

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШЕВРОННЫХ НОЖЕЙ СО СЛОЖНОЙ ФОРМОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ

Селезнёв М. Е., Боровик П. В.

Практика применения для поперечной резки листового проката классического шевронного ножа показала наличие остаточной деформации готового листа, при этом существует несколько технических решений, направленных на снижение данного дефекта, которые заключаются в модификации формы режущей кромки шевронного ножа. Представлен сравнительный теоретический анализ эффективности применения двух различных конструкций шевронных ножей со сложной формой режущей кромки, проведенный на основании результатов конечно-элементного моделирования с целью определения наиболее перспективной с точки зрения качества готового листа и энергосиловых параметров процесса резки. Установлено, что при применении шевронного ножа со скруглением снижение величины остаточной деформации составляет на 7,4% больше в сравнении с ножом альтернативной конструкции.

Практика застосування для поперечного різання листового прокату класичного шевронного ножа показала наявність залишкової деформації готового листа, при цьому існує кілька технічних рішень, спрямованих на зниження даного дефекту, які полягають у модифікації форми ріжучої кромки шевронного ножа. Представлено порівняльний теоретичний аналіз ефективності застосування двох різних конструкцій шевронних ножів зі складною формою ріжучої кромки, проведений на базі результатів кінцево-елементного моделювання з метою визначення найбільш перспективною з точки зору якості готового листа і енергосилових параметрів процесу різання. Встановлено, що при застосуванні шевронного ножа зі скругленням зниження величини залишкової деформації становить на 7,4% більше в порівнянні з ножом альтернативної конструкції.

The practice of cross-cut sheet metal with a classic chevron knife showed the presence of residual deformation of the finished sheet, while there are several technical solutions to reduce this defect, which consist in modify the shape of the cutting edge chevron knife. A comparative theoretical analysis of the effectiveness of two different designs of chevron knife with a complex shape of the cutting edge, carried out on the basis of finite element modeling in order to identify the most promising in terms of the quality of the finished sheet and power parameters of the cutting process. It is found that the application of a chevron knife with a rounded lowering the residual strain is 7.4% higher in comparison with an alternative knife construction.

Селезнёв М. Е.

аспирант ДГМА  
seleznevme@mail.ru

Боровик П. В.

канд. техн. наук,  
доц. ДонГТУ, докторант ДГМА  
borovikpv@mail.ru

ДонГТУ – Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск;  
ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 621.967.3:519.872

Селезнёв М. Е., Боровик П. В

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШЕВРОННЫХ НОЖЕЙ СО СЛОЖНОЙ ФОРМОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ

В условиях современного рынка металлопродукции постоянно растёт спрос на листовую металлопродукцию, также повышаются требования к качеству готового листа, что требует как развития технологии его производства в целом, так и отдельно взятых операций.

Как правило, технологическая схема производства листового проката включает в себя операцию поперечной резки, целью которой является придание готовому листу заданной длины. Для реализации данной операции широко используются ножницы с шевронным ножом, применение которого позволяет получить ряд преимуществ [1]. В то же время, практика применения для поперечной резки листовых раскатов шевронного ножа с классической формой режущей кромки показала наличие остаточной деформации отрезаемой части листа, что существенно портит его товарный вид (рис. 1, а, б).



Рис. 1. Вид торцевой поверхности листов, порезанных классическим шевронным ножом: общий (а) и в области смыкания режущих кромок (б)

В настоящее время существует несколько технических решений [2–3], направленных на снижение данного дефекта. Так, в работе [2] предполагается выполнение горизонтальной площадки, в вершине схождения режущих кромок (рис. 2, а), длина которой определяется следующим выражением:

$$l = \frac{1,973 \cdot \sigma_T \cdot b}{\sigma_b \cdot \cos(\alpha)}, \text{ мм}, \quad (1)$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести разрезаемого материала, МПа;

$\sigma_b$  – предел прочности разрезаемого материала, МПа;

$b$  – толщина ножедержателя с режущей пластиной, мм;

$\alpha$  – угол наклона прямолинейных плоскостей торцевой поверхности пластины к горизонтальной плоскости.

