

УДК 621.771.06

Артюх В.Г.¹, Артюх Г.В.², Ломакина Н.В.³, Мазур В.О.⁴

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТРОЙСТВ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАСПОРА РАБОЧИХ КЛЕТЕЙ

В статье рассмотрена необходимость и обоснована целесообразность использования беззазорных соединений между контактными поверхностями подушек рабочих валков (наделок) и станин (лицевых планок) для уменьшения динамических горизонтальных сил при прокатке и увеличения срока службы оборудования. Предложено техническое решение на базе черновой толстолистовой прокатной клетки кварты ЛПЦ–3000 ПАО «ММК им. Ильича» (г. Мариуполь, Украина), которое может использоваться на большинстве тяжело нагруженных листовых и трубопрокатных станков.

Ключевые слова: прокатный стан, рабочая клеть, захват раската валками, горизонтальная сила, зазор, горизонтальный распор клетки.

Артюх В.Г., Артюх Г.В., Ломакина Н.В., Мазур В.О. Доцільність використання пристроїв горизонтального розпору клітей. У статті розглянуто необхідність та обґрунтовано доцільність використання беззазорних з'єднань між контактними поверхнями подушок робочих валків (наділок) та станин (лицьових планок) для зменшення динамічних горизонтальних сил та збільшення терміну служби устаткування. Запропоновано технічне рішення на базі чорнової прокатної кліті кварти ЛПЦ–3000 ПАТ «ММК ім. Ілліча» (м. Маріуполь, Україна), яке може використовуватися на більшості важконавантажених листових та трубопрокатних станів.

Ключові слова: прокатний стан, робоча кліть, захват розкату валками, горизонтальна сила, зазор, горизонтальний розпір кліті.

V.G. Artyukh, G.V. Artyukh, N.V. Lomakina, V.O. Mazur. Expediency of application of a device for making the horizontal thrust of a rolling mill stand. The article shows the necessity and it is proved the usage of gapless connections between contact surfaces of rolling rolls chocks (lining straps) and frames (facing strips) for reduction of dynamic horizontal forces during rolling and increasing of equipment durability. Technical solution is offered on the base of the roughing four-stand of the '3000' thick plate mill shop of PJSC 'MMPP n. Ilich' (Mariupol city, Ukraine) which can be used on most heavy loaded plate and tube rolling mills.

Keywords: rolling mill, working stand, metal biting, horizontal force, gap, horizontal thrust of stand.

Постановка проблемы. Рабочие клетки прокатных станков, как правило, эксплуатируются с использованием интенсивных режимов работы, при которых масса раската непрерывно увеличивается по сравнению с первоначально рассчитанной изготовителями оборудования, и зачастую с использованием скоростей задачи в валки большими, чем соответствующие скорости прокатки на рабочих валках (РВ), что вызывает значительные увеличения коэффициентов динамичности прокатных клетей [1]. Такой динамический характер нагружения может приводить к явлениям усталости и даже к поломкам дорогостоящего оборудования. Кроме того, такой характер нагружения со временем приводит к пластическим деформациям проемов станин, лицевых планок, подушек и наделок [2, 3]. Восстановление этих деталей чрезвычайно трудоемко и дорого. Поэтому необходимым является использование технологических и конструктивных мер уменьшения динамических сил.

Анализ последних исследований и публикаций. Известно, что основными причинами возникновения динамических нагрузок при работе прокатного стана являются: захват металла

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ инженер – конструктор ПКО, ПАО «ММК им. Ильича», г. Мариуполь

⁴ инженер – конструктор ПКО, ПАО «ММК им. Ильича», г. Мариуполь

валками и сброс нагрузки (выход металла из валков). Изначально нагрузки концентрируются в зоне пластической деформации металла, а их дальнейшее распространение происходит через верхний рабочий (ВРВ) и нижний рабочий (НРВ) валки.

Значительный рост динамических нагрузок при захвате металла валками связан с ростом зазоров и их ударным замыканием в соединениях: элементов главного привода; поверхностей, передающих усилие прокатки; элементов клетки (подушек РВ и опорных валков (ОВ), станин, лицевых планок и наделок).

