

*к.т.н. Боровик П.В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина, borovikpv@mail.ru)*

## **ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО НАГРЕВА НА РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕЗКИ НА НОЖНИЦАХ**

*Приведені результати теоретичних досліджень процесу гарячого різання на ножницях з врахуванням спільної деформаційно-температурної задачі. Проаналізований вплив деформаційного нагрівання на енергосилові параметри процесу різання на ножницях. Вказується на необхідність врахування деформаційного нагрівання з метою підвищення точності і розвитку методів розрахунку процесу різання на ножницях.*

*Ключові слова: ножниці, сила різання, деформаційне нагрівання.*

*Приведены результаты теоретических исследований процесса горячей резки на ножницах с учетом совместной деформационно-температурной задачи. Проанализировано влияние деформационного нагрева на энергосиловые параметры процесса резки на ножницах. Указывается на необходимость учета деформационного нагрева с целью повышения точности и развития методов расчета процесса резки на ножницах.*

*Ключевые слова: ножницы, сила резки, деформационный нагрев.*

Процессы резки широко используются в технологических линиях прокатного производства и оказывают значительное влияние на качество конечного продукта. Таким образом, научные исследования, направленные на более глубокое изучение явлений происходящих при реализации процесса резки и оценку их влияния на энергосиловые параметры и конечный результат являются весьма актуальными.

Проводившиеся ранее теоретические и экспериментальные исследования процесса горячей резки имели своей целью расширение представления о протекании процесса и уточнение параметров, влияющих на энергосиловые характеристики и качество готовой продукции [1, 2].

Дальнейшие исследования в этом направлении, благодаря росту возможностей современной вычислительной техники, способствующей успешному развитию теоретических подходов, представляются возможными на базе численных математических моделей. В основу данных

моделей положены методы теории упругости и пластичности, а также вопросы механики разрушения, что, при достоверной информации о механических свойствах конкретного материала, позволяет в максимально полной степени отображать реальные физические процессы, протекающие в металле.

В настоящее время, при решении широкого спектра задач обработки давлением, особое место занимает метод конечных элементов (МКЭ) [3, 4].

Детальный анализ теоретических исследований и экспериментальных данных процесса горячей резки на ножницах [1,2] позволяет указать, что при достаточно высокой степени сходимости результатов экспериментов с теоретическими решениями существует необходимость учета большего количества факторов, оказывающих влияние на течение процесса резки.

Одним из таких аспектов являются термодинамические процессы, происходящие в ходе деформирования сплошной среды [5]. Очевидно, что процесс резки сопровождается изменением температуры в зоне реза и, как следствие, изменением механических свойств. Таким образом, существует необходимость оценки влияния тепла, выделяющегося при деформировании и разрушении материала, на энергосиловые параметры процесса резки.

Целью данной работы является оценка влияния деформационного нагрева материала на энергосиловые параметры процесса резки металла на ножницах путем совместного температурно-деформационного анализа на базе МКЭ.

Для достижения данной цели проводились теоретические исследования на базе программного комплекса ABAQUS, путем математического моделирования процесса резки горячего металла на ножницах с параллельным резом.

В результате была разработана конечно-элементная математическая модель, описывающая плоскую задачу резки параллельными ножами, учитывающая жесткость станины и термодинамические эффекты при деформации материала.

Модель (рис. 1) состоит из трех абсолютно жестких недеформируемых тел – прижим, верхний и нижний ножи, а также деформируемого бруса, моделирующего лист и отрезаемую кромку. С целью учета упругой деформации станины в модель введен упругий элемент, а для исключения значительных динамических колебаний – вязкий демпфер.

При этом движение сообщается одновременно нижнему ножу и прижиму, тогда как верхний нож может смещаться, только преодолевая жесткость (упругую деформацию) упругого элемента (станины).

Деформируемый брус представляет собой сетку из изопараметрических четырехугольных билинейных элементов с редуцированной схемой интегрирования, имеющих свойства сплошной деформируемой среды в условиях плоской деформации и позволяющих решать совместную деформационно-температурную задачу.

