

УДК 669. 002

к.т.н. Ульяницкий В. Н.,
Петров П. А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОК РЕЗАНИЯ БИМЕТАЛЛА ГИЛЬОТИННЫМИ НОЖНИЦАМИ С КРОМОЧНЫМИ НОЖАМИ

В статье изложены результаты экспериментального и аналитического исследований характера изменения нагрузок в процессе резания катаных многослойных пакетов гильотинными ножницами, дооборудованными кромочными ножами.

Ключевые слова: гильотинные ножницы, кромочные ножи, катаные пакеты, совместное резание, кромка.

Производство биметаллов имеет существенное значение для химического и других важных направлений машиностроения. Наиболее распространёнными способами получения биметаллических листов являются: специальная технология литья, электродуговая наплавка, использование энергии взрыва и прокатка специально подготовленных пакетов. Наиболее производительная технология – это прокатка нагретых в методических печах пакетов в цехах толстолистовых станов [1]. После обрезки (вдоль и по торцам) кромки из одного пакета получают два биметаллических листа толщиной $h_{Bl} = 1/2h$ (см. рис. 1).

Однако порезка катаных пакетов до необходимой толщины в потоке стана по технологическим причинам невозможна. Предложенные конструкции для выполнения упомянутой операции резки применения не нашли, так как требовали отдельно стоящей установки [2] измельчения отрезанной продольной кромки или дисковых ножниц [3], не пригодных для резания толстолистового проката. В своё время, когда особо повысился спрос (например, судостроительной отрасли) на биметаллические листы, на толстолистовом стане 2800 (ныне 3000) ПАО «Алчевский металлургический комбинат» была введена в эксплуатацию механизированная линия для порезки пакетов в холодном состоянии.

Для экспериментального исследования усилий резания использовали гильотинные

ножницы, оборудованные основными и кромочными ножами. Фиксация величины усилий осуществлялась хорошо известным методом тензометрии. Датчики сопротивления помещались (наклеивались) на шатунах как наиболее доступных нагруженных деталях механизма резания.

Объектом исследования были раскаты пакетов для получения двухслойных листов, характерная особенность которых заключалась в их толщине (до 48 мм) и увеличенной (до 260 мм) ширине отрезаемой продольной кромки.

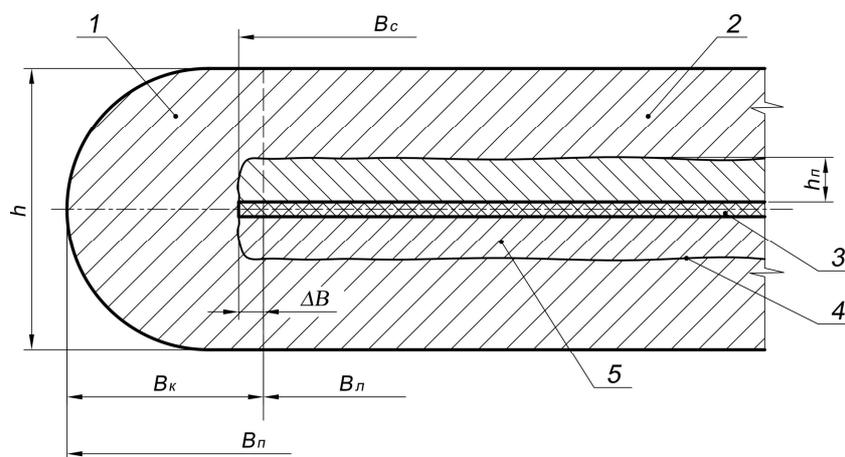
Ширина B_k кромки заложена в конструктивных размерах поперечного сечения (см. рис. 1) катаного пакета, являющегося заготовкой двух двухслойных заказных листов.