Одними из наиболее «опасных» динамических нагрузок, которые действуют на оборудование валковой группы и станин при прокатке, являются горизонтальные силы, величины которых могут достигать значений 9...12 МН [3, 4 и 5], в том числе и из-за наличия зазоров в горизонтальном направлении между элементами узлов подушек и станин. Поэтому целесообразным является нахождение конструктивных и технологических средств и технических решений, позволяющих обеспечить нулевые начальные условия и безззорное движение системы при прокатке раската, что значительно улучшит динамические характеристики всего стана. Наиболее интересные конструкторские и технические решения по использованию устройств горизонтального распора прокатных клетей и ликвидации зазоров между лицевыми планками и наделками их авторами предлагается внедрить на действующем прокатном оборудовании [6, 7]. Общими недостатками этих решений являются: отсутствие возможности продолжать прокатку при поломке одного устройства горизонтального распора клетки, значительная металлоемкость устройств; отсутствие демпфирующих элементов для снижения энергии удара ВРВ и НРВ в сборе с подушками, проводками, наделками и т.д. о станины прокатной клетки. Устранению этих недостатков и служит данная статья.

Цель статьи – анализ целесообразности использования безззорных соединений между контактными поверхностями подушек рабочих валков (наделок) и станин (лицевых планок) для уменьшения динамических горизонтальных сил при прокатке и увеличения срока службы оборудования. Для черновой толстолистовой прокатной клетки кварто ЛПЦ–3000, которая является одной из основных прокатных клетей на ПАО «ММК им. Ильича», необходимо предложить техническое решение, обеспечивающее увеличение срока службы основного прокатного оборудования и качество получаемого проката. При этом его установка должна быть возможна на используемом оборудовании без значительных токарных операций, что может ослабить существующие детали и узлы.

Изложение основного материала. Ниже рассматривается техническое решение, обеспечивающее получение безззорного соединения между контактными поверхностями наделок подушек РВ и лицевых планок станин на базе черновой толстолистовой прокатной клетки кварто ЛПЦ–3000 ПАО «ММК им. Ильича» (Украина, г. Мариуполь). Объект и места предполагаемого монтажа устройств горизонтального клинового распора клетки (ГКРК) выбраны не случайно, а исходя из того, что черновая клеть ЛПЦ–3000 эксплуатируется с 1983 года, и за это время на ее базе выполнено несколько научно-исследовательских работ [8, 9], данные из которых необходимы для выполнения прочностного расчета устройств ГКРК. При этом новая конструкция узлов ГКРК обеспечивает плавное и равномерное распределение горизонтальной нагрузки между контактными поверхностями лицевых планок станин и наделок подушек РВ, изготовленных из низко модульного материала, и позволяет снизить горизонтальные динамические нагрузки и колебания, генерируемые в деталях валковой группы и станин, способствуя стабилизации взаимного положения РВ для улучшения качества проката.

В данной работе детально показана установка устройств ГКРК на базе подушек НРВ со стороны привода черновой прокатной клетки кварто ЛПЦ–3000. Техническое решение поясняется описанием и прилагаемыми чертежами, где изображены: на рис. 1 -черновая прокатная клеть ЛПЦ–3000 (общий вид со стороны привода); на рис. 2 сечение А–А согласно рис. 1 (сторона привода); на рис. 3 -сечение Б–Б согласно рис. 2 (рабочее и нерабочее положения).

Черновая прокатная клеть кварто ЛПЦ–3000 с установленными узлами ГКРК (рис. 1) включает подушки 1 и 2 верхнего 3 и нижнего 4 ОВ, которые контактируют с соответствующими РВ 5 и 6.

Подушки 7 ВРВ 5 установлены в проемах подушек 1 верхнего ОВ 3, а подушки 8 НРВ 6 установлены в проемах станин 20.

