

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

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЖЕСТКОСТИ СТАНИНЫ НА ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА РЕЗКИ НА НОЖНИЦАХ

Наведено результати теоретичних досліджень процесу гарячого різання на ножницях з урахуванням пружної деформації станини. Проаналізовано вплив жорсткості станини на енергосилові параметри процесу різання на ножницях. Вказується на необхідність врахування жорсткості станини з метою підвищення точності та розвитку методів розрахунку процесу різання на ножницях.

Ключові слова: ножниці, сила різання, жорсткість станини.

Приведены результаты теоретических исследований процесса горячей резки на ножницах с учетом упругой деформации станины. Проанализировано влияние жесткости станины на энергосиловые параметры процесса резки на ножницах. Указывается на необходимость учета жесткости станины с целью повышения точности и развития методов расчета процесса резки на ножницах.

Ключевые слова: ножницы, сила резки, жесткость станины.

Перспективным направлением развития разделительных операций в прокатном производстве является более широкое применение процесса горячей резки в технологических линиях производства толстых горячекатаных листов [1]. Таким образом, научные исследования в данном направлении должны способствовать расширению представления о протекании процесса горячей резки.

В настоящее время, благодаря росту возможностей вычислительной техники, а также поскольку экспериментальные исследования процессов обработки давлением в промышленных условиях сопряжены с целым рядом финансовых затрат и организационных трудностей, успешно развиваются подходы теоретических исследований, базирующиеся на разработке 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.

Особое место, при решении широкого спектра задач обработки давлением, занимает метод конечных элементов (МКЭ) [2, 3].

Детальный анализ теоретических исследований и экспериментальных данных процесса горячей резки на ножницах [1, 4, 5] позволяет указать еще один фактор требующий учета в ходе математического моделирования. Так, полученные в работе [5] результаты прямо указывают на необходимость учета жесткости станины при расчетах энергосиловых параметров процесса резки на ножницах.

В классическом представлении процесса резки на ножницах [6, 7] выделяют три стадии: вмятие ножей в металл, сдвиг (собственно рез), скол. При этом, как раз на этапе вмятия и наблюдается плавное увеличение силы резки.

Таким образом, опираясь на результаты работы [5], можно предположить, что учет упругой деформации станины ножниц в ходе математического моделирования позволит уточнить результаты теоретических решений и расширить представление о ходе процесса резки.

Целью данной работы является оценка влияния жесткости станины на энергосиловые параметры процесса резки металла на ножницах.

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

Математическое моделирование осуществлялось на базе программного комплекса ABAQUS. Для чего была разработана конечно-элементная математическая модель, описывающая плоскую задачу резки параллельными ножами и учитывающая жесткость станины.

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 линейных элементов с редуцированной схемой интегрирования, имеющих свойства сплошной деформируемой среды в условиях плоской деформации.

Учитывая, что процесс резки сопровождается большими пластическими деформациями, в ходе математического моделирования использовалась процедура адаптации сетки в формулировке Лагранжа-Эйлера [3]. Инструменты моделировались как аналитические недеформируемые поверхности.

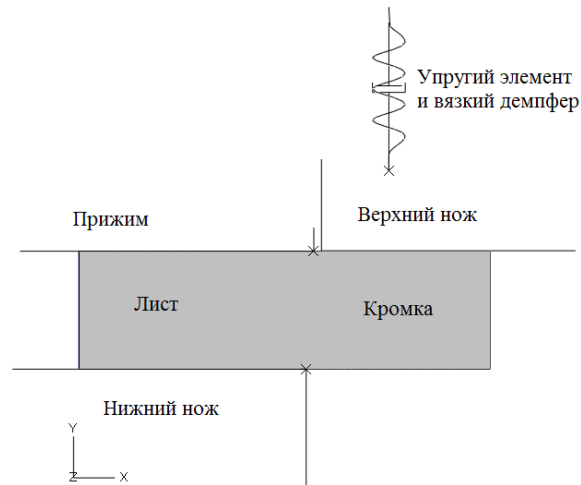


Рисунок 1 – Общий вид модели резки параллельными ножами с учетом упругой деформации станины

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 [3].