Из рисунка 1 следует, что ширина удаляемой кромки определяется из выражения:

$$B_k = (B_n - B_l) / 2.$$

Величина размера ΔB необходима для свободного отделения верхнего биметаллического листа от нижнего. Имевшее место схватывание в процессе прокатки пакета концевых участков плакирующих пластин затрудняло операцию разделения листов после отрезания кромки.

Как подтвердила практика обработки пакетов, величина ΔB не превышала (0,5...0,6) h_{II} плакирующего металла.



- 1 – отрезаемая кромка; 2 – основной (наружный) слой металла; 3 – материал разделительного слоя;
4 – граница (поверхность сваривания) соединяемых слоёв 2 и 5;
5 – плакирующий слой из нержавеющей металла;

B_n , B_c , B_k – соответственно ширина пакета, плакирующих слоёв и удаляемой кромки; B_l – ширина товарного биметаллического листа; h – толщина пакета после прокатки; ΔB – участок смятых боковых поверхностей плакирующих пластин (слоев); h_n – толщина плакирующей пластины (слоя)

Рисунок 1 Фрагмент поперечного сечения катаного пакета

Процесс отрезки катаного пакета заключается в отделении боковой кромки сначала продольными ножами и отрезании её «на меру» поперечными (кромочными) ножами в конце хода верхнего суппорта (см. рис. 2).

В процессе отделения от пакета кромка под усилием резания получает сложную деформацию, что обуславливает её несколько винтообразную форму.

С целью установления наибольшего усилия резания одновременно продольными и поперечными ножами в эксперименте использовали пакеты толщиной 44 и 48 мм, при ширине удаляемой кромки от 150 до 260 мм.

Проведенные исследования [4] позволили получить зависимости величин нагрузок на шатуны гильотинных ножниц (при обработке ряда марок сталей) от толщины листа и ширины отрезанной кромки в случае совместной работы основными наклонными ($\alpha = 5^\circ 45'$ для верхнего ножа) и кромочными параллельными ножами.

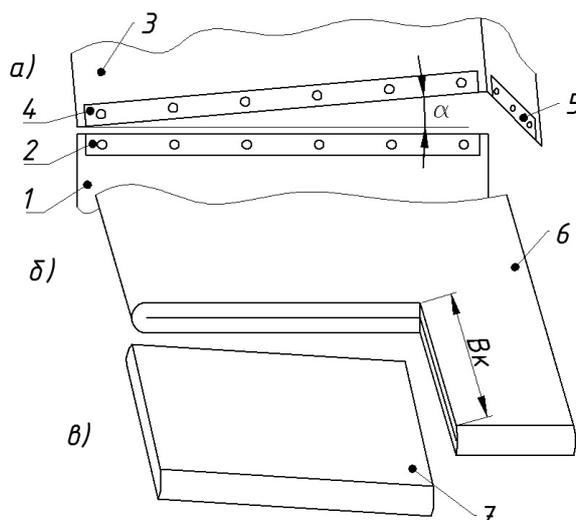
Анализ данных эксперимента в производственных условиях показал следующее.

Вид характера нагрузки шатунов гильотинных ножниц при комбинированном резе показан на осциллограмме (рис. 3). Верхняя кривая 1 осциллограммы принад-

лежит шатуну, к которому начало реза ближе, нижняя дорожка 2 относится к шатуну (сторона крепления кромочных ножей), возле которого происходит отделение кромки поперечными (кромочными) ножами и заканчивается рез.

Из осциллограммы можно сделать следующий вывод: начало реза практически воспринимается обоими шатунами одновременно. Однако нагрузка на шатуне, к которому начало реза ближе, мгновенно достигает наибольшей величины (участок ab). За то же время нагрузка на шатуне, возле которого крепятся кромочные ножи, достигает только некоторой небольшой величины. В момент внедрения ножа в металл возникает неустановившийся процесс, который длится несколько долей секунды и в течение которого в линии привода выбираются зазоры.

После этого наступает установившийся процесс (участок bc), который продолжается до момента вступления в работу кромочных параллельных ножей. В момент врезания кромочных ножей происходит увеличение нагрузки на шатуне со стороны крепления этих ножей, что отчетливо видно по скачку (участок $c'd'$).