Техническое решение [3] предполагает применение для поперечной резки листового металлопроката шевронного ножа со скруглением установленного радиуса в вершине схождения наклонных прямолинейных плоскостей режущей кромки шевронного ножа (рис. 2, б).

Можно предположить, что применение ножей рассмотренных конструкций, действительно позволяет снизить величину остаточной деформации, однако наличие конструктивного элемента приведёт к существенному увеличению усилия резки в завершающей стадии разделительного процесса. При этом обоснованный выбор в пользу какой-либо из рассмотренных конструкций шевронных ножей, на начальных этапах представляется затруднительным в виду отсутствия достаточных сведений для проведения сравнительного анализа.

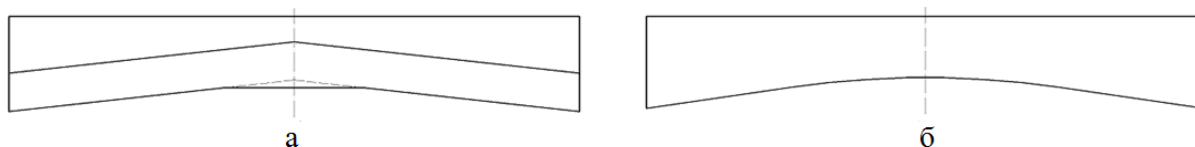


Рис. 2. Известные конструкции шевронных ножей со сложной формой режущей кромки

Целью работы является проведение сравнительного теоретического анализа эффективности применения двух различных конструкций шевронных ножей со сложной формой режущей кромки для определения наиболее перспективной с точки зрения качества готового листа и энергосиловых параметров процесса резки.

Для достижения указанной цели на базе программного комплекса ABAQUS в рамках данного исследования была разработана трехмерная конечно-элементная математическая модель процесса поперечной резки листов шевронными ножами в формулировке Лагранжа с учетом сил тяжести [4].

Модель (рис. 3) состоит из деформируемого бруса 1 (моделирующего разрезаемый лист) и четырех абсолютно жестких недеформируемых тел: верхний 2 и нижний 3 ножи, прижим 4 и стол 5.

Рез осуществляется путём перемещения в вертикальной плоскости нижнего ножа и прижима по отношению к неподвижному верхнему ножу.

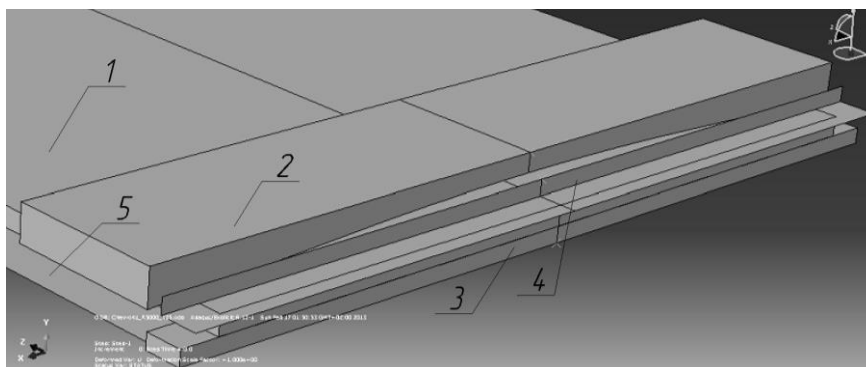


Рис. 3. Общий вид модели резки шевронным ножом

Деформируемый брус (рис. 4) представляет собой неравномерную (сгущающуюся в области реза) сетку из изопараметрических шестигранных восьмиузловых линейных элементов с редуцированной схемой интегрирования, имеющих свойства сплошной деформируемой среды [4].