Учитывая, что процесс резки сопровождается большими пластическими деформациями, в ходе математического моделирования использовалась процедура адаптации сетки в формулировке Лагранжа-Эйлера [4]. Инструменты моделировались как аналитические недеформируемые поверхности.

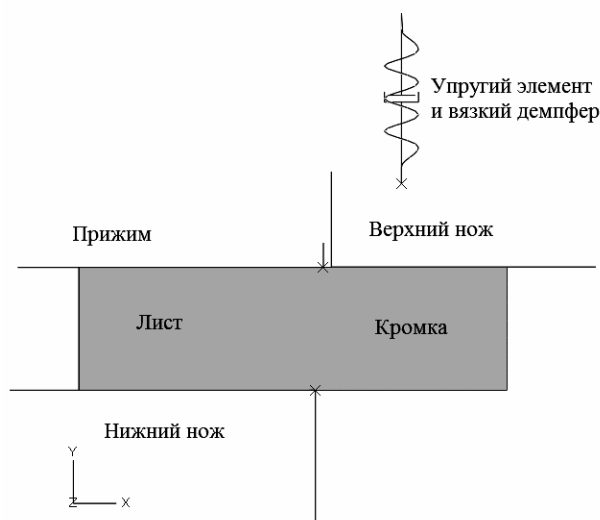


Рисунок 1 – Общий вид модели резки параллельными ножами с учетом упругой деформации станины

В основу модели контактного взаимодействия был положен закон трения Амонтона-Кулона, как отношение напряжения трения (касательного) к внешнему контактному давлению между контактирующими телами.

На левую боковую поверхность бруса накладывалось ограничение по его перемещению вдоль оси X.

Разрушение материала моделировалось методом исключения элементов из расчета, после исчерпания ресурса пластичности в соответствии с диаграммой пластичности [4].

Исходными данными для расчета были приняты следующие: толщина разрезаемого листа – 10 мм, ширина отрезаемой кромки – 15 мм, номинальная температура процесса – 600, 700 и 800 °С, скорость резки – 28 мм/с.

В качестве исследуемого материала была выбрана сталь 09Г2, поскольку для этой марки стали в литературе [6] приведены данные о ее

пластичности в области близкой к исследуемому диапазону температур. Механические свойства для выбранной марки стали определяли по химическому составу в соответствии с известной методикой Л.В. Андреюка [7]. С целью учета температурных эффектов материалу были указаны соответствующие теплофизические свойства [8].

Учитывая, что на базе данной модели решается плоская задача, то жесткость станины ножниц участвующая в расчетах определялась как величина, приведенная к единице ширины разрезаемой заготовки, которая составила  $C = 2000 \text{ (Н/мм)/мм}$ .

По результатам моделирования были получены распределения температуры в очаге резки при различных начальных температурах разрезаемой заготовки (рис. 2). Как можно видеть из представленных распределений, независимо от исходной температуры, при реализации процесса в очаге резки наблюдается рост температуры. При этом максимальный рост наблюдается в области прилегающей к вершине верхнего ножа, поскольку именно в этом месте наблюдаются наибольшая интенсивность пластических деформаций.

