

Научная статья

УДК 621.774.3

Моделирование испытания труб на сплющивание

Алексей Григорьевич Орлов¹, Вячеслав Валерьевич Котов²

^{1,2} Уральский федеральный университет им. первого Президента
России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

¹ a1or110@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены результаты моделирования технологических испытаний труб сортамента 73×5,5 мм из стали марки 20 на сплющивание с использованием ПО ESI Virtual Performance Solution и модуля Visual-Crash PAM 16.0. Приведены результаты моделирования, определены критические степени деформации в момент разрушения, проведено сравнение полученных данных с известными экспериментальными данными.

Ключевые слова: трубы, технологические испытания, метод конечных элементов, деформация, моделирование

Благодарности. Авторы выражают благодарность научному руководителю — доктору технических наук, профессору Ю. Н. Логинову.

Original article

Simulating Pipe Flattening Testing

Alexey G. Orlov¹, Viacheslav V. Kotov²

^{1,2} Ural Federal University named after the first President
of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

¹ a1or110@mail.ru

Abstract. The paper considers the flattening process testing results of 73×5,5 mm gauge pipes made of steel grade 20 using ESI Virtual Performance Solution software and Visual-Crash PAM 16.0 module. The text contains the modeling results,

the critical degrees of breaking strain were determined, and the obtained data were compared with the known experimental data.

Keywords: pipes, technological test, finite elements method, deformation, simulation

Acknowledgments. The authors expresses their gratitude to the scientific advisor — doctor of technical sciences, professor Yu. N. Loginov.

Несмотря на широкое распространение моделирования производственных процессов, методы моделирования редко применяются к стандартным испытаниям качества продукции, что позволяет избежать в ряде случаев использования натуральных образцов и обеспечить экономию металла [1–4]. С целью исследования этой области выбран стандартный вид технологических испытаний труб на сплющивание. Для моделирования применили программное обеспечение (ПО) ESI Virtual Performance Solution и его модуль Visual-Crash PAM 16.0, реализующий метод конечных элементов.

Требования к технологическим испытаниям стальных горячекатаных бесшовных труб для нефтеперерабатывающей промышленности, выпускаемых на трубопрокатном агрегате (ТПА) непрерывным станом, которые моделируются в данном исследовании, приведены в ГОСТ 550–75 «Трубы стальные бесшовные для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности». Так, для испытания на сплющивание по формуле вычисляется максимально допустимое расстояние между сплющивающимися поверхностями, до которого должен быть осажен образец без появления трещин. Например, для труб размером $73 \times 5,5$ мм при испытании на сплющивание это расстояние равно $H_{\max} = 38,3$ мм.

Для ознакомления с возможностями ПО была выполнена базовая постановка, учитывающая требования ГОСТ 8695–75 к испытаниям на сплющивание. Для данной задачи была выбрана 2D-постановка, использующая двухмерную сетку, что в данном случае достаточно для корректного результата расчета задачи, а также экономит ресурсы центрального процессора и затраты по времени.

Постановка задачи включала создание сеточной модели, для этого был использован инструмент ESI Visual Mesh — стандартный редактор CAD, 2D- и 3D-моделей. Сетка была создана таким образом, чтобы отвечать требованиям по точности для оценочных предварительных

расчетов, что означает минимум 3 элемента сетки по толщине модели образца трубы. За счет выбора 2D постановки появилась возможность двукратного увеличения числа элементов по толщине стенки модели, поэтому была создана модель с 6-ю элементами по толщине. Количество 2D-элементов — 4296. Созданы сетки для образца и инструмента.

Следующим шагом был задан материал с помощью заполнения карты материала, где заданы следующие параметры: тип материала 105-Elastic plastic ITR with ISO Damage (упругопластический материал с возможностью моделирования разрушений), который определяет пластическое и деформационное поведение материала и позволяет решать задачи с учетом разрушения. Были заданы значения плотности 7800 кг/м^3 , модуля Юнга 200 ГПа, коэффициент Пуассона 0,28, значение эквивалентной деформации до разрушения, равной 0,6, а также кривая упрочнения в координатах «напряжение — деформация», значения величин были взяты из справочных данных для стали 20 при комнатной температуре.

Материал был присвоен образцу с указанием длины равной 50 мм, для моделирования был выбран оболочечный материал по умолчанию и присвоена длина 100 мм. Далее был задан контакт между образцом и инструментом, был выбран контакт типа 33-Symmetric node to segment with edge treatment (симметричный контакт «узел — сегмент» с обработкой граней), подходящий для целей моделирования. Основной движущей силой процесса являются граничные условия процесса, было создано 4 граничных условия двух типов, 3 для инструмента и 1 для образца трубы.

Из стандартных вариантов, предлагаемых программным обеспечением, выбраны и применены две группы граничных условий:

- 1) граничные условия группы Displacement BC были применены для закрепления образца и инструмента. Верхний инструмент был закреплен по всем осям, кроме оси Z , где ось Z — это ось, по которой происходит перемещение инструмента, нижний инструмент был закреплен по всем осям, заготовка была защищена от вращения путем закрепления оси Y , по направлению которой задана длина образца и инструмента, т. е. ось Y отвечает за моделирование объема в 2D-задаче;
- 2) граничное условие группы 3D BC позволяет задать перемещение, зависящее от времени, оно было использовано для задания перемещения верхнего инструмента по оси Z . Перемеще-

ние было определено постоянной скоростью верхнего бойка, равной 25 мм/мин.

Далее рассмотрим результаты моделирования. На рис. показан процесс на последнем 95-ом шаге деформирования с активированным отображением распределения степени накопленной пластической деформации.

