

**ВЛИЯНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ ТЕРМИЧЕСКОГО НАГРЕВА СЛЯБОВ НА ВИБРАЦИЮ КЛЕТЫ В ПРОЦЕССЕ ПРОКАТКИ****М. М. Кипин**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина.

Нагрев заготовок перед прокаткой обеспечивает необходимую пластичность, уменьшает сопротивление деформации, оказывает влияние на качество готового проката и получение требуемой структуры металла. Неравномерный нагрев слэбов ведет к образованию внутренних разрывов, увеличению износа прокатных валков за счет возникновения ударных нагрузок. В данном материале предложено техническое решение существующей проблемы нагрева слэбов в нагревательной печи «Furnace Axis». Однородность нагрева по сечению и длине заготовки исключает возникновение ударов при захвате и прокатке слэба валками вертикальной клетки. Допустимым значением перепада температуры по длине слэба можно считать диапазон от 60 до 160°C, который не приводит к ударному возбуждению клеток продолжительностью более 1 – 2 секунды. Разработанные рекомендации проверены в условиях реального производства и могут быть использованы на подобных предприятиях.

**Ключевые слова:** вибрация, колебания, температура, слэб, прокатный стан, клеть, скорость, ускорение.

**ВПЛИВ РІВНОМІРНОСТІ ТЕРМІЧНОГО НАГРІВУ СЛЯБІВ НА ВІБРАЦІЮ КЛІТИ В ПРОЦЕСІ ПРОКАТКИ****М. М. Кипин**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна.

Нагрівання заготовок перед прокаткою забезпечує необхідну пластичність, зменшує опір деформації, впливає на якість готового прокату і отримання необхідної структури металу. Нерівномірний нагрів слэбів веде до утворення внутрішніх розривів, збільшення зносу прокатних валків за рахунок виникнення ударних навантажень. В даному матеріалі запропоновано технічне рішення існуючої проблеми нагріву слэбів в нагрівальній печі «Furnace Axis». Розглянуто питання підвищення надійності роботи прокатного стану. Встановлено вплив температури заготовки на основні параметри вібрації обладнання прокатного стану. Обладнанню безперервних многоклітьових прокатних станів притаманні нестационарні режими роботи, зумовлені особливостями технологічного процесу. У даній роботі в якості критерію надійності роботи обладнання і попередження аварійної ситуації застосовувалися такі параметри, як віброшвидкість та віброприскорення. Аналіз зміни величини віброшвидкості показав, що скачок цього параметра є наслідком відхилення в технологічному режимі прокатки, а саме – в нерівномірному нагріванні заготовки в печі, з перепадом температури більш 160°C. Для зниження впливу падіння температури автором запропоновано збільшити швидкість підйому слэба, після чого його переміщення здійснюється зі звичайною швидкістю, тим самим інтервал часу знаходження слэбів на крокуючих балках збільшується. Таким чином, забезпечується додатковий прогрів зон контакту заготовки з нерухомими балками. Крім того, відзначено що конструктивна особливість вертикальної кліти стану (високий фундамент) вказує на її підвищену чутливість до ударних навантажень, які виникають в момент заповнення осередку деформації металом, в порівнянні з горизонтальним виконанням клітей. Однорідність нагріву по перетину і довжині заготовки виключає виникнення ударів під час обхвату та прокатки слэба валками вертикальної кліти. Допустимим значенням перепаду температури по довжині слэба можна вважати діапазон від 60 до 160°C, який не призводить до ударного порушення клітей тривалістю більше 1 - 2 секунди. Розроблені рекомендації перевірені в умовах реального виробництва і можуть бути використані на подібних підприємствах.

**Ключові слова:** вібрація, коливання, температура, слэб, прокатний стан, кліть, швидкість, прискорення.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Оборудованию непрерывных многоклетевых прокатных станов присущи нестационарные режимы работы, обусловленные особенностями технологического процесса. Динамика взаимодействия клеток проявляется в момент последовательного заполнения непрерывной группы заготовкой. Образующиеся колебательные процессы в клетях действуют в качестве возмущения на предыдущие клетки через формирующееся натяжение или подпор между клетями [1]. Важным фактором является равномерность термического нагрева заготовок в печи, перед их выдачей на прокатный стан.

