СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

СибГИУ – легендарная кузница кадров

МЕТАЛЛУРГИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО

ТРУДЫ XX МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

Часть 2

Новокузнецк
2017 год

Министерство образования и науки Российской Федерации

Сибирский государственный индустриальный университет

Посвящается 400-летию города Новокузнецка

МЕТАЛЛУРГИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО

«Металлургия – 2017»

15 – 16 ноября 2017 г.

Труды

XX Международной научно-практической конференции

Часть 2

Новокузнецк

2017

УДК 669(06)+658.012.056(06)
М 540

Редакционная коллегия
академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор М.В. Темлянцев, д.т.н., профессор А.В. Феоктистов,
д.т.н., профессор Г.В. Галевский, д.ф.-м.н., профессор В.Е. Громов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, д.т.н., профессор Н.А. Козырев,
к.т.н., профессор С.Г. Коротков, к.т.н., доцент С.В. Фейлер

М 540 Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XX Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 2 / под ред. Е.В. Протопопова; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – 474 с., ил.

ISSN 2542-1670

Труды конференции включают доклады по актульным вопросам теории и технологии производства, обработки и сварки металлов, энергоресурсосбережения, рециклинга и экологии в металургии.

Конференция проведена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 17-08-20433.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Администрация Кемеровской области

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»

АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

АО «Русал Новокузнецк»

АО «Кузнецкие ферросплавы»

ОАО «Черметинформация»

Издательство Сибирского отделения РАН

Журнал «Известия вузов. Черная металлургия»

Журнал «Вестник СибГИУ»

Журнал «IOP conference series: materials science and engineering»

ОАО «Кузбасский технопарк»

Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук

Совет молодых ученых Кузбасса

ISSN 2542-1670

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2017

Библиографический список

1. Зельберг Б.И., Рагозин Л.В., Баранцев А.Г., Ясевич О.И., Григорьев В.Г., Баранов А.Н., Кондратьев В.В. Справочник металлурга. Производство алюминия и сплавов на его основе : справочник. – Иркутск : Издательство ИрГТУ. 2015. – 764с.

2. Кондратьев В.В., Шахрай С.Г., Жуков Е.И., Винокуров М.В. Повышение эффективности газоулавливания в рабочей зоне электролизеров с предварительно обожженными анодами с силой тока свыше 300 КА // Экология и промышленность России. 2012. № 7. С. 8-11.

3. Кондратьев В.В., Ершов В.А., Сысоев И.А., Чернигова А.Б., Зельберг Б.И. Технико-экологические и правовые аспекты производства алюминия // Санкт-Петербург, 2011.

4. Сысоев И.А., Кондратьев В.В., Шахрай С.Г., Карлина А.И. Разработка способа управления энергетическим режимом электролизеров для производства алюминия // Цветные металлы. 2016. № 5 (881). С. 38-43.

5. Sysoev I.A., Ershov V.A., Kondrat'ev V.V. Method of controlling the energy balance of electrolytic cells for aluminum production // Metallurgist. 2015. Т. 59. № 5-6. С. 518-525.

6. Кондратьев В.В., Ершов В.А., Шахрай С.Г., Иванов Н.А. Предварительный нагрев обожженного анода // Цветные металлы. 2015. № 1. С. 54-56.

7. Шахрай С.Г., Скуратов А.П., Кондратьев В.В., Ершов В.А., Карлина А.И. Обоснование возможности нагрева глинозема теплом анодных газов алюминиевого электролизера // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 3. С. 131-138.

8. Kondrat'ev V., Govorkov A., Lavrent'eva M., Sysoev I., Karlina A.I. Description of the heat exchanger unit construction, created in IRNITU // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Т. 11. № 19. P. 9979-9983.

9. Сысоев И.А., Кондратьев В.В., Горовой В.О., Зимина Т.И., Карлина А.И. Разработка и испытания опытного образца устройства по преобразованию тепла в электрическую энергию (ТЭП) // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 7 (126). С. 132-142.

10. Сысоев И.А., Кондратьев В.В., Горовой В.О., Зимина Т.И. Лабораторные испытания кожухотрубчатого теплообменного устройства // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. Т. 20. № 12. С. 155-164.

УДК 621.967.1:621.77

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ СПОСОБ РЕЗАНИЯ НА НОЖНИЦАХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОГНУТОЙ ПОЛОСЫ

Никитин А.Г., Демина Е.И.

Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Россия, nikitin1601@yandex.ru

Аннотация: *Предложена методика расчета силы резания на ножницах предварительно изогнутой полосы. Определены условия (соотношение длины вылета полосы и разности уровней подводящего и отводящего рольгангов) получения качественного реза при резке предварительно изогнутой полосы. Установлено, что при резке предварительно изогнутой полосы максимальная сила резания меньше, чем при резке прямой полосы.*

Ключевые слова: *энергосбережение, ножницы, сила резания, напряжения, предварительно изогнутая полоса.*

ENERGY-SAVING METHOD OF CUTTING ON SCISSORS PRE-CURVED STRIP

Nikitin A.G., Demina E.I.

Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia, nikitin1601@yandex.ru

Abstract: *A technique is proposed for calculating the cutting force on the scissors of a pre-curved strip. The conditions are determined (the ratio of the length of the emission of the strip and the difference in the levels of the supply and discharge rollers) of obtaining a qualitative cut when cutting the pre-curved*

strip. It is established that when cutting a pre-curved strip, the maximum cutting force is less than when cutting a straight strip.

Keywords: *energy saving, scissors, cutting force, tension, pre-curved strip.*

Для поперечной резки проката на станах применяют ножницы с параллельными ножами. Допускаемые размеры поперечного сечения проката, разрезаемого на ножницах данного типа, определяются максимальной силой резания в холодном состоянии полосы, на которую рассчитаны ножницы.

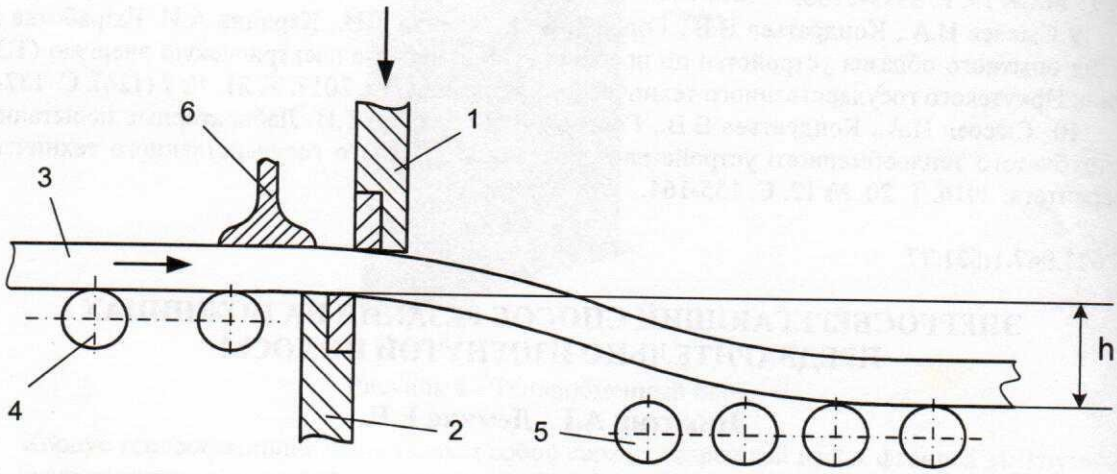
Величина силы резания на ножницах с параллельными ножами прямой полосы определяется следующим образом [1]:

$$P = \tau \cdot F,$$

где: τ – касательные напряжения, возникающие в процессе резания;

F – площадь сечения разрезаемого материала; и сила резания достигает своего максимума при $\tau = \tau_в$, где $\tau_в$ – предел прочности разрезаемого материала при действии касательных напряжений.

Очевидно, что чем меньше потребная сила резания, тем меньше расход энергии. С целью уменьшения энергопотребления при резке проката в Сибирском государственном индустриальном университете разработана установка резки предварительно изогнутой полосы [2], на которой полоса в зоне резания под действием силы тяжести изгибается за счет того, что уровень отводящего рольганга (рисунок 1) расположен ниже уровня подводящего рольганга.



1– верхний нож; 2 – нижний нож; 3 – полоса; 4 – подводящий рольганг; 5 – отводящий рольганг; 6 – прижим

Рисунок 1 – Схема устройства для резки предварительно изогнутой полосы

Процесс резки осуществляется следующим образом. Перед началом резания ножи раскрыты и полоса проходит между ними по рольгангу; верхний нож при этом находится выше уровня верхней поверхности полосы и не мешает движению полосы. Затем полоса останавливается в необходимом положении по длине при помощи упора. При этом, ложась на ролики отводящего рольганга, она изгибается под действием силы тяжести. Оставшаяся часть полосы на подводящем рольганге прижимается к его роликам с помощью прижима.