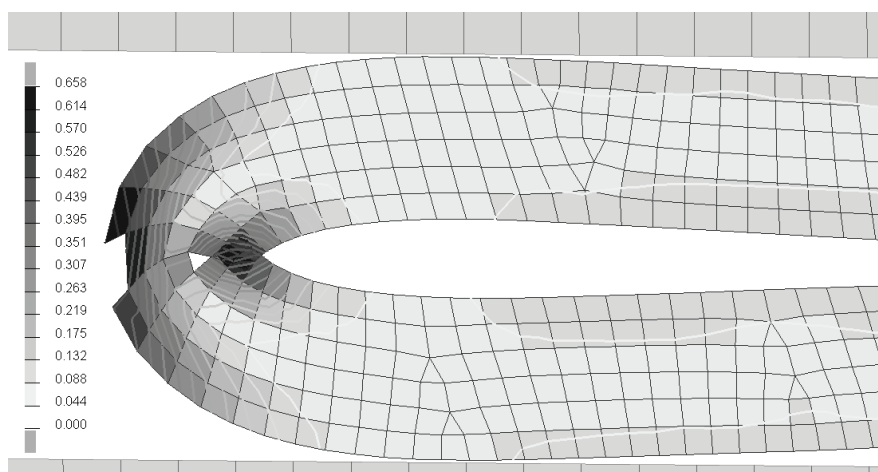


Рис. Поперечное сечение трубы в момент разрушения с отображением поля накопленной степени деформации ϵ (шкала слева)

Последний шаг отображает момент разрушения образца с характерным изгибом и отставание от инструмента в центральной части, присутствующее на реальных образцах. Разрушение происходит по элементам, находящимся в зоне наибольшего изгиба по оси X. Качество труб определяется минимальным расстоянием до момента разрушения согласно моделированию, в нашем случае оно равно 13,8 мм и степень пластической деформации в точке разрушения (пластичность) $\epsilon_p = 0,628$ (см. рис.), что соответствует известным экспериментальным данным [5; 6]. В «Ресурсе пластичности металлов при обработке давлением» А. А. Богатова, О. И. Мижирицкого и С. В. Смирнова приведены экспериментальные диаграммы пластичности для стали 20 в виде функции степени деформации сдвига до разрушения $\Lambda_p = \sqrt{3} \cdot \epsilon_p$ в зависимости от показателя напряженного состояния σ/T (здесь σ/T — среднее нормальное напряжение, T — интенсивность касательных напряжений) и коэффициента Луде $\mu_\sigma = -1$ [6]. В данном случае рас-

четное значение в месте разрушения $\sigma/T \approx 1$ и соответствующее ему справочное значение $\Lambda_p = 1,17$ или $\varepsilon_p = 0,680$, что отличается от расчетного значения ($\varepsilon_p = 0,628$) на 7,6% и соответствует принятой точности инженерных расчетов. По результатам испытаний на реальном образце был получен схожий тип разрушения при том же относительном обжатии с образованием сквозных трещин от внешнего к внутреннему контуру.

Исходя из опыта применения виртуальных прототипов, открывается возможность переноса части физических испытаний в виртуальную среду с учетом свойств материала, что приведет к уменьшению числа физических экспериментов. Если принять во внимание, что в месяц в цехе по производству труб нефтяного сортамента проводится порядка 500 испытаний на сплющивание, перевод даже части реальных испытаний в виртуальную среду может сэкономить значительные материальные и человеческие ресурсы, а также значительно сократить затраты по времени на проведение испытаний и сдачу труб.

Список источников

1. Greve L., Vlachoutsis S. Multi-Scale and Multi-Model Methods for Efficient Crash Simulation // International Journal of Crashworthiness. 2007. Vol. 12, iss. 4. P. 437–448.
2. Effects of Manufacturing Process in Crash Simulations / J. Sasek, M. Pasek, K. Benes [et al.] // Applied and Computational Mechanics. 2010. No. 4. P. 113–120.
3. Guennec Y. Le, Bruneta J.-P., Daimb F. Z. A parametric and non-intrusive reduced order model of car crash simulation // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 2018. Vol. 338. P. 186–207.
4. Orlov G. A., Kotov V. V., Orlov A. G. Simulation of the Behavior of Pipes with Variable Wall Thickness Under Internal Pressure // Metallurgist. 2017. Vol. 61, no. 1–2. P. 106–110.
5. Орлов Г. А., Логинов Ю. Н., Орлов А. Г. Комплексная оценка качества горячекатаных стальных труб // Черные металлы. 2018, no. 4. С. 41–45.
6. Богатов А. А., Мижирицкий О. И., Смирнов С. В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. М. : Metallurgy, 1984. 144 с.

References

1. Greve L., Vlachoutsis S. Multi-Scale and Multi-Model Methods for Efficient Crash Simulation // International Journal of Crashworthiness. 2007. Vol. 12, iss. 4. P. 437–448.
2. Effects of Manufacturing Process in Crash Simulations / J. Sasek [et al.] // Applied and Computational Mechanics. 2010. No. 4. P. 113–120.
3. Guennec Y. Le, Bruneta J.-P., Daimb F. Z. A Parametric and Non-Intrusive Reduced Order Model of Car Crash Simulation // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 2018. Vol. 338. P. 186–207.
4. Orlov G. A., Kotov V. V., Orlov A. G. Simulation of the Behavior of Pipes with Variable Wall Thickness Under Internal Pressure // Metallurgist. 2017. Vol. 61, no. 1–2. P. 106–110.
5. Orlov G. A., Loginov Yu. N., Orlov A. G. Complex Evaluation of the Quality of Hot-Rolled Tubes // Chernye Metally. 2018. No. 4. P. 41–45.
6. Bogatov A. A., Mizhiritsky O. I., Smirnov S. V. Metals Plasticity Resource During Pressure Treatment. M. : Metallurgy, 1984. 144 p.