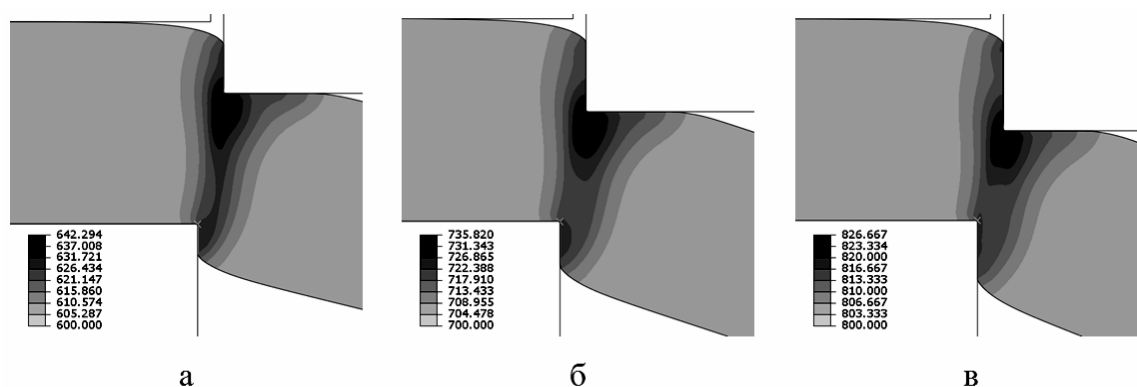


Рисунок 2 – Распределение температуры в очаге резки при моделировании процесса с учетом деформационного нагрева при начальной температуре заготовки: а – 600 °С ; б – 700 °С ; в – 800 °С

Кроме того, можно отметить, что с уменьшением температуры начала процесса интенсивность ее роста повышается, при чем достигается данный эффект за более короткий промежуток времени. Оценивая величину роста температуры в очаге резки, которая для данных условий составила  $\approx 27 \dots 43^\circ\text{C}$ , и учитывая зависимость механических свойств материала от температуры (рис. 3), можно утверждать, что деформационный нагрев оказывает влияние на энергосиловые параметры процесса.

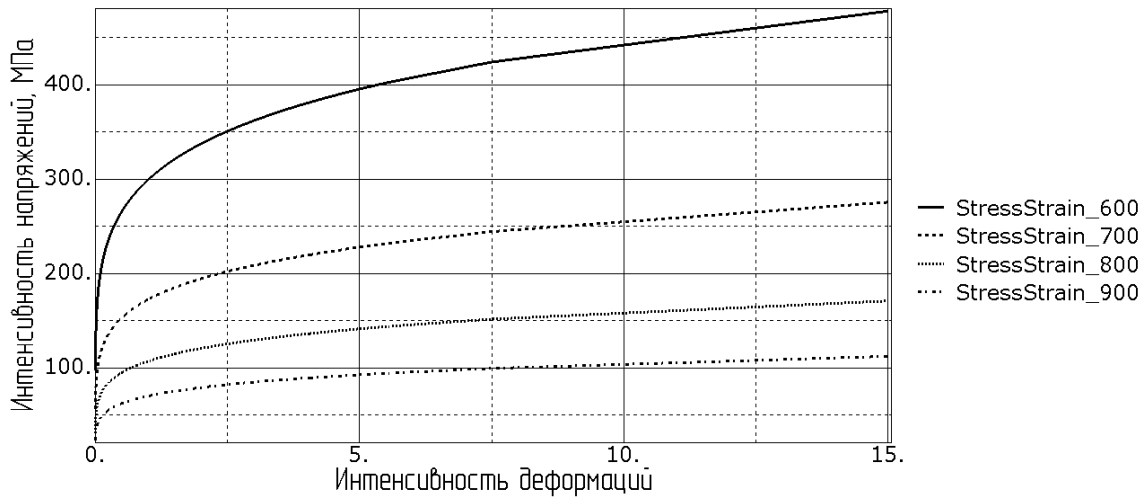


Рисунок 3 – Кривые напряжение-деформация для моделируемого материала при различных температурах [7]

Для оценки термодинамического влияния на энергосиловые параметры процесса были получены зависимости силы резки, приходящейся на 1 мм ширины разрезаемой заготовки в функции относительного внедрения ножей в металл (рис. 4). Для сравнения также были получены зависимости силы резки без учета деформационного нагрева.