1, 3 – нижний и верхний суппорты; 2, 4 – нижний и верхний продольные ножи; 5 – поперечные (кромочные) ножи; 6 – обрабатываемый пакет двухслойных листов; 7 – отрезанная от пакета кромка; B_k – ширина отделённой кромки; α – угол наклона верхнего основного ножа, поперечные ножи параллельны горизонтали. Нижний кромочный нож условно не показан.

Рисунок 2 Вид расположения ножей (а); формы поверхности реза пакета гильотинными ножницами, дооборудованными поперечными ножами (б); отделённая «на меру» кромка пакета (в)

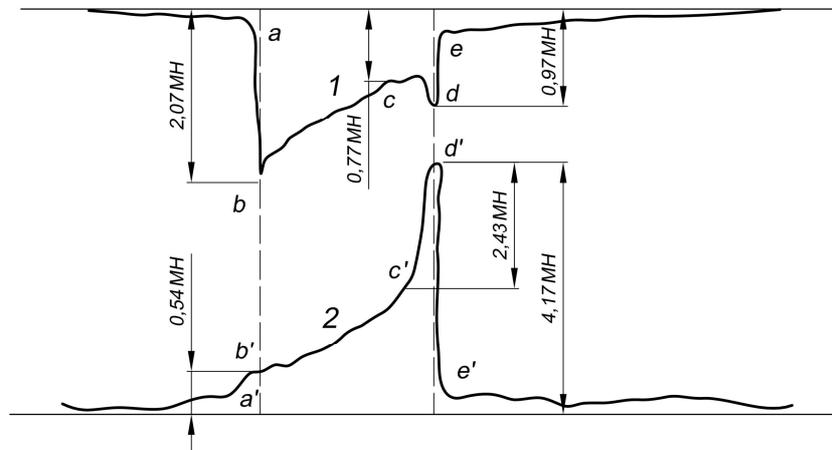


Рисунок 3 Вид характера изменения нагрузки на шатуны гильотинных ножиц, дооборудованных кромочными ножами, при резании пакета 16ГС/ОХ13, $h = 44$ мм, $B_k = 240$ мм

Установившийся процесс резания (участок $b'c'$) нарушается. Резкое увеличение нагрузки на шатуне, где расположены кромочные ножи, вызывает незначительное увеличение нагрузки на шатун, возле которого начинается рез.

В конце реза усилие, достигнув максимальной величины, почти мгновенно уменьшается до нуля (участки de и $d'e'$).

Для сопоставления экспериментальных данных с аналитическими величинами усилий резания, определённых по известной методике [5] расчётных процедур, выбирали те же пакеты, что были обработаны в промышленных условиях.

Усилие резания основными ножами (верхний наклонный) вычислили по формуле

$$P_o = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{2 - \varepsilon_n}{2 \operatorname{tg} \alpha} \cdot \sigma_b \cdot h^2 \cdot \varepsilon_n, \text{ Н.} \quad (1)$$

Величину нагрузки резания параллельными (кромочными) ножами рассчитывали по зависимости:

$$P_k = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \sigma_b \cdot B_k \cdot h \cdot \varepsilon_H, \text{ Н,} \quad (2)$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий отношение касательного напряжения среза τ к пределу прочности σ_b при растяжении:

$$k_1 = \tau / \sigma_b = 0,7 \dots 0,75;$$

k_2 – коэффициент, учитывающий повышение усилий резания при затуплении режущей кромки ножей; при холодной резке стали $k_2 = 1,25 \dots 1,35$;

k_3 – коэффициент, учитывающий увеличение зазора между ножами; $k_3 = 1,3 \dots 1,4$;

σ_b – предел прочности стали, Н/мм²;

h – толщина разрезаемого листа (пакета), мм;

B_k – ширина отрезаемой кромки раската, мм;

ε_n – относительная глубина надреза, зависящая от пластических свойств металла: $\varepsilon_n = (1,2 \dots 1,6) \cdot \delta$, где δ – относительное удлинение;

$\alpha = 5^\circ 45'$ – угол наклона основного верхнего ножа.