Необходимость нагрева заготовок является одним из основных причин того, что черная металлургия остается одной из наиболее энергоемких отраслей промышленности. Особенно это относится к

странам бывшего СССР, т.к. в отсутствии средств на радикальное техническое перевооружение приходится проводить усовершенствование существующего оборудования и технологий в направлении снижения себестоимости продукции при минимальных капитальных затратах. Очень часто это достигается за счет уменьшения расхода газа в нагревательных устройствах прокатных цехов за счет снижения температуры нагрева металла под прокатку [2].

Этот способ прокатки получил название НТП – низкотемпературная прокатка. В этом случае происходит снижение температуры нагрева исходного металла на 100 – 400 °С. Эта технология может использоваться на разных станах – непрерывных широкополосных, мелкосортных и проволочных. Так, на мелкосортном стане завода Fagerstand AB

Osterbyvorken (Швеція) налажена прокатка «Квадратов» 10,5x10,5 мм при снижении температуры нагрева заготовок с 1150 °С до 750 °С [3]. При этом снижение расхода энергии составляет от 85 до 130 кВт·час/т.

Помимо уменьшения энергозатрат технология НТП способствует улучшению механических свойств: на стане 250 ПО «Ижмаш» при прокатке катанки из стали 50Г понижение температуры нагрева заготовок с 1130-1200 °С до 1030 – 1060 °С привело к значительному улучшению пластичности металла (при незначительном возрастании твердости) [4].

Однако в погоне за снижением энергозатрат многие забывают о том, что снижение температуры нагрева заготовки приводит к ухудшению ее пластичных свойств, что негативно сказывается на работе основных механизмов. Так, исследования проф. Большаков В. И. показали, что при этом динамические нагрузки возрастают на 15-23% [5].

Снижение температуры заготовки может происходить и в процессе ее движения по прокатному стану [2]. Исходя из этого, целью данной работы является оценка изменения основных параметров вибрации оборудования стана при изменении температуры заготовки.

Цель работы – рассмотрены вопросы повышения надежности работы прокатного стана. Установлено влияние температуры заготовки на основные параметры вибрации оборудования прокатного стана.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Прокатный стан А/С 400/215 фирмы «SMS Meer» металлургического комбината «НЛМК-Калуга» состоит из черновой (6 клетей), промежуточной (6 клетей), чистовой (6 клетей) групп прокатных клетей, двух чистовых 6-ти клетевых высокоскоростных блоков с общим числом приводов 20 шт. Скорость прокатки составляет до 15 м/с на прокатных клетях и 38 м/с на высокоскоростных блоках. Режим работы прокатного стана непрерыв-

ный с остановками на планово-предупредительные ремонты и обслуживание оборудования продолжительностью 8-12 часов.

На непрерывном мелко среднесортном прокатном стане из слябов длиной 12 метров и сечением 150x150 мм получают разнообразный сортамент (прут, арматуру, уголок). Нагрев исходных заготовок производится в нагревательной печи «Furnase Axis» с шагающими балками (далее - ПШБ) с боковой загрузкой и с последовательной выдачей заготовок на стан. Соблюдение заданной температуры нагрева заготовок обеспечивает ее однородность по сечению и длине для получения заданной точности и требуемых механических свойств проката. Обязательным условием при посадке заготовок в печь является то, что оба конца заготовок (передний и задний) должны лежать на неподвижных балках. Допускается свободный выступ этих концов над подвижной балкой не более 600 мм. Заданного расположения заготовок при посадке добиваются корректировкой времени торможения внутриворочного рольганга посадки. Поддержание режима нагрева заготовок в ПШБ осуществляется расходом газа и воздуха.

Системой вибродиагностики, установленной на стане, 10.04.19 г. (в 10:37:38) был зарегистрирован инцидент срабатывания защитного мониторинга на электродвигателе вертикальной клетки № 2. При этом вибрация электродвигателя скачком выросла с 0,4 мм/с до 17 мм/с в точке 2.1 и до 11,5 мм/с в точке 2.2, а через 17 секунд вибрация снова снизилась до нормативных значений (рис. 1). Виброскорость на электродвигателях 4-й и 6-й клетки также незначительно поднялась в этот момент, но короткими импульсами длительностью до 1 – 2 секунды. Поскольку диагностические заключения системы по клетке № 2 до инцидента (в 09:21:26) и после него (в 10:45:23) не претерпели значительных изменений, а уровень вибрации вернулся в норму, клетку оставили в работе.