Узлы ГКРК в клетке кварто ЛПЦ–3000 работают следующим образом. При завалке новых

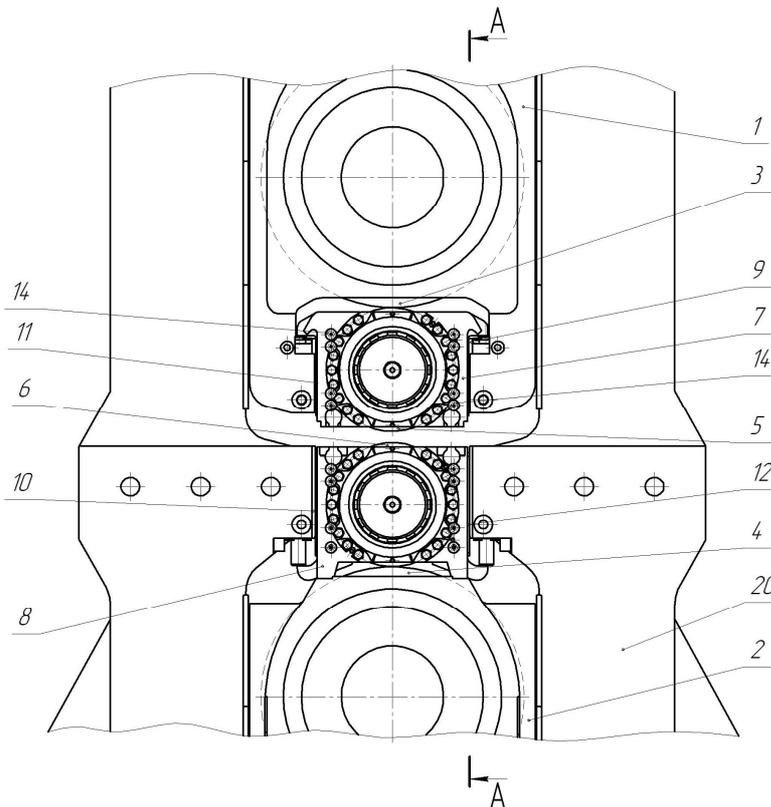


Рис. 1 – Общий вид черновой прокатной клетки с узлами ГРК со стороны привода

перемещение приводных клиньев 15 в нерабочее положение не потребуется, так как использование вставок 17 и наделок 11 и 12, изготовленных из низко модульного материала, не препятствует перемещению подушек 7 и 8 РВ 5 и 6. При этом использование вставок 17 и наделок 11 и 12, изготовленных, например, из полиамида, полипропилена, полиэтилена или полиуретана с большой энергоемкостью позволяет: равномерно распределить горизонтальную нагрузку между контактными поверхностями планок 11, 12, подушек 7, 8 и планок 9, 10, подушек 1 и станин 20. При малых величинах динамической силы горизонтального удара целесообразно изготавливать вставки 17 и наделки 11 и 12 из полиамида или полипропилена, при значительных величинах горизонтальных сил из полиэтилена или полиуретана.

Выполненные аналитический и прочностные расчеты устройств ГРК подтверждают целесообразность их использования не только на базе черновой прокатной клетки кварто ЛПЦ-3000, но и в прокатных клетях различных типов станов, что позволит снизить энергию горизонтального удара подушек РВ и НРВ о станины (подушки ОВ). Кроме этого, уменьшатся величины горизонтальных колебаний элементов клетки за счет равномерного распределения и демпфирования горизонтальной нагрузки между контактными поверхностями лицевых планок станин (подушек ОВ) и наделок из низко модульного материала подушек РВ.