При совместном резе продольными и кромочными ножами результирующая расчетная величина усилия, необходимая для обрезки и отделения кромки «на меру», определяется как сумма усилий, вычисленных по формулам 1 и 2:

$$P_p = P_o + P_k. \quad (3)$$

Некоторые результаты экспериментальных измерений и расчёта максимального значения усилия резания двухслойных и многослойных пакетов из различных марок стали при совместной работе продольных и поперечных параллельных ножей, в зависимости от толщины листа и ширины отрезаемой кромки, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Максимальное значение усилий резания

Марки сталей в структуре пакета	Размеры, мм		Усилия реза, тс (МН)		
	Толщина пакета	Ширина отрезаемой кромки	Результирующее		На шатуне со стороны крепления кромочных ножей, экспериментальное
			расчётное	экспериментальное	
16ГС	48	180	686 (6,86)	517 (5,17)	402 (4,02)
X18H10T					
20К	48	260	765 (7,65)	558 (5,58)	438 (4,38)
X18H10T					
16ГС	48	150	522 (5,22)	436 (4,36)	330 (3,30)
OX13					
09Г2С	48	240	894 (8,94)	584 (5,84)	453 (4,53)
X17H13M2T					
Ст.3	44	180	580 (5,80)	404 (4,04)	294 (2,94)
OX13					

Для определения расчётной величины усилия реза использовали механические характеристики (см. табл. 2) сталей пакета, взя-

тых из сертификата испытаний в механической лаборатории предприятия и работы [6].

Таблица 2

Основные механические параметры сталей пакетов

Механические параметры	Марки сталей						
	Основной слой				Плакирующий слой		
	16ГС	09Г2С	20К	Ст3	X18Н10Т	X17Н13М2Т	ОХ13
Предел прочности σ_b , МПа	470	545	445	425	509	530	422
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	315	295	245	235	206	296	294
Относительные удлинения при растяжении, %	21	22	22	24	43	37	23

Как следует из таблицы 1, суммарное экспериментальное усилие резания при отрезании и отделении кромки шириной до 260 мм для пакетов толщиной 48 мм не превышает допустимую для ножниц паспортную нагрузку 600 тс (6 МН), но шатун со стороны крепления кромочного ножа при вступлении в работу последнего несколько перегружается. Исходя из этого исследования, установили предельную ширину удаляемой кромки пакета при совместной одновременной работе основных и кромочных ножей.

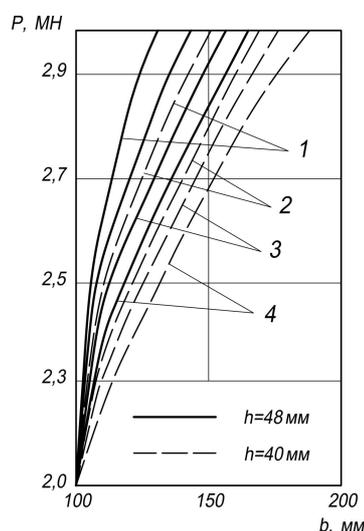


Рисунок 4 График определения предельной ширины отрезаемой кромки для катаных пакетов:

- 1 - 16ГС/X18Н10Т; 16ГС/X17Н13М2Т;
- 2 - 09Г2С/X18Н10Т; 16ГС/ОХ13;
- 3 - 20К/X17Н13М2Т; 20К/ОХ13;
- 4 - 20К/X18Н10Т; Ст3/X17Н13М2Т; Ст3/X18Н10Т.

Для выбора допускаемой ширины кромки, в зависимости от толщины пакета и марок сталей в нём построен график (см. рис. 4). Если $B_k > 260$ мм, то процесс отделения продольной кромки выполняют в два приема.

