

УДК 621.982: 669.295

**Боровик П. В.**  
**Петров П. А.**  
**Селезнёв М. Е.**

## **АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЗАХВАТА ТОЛСТОЛИСТОВОГО ПРОКАТА В ПРОЦЕССЕ РЕЗКИ ДИСКОВЫМИ НОЖНИЦАМИ**

Технология производства горячекатаного толстого листа, как правило, включает операцию обрезки боковых кромок готового листа, необходимую для придания ему заданных геометрических размеров. Для этой цели на различных станах, в зависимости от сортамента листа и марок стали, могут использоваться как механический (резка на ножницах), так и термический (газовая, плазменная, лазерная резка) способы [1–5].

Опыт проектирования и эксплуатации толстолистовых станков показывает, что обрезку боковых кромок листов толщиной от 5 до 25 мм осуществляют на дисковых ножницах в холодном состоянии; толщиной до 50 мм на продольно расположенных гильотинных или на сдвоенных кромкообрезных ножницах [5].

В то же время опыт эксплуатации дисковых ножниц в условиях ПАО «Алчевский металлургический комбинат» показал, что боковые кромки листов толщиной до 40 мм можно обрезать на дисковых ножницах при условии реализации процесса в горячем состоянии [6]. В рамках данной технологии к порезке на дисковых ножницах допускаются толстолистовые раскаты при температуре  $t \geq 400^\circ\text{C}$  с различной толщиной в зависимости от температуры и марки стали. Как показывает практика и проводившиеся ранее исследования, данный процесс содержит резервы, за счет которых существует возможность расширения диапазона листов при разработке новой конструкции ножниц для горячей резки.

На сегодняшний день эксплуатируемая конструкция ножниц морально и физически устарела. Таким образом, существует необходимость разработки новой конструкции дисковых ножниц, способных резать толстые листы толщиной до 50 мм.

Одним из ключевых вопросов при разработке конструкции ножниц является реализация условий захвата листа при диаметре дисков 920...1000 мм. В связи с этим существует необходимость изучения вопроса захвата листа дисками и разработка рекомендаций направленных на обеспечение данных условий.

Цель работы – проанализировать возможность расширения толщины листов до 50 мм при горячей резке дисковыми ножницами, исходя из условия захвата.

Для достижения указанной цели были рассмотрены условия, представленные на рис. 1. Как следует из представленной схемы, для относительно небольших толщин листов, при соответствующих настройках ножниц, захват листа происходит в условиях, когда нижняя поверхность листа проходит по касательной к нижнему ножу ( $\alpha_2 = 0$  и  $\alpha_1 \leq \alpha_0$ ). По мере увеличения толщины, условия меняются и захват происходит в плоскости, расположенной на некотором расстоянии  $X$ , от вертикальной плоскости, проходящей через ось нижнего ножа ( $\alpha_2 > 0$  и  $\alpha_1 > \alpha_0$ ).

Очевидно, что в такой ситуации захват произойдет при условии, когда сумма втягивающих сил – горизонтальных проекций  $F_{T1}$ ,  $F_{T2}$  будет больше суммы выталкивающих сил – горизонтальных проекций  $N_1$ ,  $N_2$ , т. е.:

$$F_{T1} \cdot \cos(\alpha_1) + F_{T2} \cdot \cos(\alpha_2) > N_1 \cdot \sin(\alpha_1) + N_2 \cdot \sin(\alpha_2), \quad (1)$$

где  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  – угловые координаты точек захвата относительно центра верхнего и нижнего ножа соответственно.

Силы трения  $F_{T1}$ ,  $F_{T2}$  можно представить как:

$$F_{T1} = N_1 \cdot f_1, \quad (2)$$

$$F_{T2} = N_2 \cdot f_2, \quad (3)$$

где  $f_1$ ,  $f_2$  – коэффициенты трения между листом и верхним и нижним ножом соответственно, которые в общем случае могут несколько отличаться по своим значениям. Для упрощения дальнейших выкладок можно допустить, что:

$$f_1 = f_2 = f. \quad (4)$$

Исходя из этого, сила  $N_2$  примет вид:

$$N_2 = N_1 \cdot \cos(\alpha_1) + N_1 \cdot f \cdot \sin(\alpha_1). \quad (5)$$

Подставив выражения (2)–(5) в выражение (1) и сократив  $N_1$ , получим:

$$f \cdot \cos(\alpha_1) + \frac{\cos(\alpha_1) + f \cdot \sin(\alpha_1)}{\cos(\alpha_2) + f \cdot \sin(\alpha_2)} \cdot f \cos(\alpha_2) > \sin(\alpha_1) + \frac{\cos(\alpha_1) + f \cdot \sin(\alpha_1)}{\cos(\alpha_2) + f \cdot \sin(\alpha_2)} \cdot \sin(\alpha_2). \quad (6)$$