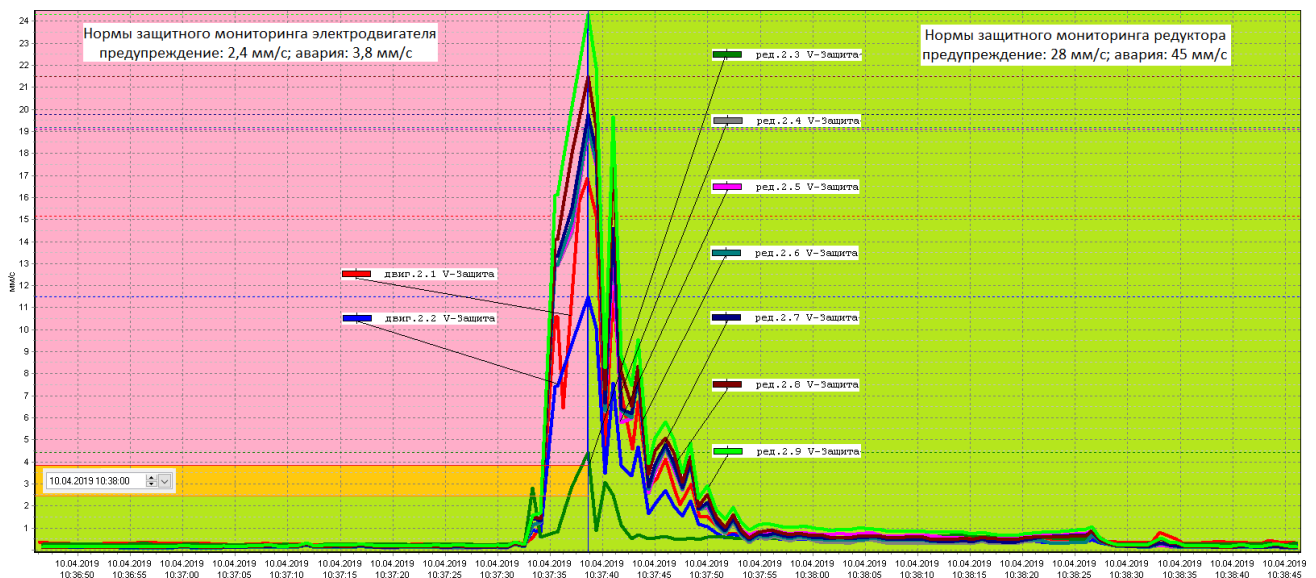


Рисунок 1 – Тренды виброскорости (секундные данные, без усреднения), клеть № 2

Вертикальная клеть 2 установлена на рамочном фундаменте высотой 4,7 м. Следует отметить, что фундаменты вертикальных клеток 2, 4, 6 соединены между собой стальной площадкой обслуживания, и ударное возбуждение, в момент захвата сляба валками 2-й клетки, передается на 4-ю и 6-ю клетку, через жесткую связь одиночным импульсом.

В системе вибродиагностики реализована методика защитного мониторинга, в которой логика срабатывания сигнализации обеспечивает выдачу аварийного сигнала при резком изменении вибрации. Локализация возникшей проблемы осуществляется на уровне каждой клетки стана, в виде световой сиг-

нализации. Оператор прокатного стана, получив сигнал о необходимости прекращения прокатки, должен учесть положение сляба (или слябов) в клетях стана, закончить их прокатку и прекратить выдачу заготовок из печи. Оповестить дежурный персонал о необходимости осмотра аварийной клетки. После определения источника возникновения аварийной ситуации и устранения ее причины, стан снова включается в производственный цикл. Значения границ зон технического состояния по виброскорости (далее по тексту ЗТС) для прокатного оборудования представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Границы зон технического состояния для оборудования черновой группы прокатного стана

Зона технического состояния	Параметр	Границы ЗТС	Выдержка, с
Электродвигатель 600 – 800 кВт			
ЗТС «Допустимо»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$V_{скз} < 2.8$	
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$A_{скз} < 12$	
ЗТС «Требуется принятия мер»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$2.8 \leq V_{скз} < 3.8$	10
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$12 \leq A_{скз} < 16$	10
ЗТС «Недопустимо»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$3.8 \leq V_{скз}$	10
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$16 \leq A_{скз}$	10
Редукторы клеток 1 – 6			
ЗТС «Допустимо»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$V_{скз} < 28$	
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$A_{скз} < 24$	
ЗТС «Требуется принятия мер»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$28 \leq V_{скз} < 45$	10
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$24 \leq A_{скз} < 48$	10
ЗТС «Недопустимо»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$45 \leq V_{скз}$	10
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$48 \leq A_{скз}$	10

Значения границ ЗТС в таблице заданы:

- для виброскорости  $V$  в мм/с (СКЗ) [6];
- для виброускорения  $A$  в  $m/c^2$  (СКЗ) [7], где

СКЗ – среднее квадратическое значение параметра в заданном диапазоне частот.

