

Чжан Цзяньчэн (Китай)

Томский политехнический университет г. Томск

Научный руководитель: Лысак Илья Александрович,  
канд. техн. наук, доцент

## **МОДЕЛЬ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВТУЛКИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДОРНОВАНИЕМ**

Дорнование – способ обработки заготовок без снятия стружки. Суть обработки заключается в жестком рабочем инструменте - дорне, перемещающемся с натягом в отверстии заготовки. В процессе обработки, за счет растяжения происходит упрочнение металла на поверхности, сглаживание исходной шероховатости, изменение формы и размера поперечного сечения отверстия [1,2]. Размер поперечного сечения инструмента больше, чем размер поперечного сечения отверстия заготовки. Обработка отверстий малого диаметра дорнованием, приводит к возникновению сжимающих остаточных напряжений, что существенно увеличивает их усталостную прочность, т.к. препятствует развитию усталостных трещин. Также дорнование способно в некоторых пределах исправлять погрешности шероховатости и отклонения формы отверстий. Однако, при неправильном выборе режимов, может привести к снижению прочности (возникновение растягивающих остаточных напряжений) и ухудшению геометрических характеристик отверстий (усадка отверстий, образование наплывов на торцах, разрушение поверхностного слоя) [3,4]. Таким образом, выбор режимов всегда должен учитывать свойства обрабатываемого материала.

Известно, что распределение остаточных напряжений чувствительно к параметрам процесса, особенно к степени натяга и геометрическим особенностям обсадной колонны. Поэтому важной задачей является изучение характера изменения остаточных напряжений после дорнования по схеме сжатия (рис. 1). Таким образом, цель настоящей работы рассчитать поле остаточных напряжений в окрестности отверстий малого диаметра, а также деформацию геометрии формы, вызванную одноцикловым дорнованием, и установить связь между этими параметрами и свойствами материала, оказывающими существенное влияние на способность материала к обработке деформированием.

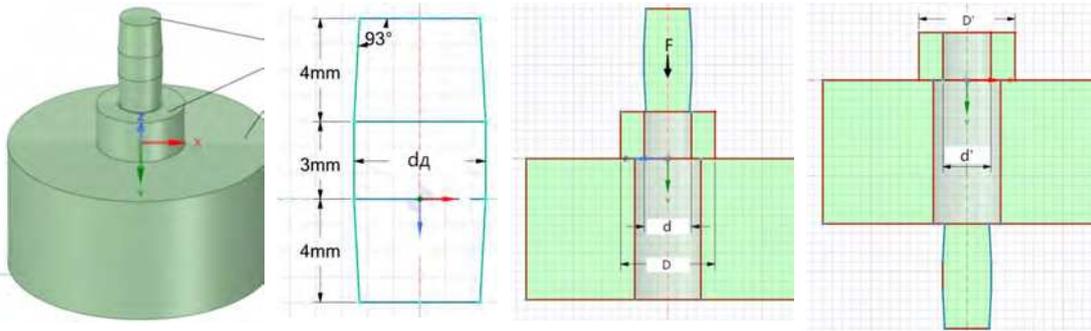


Рис. 1. Схема дорнования

1 - дорн; 2 - втулка; 3 - опора;  $d$  - внутренний диаметр втулки;  
 $D$  - наружный диаметр втулки;  $d'$  - внутренний диаметр втулки  
 после дорнования;  $D'$  - наружный диаметр втулки после дорнования;  
 $dД$  - диаметр дорна

Деформация – изменение формы и размеров предметов или объемов, связанное с их перемещением относительно друг друга вследствие приложения силы, при котором предмет искажает свою форму. Обычно деформация сопровождается изменением величины межатомной силы, мерой которой является упругомеханическое напряжение [1].

Виды деформации делятся на обратимые (упругие) и необратимые (пластические, ползучие). Обратимая деформация исчезает после прекращения приложения силы, а необратимая остается. В основе обратимых деформаций лежит смещение объемных атомов из положения равновесия, а в основе необратимых деформаций лежит необратимое смещение атомов на определенное расстояние от исходного положения равновесия (переориентация в новое положение равновесия после снятия нагрузки) [1]. Деформация определяется как отношение изменения длины деформируемого объекта к его первоначальной длине.

Металлы характеризуются большей устойчивостью к растяжению или сжатию, чем к сдвигу. Поэтому процесс пластической деформации металлов обычно представляет собой процесс, при котором часть кристалла скользит относительно другой части по плоскости кристалла или плоскости скольжения с более плотной упаковкой атомов, где сопротивление сдвигу наименьшее. Скольжение является результатом смещения дислокаций в кристалле. В результате скольжения кристаллическая структура движущихся частей не изменяется [2].