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

В качестве исследуемого материала была выбрана сталь 09Г2, поскольку для этой марки стали в литературе [8] 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 [9].

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 и варьировалась в пределах $C = 500 \dots 2000 \frac{H/мм}{мм}$. Таким образом, в дан-

ных условиях изменение приведенной жесткости может указывать как на различную жесткость станины (резка на ножницах разных конструкций) при условии резки заготовок с равной шириной, так и на измене-

ние приведенной жесткости за счет изменения ширины разрезаемой заготовки при условии постоянной жесткости станины (определенной конструкции ножниц).

По результатам моделирования были получены зависимости изменения во времени силы резки, приходящейся на 1 мм ширины (рис. 2) и величины относительного внедрения ножей в металл (рис. 3) при различных температурах с различной приведенной жесткостью станины.

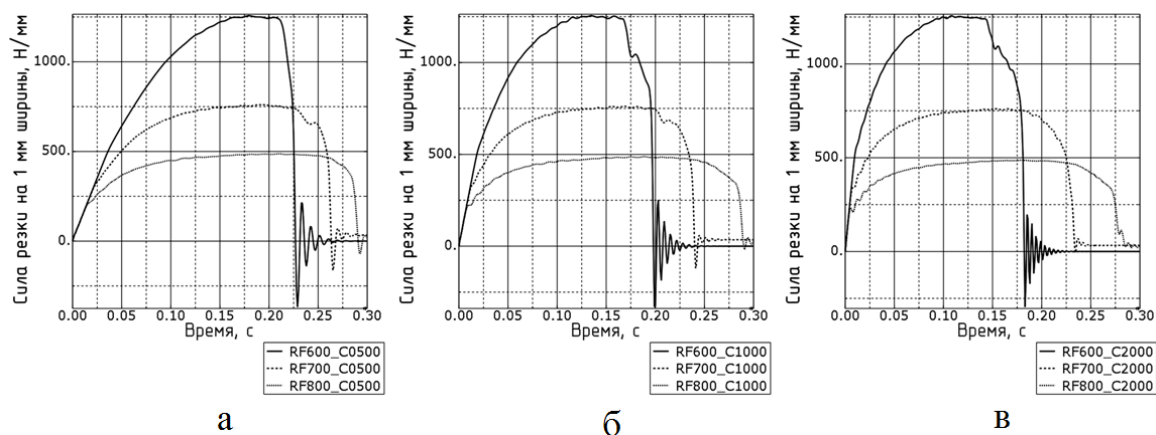


Рисунок 2 – Зависимости изменения во времени силы резки, приходящейся на 1 мм ширины по результатам моделирования при различных температурах и значениях приведенной жесткости:

$$а - C = 500 \frac{Н/мм}{мм}; \quad б - C = 1000 \frac{Н/мм}{мм}; \quad в - C = 2000 \frac{Н/мм}{мм}.$$

Анализ зависимостей силы резки показывает, что на первоначальном этапе внедрения при равной приведенной жесткости наблюдается одинаковый характер нарастания силы, однако время нарастания различное. В те же промежутки времени, на графиках зависимостей относительного внедрения ножей в металл наблюдается внедрение очень близкое к нулю. Такое поведение объясняется упругой деформацией станины до момента начала роста пластических деформаций в металле [5].

Кроме того, из представленных зависимостей видно, что с изменением приведенной жесткости меняется продолжительность собственно процесса резки (с уменьшением жесткости длительность возрастает), а также изменяется интенсивность нарастания относительного внедрения ножей в металл.