Контроль вибрации осуществляется в режиме реального времени и в случае превышения заданных уставок виброскорости  $V_{скз}$  мм/с для любого из указанных в таблице 1 элементов клетки, начинается отсчет времени на удержание сигнала тревоги. Если вибрация в течение 10 секунд не снижается до приемлемого значения, то на монитор оператора стана выводится световой сигнал тревоги.

Граничные значения вибрации прокатного оборудования определены из статистического анализа инцидентов произошедших на клетях стана в период пусконаладочных работ.

Из базы данных АСУ ТП комбината были запрошены сведения по моменту на валу электродвигателя клетки № 2, за соответствующий период времени 10:37:00 от 10.04.19 г. (рис. 2).

Анализ трендов указывает на то, что скачек виброскорости на клетку является следствием отклонения в технологическом режиме прокатки, а именно – неравномерным нагревом заготовки в печи, с перепадом температуры  $\sim 200^\circ C$  на 1-й глиссальной метке. В подтверждение данного факта, на той же клетке (рис. 3) были взяты для сравнения значения момента

сил и температуры (за 04.04.19 г.), при безударном захвате сляба валками, когда перепад температуры заготовки составил  $\sim 130^\circ C$ .

По результатам наблюдений была составлена сводная табл. 2, в которой отражено влияние перепада температур по длине сляба на значение параметров виброскорости (мм/с, СКЗ) в защитном мониторинге для электродвигателя клетки № 2. Реакция вертикальных клеток № 4 и № 6 на перепад температуры менее выражена и не приводит к высокой вибрации электродвигателей, поэтому в данной таблице не рассматривается.

Таблица 2 – Изменение виброскорости электродвигателя клетки № 2 в зависимости от перепада температур сляба

Перепад температуры, $^\circ C$	Значения $V_{скз}$ , мм/с
до 60	0,4 – 0,9
60 – 100	1,5 – 2,7
100 – 160	2,8 – 3,8
180 – 200	11 – 17

Допустимым значением перепада температуры по длине сляба можно считать диапазон от 60 до  $160^\circ C$ , который не приводит к ударному возбуждению клетей продолжительностью более 1 – 2 секунды.

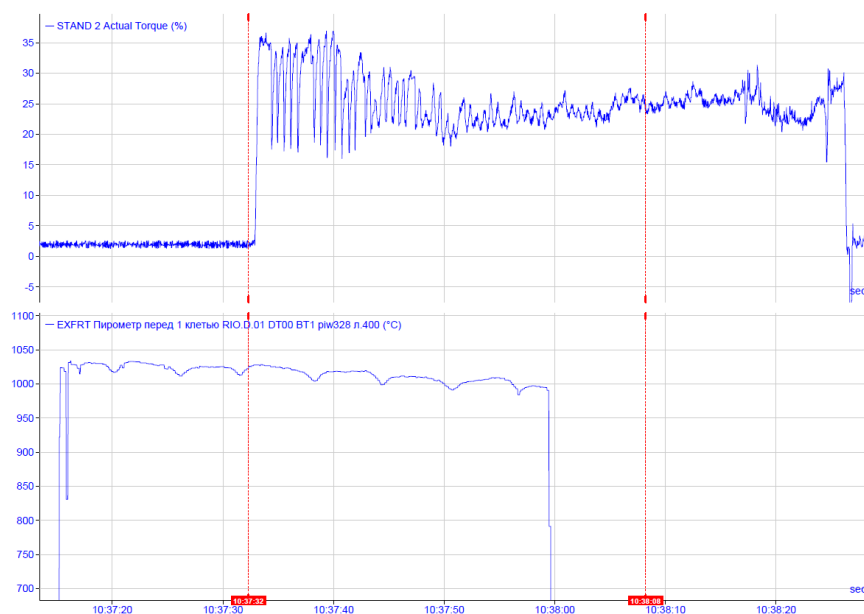


Рисунок 2 – Момент на валу электродвигателя клетки № 2 при захвате полосы с критическим перепадом температуры ~200°C

