

УДК 621.967.3:519.872

Боровик П. В.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БОКОВОГО УСИЛИЯ ПРИ ГОРЯЧЕЙ РЕЗКЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ НОЖАМИ

Применение в технологических линиях производства толстых горячекатаных листов процесса горячей резки [1] является весьма эффективным, поскольку позволяет снизить энергозатраты при разделении металла и расширить технологические возможности оборудования участка резки. Дальнейшее совершенствование процесса и оборудования горячей резки на ножницах возможно только при условии расширения представления о течении процесса и совершенствовании методов расчета.

В современной практике достаточно широко используется метод конечных элементов (МКЭ) при теоретических исследованиях широкого круга разнообразных задач [2, 3]. Применение данного метода при математическом моделировании разделительных операций в прокатном производстве [4–6] позволяет расширить представление о протекании процесса и уточнить его энергосиловые параметры для повышения научной обоснованности принимаемых проектно-конструкторских и технологических решений, а также для разработки практических рекомендаций.

Одним из параметров необходимых при расчете ножниц является боковое усилие, действующее на ножи, которое согласно данных работы [7] следует принимать в достаточно широком диапазоне, а именно:

- при резке с прижимом (0,1...0,18) силы резки;
- при резке без прижима (0,18...0,35) силы резки.

Таким образом, существует необходимость проведения исследований, направленных на уточнение величины данного усилия.

Целью данной работы является теоретический анализ процесса разделения металла в ходе горячей резки на ножницах с параллельными ножами для расширения представления о протекании процесса и оценки величины бокового усилия, действующего на ножи.

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

Исследования осуществлялись 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, 8]. Инструменты представлялись как аналитические недеформируемые поверхности.

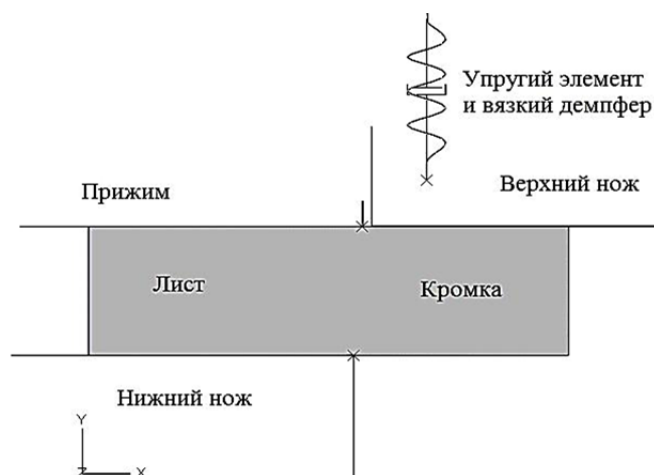


Рис. 1. Общий вид модели реза параллельными ножами с учетом упругой деформации станины

В основу 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, 8, 9].

На первоначальном этапе, с целью оценки адекватности представленной математической модели производилось сравнение расчетных величин с экспериментальными данными. А именно, были получены зависимости изменения силы реза, приходящейся на 1 мм ширины от величины относительного внедрения ножей в металл по результатам расчетов и экспериментальным данным (рис. 2). Кроме того, сравнивались формы профиля заготовки по результатам моделирования (рис. 3, а) и после реза параллельными ножами (рис. 3, б). При этом можно утверждать, что имеет место достаточно высокая сходимость между теоретическим решением и экспериментом.

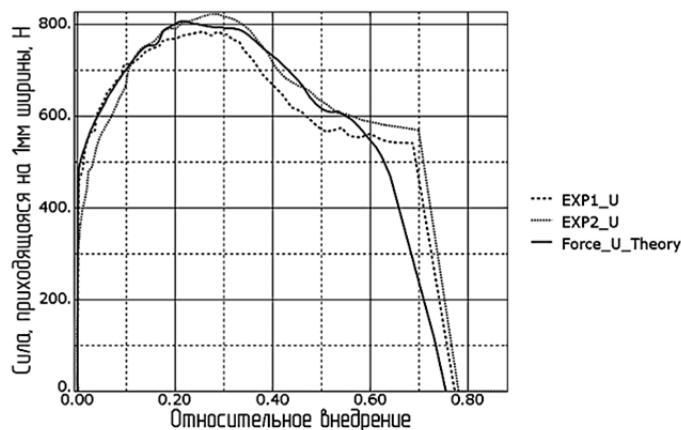


Рис. 2. Графики изменения от относительного внедрения силы реза, приходящейся на 1 мм ширины (а), и величины внедрения (б) ножей в металл по результатам расчетов и экспериментальных данных на примере стали А36 при температуре 650 °С