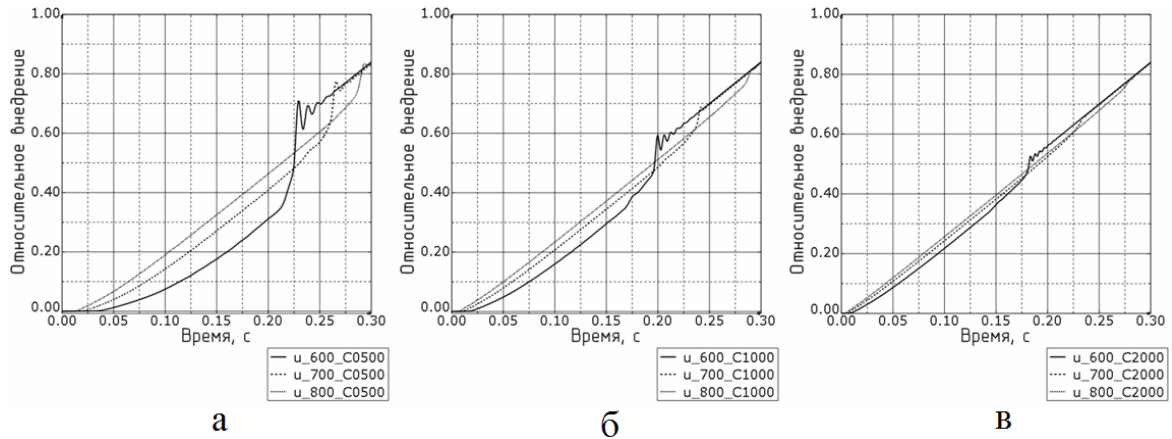


Рисунок 3 – Зависимости изменения во времени величины относительного внедрения ножей в металл по результатам моделирования при различных температурах и значениях приведенной жесткости:

$$а – C = 500 \frac{H/мм}{мм} ; б – C = 1000 \frac{H/мм}{мм} ; в – C = 2000 \frac{H/мм}{мм} .$$

Таким образом, очевидно, что изменение жесткости влияет на энергозатраты процесса резки, поскольку изменяется ход и продолжительность процесса.

С целью анализа энергозатрат, по результатам моделирования были получены зависимости изменения внешней работы от температуры, при различной приведенной жесткости (рис. 4).

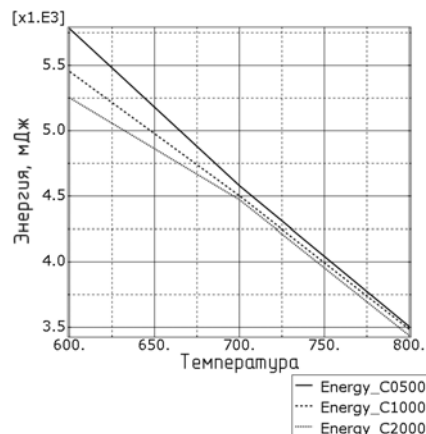


Рисунок 4 – Зависимости изменения внешней работы от температуры по результатам моделирования при различных значения приведенной жесткости

При дальнейшем анализе процесса резки были получены зависимости силы резки на 1 мм ширины от относительной глубины внедре-

ния ножей в металл при различных температурах с различной приведенной жесткостью станины (рис. 5).

