

О. А. Макарова, А. А. Кожевникова, Е. А. Макарова, Р. С. Кожевников

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ
В ОБРАБАТЫВАЕМОМ МАТЕРИАЛЕ В ЗОНЕ КОНТАКТА ПИЛЫ
ПАКЕТНОГО РЕЗАНИЯ И ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: olgamakarova5024@gmail.com, alla.aka-78@yandex.ru,
m.lipka2015@yandex.ru, yetoi123@bk.ru

В статье рассмотрены результаты компьютерного моделирования напряжений в обрабатываемом материале при термофрикционном резании пакета заготовок. Рассматриваемым инструментом является пильный диск из стали 50ХГФА, материал заготовки сталь 45. Модели были созданы в программном пакете SIMULIA/Abaqus для анализа напряжений на контактирующих поверхностях зубьев и пластины в условиях пластического деформирования.

Ключевые слова: деформация, напряжения, пильный диск, моделирование, метод конечных элементов

O. A. Makarova, A. A. Kozhevnikova, E. A. Makarova, R. S. Kozhevnikov

**INVESTIGATION OF STRESS DISTRIBUTION IN THE PROCESSED
MATERIAL IN THE CONTACT AREA OF THE BATCH
CUTTING SAW AND THE PROCESSED MATERIAL**

Volgograd State Technical University

The article considers the results of computer simulation of stresses in the processed material during thermofriction cutting of a package of workpieces. The tool in question is a saw blade made of 51CrMnV4 steel, the material of the workpiece is 45 steel. The models were created in the SIMULIA/Abaqus software package for stress analysis on the contacting surfaces of teeth and plates under plastic deformation conditions.

Keywords: deformation, stresses, saw blade, modeling, finite element method

Введение

В ТПЦ – 2 АО «ВТЗ», как и на многих металлургических предприятиях при производстве бесшовных труб широко используется пакетная резка металлопроката дисковыми пилами. В работе исследуется термофрикционное резание холодного трубопроката салазковой пилой. Пильные диски, используемые для резки холодного и горячего металлопроката, изготавливаются из конструкционной стали. Достоинством этого вида обработки является высокая производительность процесса резания и простота технологической операции, а недостатком – повышенный износ пил и значительное ухудшение качества реза [1–3]. При высокоскоростном термофрикционном резании дисковой пилой наблюдается заплывание впадин зубьев пилы и их деформация, что приводит к потере режущих свойств инструмента. Отдельные зубья пилы изношены больше других и имеют значительные поперечные трещины. На торцах труб происходит образование крупных заусенцев прочно прикрепленных к телу заготовки [4–6].

Для повышения стойкости инструмента и уменьшения заусенца при пакетной резке необходимо достоверное описание процессов, протекающих в зоне резания, особенно при резке проката из высоколегированных сталей сопровождающейся повышенным износом пил.

Используемая в производстве ТПЦ – 2 АО «ВТЗ» стационарная салазковая пила холодного резания предназначена для резки труб, поступающих из охладителя. Обрезается головная и хвостовая часть труб, а также производится разрезка труб на заданные размеры.

Привод вращения диска пилы осуществляется от электродвигателя постоянного через зубчатую муфту и конический редуктор. Механизм привода главного движения устанавливается в головной части пилы на неподвижной раме с направляющими (салазками). Продольная подача пилы осуществляется перемещением механизма привода по салазкам под действием гидроцилиндра.

Система управления механизмами главного движения и подачи не предусматривает точное отслеживание усилий резания, что создает большие трудности при проведении экспериментов, которые могут определить напряжения и величину тепловыделения в процессе обработки. Для прогнозирования результатов и снижения затрат на натурный эксперимент необ-

ходимо использование численных методов, таких как метод конечных элементов.

В ранее проведенных исследованиях методами компьютерного моделирования [7, 8] обоснована модернизация геометрии пильных дисков для повышения стойкости инструмента и качества торца горячего проката.

Целью настоящей работы является исследование термофрикционного резания с помощью методов конечных элементов в программном комплексе Abaqus и определение напряжений в зоне контактного взаимодействия зубьев пилы и обрабатываемого материала.

Анализ условий пакетного резания и кинематики оборудования

В прокатных и металлургических цехах салазковые пилы нашли широкое распространение [1, 3]. Стационарная салазковая пила холодного резания предназначена для резки труб, поступающих из охладителя. Обрезается головная и хвостовая часть труб, а также производится разрезка труб на заданные размеры. Транспортировка труб до и после пилы осуществляется рольгангом. Обрезы головной и хвостовой части сбрасываются в короб, установленный на тележке, и затем удаляются краном.

