

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 1*

Новокузнецк
2017

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС И АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ДЕФЕКТНОСТИ ОТЛИВОК	184
Князев С.В., Скопич Д.В., Фатьянова Е.А., Усольцев А.А., Чепрасов А.И. ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ В РАБОТЕ ПРОКАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	190
Фастыковский А.Р. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ МАРКИ 30ХГСА НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ ОБОРУДОВАНИИ	194
Иванов А.А., Осколкова Т.И. ПЛАЗМЕННАЯ ЗАКАЛКА ЗАЭВТЕКТОИДНЫХ СТАЛЕЙ	199
Сафонов Е.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ	205
Князев С.В., Усольцев А.А., Куценко А.И., Куценко А.А., Пономарева К.В., Соколов Б.М., Ознобихина Н.В. АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ВОЛОЧЕНИЕ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ ПРОВОЛОКИ	208
Полякова М.А., Гулин А.Е. ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА РЕЛЬСОВОЙ ПРОДУКЦИИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ УНИВЕРСАЛЬНОГО РЕЛЬСОБАЛОЧНОГО СТАНА	213
Уманский А.А., Головатенко А.В., Дорофеев В.В. АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ МЕЖКЛЕТЬЕВОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА В ЛПЦ-1 АО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ»	219
Ковальчук Т.В., Макаров Я.В., Линин К.В. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАЛИВКИ НА СТРУКТУРУ ОТЛИВОК ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ	222
Аринова С.К., Исагулов А.З., Квон Св.С., Куликов В.Ю., Щербакова Е.П., Достоева А.М.	
СЕКЦИЯ 3: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ, Порошковой металлургии и получения композиционных материалов и покрытий	228
ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРИРОВАННЫХ Порошков тантала (АГП) С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ	228
Кайназарова А.Э., Кокаева Г.А., Ревуцкий А.В. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВА КАРБИДА ЦИРКОНИЯ	232
Алексеева Т.И., Галевский Г.В., Руднева В.В., Черепанов А.Н., Стафеецкий Л., Галевский С.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СПЛАВА БАББИТА Б83, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПРУТКОВ	235
Калашников И.Е., Болотова Л.К., Кобелева Л.И., Быков П.А., Колмаков А.Г., Михеев Р.С. СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ, СФОРМИРОВАННЫХ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ ГЕТЕРОФАЗНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ	239
Рашковец М.В., Никулина А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПОСОБА ПОДГОТОВКИ ШИХТЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОШКОВ КАРБИДА ТИТАНА	245
Крутский Ю.Л., Ложкина Е.А. О МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ ДИБОРИДА ТИТАНА В УСЛОВИЯХ ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА	248
Галевский Г.В., Руднева В.В., Ефимова К.А. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ	254
Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Патрушев А.О. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ В ГАЛЬВАНИКЕ, КЕРАМИКЕ, МОДИФИЦИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ	257
Руднева В.В., Галевский Г.В., Галевский С.Г., Черновский Г.Н. МНОГОФАКТОРНЫЙ РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА КОНТАКТНОЙ СВАРКИ РЕЛЬСОВ НА МАШИНЕ К1000	264
Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Патрушев А.О., Усольцев А.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ	267
Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Князев С.В., Чинин Н.А.	

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ В РАБОТЕ ПРОКАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Фастыковский А.Р.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Россия*

Аннотация: Рассмотрена концепция оценки работоспособности системы прокатная клеть – валковая арматура. Предложены критерии, определяющие верхний и нижний уровни работоспособности рассматриваемой системы. Практическое использование разработанных положений продемонстрировано на примере прокатки круга диаметром 12, 14 мм и арматуры №12, №14 в условиях непрерывного мелкосортного стана 250-1 сортопрокатного цеха АО “ЕВРАЗ ЗСМК”. Полученные графические данные позволяют выявить проблемные пропуски и организовать дифференцированный мониторинг рассматриваемой системы.

Ключевые слова: работоспособность, система, прокатная клеть, валковая арматура.

THE ASSESSMENT OF TECHNOLOGICAL RISKS IN THE OPERATION OF ROLLING EQUIPMENT

Fastykovsky A.R.

*Siberian state industrial University
Novokuznetsk, Russia*

Abstract: the concept of health evaluation system rolling stand – and-roll fittings. The proposed criteria that define the upper and lower levels of efficiency of the system. Practical use of the developed regulations is demonstrated by the rolling of a circle diameter 12, and 14 mm rebar No. 12, No. 14 in conditions of continuous light section mill 250-1 of the rolling shop of JSC “EVRAZ ZSMK”. The obtained graphical data allows to identify problematic gaps and organize differentiated monitoring of the system.