В качестве разрезаемого материала моделировалась сталь Ст2пс ( $\sigma_{0.2} = 215$  МПа,  $\sigma_b = 330$  МПа), при этом кривую текучести  $\bar{\sigma} = f(\bar{\varepsilon})$  строили по известной аппроксимации [5]:

$$\bar{\sigma} = \sigma_{0.2} (\bar{\varepsilon}_p / 0.002)^{m_0}, \quad (2)$$

где  $m_0$  – показатель упрочнения:

$$m_0 = \begin{cases} \frac{\ln(\sigma_b / \sigma_{0.2}) + 0.058}{3.44} & \text{при } \sigma_b / \sigma_{0.2} \leq 1.32; \\ \frac{\ln(\sigma_b / \sigma_{0.2}) + 0.216}{4.78} & \text{при } \sigma_b / \sigma_{0.2} > 1.32. \end{cases} \quad (3)$$

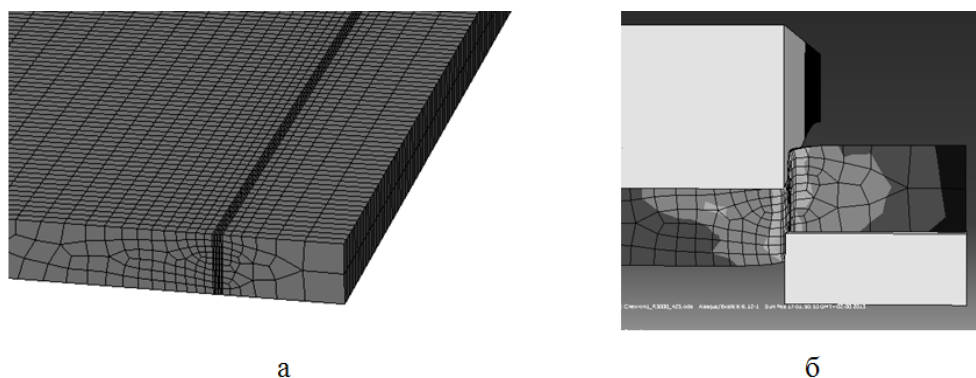


Рис. 4. Конфигурация сетки листа в начальной стадии (а) и при резке (б)

Для проведения сравнительной оценки ножей рассматриваемых конструкций реализовывалось моделирование соответствующих процессов резки, при этом длина горизонтальной площадки ножа конструкции «Северсталь» принималась, исходя из выражения (1), применительно к ножницам конструкции НКМЗ и составляла  $l = 283$  мм. В свою очередь, радиус скругления шевронного ножа альтернативной конструкции подбирался, исходя из условия равенства максимального значения усилия резки для обоих случаев и составил для данных условий  $R = 5000$  мм. Общий вид моделируемых ножей представлен на рис. 5.

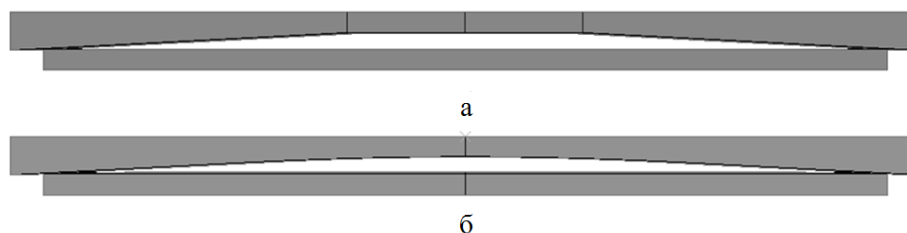


Рис. 5. Общий вид моделируемых ножей  
а – конструкции «Северсталь»; б – со скруглением

Также в рамках данного исследования моделировался процесс резки шевронным ножом классической конструкции, при этом угол наклона прямолинейных плоскостей режущих кромок для всех ножей принимался равным  $3^\circ$ , толщина листа составляла  $h = 25$  мм. Скорость перемещения ножа принималась  $70$  мм/с.

На рис. 6 представлены результаты моделирования рассматриваемых процессов резки, в частности, показаны распределения усилия резки  $N$  в зависимости от перемещения ножа  $S$  (рис. 6, а) и соответствующие распределения величины остаточной деформации  $\Delta$  по ширине листа  $L$  (рис. 6, б).