Основные технические характеристики участка резки холодного металлопроката стана 5500 ТПЦ – 2:

- максимальная ширина пакета 800 мм;
- количество труб в пакете 3–15 шт.;
- диаметр труб 42–245 мм;
- толщина труб 4,2–30 мм;
- длина обреза головной части 100–2 500 мм;
- длина обреза хвостовой части 300–2 500 мм;
- длина разрезаемой конечной трубы 5 000–15 000 мм;
- максимальная температура труб 100 °С.

Салазковая пила состоит из механизма привода главного движения, привода подачи салазок и станины. На рис. 1 представлена кинематическая схема установки. Привод механизмов главного движения резания (вращение диска пилы) осуществляются от двигателя постоянного тока мощностью 315 кВт 1485 об/мин через зубчатую муфту и конический редуктор с передаточным отношением 35/45. Механизм привода главного движения устанавливается в головной части пилы на неподвижной раме с направляющими (салазками). Боковое биение исключается за счет жесткости направляющих станины и самих салазок. Охлаждение пильного диска осуществляется водой высокого давления (3–4 МПа).

Основные технические характеристики салазковой пилы пакетной резки холодного металлопроката ТПЦ – 2 (рис. 1):

– число оборотов пилы: $n = 1160$ об/мин;

– скорость резания: $V=113\text{--}122$ м/с;

– ход режущего диска: 1 300 мм;

– максимальная подача S диска пилы: 200 мм/с;

– скорость отвода диска: 300 мм/с.

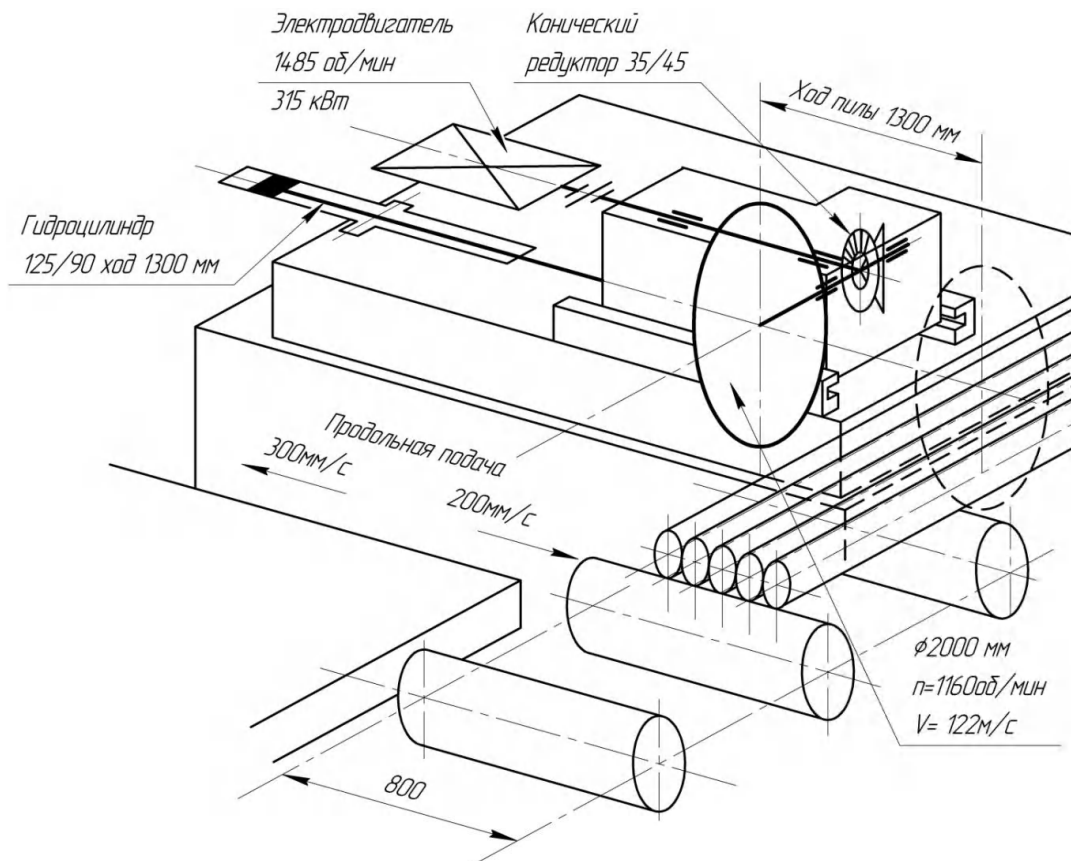


Рис. 1. Кинематическая схема салазковой пилы пакетной резки

Для моделирования процесса термофрикционного резания необходимо определить усилия, с которыми пила прижимается к обрабатываемой поверхности. Для решения этой задачи было проведено компьютерное моделирование процесса резания с использованием пакета программ SIMULIA/ Abaqus.

