

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ОКРУЖНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ДОРНОВАНИИ В ТРЕХМЕРНОЙ И ДВУМЕРНОЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ПОСТАНОВКЕ

Чжан Ц.¹, Лысак Г.В.², Сатимов Ш.Ш.¹

¹ТПУ ИШНПТ ОМШ гр. 4АМ21,

E-mail: chj12@tpu.ru;

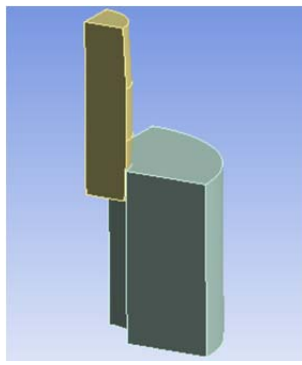
²ТПУ ИШНПТ ОМШ гр. 4АМ2К,

E-mail: gvl2@tpu.ru

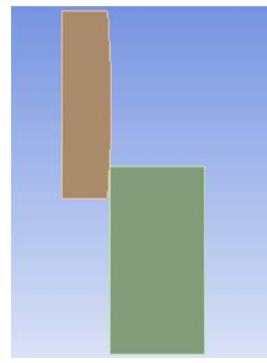
Метод дорнования является одним из наиболее распространенных способов улучшения усталостной прочности отверстий малого диаметра в стальных деталях. Он заключается в создании вокруг отверстия в материале дополнительной зоны компрессии путем сжатия металла с помощью специального инструмента – дорна. Этот метод имеет как свои преимущества, так и недостатки, которые необходимо учитывать при его применении. Одним из главных преимуществ метода дорнования является его эффективность в улучшении усталостной прочности отверстий малого диаметра. Создание зоны компрессии вокруг отверстия препятствует развитию усталостных трещин, возникающих в этой зоне при циклических нагрузках, и тем самым повысить устойчивость к разрушению отверстий. Кроме того, метод дорнования позволяет улучшить качество поверхности отверстия, что может быть важно при работе с высокопрочными материалами. Однако, метод дорнования также имеет свои недостатки, которые необходимо учитывать при его применении. Во-первых, этот метод требует специального оборудования и квалифицированных специалистов, что может повлиять на стоимость производства. Кроме того, при неправильном подборе параметров дорнования или недостаточной глубине зоны компрессии, метод может привести к образованию микротрещин в материале, что может снизить его прочность. Тем не менее, метод дорнования имеет широкое применение в различных областях машиностроения. Он наиболее эффективен при работе с высокопрочными материалами, такими как сталь высокой прочности или титан, также метод хорошо зарекомендовал себя при обработке конструкционных сталей и алюминиевых сплавов. Метод дорнования может быть использован для улучшения усталостной прочности отверстий в различных деталях, например, в корпусах двигателей или шасси самолетов. Метод дорнования нашел широкое применение в различных областях машиностроения и продолжает развиваться и совершенствоваться.

Таким образом, метод дорнования является эффективным способом улучшения усталостной прочности отверстий малого диаметра в металлических деталях. Он позволяет повысить устойчивость к разрушению и улучшить качество поверхности отверстия. Однако, необходимо подбирать параметры процесса для достижения наилучших результатов. Экспериментальное исследование протекающих при дорновании процессов и напряженно-деформированного состояния весьма затруднительно [1, 2], поэтому перспективно использовать методы инженерного анализа, основанные на применении CAE систем [3, 4]. Настоящая работа посвящена созданию двумерной осесимметричной математической модели напряженно-деформированного состояния стальной детали с отверстием, обрабатываемым дорнованием и ее валидации путем сравнения результатов расчета с использованием двумерной осесимметричной и трехмерной моделей с использованием системы инженерного анализа ANSYS.

С учетом симметрии сборки, трехмерная модель может быть упрощена, достаточно рассчитать одну четверть 3D модели. Для двумерной модели применено условие осевой симметрии (рис. 1). Модели материалов назначены для дорна – ВК8, для втулки – сталь 50 с учетом возможности пластической деформации и кинематического упрочнения. Дорн перемещается вдоль отверстия втулки с постоянной скоростью 6 мм/с, основание втулки жестко закреплено.



3D модель



2D модель

Рис. 1. Геометрическое представление объемной (3D) и плоской осесимметричной (2D) моделей

Результаты расчетов с использованием трехмерной модели представлены на рис. 2. Результаты расчетов с использованием двумерной осесимметричной модели представлены на рис. 3.