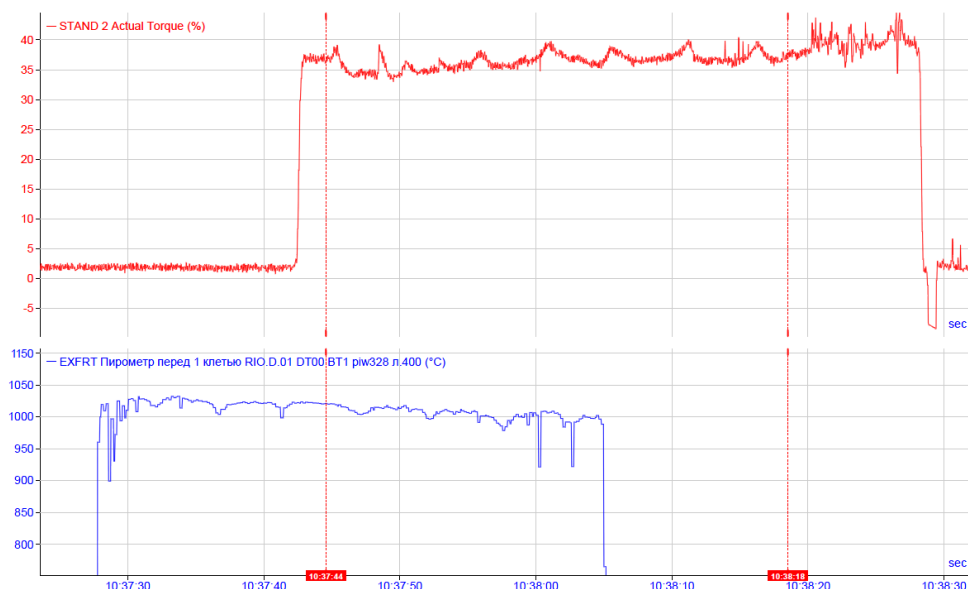


Рисунок 3 – Момент на валу электродвигателя клетки № 2 при безударном захвате полосы валками. Перепад температуры по длине сляба ~130°C

Наличие непрогретых участков заготовки до 200°C ведет к снижению физико-механических свойств и структуры металла, и возникновению значительных вибрационных нагрузок вертикальной клетки № 2.

Из этого следует, что программное обеспечение АСУ ТП стана необходимо дополнить модулем контроля температуры, или передать этот параметр в режиме on-line, в систему вибродиагностики, где предусмотрена такая функция. При этом, в решающем правиле, срабатывание сигнализации защитного мониторинга может быть жестко связано с допустимой величиной температурных перепадов на сля-

бах, что обеспечит в дальнейшем оперативное информирование персонала о причине возникшей нештатной ситуации.

Анализ температурных трендов заготовок указывал на то, что температура переднего конца заготовок имеет максимальный перепад в зоне 1-й неподвижной балки. Было сделано предположение, что при перемещении заготовки в зону выгрузки, в этой области печи снижается интенсивность дефлаграционного горения газо-воздушной смеси, за счет, например, неравномерного распределения струй на форсунках (рис. 4).