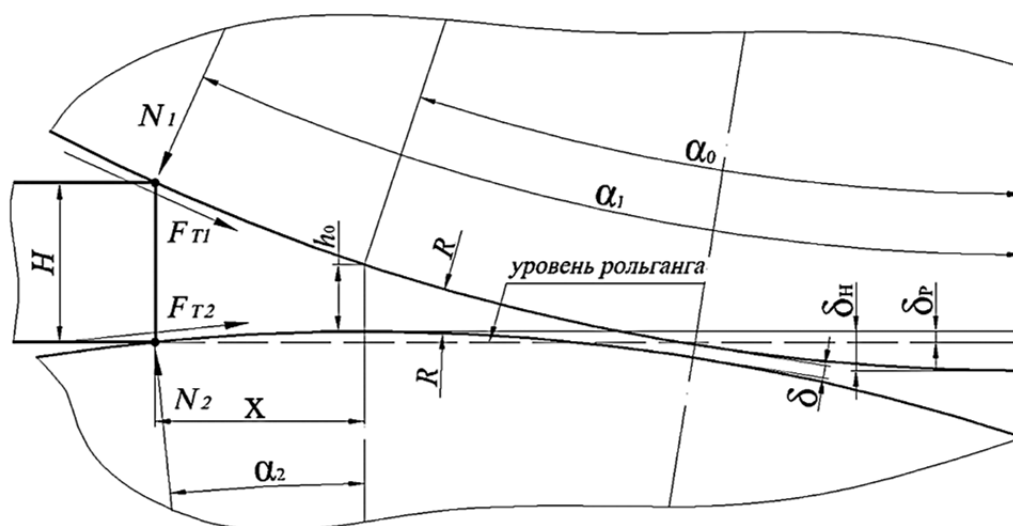


Рис. 1. Расчётная схема контакта листа с дисковыми ножами при захвате

Решив неравенство (6) относительно  $f$ , получим выражение, определяющее условие захвата ножами листа в процессе резки на дисковых ножницах:

$$f > \frac{1 - \cos(\alpha_1 + \alpha_2)}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}. \quad (7)$$

Угловые координаты точек захвата  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ , исходя из рассматриваемой схемы, можно определить следующим образом:

$$\alpha_1 = \arcsin\left(\frac{R \cdot \sin(\alpha_0) + X}{R}\right), \quad \alpha_2 = \arcsin\left(\frac{X}{R}\right),$$

где  $\alpha_0$  – максимальное значение угловой координаты точки захвата относительно центра верхнего ножа при условии движения листа толщиной  $h_0$  по касательной к нижнему ножу:

$$\alpha_0 = \arccos\left(\frac{R - (h_0 - \delta_H)}{R}\right),$$

$\delta_H$  – величина зазора (или перекрытия, но с минусом) дисков в вертикальной плоскости, которую можно определить следующим образом:

$$\delta_H = 2R - (2R + \delta)\cos\psi,$$

$X$  – расстояние между плоскостью захвата и вертикальной плоскостью, проходящей через ось нижнего ножа, при толщине листа  $H > h_0$ , можно получить из анализа геометрии очага захвата:

$$H = h_0 + R \cdot \left[ 1 - \cos\left(\arcsin\left(\frac{X}{R}\right)\right) \right] + R \cdot \left[ \frac{R - (h_0 - \delta_H)}{R} - \sin\left(\arccos\left(\frac{R \cdot \sin(\alpha_0) + X}{R}\right)\right) \right].$$

Решив которое, после преобразования получим (результат будет с плюсом, что соответствует смещению влево от вертикальной плоскости, проходящей через ось нижнего ножа):

$$X = \sqrt{\frac{R^2 \cdot (L - H)^2}{(L - H)^2 + R^2 \cdot \sin(\alpha_0)^2} - \frac{(L - H)^2}{4} - \frac{R \cdot \sin(\alpha_0)}{2}},$$

$L$  – расстояние между центрами дисков в вертикальной плоскости:

$$L = 2 \cdot R + \delta_H.$$

Исходя из рассматриваемой схемы, можно сделать вывод о том, что для полноценного использования нижнего ножа в момент захвата уровень рольганга должен быть смещён относительно верхней точки нижнего ножа, на величину  $\delta_P$ , значение которой определяется выражением:

$$\delta_P = R \cdot (1 - \cos(\alpha_2)). \quad (8)$$

С точки зрения проектирования, направленного на создание новой конструкции дисковых ножниц наибольший интерес представляет определение наихудших условий порезки, при которых возможен захват ножами листа. С целью исследования данных условий на основании изложенной методики в рамках данной работы была разработана математическая модель. Программная реализация осуществлялась в среде системы автоматизации математических расчетов MATLAB.