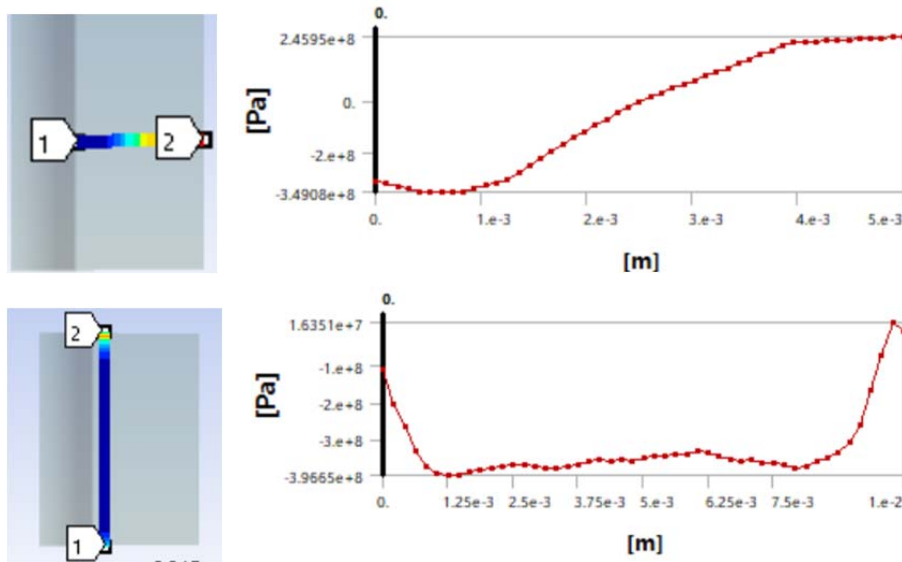


Рис. 2. Окружные остаточные напряжения в радиальном и осевом направлениях при расчете с использованием 3D модели

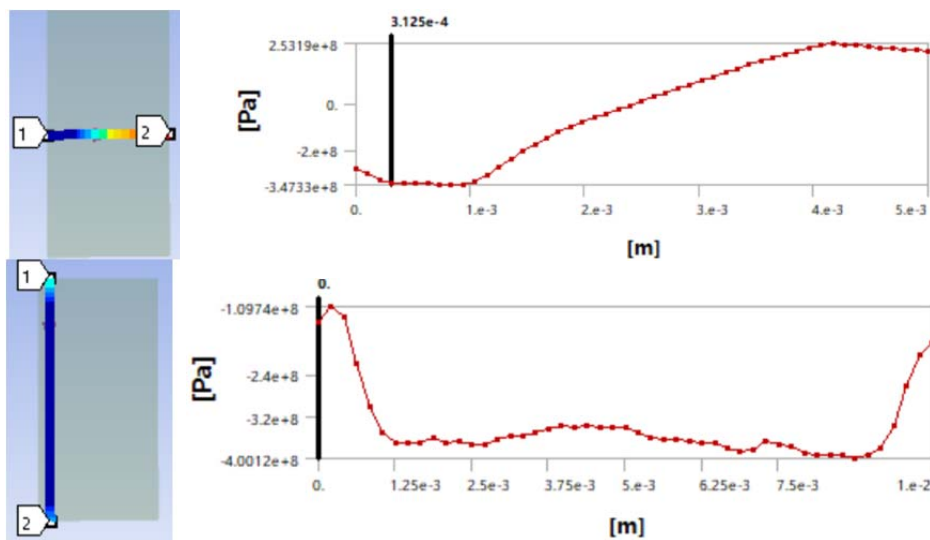


Рис. 3. Окружные остаточные напряжения в радиальном и осевом направлениях при расчете с использованием 2D модели

При движении дорна через отверстие втулки втулка явно деформировалась, при этом происходила как упругая деформация, так и пластическая, диаметр отверстия во втулке становился больше, а радиальные напряжения увеличивались с увеличением расстояния от отверстия. По мере увеличения расстояния вдоль траектории движения дорна нормальное напряжение постепенно увеличивается с самого начала, далее остается стабильным, а затем постепенно уменьшается. Сравнительные диаграммы остаточных напряжений в осевом и радиальном направлениях представлены на рис. 4.