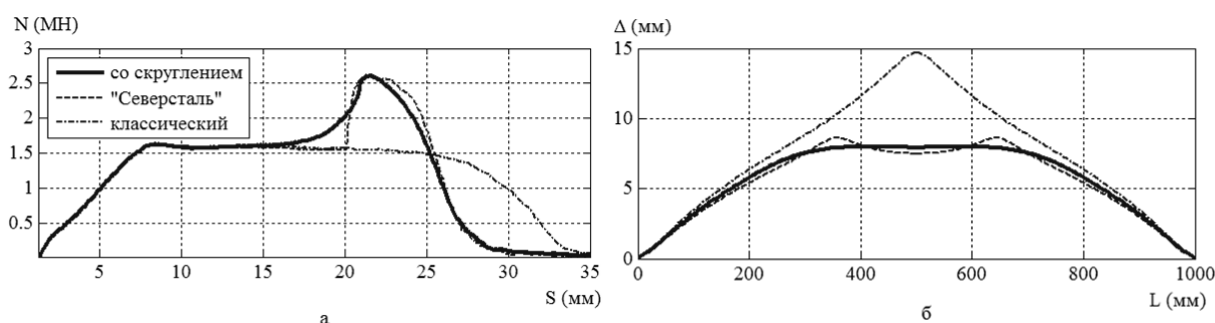


Рис. 6. Расчётные распределения усилия резки  $N$  в зависимости от перемещения ножа  $S$  (а) и соответствующие распределения величины остаточной деформации  $\Delta$  по ширине листа  $L$  (б)

Из полученных распределений видно, что для обоих рассмотренных случаев применения шевронного ножа со сложной формой режущей кромки наблюдается характерное увеличение усилия в завершающей стадии разделительного процесса ( $>50\%$ ), при этом, действительно, достигается существенное снижение величины остаточной деформации листа ( $>40\%$ ), однако стоит отметить, что в сравнении с ножом конструкции «Северсталь», при равном значении максимальной силы резки, применение шевронного ножа со скруглением позволяет на  $7,4\%$  снизить величину остаточной деформации ввиду отсутствия локализаций дефекта, что делает данную конструкцию ножа более перспективной.

С целью оценки влияния величины радиуса скругления на качество готового листа и энергосиловых параметров процесса резки в рамках данного исследования, были получены распределения величины остаточной деформации листа  $\Delta$ , представленной в отношении к её максимальному значению  $\Delta_{\max}$ , достигаемому при резке классическим шевронным ножом (рис. 7, а), а также соответствующие распределения величины отношения максимальной силы резки  $N_{\max}$  к её величине при установившемся процессе  $N_{\text{steady}}$  (рис. 7, б). Данные распределения представлены в зависимости от величины отношения радиуса скругления  $R$  к толщине разрезаемого листа  $h$ , которая составляла 5, 15 и 25 мм.