Материалы и методика проведения исследования

Для расчета напряжений в контактной зоне использовался модуль Abaqus/ Explicit программного комплекса SIMULIA/ Abaqus компании Dassault Systemes), с явной схемой интегрирования для сильно нелинейных переходных быстропротекающих динамических процессов.

Пильный диск из стали 50ХГФА вращается со скоростью 122 м/с и контактирует с разрезаемой заготовкой из стали 45. Подача инструмента равна 0,173 м/с, что соответствует 200 мм/с перемещения механизма привода станка.

Пильный диск моделируется в виде пластины с 100 зубьями. Размер задней поверхности зубьев, находящихся в контакте с обрабатываемым материалом, равен 3,5 мм, расстояние между зубьями пилы 15,7 мм (рис. 2).

Использовался метод полностью связанного анализа термических процессов и механических напряжений (Fully coupled thermal-stress analysis), который может выполняться, когда решения механической и тепловой задач сильно влияют друг на друга и, следовательно, должны быть анализируемы одновременно. Задаваемая схема должна обеспечивать наличие элементов со степенями свободы, как по температуре, так и по перемещению.

Расчет проводился с использованием модели Мизеса. Материалы элементов деформируемой системы задавались изотропными с повышающимися пределами текучести $\sigma_{0,2}$ при росте локальной пластической деформации.

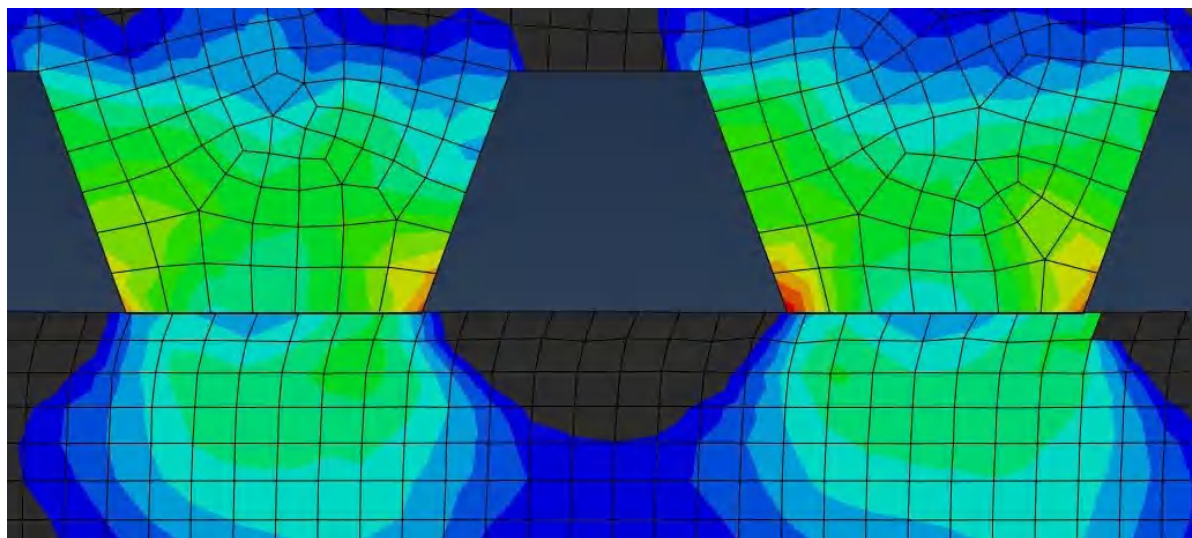


Рис. 2. Распределение напряжений в обрабатываемом материале и инструменте в зоне контакта

Для расчета изменения предела текучести материалов пилы и разрезаемой пластин в результате пластического деформирования при различных температурах и скоростях деформирования использовали модели пла-

стичности Джонсона–Кука [8].

По результатам моделирования получено распределение напряжений в зоне контакта задней поверхности инструмента и обрабатываемого материала (рис. 3).