Keywords: performance, system, rolling stand, rolling rebar.

Прокатные валки и их арматура образуют в рабочей клетки единый взаимосвязанный комплекс, от четкой работы которого во многом зависит производительность и качество выпускаемой продукции. В связи с этим при настройке и эксплуатации системы прокатные валки – арматура следует учитывать условия формоизменения в очаге деформации обслуживаемой прокатной клетки. Игнорирование возможностей очага деформации зачастую приводит к инцидентам в рассматриваемой системе [1]. Руководствуясь рассматриваемой концепцией о неразрывной связи очага деформации и валковой арматуры, разработана методика оценки степени технологических рисков в системе прокатные валки – арматура.

При практической реализации разработанной методики на первом этапе определяется величина продольного усилия, обеспеченная резервом сил трения обслуживаемой клетки с учетом условий деформации и конструктивных особенностей калибра, и сравнивается со значениями, соответствующими критериям работоспособности системы [2 – 4].

Для определения критериев работоспособности системы прокатные валки – арматура рассмотрим два предельных случая: первый – продольное усилие, возникающее в результате инцидентов настолько велико, что может привести к поломкам деталей валковой арматуры, второй – валковая арматура должна выполнить большой комплекс операций (удержание полосы в заданном положении, правка до и после очага деформации, кантовка скручиванием и др.), на что требуется значительная величина продольного усилия, которое не может обеспечить резерв сил трения в очаге деформации обслуживаемой клетки, что приводит к застреванию полосы. Рассмотренные ситуации характеризуют верхний и нижний предел работоспособности системы.

Верхний предел ограничен прочностью деталей валковой арматуры, наиболее ответственной из которых является арматурный брус, нижний – величиной продольного усилия, необходимого для выполнения арматурой возложенных на нее функций. Сравнения значения продольных усилий, соответствующих верхнему и нижнему уровню работоспособности системы, с величиной усилия, кото-

рое может обеспечить резерв сил трения в очаге деформации обслуживаемой клетки, оценивается степень технологического риска системы.

Для определения верхнего предела работоспособности, исходя из прочности арматурного бруса, были получены зависимости.

Для случая размещения исследуемого калибра в строго определенном месте на бочке вала:

$$Q_{дон} = \frac{[\sigma]}{\sqrt{\left(\frac{6(l_m - a_{\max})a_{\max}}{l_m b_m h_m^2}\right)^2 + 3\left(\frac{d_m a_{\max}}{l_m \alpha_m \eta_m b_m h_m^2}\right)^2}}, \quad (1)$$

где: l_m – длина арматурного бруса, мм;

b_m, h_m – соответственно, ширина и высота бруса ($b_m > h_m$), мм;

d_m – расстояние от линии прокатки до арматурного бруса, мм;

$a_{\max}$ – максимальное расстояние от приложения силы до одной из опор, мм;

$[\sigma]$ – допустимое напряжение, МПа;

α_m, η_m – поправочные коэффициенты, зависящие от отношения сторон b_m/h_m .

При прокатке в одну заготовку для случая нарезки на валках одинаковых калибров:

$$Q_{дон} = \frac{[\sigma]}{\sqrt{\left(\frac{1,5l_m}{b_m h_m^2}\right)^2 + 3\left(\frac{d_m}{2\alpha_m \eta_m b_m h_m^2}\right)^2}}. \quad (2)$$

При прокатке в две заготовки с одинаковыми калибрами на бочке:

$$Q_{дон} = \frac{[\sigma]}{\sqrt{\left(\frac{6\left(l_m - \frac{B_k}{2} - b_{бурт}\right)\left(\frac{B_k}{2} + b_{бурт}\right) + 1,5l_m^2}{l_m b_m h_m^2}\right)^2 + 3\left(\frac{2d_m\left(l_m - \frac{B_k}{2} - b_{бурт}\right) + d_m l_m}{2l_m \alpha_m \eta_m b_m h_m^2}\right)^2}}, \quad (3)$$

где: $b_{бурт}$ – ширина буртов у края бочки вала, мм.

Нижний уровень оценки работоспособности системы прокатная клеть– валковая арматура можно определить, исходя из задач, решаемых валковой арматурой в процессе эксплуатации.

Валковая арматура решает следующие основные задачи:

1) подвод раската в строго фиксируемом положении к определенному калибру и съем металла с калибра;

2) удержание раската в требуемом положении, в зеве валков при прокатке, предотвращение сваливания, обеспечение заданного направления движения после прокатки;

3) правка раската;

4) кантовка раската;

5) небольшая пластическая деформация отдельных утолщенных частей раската.