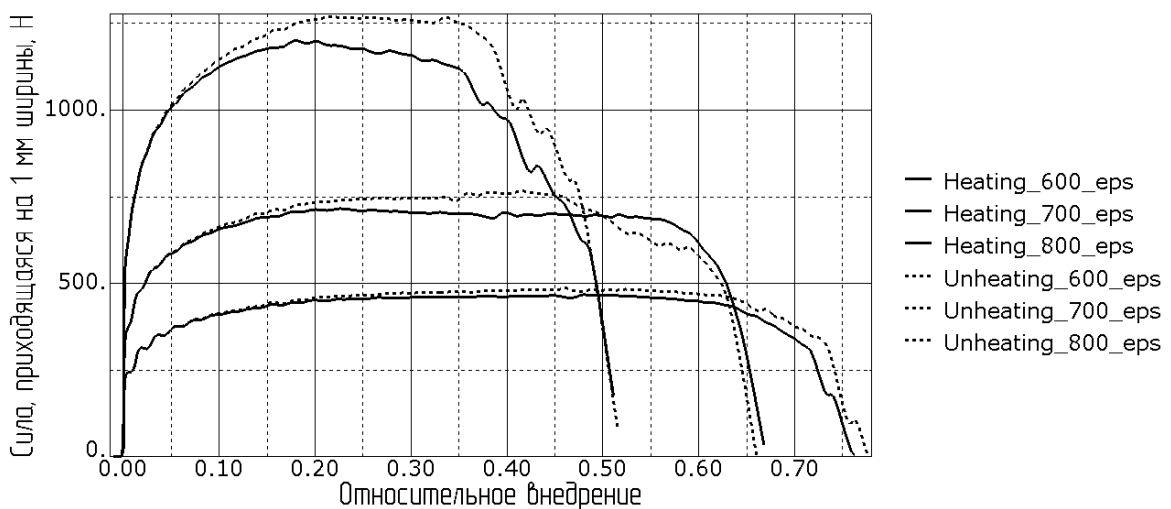


Рисунок 4 – Зависимости изменения силы резки от относительного внедрения ножей в металл с учетом деформационного нагрева (Heating) и без (Unheating), при различных температурах разрезаемой заготовки

Совместный анализ данных зависимостей показывает, что независимо от температуры зависимость силы резки от относительной глубины внедрения при учете деформационного нагрева несколько изменяет-

ся, при этом, для данных условий, наблюдается снижение максимального значения силы резки до 7%.

Таким образом, можно утверждать, что при моделировании процесса резки необходимо учитывать термодинамические эффекты, поскольку их влияние на энергосиловые параметры процесса являются достаточно существенным. Кроме того, это позволит расширить представление о протекании процесса резки и совершенствовать методы расчета.

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. В очаге резки по ходу реализации процесса наблюдается рост температуры, при этом с уменьшением температуры начала процесса интенсивность ее роста повышается.

2. При учете деформационного нагрева наблюдается снижение максимального значения силы резки до 7%.

Результаты работы могут быть использованы при исследованиях и развитии методов расчета процесса резки на ножницах.

### **Библиографический список**

1. Боровик П. В. Совершенствование технологии и оборудования процесса продольной резки толстых горячекатаных листов на дисковых ножницах : дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук, спец. 05.03.05 / Боровик Павел Владимирович. – Краматорск, 2008. – 225 с.

2. Боровик П. В. Теоретический анализ процесса горячей резки на ножницах / П. В. Боровик // Сборник научных трудов ДГМА. Обработка металлов давлением / Краматорск, 2012, № 1 (30). – с. 218 – 222.

3. Liu G. R. *The Finite Element Method: A Practical Course* / G. R. Liu, S. S. Quek. – 2003. – 348 с.

4. Wisselink H. H. *Title: Analysis of Guillotining and Slitting, Finite Element Simulations. Ph.D-Thesis* / H. H. Wisselink. – Twente, The Netherlands, 2000.

5. *Теоретические основы обработки металлов давлением : Монография : в 2-х т. / под редакцией Б. М. Илюковича. – Днепропетровск. : РВА "Дніпро-ВАЛ", 2001 – Т. 1. – 518 с.*

6. Паршин В. А. *Деформируемость и качество* / В. А. Паршин, Е. Г. Зудов, В. Л. Колмогоров. – М. : Металлургия, 1979. – 192 с.

7. Коновалов Ю. В. *Расчет параметров листовой прокатки: Справочник* / Ю. В. Коновалов, А. Л. Остапенко, В. И. Пономарев. – М. : Металлургия, 1986. – 430 с.

8. Чиркин В. С. *Теплофизические свойства материалов ядерной техники.* / В. С. Чиркин. – М. : Атомиздат, 1967. – 474 с.

**Рекомендована к печати к.т.н., проф. Ульяницким В.Н.**