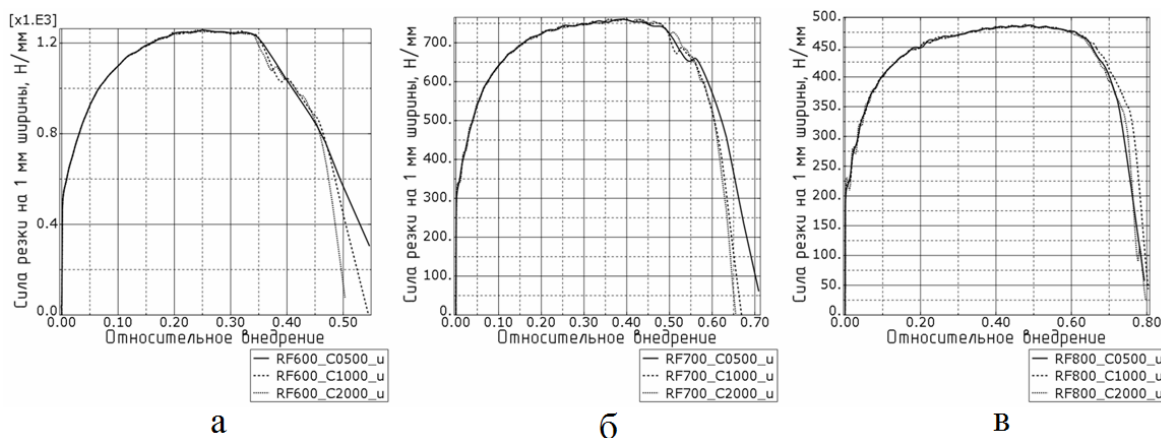


Рисунок 5 – Зависимости изменения силы резки, приходящейся на 1 мм ширины от относительного внедрения ножей по результатам моделирования при различных значениях приведенной жесткости и температурах: а – 600°C ; б – 700°C ; в – 800°C .

Совместный анализ данных зависимостей (рис. 4 и 5) показывает, что независимо от температуры изменение силы резки от относительной глубины внедрения при различной приведенной жесткости практически одинаковы (рис. 5), тогда как по мере снижения температуры (рис. 4) разница по внешней работе возрастает. Данный факт можно объяснить тем, что при прочих равных условиях по мере снижения температуры возрастают механические свойства разрезаемого металла и для выполнения разделительной операции требуется большая степень деформации станины, а следовательно дополнительная энергия.

Таким образом, можно утверждать, при расчетах энергосиловых параметров процесса резки необходимо учитывать жесткость станины, поскольку изменение геометрии разрезаемого сечения (изменение площади разрезаемого сечения) оказывает влияние на величину приведенной жесткости. Кроме того, существующие методы расчета [6], когда при определении энергосиловых параметров используют удельную работу резки, также требуют уточнения, с учетом жесткости станины.

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. В процессе резки с изменением относительной жесткости меняется продолжительность собственно процесса резки (с уменьшением жесткости длительность возрастает), а также изменяется интенсивность нарастания относительного внедрения ножей в металл.

2. Изменение приведенной жесткости влияет на энергозатраты процесса резки, поскольку изменяется ход и продолжительность процесса.

3. При расчетах энергосиловых параметров процесса резки необходимо учитывать жесткость станины, поскольку изменение геометрии разрезаемого сечения оказывает влияние на величину приведенной жесткости.

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

3. Боровик П.В. *Новые подходы к математическому моделированию технологических процессов обработки давлением: Монография* / П.В. Боровик, Д. А. Усатюк. – Алчевск : ДонДТУ, 2011. – 299 с.

4. Боровик П. В. *Выбор аппроксимации механических свойств при математическом моделировании процесса горячей резки на ножницах* / П.В. Боровик, В.А. Луценко // *Металлургические процессы и оборудование*. – Донецк, 2011. – 2(24) – С. 5-9.

5. Боровик П. В. *Математическое моделирование процесса резки на ножницах с учетом упругой деформации станины* / П. В. Боровик / *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ "ХПІ", 2011. – № 47. – С. 76-80.

6. Целиков А. И. *Прокатные станы* : учебник для вузов / А.И. Целиков, В. В. Смирнов. – М. : *Металлургиздат*, 1958. – 432 с.

7. *Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3 т. : учебник для вузов*. – М. : *Металлургия*, 1988. – Т. 3. *Машины и агрегаты для производства и отделки проката* / А. И. Целиков, В. М. Полухин, В. М. Гребеник [и др.]. – 680 с.

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

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

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