На все перечисленные операции требуется определенная величина продольной силы, определяющая нижний уровень работоспособности системы прокатная клеть – валковая арматура. Рассмотрим, как определить величины продольной силы необходимые для выполнения задач валковой арматуры.

Составляющую продольную силу, обеспечивающую предотвращение сваливания, скручивания (Q_c), можно определить по формуле:

$$Q_c = M_{нк} \Theta_c, \quad (4)$$

где: $M_{нк}$ – момент, необходимый для скручивания, Н·м;

Θ_c – относительный угол закручивания при удержании от сваливания, рад.

Составляющую продольной силы, необходимую для правки переднего или заднего концов (Q_n), можно найти:

$$Q_y = \frac{W_{пл.изг} \sigma_s}{x_e \left(1 - \frac{x_e}{l_i} \right)} \mu_i \quad (5)$$

где: $W_{пл.изг}$ – момент сопротивления при пластическом изгибе, мм³;

x_k – расстояние от переднего конца проводки до места приложения силы при правке, мм;

l_p – длина проводки, мм;

μ – коэффициент трения между полосой и проводкой.

Составляющая продольной силы необходимая для пластической деформации (Q_d) отдельных утолщенных частей заготовки в роликовой арматуре:

$$Q_d = \sigma_s b_0 h_0 \ln \lambda \quad (6)$$

где: σ_s – сопротивление деформации, МПа; b_0 ,

h_0 – соответственно, ширина и толщина полосы перед входом металла в прокатную клеть, мм;

λ – коэффициент вытяжки утолщенных частей заготовки.

Продольная сила необходимая для кантовки (Q_k) может быть определена по формуле:

$$Q_k = \frac{M_{п.к} \varphi_{кант} l_b}{l_s l_0} \quad (7)$$

где: $M_{п.к}$ – момент скручивания, н·м; $\varphi_{кант}$ – полный угол кантования, рад;

l_b – расстояние между осями рабочих валков и кантующих роликов, мм;

l_0 – расстояние между соседними клетями, мм;

l_s – величина дуги захвата при кантовании, мм.

Величину продольной силы, необходимой для работы валковой арматуры (Q_n), можно определить как сумму всех составляющих по следующей общей формуле:

$$Q_n = Q_c + Q_{ii} + Q_d + Q_k \quad (8)$$

Приведенная формула общая и в каждом конкретном пропуске она должна быть уточнена с учетом особенностей прокатки и задач, решаемых валковой арматурой.

Условие безаварийной работы системы прокатная клеть – валковая арматура можно сформулировать в виде неравенства:

$$Q_{дон} \geq Q_i \geq Q_n \quad (9)$$

где: Q_1 – продольная сила обеспеченная резервом трения, МПа.

Выполнение приведенного неравенства гарантирует безаварийную работу системы. Выход за обозначенные пределы создает ситуацию технологического риска, при которой весьма вероятен сбой системы. Возможный технологический риск при невыполнении неравенства (9) управляем, так, если $Q_n > Q_1$, то исправить данную ситуацию можно, увеличив степень деформации в обслуживаемой клетке за счет перераспределения вытяжек по пропускам или уменьшения нагрузки на валковую арматуру при изменении калибровки. В случае, когда $Q_1 > Q_{доп}$, ситуация может быть исправлена при перераспределении коэффициентов вытяжки по клетям, усилению конструкции элементов валковой арматуры при многониточной прокатке задачей полос с некоторым временным перекрытием.

Методика оценки работоспособности системы прокатная клеть – валковая арматура оформлена с использованием приложения MS Excel с интерпретацией результатов в графическом виде, что весьма удобно при анализе. Разработанная методика и программное приложение позволяют наглядно проанализировать сортамент продукции сортового стана и выявить проблемные пропуски с точки зрения надежности работы системы прокатная клеть – валковая арматура. Возможности разработанной методики рассмотрим на примере анализа рабочих калибровок кругов диаметром 12, 14 мм и арматуры №12, №14 прокатываемых на непрерывном мелкосортном стане 25-1 сортопрокатного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Расчеты проводили с использованием приведенных выше зависимостей, величина продольной силы обеспеченная резервом сил трения по данным работ [5 – 7] полученный график приведен на рисунке. На графике показаны верхняя и нижняя границы работоспособности рассматриваемой системы.

Все клетки, в которых величина продольного усилия сопоставима с допустимым или выходит

за означенные пределы являются клетями с повышенной степенью рисков в системе прокатная клеть – валковая арматура и требуют дополнительного внимания, в период монтажа арматуры, и в процессе работы. Как следует из рисунка при прокатке кругов диаметром 12, 14 мм, арматуры №12, №14 на непрерывном мелкосортном стане 250–1 сортопрокатного цеха АО “ЕВРАЗ ЗСМК” при инциденте на одной “нитке” в первой клетке величина продольного усилия превышает допустимое значение, полученное исходя из прочности арматурного бруса, при одновременном инциденте на двух “нитках” в клетях с А по 5 наблюдается такая же картина, что необходимо учитывать при настройке и эксплуатации арматуры.