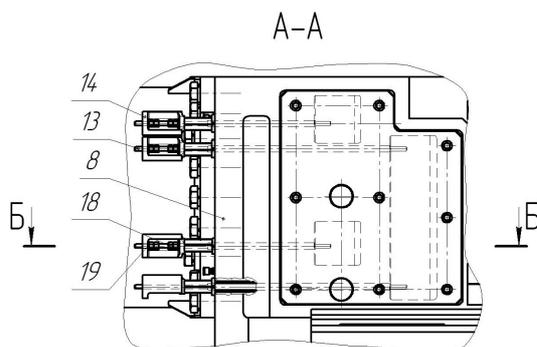


Рис. 2 – Общий вид подушки НРВ с установленными узлами ГРК

или вывалке отработавших РВ 5 и 6 с подушками 7 и 8 приводные клинья 15 находятся в нерабочем положении. После установки подушек 7 и 8 в рабочее положение, используя фиксаторы 14, гайки 18, шайбы 19 и рычаги 13 (рис. 2), перемещают приводные клинья 15 в рабочее положение. При этом перемещаются в рабочие положения подвижные клинья 16 и вставки 17 (рис. 3), что приводит к равномерному сжатию на требуемую величину $\delta = 1-3$ мм вставок 17, наделок 11 и 12, изготовленных из низко модульного материала. В результате полностью ликвидируется зазор Δ (см. рис. 3) между контактными поверхностями планок 9 и 10, 11 и 12, что в несколько раз снижает величину горизонтальной силы удара при захвате металла РВ 5 и 6 и выходе прокатываемого металла из валков. При изменении величины «раствора» РВ 5 и 6

перемещение приводных клиньев 15 в нерабочее положение не потребуется, так как использование вставок 17 и наделок 11 и 12, изготовленных из низко модульного материала, не препятствует перемещению подушек 7 и 8 РВ 5 и 6. При этом использование вставок 17 и наделок 11 и 12, изготовленных, например, из полиамида, полипропилена, полиэтилена или полиуретана с большой энергоемкостью позволяет: равномерно распределить горизонтальную нагрузку между контактными поверхностями планок 11, 12, подушек 7, 8 и планок 9, 10, подушек 1 и станин 20. При малых величинах динамической силы горизонтального удара целесообразно изготавливать вставки 17 и наделки 11 и 12 из полиамида или полипропилена, при значительных величинах горизонтальных сил из полиэтилена или полиуретана.

Выполненные аналитический и прочностные расчеты устройств ГРК подтверждают целесообразность их использования не только на базе черновой прокатной клетки кварто ЛПЦ-3000, но и в прокатных клетях различных типов станов, что позволит снизить энергию горизонтального удара подушек РВ и НРВ о станины (подушки ОВ). Кроме этого, уменьшатся величины горизонтальных колебаний элементов клетки за счет равномерного распределения и демпфирования горизонтальной нагрузки между контактными поверхностями лицевых планок станин (подушек ОВ) и наделок из низко модульного материала подушек РВ.

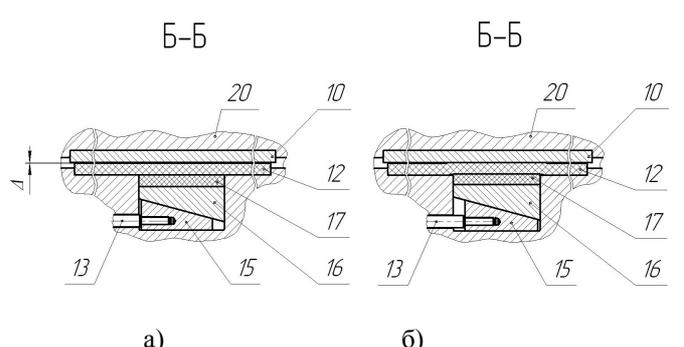


Рис. 3 – Сечение узла ГРК: а – нерабочее положение; б – рабочее положение

Нижче приведені результати прочностного розрахунку деталей вузлів ГКРК, установлюваних на базі подушки НРВ (сторона привода) чернкової прокатної кліти кварто ЛПЦ–3000. Для цього визначалися еквівалентні напруження (для сталевих деталей) і напруження стиснення (для елементів з поліуретану) в системі «подушка НРВ со сторони привода (матеріал сталь 30ХГСФЛ по ГОСТ 977-75) – деталі вузлів ГКРК – наделка (матеріал поліуретан); лицева планка станини (матеріал сталь 45 по ГОСТ 1050-88) – станина (матеріал сталь 20Л по ГОСТ 977-75)» виникаючі при захваті металла валками. Для цього була побудована математична модель (ММ) (рис. 4), в якій вузли і деталі знаходяться в робочому положенні, виконані на неї горизонтальною силою $F=0,51\text{МН}$ [9] і розрахунок з використанням методу кінцевих елементів (МКЕ) в відповідності з послідовністю і рекомендаціями при виконанні прочностних розрахунків [10]. Результати прочностного розрахунку еквівалентних напружень по Місесу показані на рис. 5-6, де при однакових функціях (названнях) елементів вузлів ГКРК приводяться деталі з максимальними величинами напружень.