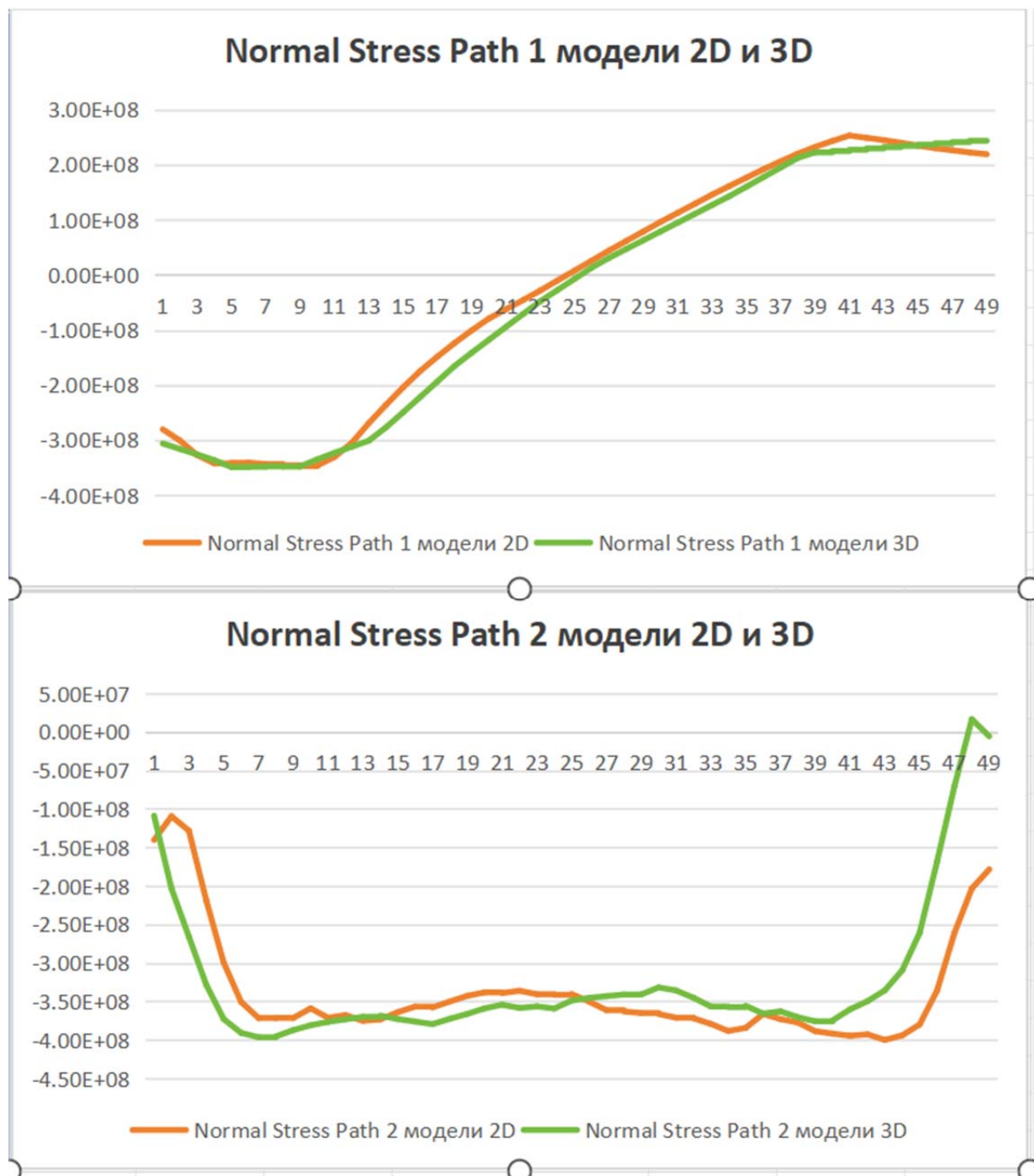


Рис. 4. Сравнительные диаграммы остаточных напряжений в осевом и радиальном направлениях, полученные при расчете с использованием 3D и 2D моделей

Из представленных данных видно, что кривые остаточных окружных напряжений в радиальном направлении в среднем сечении втулки, полученные при использовании двумерной и трехмерной моделей, практически полностью совпадают. Похожая картина наблюдается при сопоставлении графиков окружных напряжений в осевом направлении.

Несколько различаются их значения лишь в области выхода дорна из отверстия. Таким образом, можно заключить, что двумерная осесимметричная модель напряженно деформированного состояния обеспечивает получение приемлемых по точности результатов, что подтверждает правомерность принятых допущений.

Использование математической модели процесса дорнования в двумерной осесимметричной постановке является более перспективным по сравнению с моделью в трехмерной постановке с учетом симметрии по нескольким причинам. Во-первых, двумерная осесимметричная модель позволяет значительно упростить расчеты и сократить время, необходимое для получения результатов. Это особенно важно при работе с большими объемами данных, которые часто встречаются в области машиностроения. Кроме того, упрощенная модель позволяет лучше понять физические процессы, происходящие в материале во время дорнования за счет большей детализации расчетной сетки. Во-вторых, использование двумерной модели позволяет более точно учесть особенности деформированной геометрии отверстия. Двумерная осесимметричная модель позволяет проводить более детальный анализ влияния различных параметров на процесс дорнования. В перспективе, возможно исследовать влияние диаметра отверстия, глубины зоны компрессии и других параметров на усталостную прочность отверстия. Это может помочь оптимизировать процесс дорнования и достичь наилучших результатов.

Таким образом, использование математической модели процесса дорнования в двумерной осесимметричной постановке является наиболее перспективным, так как позволяет упростить расчеты, учесть особенности геометрии и другие факторы, а также провести более детальный анализ влияния параметров на усталостную прочность отверстия. Это может существенно повысить эффективность и точность процесса дорнования в машиностроении.

Список литературы

1. Ge E.D., Fu Y.C., Su H.H., Xu J.H., ChenXue M. Study on residual stresses and fatigue properties of TC21 titanium alloy plate bores by cold extrusion // Rare metal materials and engineering. 2016. 45(05). p.1189-1195.
2. Yan W.Z., Wang X.S., Gao H.S., et al. Effect of Split Sleeve Cold Expansion on Cracking Behaviors of Titanium Alloy TC4 Holes // Engineering Fracture Mechanics. 2012, 88. p. 79–89.
3. 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 октября 2021 г. – Томск: Томский политехнический университет, 2021. – С. 99–100.
4. 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. 33-35.