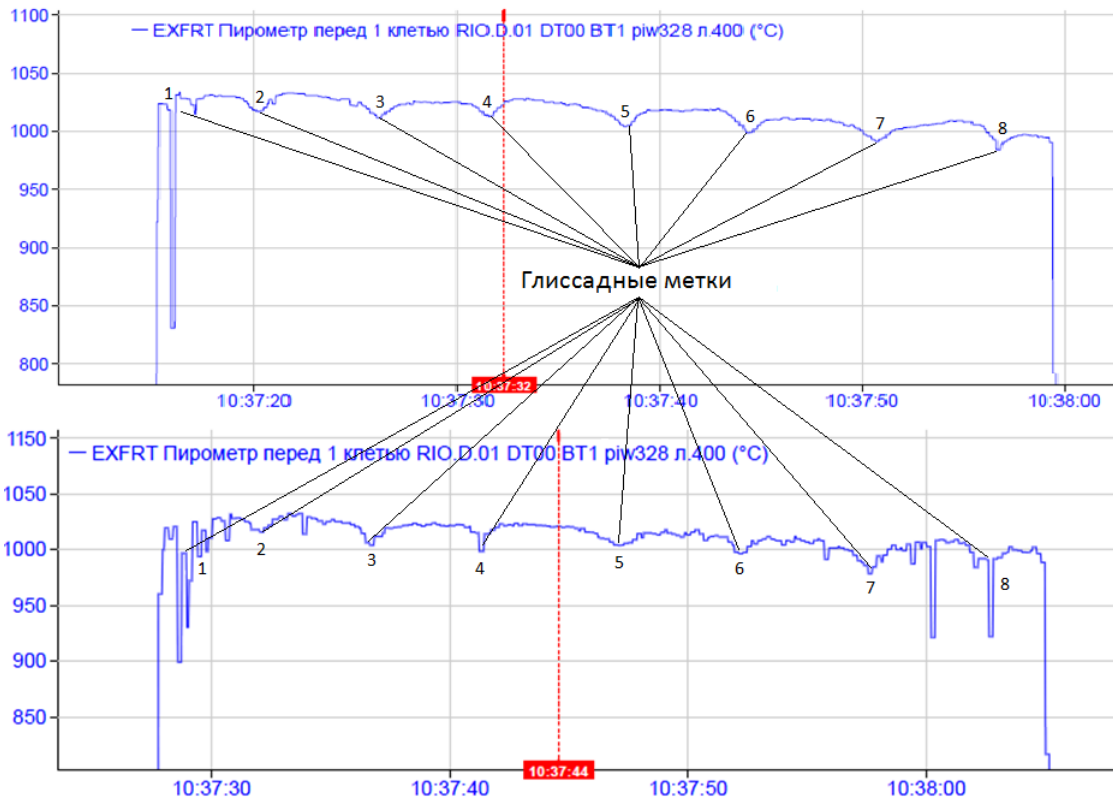


Рисунок 4 – Температурные тренды нагрева заготовок на выходе из печи перед клетью № 1

Для уменьшения влияния данного аспекта на распределение температурного поля в зоне 1-й глиссадной метки, было предложено рассмотреть возможность регулирования нагрева заготовки, перемещением ее на подающих рольгангах электродвигателей загрузки. Имеется в виду, что после пере-

мещения заготовки на рольганги, ее (заготовку) необходимо переместить по оси прокатного стана на 300-400 мм в сторону заднего конца – к 8-й метке (рис. 5). Соответственно, в зоне 1-й метки изменится интенсивность нагрева заготовки и, после этого, заготовка подается на прокатный стан.

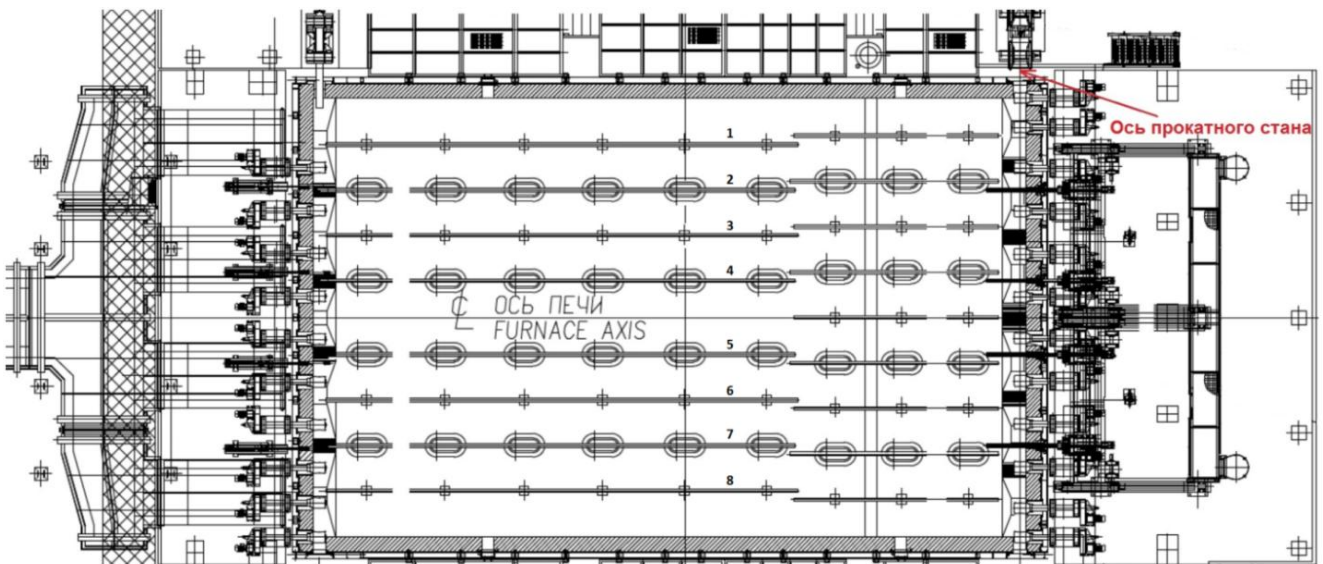


Рисунок 5 – Нагревательная печь Furnace Axis в плане

Предложенный вариант оптимизации нагрева, может привести к увеличению времени выдачи заготовок из печи на стан, когда сляб уже находится на подающих рольгангах.