Исходя из опыта использования дисковых ножниц существующих конструкций, а также проведенного анализа можно сделать вывод о том, что основное влияние на условия захвата при резке оказывают следующие факторы: коэффициент трения, диаметр дисков, настройка ножниц (в частности зазор между дисками).

Диаметр дисков в процессе использования может, с учётом износа, уменьшаться до 920 мм, что ухудшает условия захвата и приводит к увеличению зазора между дисками, который, при горячей резке, составляет  $0,2H$ .

Минимально необходимое для захвата значение коэффициента трения  $f_{\min}$  можно получить из выражения (7). В то же время, фактическое значение коэффициента трения  $f$ , согласно данным работы [7], зависит от скорости, содержания углерода в стали и температуры раската при резке.

На рис. 2 представлены соотношения  $f/f_{\min}$  в зависимости от температуры  $T$  для марок стали: Ст3, 16ГС, 45, 65Г для наиболее неблагоприятных условий с точки зрения захвата (диаметр дисков 920 мм, зазор между дисками 10 мм, толщина листа 50 мм).

Анализ полученного распределения позволил установить, что все полученные значения отношения  $f/f_{\min}$  больше единицы, значит условие описанное выражением (7) выполняется и захват при рассмотренных условиях возможен, стоит также отметить тот факт, что при резке листов из стали 65Г и температуре  $T=430^{\circ}\text{C}$  коэффициент трения всего на 13 % выше минимально допустимого значения.

Очевидно, что для обеспечения захвата в условиях, представленных на расчётной схеме (см. рис. 1), необходимо уровень подающего рольганга располагать ниже верхней точки нижнего ножа.

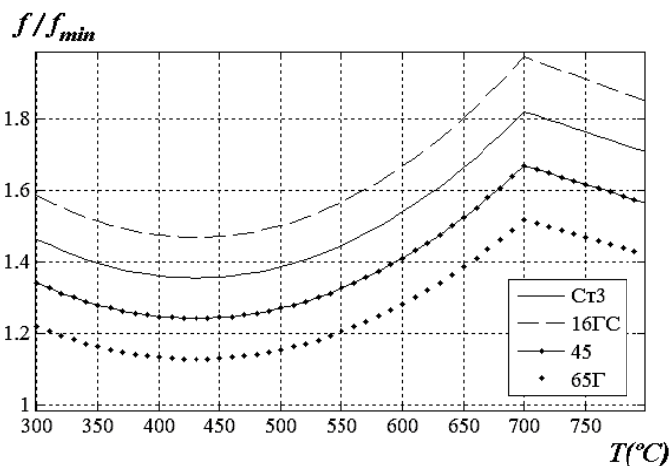


Рис. 2. Расчётные распределения отношения коэффициента трения  $f$  к минимально допустимому  $f_{\min}$ , в зависимости от температуры  $T$  для марок стали Ст3, 16ГС, 45, 65Г

На рис. 3 графически представлены зависимости величины  $\delta_P$  смещения уровня рольганга, относительно верхней точки нижнего ножа, от зазора  $\delta$  между дисками в наклонной плоскости. Данные зависимости получены применительно к резке дисковыми ножами диаметром 920...1000 мм листов толщиной 50 мм.

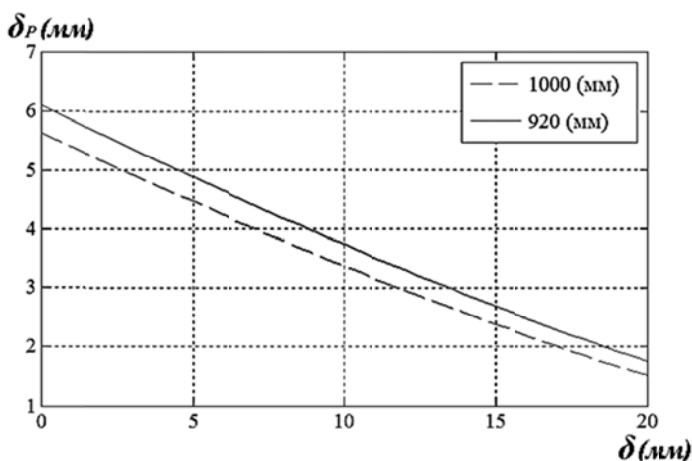


Рис. 3. Зависимость величины  $\delta_P$  смещения уровня рольганга, относительно верхней точки нижнего ножа, от зазора между дисками  $\delta$  в наклонной плоскости