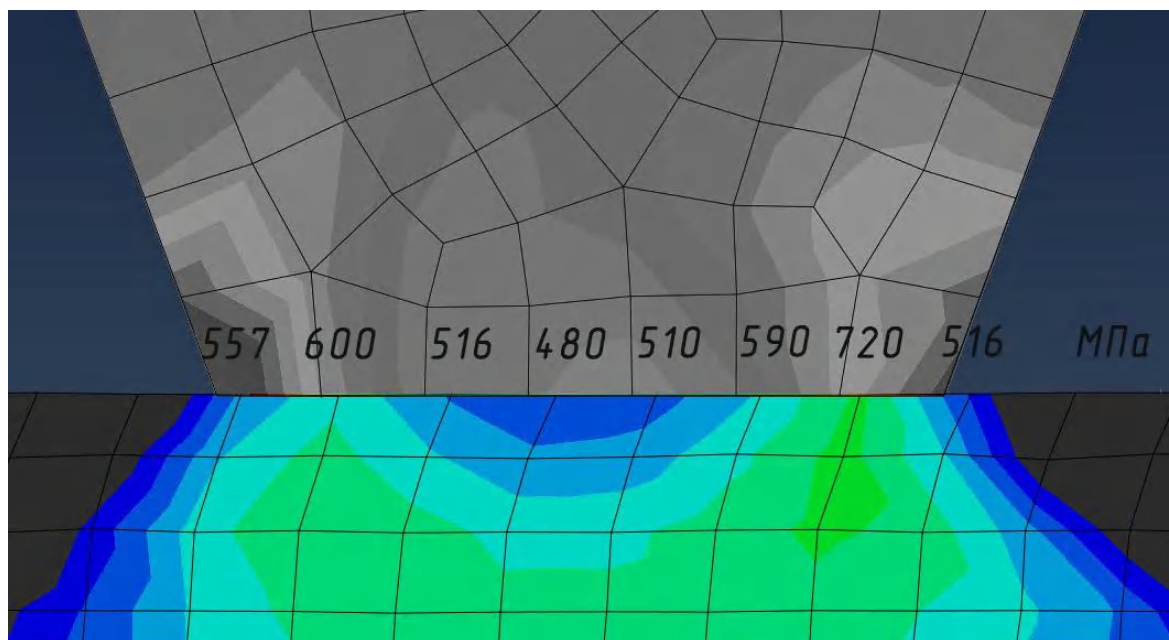


Рис. 3. Распределение напряжений в обрабатываемом материале по длине контакта с зубом пилы

Для определения среднего напряжения в обрабатываемом материале на одном зубе в зоне контакта было проведено интегрирование полученных значений по длине площадки контак-

та (рис. 4). Для 10 зубьев, одновременно находящихся в контакте с обрабатываемым материалом, среднее значение напряжения равно 562 МПа.



Рис. 4. Среднее напряжение
в обрабатываемом материале в зоне контакта

Полученные значения позволяют более корректно, с учетом действующих нагрузок, рассчитывать температурные поля при термофрикционном резании при данных кинематических параметрах.

Выводы

Методами конечно-элементного компьютерного моделирования в пакете программ SIMULIA/Abaqus проведен полностью связанный анализ механических напряжений, возникающих при резании с заданными скоростями и перемещениями, что позволяет вести дальнейший анализ температурных полей и пластических деформаций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шур, И. А. Машины и агрегаты металлургического производства / И. А. Шур, Н. А. Чиченев, С. М. Горбатов. – 2009.

2. Ищенко, А. А. Пилы горячей резки проката. Конструкции и расчет : монография / А. А. Ищенко, Е. А. Лоза ; ГВУЗ «Приазов. госуд. техн. ун-т». – Мариуполь : ГВУЗ «ПГТУ», 2012. – 251 с.

3. Данченко, В. Н. Технология трубного производства : учеб. для вузов / В. Н. Данченко, А. П. Коликов, Б. А. Романцев, С. В. Самусев. – М. : Интернет Инжиниринг, 2002. – 640 с.

4. Банников, А. И. Теоретические основы модернизации термофрикционных пил для резки горячего трубопроката : монография / А. И. Банников ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – 135 с.

5. Банников, А. И. Повышение эффективности термофрикционной резки трубопроката / А. И. Банников, А. А. Банников, А. И. Курченко, Н. А. Дятлов, И. Л. Пермяков // СТИН, 2010. – № 10. – С. 34–37 с.

6. Макарова, О. А. Исследование микроструктуры заусенцев на торцах заготовок при пакетном резании дисковой фрезой / О. А. Макарова // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (260) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 23–29.

7. Гуревич, Л. М. Моделирование высокоскоростного резания в Deform 3D / Л. М. Гуревич, Р. Е. Новиков, А. Г. Серов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 9 (188) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2016. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 60–64.

8. Исследование термо-деформированного состояния зубьев пилы пакетной резки с использованием МКЭ / Л. М. Гуревич, А. И. Банников, О. А. Макарова, В. Ф. Даненко, С. П. Писарев, А. С. Губарев, Д. В. Шагоян, Н. В. Трутнев, А. В. Красиков // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 2 (261) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 40–45.