В дальнейшем анализ трендов выявил тот факт, что падение температуры на неподвижных балках печи меняется от заготовки к заготовке в течение каждой смены. И первоначальное предположение о

неравномерности нагрева сляба только в зоне 1-й глассадной метки, не подтвердилось.

На рис. 6 падение температуры отмечается на 5, 6 и 7 глассадных метках, поэтому технологам был предложен альтернативный вариант регулирования температурного режима, который заключается в том, чтобы увеличить скорость подъема сляба, после чего его перемещение осуществляется с обыч-

ной скоростью, тем самым интервал времени нахождения слябов на шагающих балках увеличивается. Таким образом, обеспечивается дополнительный прогрев зон контакта заготовки с неподвижными балками. Процесс выдачи сляба из печи происходит уже без реверсивного действия (о котором речь шла в первом варианте).

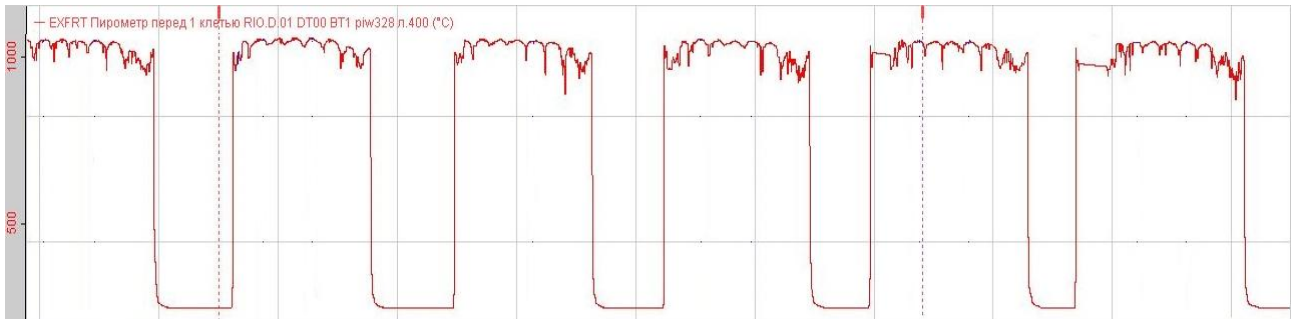


Рисунок 6 – Температурные тренды нагрева 6-ти заготовок

**ВЫВОДЫ:** 1. Конструктивная особенность вертикальной клетки стана (высокий фундамент) указывает на ее повышенную чувствительность к ударным нагрузкам, возникающим в момент заполнения очага деформации металлом, по сравнению с горизонтальным исполнением клетей.

2. Однородность нагрева по сечению и длине заготовки исключает возникновение ударов при захвате и прокатке сляба валками вертикальной клетки. Допустимым значением перепада температуры по длине сляба можно считать диапазон от 60 до 160°C, который не приводит к ударному возбуждению клетей продолжительностью более 1 – 2 секунды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Склад В. О. Инновационные и ресурсосберегающие технологии в металлургии. Учебное пособие. Донецк.: ДонНТУ, 2014. 224 с.
2. Веренев В. В., Путноки А. Ю., Подобедов Н. И. Переходные процессы при непрерывной прокатке: монография. В. В. Веренев и др.; Днепр, изд. «Литограф», 2017. 116 с.
3. Lundberg S. E. Low temperature rolling saves energy in the rolling of wire and bar. METEC – 84: 2 Jnt.

Walzwerkskongr., Dusseldorf, 22-28 Juni, 1984. Bd. 2. Dusseldorf, 1984, 52/1 –G2/12.

4. Большаков В. И. Поздняков В.П. Особенности эксплуатации оборудования главных линий черновых клетей стана 1680 горячей прокатки. Захист металургійних машин від поломок: міжвуз. темат. зб. наук. пр. ПДТУ. Маріуполь, 1999. Вип. 4. С. 15–24.