В изогнутой части полосы до процесса резки возникают нормальные напряжения, которые в зоне резания достигают своего максимального значения в крайних по высоте заготовки волокнах.

Далее верхний нож опускается и происходит процесс резания, во время которого под действием поперечной силы движущегося ножа в плоскости резания возникают касательные напряжения. Таким образом, в зоне резания возникает сложное напряжённое состояние, поэтому величина силы резания определяется исходя из третьей гипотезы прочности [3]:

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \le \sigma_в \approx 2\tau_в, \qquad (2)$$

где: $\sigma_в$ - предел прочности при действии нормальных напряжений.

Тогда из выражения (2) с учетом уравнения (1) следует:

$$\sqrt{\sigma^2 + 4\frac{P^2}{F^2}} \approx 2\tau_в, \tag{3}$$

Решая соотношение (3) относительно силы резания, получим:

$$P \approx \sqrt{\frac{4\tau_в^2 - \sigma^2}{4} \cdot F^2} \approx \sqrt{\tau_в^2 - \frac{\sigma^2}{4}} \cdot F. \tag{4}$$

Из сравнения уравнений (1) и (4) видно, что максимальная сила резания предварительно изогнутой полосы меньше, чем максимальная сила резания прямой полосы.

Необходимым условием получения качественного продукта (отрезанной заготовки) является прямолинейность заготовки, поэтому деформация изгиба полосы перед резом должна быть в зоне упругости, то есть возникающие нормальные напряжения в полосе при её изгибе должны быть меньше предела текучести материала полосы:

$$\sigma = M_{изг} / W \le \sigma_т, \tag{5}$$

где: W – момент сопротивления сечения полосы;

$M_{изг}$ – внутренний изгибающий момент, возникающий в полосе под действием силы тяжести неопирающейся на ролики отводящего рольганга ее части длины.

Для рассматриваемой схемы нагружения [3]:

$$M_{изг} = ql^2/2, \tag{6}$$

где: $q = F\gamma g$ – распределённая нагрузка, действующая на изогнутую часть полосы под действием силы тяжести;

F – площадь поперечного сечения полосы;

γ - удельная масса материала полосы; g – ускорение свободного падения;

l – длина полосы, при которой в части полосы, не опирающейся на ролики отводящего рольганга, нормальные напряжения удовлетворяют условию упругой деформации.

Максимально допускаемое значение величины длины полосы определяется, учетом выражения (5), из уравнения (6) зависимостью $l_{доп} = \sqrt{\frac{2W \cdot \sigma_т}{F\gamma g}}$. Если длина отрезаемой полосы меньше $l_{доп}$, то полоса деформируется упруго без дополнительной опоры в виде верхней поверхности ролика отводящего рольганга. Если длина отрезаемой полосы больше $l_{доп}$, то полоса без дополнительной опоры деформируется пластически, что не допустимо.

Расстояние от верхней поверхности ролика подводящего рольганга до верхней поверхности ролика отводящего рольганга определяется из условия, что при максимально допустимом прогибе возникающие в полосе нормальные напряжения будут меньше предела текучести материала полосы. Максимально допустимый прогиб, задаваемый разностью верхних уровней подводящего и отводящего рольгангов, определяется из величины допустимой длины полосы, при которой деформация полосы упругая [4

$$h_{max} = \frac{ql_{доп}^4}{8EJ} = \frac{W^2\sigma_т^2}{2F\gamma gEJ},$$

где: E – модуль упругости первого рода материала полосы;

J – момент инерции сечения полосы.

Очевидно, что чем больше величина прогиба, тем большие по величине нормальные напряжения возникают в изогнутой полосе и тем меньшую по величине силу необходимо прикладывать для совершения операции резки. Однако, из-за рассеивания механических характеристик материала при максимальной расчётной величине прогиба возможно остаточное пластическое деформирование полосы [5], поэтому максимально допустимый прогиб необходимо брать меньше расчётного, то есть $h = 0{,}8\ h_{max}$.

Для проверки правильности аналитического сравнения сил резания прямой полосы и предва-

рительно изогнутой, был произведен расчет сил резания квадрата 40 х 40 мм из стали 40, механические свойства которой следующие: предел прочности при растяжении-сжатии $\sigma_в$ = 568 МПа, соответственно, предел прочности про сдвиге $\tau_в$ = 340 МПа, предел текучести при растяжении-сжатии σ_m = 333 МПа [5].