Исследуя процесс порезки листов на гильотинных ножах, дооборудованных кромочными ножами, установили, что шатуны, а следовательно, и все детали ножниц, связанные с шатунами, подвергаются дополнительным нагрузкам.

На основании проведенного анализа и экспериментальных данных разработана методика расчета усилий, возникающих при резании металла одновременно основными и кромочными ножами.

Суммарное усилие резания, определенное экспериментальным путем, несколько ниже расчетного усилия резания вследствие недостаточной определенности вводимых коэффициентов в формулах (1) и (2).

Выводы

1. Определены максимальные значения усилия резания двухслойных пакетов из сталей различных марок в зависимости от толщины и ширины обрезаемой кромки пакета.

2. Установлена возможность порезки гильотинными ножницами, дооборудованными кромочными ножами, пакетов биметаллов с уширенной кромкой.

3. Обоснована методика определения суммарного усилия резания, которая рекомендована к применению в расчетах нагрузок при реконструкции и проектировании ножниц с кромочными ножами.

Библиографический список

1. Быков, А. А. Состояние производства биметаллов и перспективы его развития [Текст] / А. А. Быков. — *Сталь*, 1982. — № 10. — С. 61–64.
2. А.С. № 893421 СССР В23Д 31/04 УДК 621.961 (088.8). Ножницы для измельчения листовой обрэзи / В. Н. Карпушин, И. И. Кошеленко, Б. И. Кушнир, В. И. Роспасиенко, М. А. Сигалов, Г. П. Шелестин; опубл. 30.12.1981, Бюл. № 48.
3. А.С. № 1377171 СССР В12Д 19/04 УДК 621.961 (088.8). Устройство для обрэзи и крошения кромок полосового материала / И. И. Бондяев, П. И. Смирнов, И. И. Ошеверов, В. М. Сергиенко; опубл. 29.02.1988, Бюл. № 8.
4. Ульяницкий, В. Н. Исследование работы гильотинных ножниц с кромочным ножом [Текст] / В. Н. Ульяницкий, В. С. Мумриенко, Г. В. Роспасиенко // *Металлургическое металловедение и ремонт оборудования: темат. отраслевой сборник*. — М. : *Металлургия*, 1978. — № 7. — С. 26–29.
5. Королёв, А. А. Конструкция и расчёт машин и механизмов прокатных станов : учеб. пособие для вузов [Текст] / А. А. Королёв. — М. : *Металлургия*, 1985. — 480 с.
6. *Марочник сталей и сплавов* / В. Г. Сорокин, В. А. Волосникова, С. А. Вяткин и др.; под общ. ред. В. Г. Сорокина. — М. : *Машиностроение*, 1989. — 640 с.

© Ульяницкий В. Н.

© Петров П. А.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А., зав. каф. МОЗЧМ ДонНТУ, д.т.н., проф. Еронько С. П.

Статья поступила в редакцию 13.06.17.

к.т.н. Ульяницкий В. Н., Петров П. О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ РІЗАННЯ БІМЕТАЛУ ГІЛЬЙОТИННИМИ НОЖИЦЯМИ З КРОМОЧНИМИ НОЖАМИ

У статті викладено результати експериментального та аналітичного досліджень характеру зміни навантажень у процесі різання катаних багатошарових пакетів гильотинними ножницями, дообладнаними кромочними ножами.

Ключові слова: *гильотинні ножці, кромочні ножі, катані пакети, сумісне різання, кромка.*

PhD Ulianitskiy V.N., Petrov P.A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

INVESTIGATION OF THE BIMETAL CUTTING LOADS USING THE GUILLOTINE SHEARS WITH EDGE KNIVES

There have been given the results of experimental and analytical researches on loads behavior when cutting the rolled multiple sandwiches with guillotine shears equipped with edge knives.

Key words: *guillotine shears, edge knives, rolled sandwiches, concurrent cutting, edge.*