5. Кузнецов Ю. В, Бровкин В. Л. и др. Повышение качества проката в условиях деформации при низких температурах нагрева. *Сталь*. 1991. № 11. С. 65–67.

6. ГОСТ Р ИСО 10816-3-2002 «Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 3. Промышленные машины номинальной мощностью более 15 кВт и номинальной скоростью вращения от 120 до 15 000 об/мин». М.: Стандартинформ. 2003.

7. СА 03-001-05 «Стандарт ассоциации. Центробежные насосные и компрессорные агрегаты опасных производств. Эксплуатационные нормы вибрации». М.: Стандартинформ. 2005, 48 с.

### INFLUENCE OF THE UNIFORMITY OF THERMAL HEATING OF SLABS ON VIBRATION OF THE CART IN THE ROLLING PROCESS

**M. Kipin**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: tehm@kdu.edu.ua

**Purpose.** The article aims to research the influence of the uniformity of thermal heating of slabs on vibration of the cart in the rolling progress. The issues of improving the reliability of the rolling mill are reflected. The influence of the workpiece temperature on the main vibration parameters of the rolling mill equipment is established. **Methodology.** The equipment of continuous multicell rolling mills is characterized by non-stationary operating modes, due to the features of the technological process. In this work, such parameters as vibration velocity and vibration acceleration were used as a criterion for reliable operation of the equipment and prevention of an emergency. **Results.** Analysis of changes in the magnitude of vibration velocity showed that the jump in this parameter is a result of deviations in the technological rolling mode, namely, uneven heating of the billet in the furnace, with a temperature drop of more than 160° C. **Originality.** To reduce the influence of temperature drop, the author proposed to increase the rate of rise of the slab,

after which its movement is carried out at normal speed, thereby increasing the interval of time the slabs are on walking beams. Thus, additional heating of the contact zones of the workpiece with the fixed beams is provided. In addition, it was noted that the structural feature of the vertical stand of the mill (high foundation) indicates its increased sensitivity to shock loads that occur when the deformation zone is filled with metal, compared with the horizontal execution of the stands. **Practical value.** The uniformity of heating over the cross section and length of the workpiece eliminates the occurrence of shock during the capture and rolling of the slab by the rolls of a vertical stand. The acceptable value of the temperature drop along the length of the slab can be considered a range from 60 to 160 ° C, which does not lead to shock excitation by the stands for a duration of more than 1 - 2 seconds. The developed recommendations are tested in real production conditions and can be used at similar enterprises. References 7, tables 2, figures 6.

**Key words:** vibration, fluctuations, temperature, slab, rolling mill, mill, speed, acceleration.

## REFERENCES

1. Sklar, V. O. (2014), *Innovacionnye i resurso-sberegayushie tehnologii vmetallurgii. Uchebnoe posobie*, [Innovative and resource-saving technologies in metallurgy. Tutorial.], DonNTU, Donetsk, Ukraine.
2. Verenev, V. O., Putnoki, A. Yu., Podobedov, N. I. (2017), *Perehodnye processy pri nepreryvnoj prokatke: monografiya*, [Continuous Rolling Transients: Monograph], Litograf, Dnipro, Ukraine.
3. Lundberg, S. E. Low temperature rolling saves energy in the rolling of wire and bar, METEC – 84: 2 Jnt. Walzwerkskongr., Dusseldorf, 22-28 Juni, 1984. Bd. 2 – Dusseldorf, 1984, 52/1 –G2/12.
4. Bolshakov, V. I., Pozdnyakov, V. P. (1999), “Features of the operation of the equipment of the main lines of roughing stands of hot rolling mill 1680, Protection of metallurgical machines of breakdowns”, *Mizhuzyvskij tematicnij zbyrnik naukovih prac PDTU*, vol. 4, pp. 15-24.
5. Kuznetsov, Yu. V., Brovkin, V. L. (1991), “Improving the quality of rolling under deformation conditions at low heating temperatures”, *Stal*, no. 11, pp. 65-67.
6. GOST R ISO 10816-3-2002 (2003), “Vibration. Monitoring the condition of machines by measuring vibration on non-rotating parts. Part 3. Industrial machines rated at more than 15 kW and rated at 120 to 15,000 rpm”, Standartinform, Moscow, Russia.
7. SA 03-001-05 (2005), “Association standard. Centrifugal pumping and compressor units of hazardous industries. Operating standards of vibration”, Standartinform, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 27.06.2019.