Таким образом, оптимальные режимы процесса дорнования должны быть установлены с учетом как параметров дорна (форма, натяг, количество циклов), так и характеристик обрабатываемых материалов. Экспериментальное исследование остаточных напряжений

весьма затруднительно, поэтому поставленная задача может быть эффективно решена только с использованием методов математического моделирования.

Для решения подавленной задачи перспективен метод применения CAE-систем для инженерного анализа. С помощью CAE возможно оценить напряженно-деформированное состояние модели без огромных временных и денежных затрат. В работе использовалась система ANSYS. В системе ANSYS процесс моделирования состоит из следующих этапов: создание геометрической модели, создание сетки конечных элементов, задание свойств материала, задание граничных условий, расчет анализ результатов. Использование этой системы снижает сложность анализа за счет повышения репрезентативности результатов [4,5]. Расчетная схема математической модели в осесимметричной постановке представлена на рис. 2. Наружный диаметр втулки устанавливается с учетом условия ее полубесконечности в радиальном направлении.

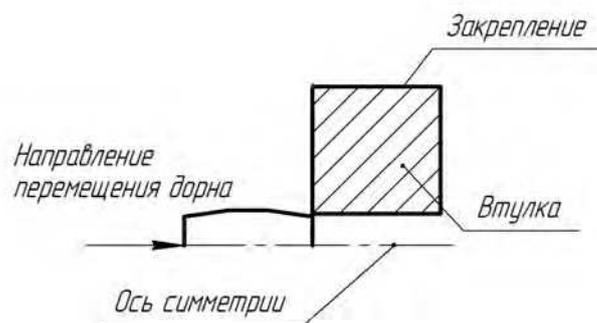


Рис. 2. Схема математической модели

Моделирование процесса дорнования в псевдостационарной постановке возможно осуществить с использованием модуля Static Structural программного комплекса ANSYS. Актуальным является исследование связи параметров напряженно-деформированного состояния образцов и характеристик материалов, из которых они изготовлены. Интерес представляет сравнение результатов численного анализа для, широко используемых в авиастроении металлов с существенно различающимися упругопластическими свойствами, таких как сталь 40X, титановый сплав ВТ6 и алюминиевый сплав 7075. Точность математической модели при этом связана с принимаемыми в моделях материалов допущениях. Обоснование выбора моделей материалов является темой дальнейших исследований.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монченко, В. П. Эффективная технология производства полых цилиндров / В. П. Монченко. М.: Машиностроение, 1980. - 248 с.
2. Розенберг, А. М. Механика пластического деформирования процессах резания и деформирующего протягивания / А. М. Розенберг, О. А. Розенберг - Киев: Наукова думка, 1990. - 320 с.
3. Скворцов, В. Ф. Остаточные напряжения при дорновании отверстий малого диаметра в полых толстостенных цилиндрах с большими натягами / В. Ф. Скворцов, И. С. Охотин, А. Ю. Арляпов // Известия Томского политехнического университета. - 2010. - Т. 316. - № 2.-С. 24-27.
4. Лю. Ю. Исследование напряженно-деформированного состояния толстостенных втулок после обработки одноцикловым дорнованием с использованием комплекса ANSYS/Ю. Лю, И. А. Лысак // Современные проблемы машиностроения: сборник трудов XIV Международной научно-технической конференции, г. Томск, 25-30 октя-бря 2021 г. -Томск: Томский политехнический университет, 2021.- с. 99-100.
5. Лысак, И. А. Численное исследование остаточных напряжений в цилиндрических образцах, подвергнутых одноцикловому дорнованию по схеме сжатия/ И. А. Лысак, Ю.Лю, Г. В. Лысак // Ползуновский альманах. - 2021. - № 4. - с. 33-3

Чжан Юйсинь (Китай),  
Сладков Максим (Казахстан),  
Жгута Вадим, Леонова Екатерина,  
Томский политехнический университет, г.Томск  
Научный руководитель: Леонов Сергей Владимирович,  
канд. техн. наук, доцент

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ КОНВЕРСИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ**

В основе нашего исследования заложен механизм плазмохимической конверсии газа или газовой смеси с применением импульсного электрического разряда, что может быть использовано для переработки природного газа или попутного нефтяного газа в нефтехимиче-