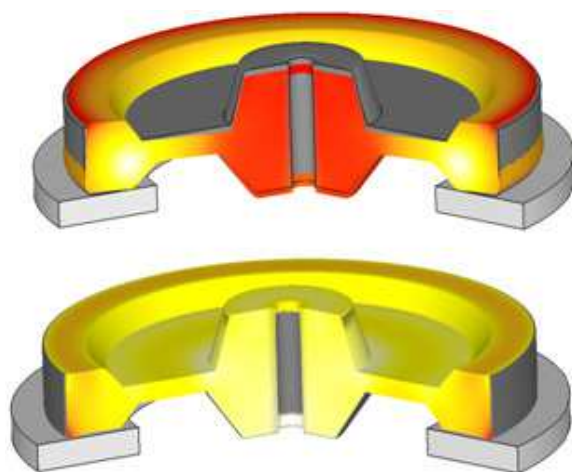
Web: [www.artech-eng.ru](http://www.artech-eng.ru)

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

DEFORM имеет шаблон «Machining distortion (Искажения от механической обработки)», который помогает быстро настраивать и моделировать такие процессы. Этот шаблон впервые появился в DEFORM в конце 1990 года в рамках разработки специальных проектов для Air Force SBIR. С тех пор компания SFTC имеет возможность постоянно совершенствовать и расширять возможности моделирования искажений от механической обработки как для 2D, так и для 3D приложений. Тема искажений от механической обработки была так же использована при разработке других программ, участвующих в проектах Material Affordability Initiative (MAI). С помощью этих программ были смоделированы различные случаи искажения изделий, возникающие на производствах, и полученные данные были подтверждены результатами экспериментов.

В шаблон анализа искажений от механической обработки передаются компоненты напряжения, полученные при моделировании термической обработки. В реальном процессе механической обработки, последовательность выполнения проходов механической обработки и количество удаляемого материала сильно воздействуют на величину и направления искажений изделия. Все эти данные могут быть заданы в шаблоне для моделирования различных вариантов механической обработки. DEFORM может быть затем использован для проверки различных вариантов механической обработки и определения их влияния на распределение остаточных напряжений и изменение геометрии изделия.

В шаблоне могут быть заданы различные крепления и рассмотрено влияние приложения снятия нагрузки от креплений при анализе искажений от механической обработки. При моделировании механической обработки за несколько проходов на каждом из них можно отследить изменения в распределении остаточных напряжений и геометрии изделия. Данные с каждого предыдущего прохода переносятся на следующий проход. Это помогает пользователю визуализировать как промежуточные результаты искажений от механической обработки так и конечные результаты. Это показано на рисунке, представленном ниже.



На верхнем рисунке показаны искажения, возникающие во время промежуточных проходов при механической обработке. На нижнем рисунке показано искажения от механической обработки после последнего прохода.

**Наш адрес:**

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

Телефон/факс: (495) 795-64-48

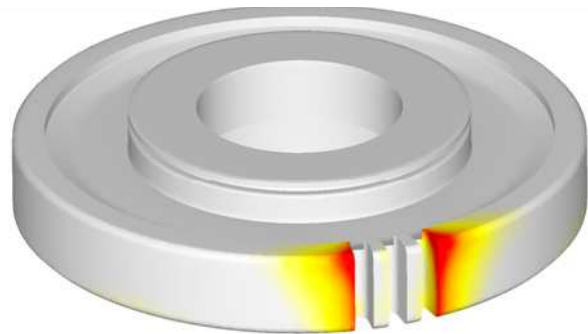
Web: [www.artech-eng.ru](http://www.artech-eng.ru)

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



Для типичных осесимметричных деталей двигателей самолета анализа искажения от механической обработки в 2D постановке будет вполне достаточно. Учитывая предварительную обработку, вызывающую остаточные напряжения в изделии, вместе с последовательностью проходов механической обработки и местами закрепления, пользователи программы DEFORM на предприятиях могут точно спрогнозировать искажения от механической обработки, так как учитываются все наиболее важные компоненты остаточных напряжений. Эти результаты были подтверждены на основании производственных экспериментов ведущих пользователей программного комплекса DEFORM.

Моделирование искажений от механической обработки в 2D постановке находится на такой стадии, когда его результаты можно использовать на производстве. Для сложных изделий, таких как компоненты корпуса самолета, требуется моделирование искажений от механической обработки в 3D постановке. Такая постановка доступна в модуле DEFORM-3D, однако подходит пока только для изделий с простой геометрией. На рисунке ниже показаны искажения в диске после фрезерования трех пазов. Отмечено, что наибольшие искажения (красный цвет) возникают в верхней части обода и направлены к центру зуба. При моделировании очень тонких вырезов в сложных изделиях корпуса самолета, возникающие после процесса резания остаточные напряжения, которые в данный момент не учитываются, могут играть существенную роль. В настоящее время, компания SFTC прилагает усилия, чтобы увеличить и улучшить возможности для моделирования искажений от механической обработки в 3D постановке.



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)