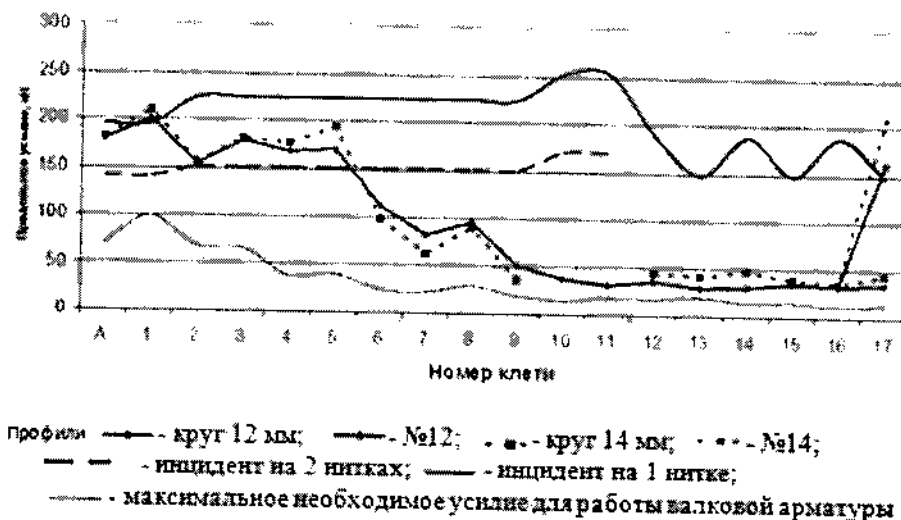


Рисунок 1 – Оценка работоспособности системы прокатная клеть – валковая арматура, при прокатке кругов 12, 14 мм и арматуры №12, №14 на непрерывном мелкосортном стане 250–1 сортопрокатного цеха АО “ЕВРАЗ ЗСМК”

Во всех пропусках, рассматриваемого примера величина продольного усилия, необходимого для выполнения арматурой ее функций, меньше продольного усилия, которое могут обеспечить резервные силы трения в очаге деформации обслуживаемой клетки, что гарантирует нормальную работу арматуры. Возможность выявления пропусков с повышенной степенью риска позволяет проводить дифференцированный мониторинг работы системы прокатная клеть – валковая арматура, уделяя особое внимание аварийно опасным пропускам. Информация о величине возможного продольного усилия, которое может создавать конкретная клеть [2 – 4], позволяет уточнить параметры валковой арматуры, и обосновано проводить расчеты ее деталей на прочность, оценивать калибровки с точки зрения работоспособности системы прокатная клеть – валковая арматура и если необходимо то корректировать.

Библиографический список

1. Фастыковский А.Р., Савельев А.Н. Особенности конструирования и безаварийной работы валковой арматуры сортовых станов. М.: Теплотехник 2015. – с. 170.
2. Фастыковский А.Р., Перетяtko В.Н. Изучение закономерностей изменения величины резервных сил трения очага деформации при прокатке // Известия вузов. Черная металлургия. – 2001. - № 12. – С. 5 – 8.
3. Фастыковский А.Р., Перетяtko В.Н. Учет резервных сил трения при проектировании валковой арматуры // Металлург. – 2001. - № 12. – С. 43 – 44.
4. Фастыковский А.Р., Перетяtko В.Н. Изучение резервных сил трения при прокатке в вытяжных калибрах // Известия вузов. Черная металлургия. – 2002. - № 4. – С. 22 – 24.
5. Фастыковский А.Р. Опыт выявления аварийно – опасных пропусков на основании знаний величины резервных сил трения, при прокатке сортовых профилей // Материалы пятнадцатой научно – практической конференции по проблемам механики и машиностроения. – Новокузнецк. СибГИУ. 2005. – С. 238 – 241.
6. Фастыковский А.Р. Пути снижения аварийности при производстве сортовой стали // Всероссийская научно практическая конференция. Металлургия: новые технологии, управление, инновации и качество. - Новокузнецк. СибГИУ. – 2005. – С. 81 – 84.
7. Фастыковский А.Р., Ефимов О.Ю., Чинокалов В.Я. Копылов И.В. Оценка степени технологического рисков в системе валки – арматура непрерывного мелкосортного стана // Сталь. – 2008. - № 2. – С. 63 – 64.