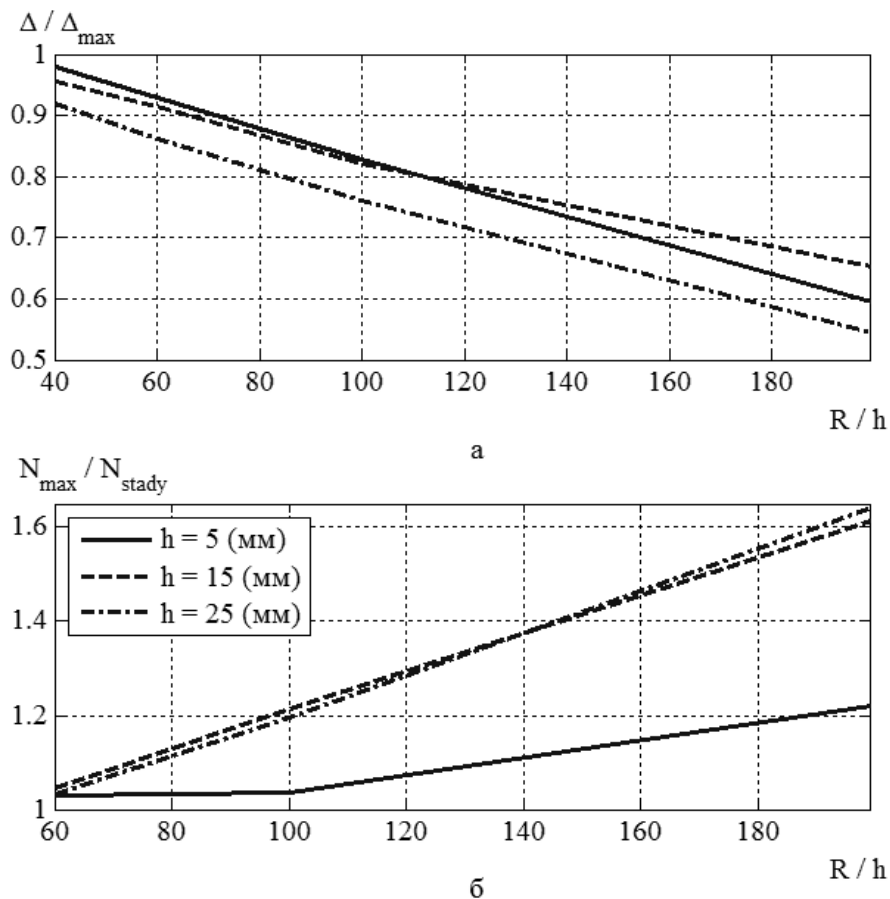


Рис. 7. Расчётные распределения величины  $\Delta / \Delta_{\max}$  (а) и соответствующие распределения величины  $N_{\max} / N_{\text{steady}}$  (б) от величины отношения радиуса скругления  $R$  к толщине разрезаемого листа  $h$

На основании полученных зависимостей можно утверждать, что увеличение радиуса скругления до  $200h$  для указанных толщин позволяет добиться снижения величины остаточной деформации на 35–55%, однако способствует существенному увеличению усилия в завершающих стадиях разделительного процесса ( $< 65\%$ ), следовательно, величина радиуса скругления должна подбираться исходя из условия допустимой перегрузки применительно к конкретным ножницам.

### ВЫВОДЫ

Установлено, что при равных максимальных значениях усилия резки, применение шевронного ножа со скруглением приводит к снижению величины остаточной деформации на 7,4% больше в сравнении с ножом конструкции «Северсталь» в виду отсутствия локализаций данного дефекта, что делает конструкцию ножа со скруглением более перспективной.

Резка шевронным ножом со скруглением сопровождается существенным увеличением максимального усилия резки, так увеличение радиуса скругления до  $200h$  для различных толщин позволяет добиться снижения величины остаточной деформации на 35–55%, при этом увеличение усилия в завершающих стадиях разделительного процесса составляет  $< 65\%$ , что является существенным, следовательно, величина радиуса скругления должна подбираться, исходя из условия допустимой перегрузки применительно к конкретным ножницам.

Необходимы дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования, направленные на выявление дополнительных факторов, влияющих на величину остаточной деформации отрезаемой части листа.

Результаты данной работы могут быть в дальнейшем использованы при разработке рекомендаций относительно практического применения шевронного ножа со скруглением.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королев А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станков / А. А. Королев. – М. : Металлургия, 1985. – 375 с.
2. Пат. RU 2212986 C2, МПК В 23 D 35/00. Нож шевронный для резки листового материала / Ю. С. Котелевец, В. А. Арашкевич, Ю. Д. Иванов [и др.] (RU). – № 2001120645/02; заявл. 23.07.2001; опубл. 27.09.2003.
3. Пат. 90094 Україна, МПК В 23 D 35/00, В 23 D 25/00, В 23 D 15/00. Комплект ножів для поперечного різання листового матеріалу / П. В. Боровік, М. Є. Селезньов; заявл. Боровік П. В., Селезньов М. Є. – № и 201314896; заявл. 19.12.2013, опубл. 12.05.2014, Бюл №9.
4. Боровик П. В. Новые подходы к математическому моделированию технологических процессов обработки давлением : монография / П. В. Боровик, Д. А. Усатюк. – Алчевск : ДонГТУ, 2011. – 299 с.
5. Механические свойства сталей и сплавов при нестационарном нагружении. Справочник / Д. А. Гохфельд, Л. Б. Гецов, К. М. Кононов [и др.]. – Екатеринбург : УрО РАН, 1996. – 408 с.