Тогда по формуле (1) сила резания прямой полосы равна:

$$P = \tau_в \cdot F = 340 \cdot 1600 = 544 \text{ кН}.$$

Сила резания предварительно изогнутой до предела текучести материала полосы по формуле (4) равна:

$$P \approx \sqrt{\frac{4\tau_в^2 - \sigma_m^2}{4} \cdot F^2} \approx \sqrt{\tau_в^2 - \frac{\sigma_m^2}{4}} \cdot F = \sqrt{340^2 - \frac{333^2}{4}} \cdot 1600 = 472 \text{ кН}.$$

Как видно из расчета, сила резания предварительно изогнутой полосы на 14 % меньше, чем сила резания прямой полосы.

Выводы. Определены условия (соотношение длины вылета полосы и разности уровней подводящего и отводящего рольгангов) получения качественного реза при резке предварительно изогнутой полосы. Установлено, что при резке предварительно изогнутой полосы максимальная сила резания меньше, чем при резке прямой полосы, то есть такой процесс более энергоэффективный.

Библиографический список

1. Машины и агрегаты металлургических заводов. Под ред. Целикова А.И. – М.: Металлургия. Т.3. 1988. – 680 с.

2. Пат. 91911 РФ. Устройство для резки проката // Никитин А.Г., Белов Е.Г., Полтарацкий Л.М. Опубл. 2010, бюл. № 7.

3. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. – М.: Наука. 1965. – 312 с.

4. Степин П.А. Сопротивление материалов. – СПб, : Изд-во «Лань», 2012. – 320 с.

5. Краткий справочник металлиста / Под общ. ред. П.Н.Орлова, Е.А.Скороходова. – М.: Машиностроение, 1986. – 960 с.

УДК 669.712.03

СОСТАВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ЧАСТИ ОТРАБОТАНОЙ ФУТЕРОВКИ – ОТХОДА КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ

Ржечицкий Э.П., Петровский А.А., Немчинова Н.В.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия, begimotus@mail.ru

Аннотация: *Основная часть потерь фтора при электролитическом производстве алюминия приходится на отходы капитального ремонта электролизеров - отработанную футеровку (ОФ). Для оценки возможности создания технологии регенерации фтора из теплоизоляционной части ОФ алюминиевых электролизеров изучен ее химический и фазовый состав. Наличие в теплоизоляционной части ОФ водорастворимых фторидов позволяет извлечь из нее выщелачиванием до 70% фтора.*

Ключевые слова: *алюминиевый электролизер, отработанная футеровка, теплоизоляционная часть футеровки, утилизация, регенерация фтористых солей.*

THE COMPOSITION OF THE INSULATING PART OF THE FLUE LINING – WASTE OVERHAUL OF ALUMINIUM CELLS

Rzechitskiy E.P., Petrovskiy A. A., Nemchinova N. V.

National Research Irkutsk Technical University, Irkutsk, Russia, begimotus@mail.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ 443
Зимина Т.И., Иванов Н.Н., Захаров С.В., Трошина А.О., Паньков А.М.
РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА 446
Ершов В.А., Зимина Т.И., Говорков А.С., Иванов Н.А.,
Захаров С.В., Трошина А.О.
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ СПОСОБ РЕЗАНИЯ
НА НОЖНИЦАХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОГНУТОЙ ПОЛОСЫ 449
Никитин А.Г., Демина Е.И.
СОСТАВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ЧАСТИ ОТРАБОТАНОЙ
ФУТЕРОВКИ – ОТХОДА КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА
АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ 452
Ржечицкий Э.П., Петровский А.А., Немчинова Н.В.
ИЗВЛЕЧЕНИЕ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ КАТАЛИЗАТОРОВ
В ПЛАЗМЕННЫХ ПЕЧАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ 457
Девятых Е.А., Девятых Т.О., Швыдкий В.С.
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СИСТЕМ
ГАЗООЧИСТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ ЗАВОДОВ 461
Ершов В.А., Зимина Т.И., Колмогорцев И В., Горовой В.О., Трошина А.О.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ КАМЕРНОЙ ПЕЧИ БАРАБАННОГО ТИПА 464
Черемискина Н.А., Щукина Н.В., Лошкарев Н.Б., Лавров В.В.