Однако следует отметить, что на этапе собственно реза можно наблюдать некоторое отличие по силе реза, что можно объяснить недостаточно исследованным механизмом накопления повреждаемости и разрушения материала для данной марки стали (А36) при данной температуре. Кроме того, следует указать, что в качестве диаграммы пластичности,

согласно которой реализуется механизм разрушения, была взята диаграмма для стали близкой по химическому составу стали 09Г2 (поскольку найти такие данные для марки А36 при температуре резки не представляется возможным).

Учитывая полученные результаты, в ходе дальнейших исследований производилась величины бокового усилия, действующего на ножи по отношению к силе резки.

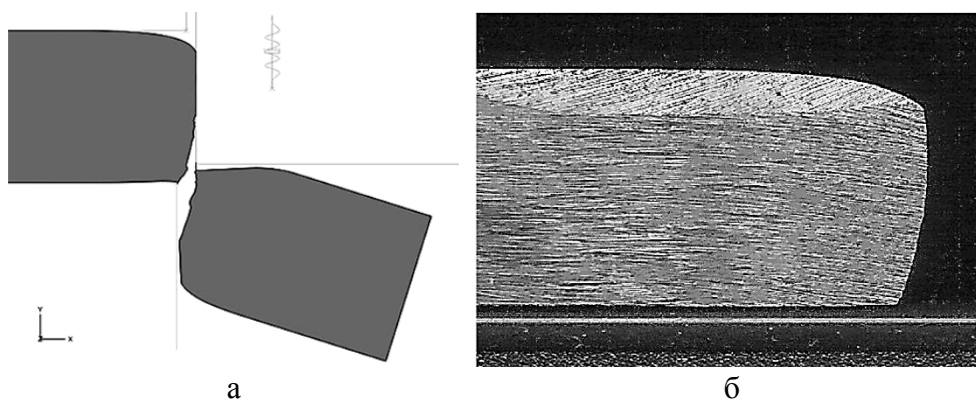


Рис. 3. Формы профиля заготовки по результатам моделирования (а) и после резки параллельными ножами (б)

В качестве исследуемого материала была выбрана сталь 09Г2, поскольку для этой марки стали в литературе [9] 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 [10].

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 $C = 2000 \frac{\text{Н/мм}}{\text{мм}}$.

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.

По результатам моделирования были получены зависимости изменения силы резки и бокового усилия на ножи, приходящихся на 1 мм ширины (рис. 4, а и 4, б) от относительного внедрения ножей в металл при различных температурах.