Анализ представленной на рис. 3 зависимости позволил установить, что для обеспечения условий захвата листов толщиной  $H=50$  мм, при зазоре между дисками в наклонной плоскости  $0,2H$ , максимальное смещение рольганга относительно верхней точки нижнего диска необходимо при диаметре дисков 920 мм и составлять  $\approx 3,8$  мм.

Таким образом, можно утверждать, что при проектировании дисковых ножниц горячей резки листов толщиной до 50 мм, для обеспечения нормальных условий захвата необходимо предусмотреть возможность регулировки уровня подающего рольганга по отношению к верхней точке нижнего диска.

## ВЫВОДЫ

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

– технология обрезки боковых кромок толстолистовых раскатов дисковыми ножами имеет существенный ресурс по расширению сортамента листов, допускаемых к порезке, за счет реализации процесса в горячем состоянии;

– теоретически установлено, что на дисковых ножницах обеспечиваются условия захвата листа при порезке раскатов толщиной  $H = 50$  мм ножами диаметром 920–1000 мм и зазоре между дисками в наклонной плоскости  $0,2H$  во всем диапазоне температур области горячей резки;

– для обеспечения условий захвата металла дисковыми ножами необходимо учитывать положение подающего рольганга относительно верхней точки нижнего ножа, при этом, согласно разработанной методике, максимальное смещение подающего рольганга относительно верхней точки нижнего ножа, для рассмотренных условий, составляет  $\approx 3,8$  мм;

– необходимо проведение дополнительных экспериментальных исследований, направленных на подтверждение достоверности полученных результатов, а также на изучение возможных факторов, влияющих на условия захвата листа дисковыми ножами.

Результаты работы могут быть использованы при разработке мероприятий, направленных на расширение сортамента листов, разрезаемых на дисковых ножницах, и при проектировании новой конструкции дисковых ножниц горячей резки.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукашин Н. Д. *Конструкция и расчет машин и агрегатов металлургических заводов : учебник для вузов / Н. Д. Лукашин, Л. С. Кохан, А. М. Якушев. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2003. – 456 с. : ил.*
2. *Машины и агрегаты металлургических заводов : учебник для вузов / А. И. Целиков, П. И. Полухин, В. М. Гребеник и др. – М. : Металлургия, 1987. – Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – 1988. – 376 с.*
3. *Королев А. А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов / А. А. Королев. – М. : Металлургия, 1987. – 480 с.*
4. *Ножницы с катящимся резом конструкции ОАО «КО ВНИИМетмаиш» / В. И. Клопов, В. Г. Астахов, В. Е. Кутузов, А. В. Кульвиц // Чер. металлургия : Бюл. НТЭИ / Черметинформация. – 2007. – № 3. – С. 54–57.*
5. *Савицкий В. В. Исследование энергосиловых параметров сдвоенных кромкообрезных ножниц в среде COSMOSWorks [Электронный ресурс] / В. В. Савицкий, А. Е. Вольвач // Научный Вестник ДГМА : сб. науч. тр. – Краматорск, 2009. – № 1 (4Е). – С. 150–155. – Режим доступа: [http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/VDDMA/2009\\_1/article/09SVVSCF.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/VDDMA/2009_1/article/09SVVSCF.pdf)*
6. *Боровик П. В. Исследование качества порезки горячих толстолистовых раскатов дисковыми ножницами // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – С. 180–182.*
7. *Грудев А. П. Трение и смазки при обработке металлов давлением : справ. изд. / А. П. Грудев, Ю. В. Зильберг, В. Т. Тилик. – М. : Металлургия, 1982. – 312 с.*

Боровик П. В. – канд. техн. наук, докторант ДГМА;

Петров П. А. – ст. преп. ДонГТУ;

Селезнёв М. Е. – аспирант ДонГТУ.

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

E-mail: borovikpv@mail.ru; seleznevme@mail.ru

Статья поступила в редакцию 04.03.2013 г.