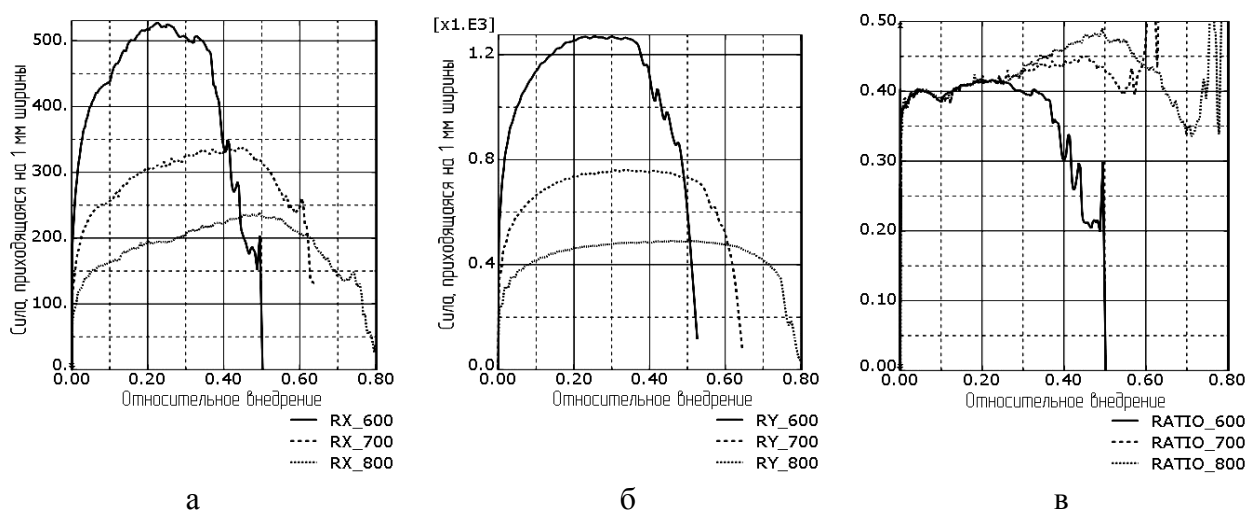


Рис. 4. Графики изменения силы резки (а) и бокового усилия на ножи (б), приходящихся на 1 мм ширины, а также отношения бокового усилия на ножи к силе резки (в) от относительной глубины внедрения при различных температурах по результатам моделирования

А затем были получены отношения бокового усилия на ножи к силе резки в зависимости от относительного внедрения ножей в металл (рис. 4, в).

Как можно видеть из представленных зависимостей величина бокового усилия на ножи, если рассматривать установившийся процесс резки, в исследуемом диапазоне температур может составлять (0,4–0,48) силы резки, что существенно отличается от данных работы [7]. При этом большие значения соответствуют более высоким температурам и относительной глубине внедрения.

Таким образом, можно утверждать, что в процессе горячей резки параллельными ножами боковое усилие на ножи весьма существенно отличается от существующих представлений и требует уточнения и учета при расчете нагрузок на оборудование. Однако для оценки достоверности этих величин необходимы дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования, которые будут способствовать расширению представления о процессе резки на ножницах.

ВЫВОДЫ

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

– при горячей резке параллельными ножами величина бокового усилия на ножи может составлять (0,4–0,48) силы резки, что на 14–37 % больше максимальных значений, предлагаемых в литературе;

– с ростом температуры относительная величина бокового усилия на ножи увеличивается.

Результаты работы могут быть использованы при теоретических и экспериментальных исследованиях разделительных операций в прокатном производстве с целью расширения представления о процессе и совершенствования методов расчета оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровик П. В. *Совершенствование технологии и оборудования процесса продольной резки толстых горячекатаных листов на дисковых ножницах* : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 / Павел Владимирович Боровик. – 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 : ДонГТУ, 2011. – 299 с.
4. Боровик П. В. *Математическое моделирование процесса резки на ножницах с учетом упругой деформации станины* / П. В. Боровик // *Вестник национального технического университета ХПИ* : сборник научных трудов. – Харьков, 2011. – Вып. 47. – С. 76–80.
5. Боровик П. В. *Теоретический анализ взаимосвязи кривой текучести материала и кривых сопротивления срезу процесса резки на ножницах* / П. В. Боровик // *Обработка металлов давлением* : сб. науч. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2012. – Вып. 2(31). – С. 69–73.
6. Боровик П. В. *Оценка влияния жесткости станины на параметры процесса резки на ножницах* / П. В. Боровик // *ДонГТУ : сборник научных трудов*. – Алчевск, 2012. – Вып. 46. – С. 269–275.
7. Иванченко Ф. К. *Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів* / Ф. К. Иванченко, В. М. Гребеник, В. І. Ширяев. – К. : Вища шк., 1995. – 455 с.
8. Wisselink H. H. *Title: Analysis of Guillotining and Slitting, Finite Element Simulations* : Ph. D-Thesis / H. H. Wisselink. – Twente, The Netherlands, 2000. – 149 p.
9. Колмогоров В. Л. *Пластичность и разрушение* / В. Л. Колмогоров, А. А. Богатов, Б. А. Мигачев [и др.]. – М. : Металлургия, 1977. – 336 с.
10. Коновалов Ю. В. *Расчет параметров листовой прокатки* : справочник / Ю. В. Коновалов, А. Л. Остапенко, В. И. Пономарев. – М. : Металлургия, 1986. – 430 с.

Боровик П. В. – канд. техн. наук, доц. ДонГТУ.

ДонГТУ – Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск.

E-mail: borovikpv@mail.ru

Статья поступила в редакцию 06.10.2012 г.