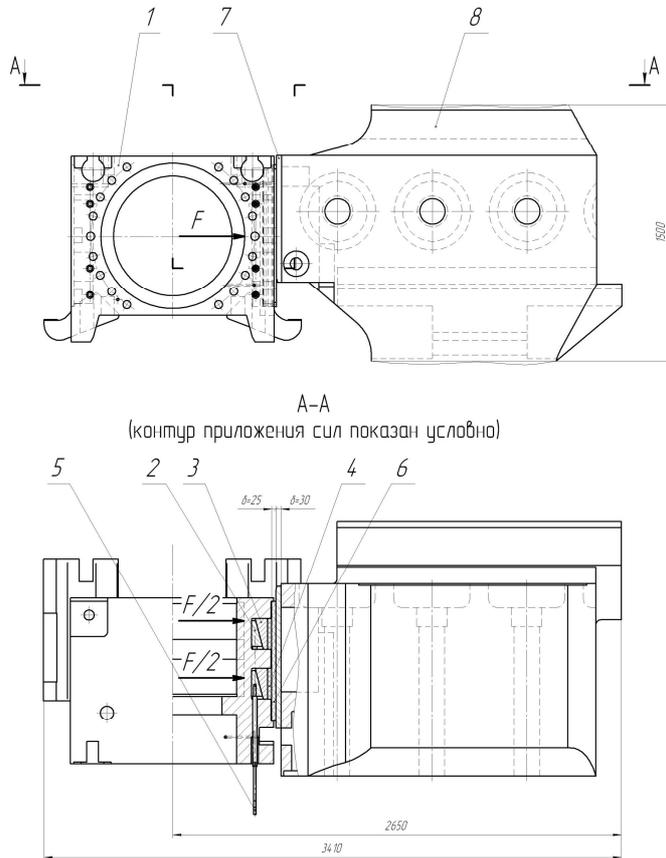


Рис. 4 – Схема навантаження ММ силою F : 1 – подушка НРВ; 2 – клин приводної; 3 – клин подвижний; 4 – вставка; 5 – рычаг; 6 – наделка подушки НРВ; 7 – лицева планка; 8 – станина

Результати прочностного розрахунку напружень стиснення показані на рис. 6, де показана вставка з максимальними величинами напружень. При такому навантаженні деталей з поліуретану максимальне напруження стиснення $\sigma_{сж} = 12,27\text{ МПа}$ (рис. 6) при допустимому напруженні $[\sigma_{сж}] = 15 \dots 18\text{ МПа}$, приймаємо в залежності від марки поліуретану. Сумарна осадка наделки подушки НРВ і вставки з поліуретану в напрямленні дії горизонтальної сили склали $\delta = 0,9 \dots 1,2\text{ мм}$, що є допустимим [10] і свідчить про необхідності виведення вузлів ГКРК на величину $1,2 \dots 1,5\text{ мм}$ для ліквідації зазору в горизонтальному напрямленні.

Результати прочностного розрахунку напружень стиснення показані на рис. 6, де показана вставка з максимальними величинами напружень. При такому навантаженні деталей з поліуретану максимальне напруження стиснення $\sigma_{сж} = 12,27\text{ МПа}$ (рис. 6) при допустимому напруженні $[\sigma_{сж}] = 15 \dots 18\text{ МПа}$, приймаємо в залежності від марки поліуретану. Сумарна осадка наделки подушки НРВ і вставки з поліуретану в напрямленні дії горизонтальної сили склали $\delta = 0,9 \dots 1,2\text{ мм}$, що є допустимим [10] і свідчить про необхідності виведення вузлів ГКРК на величину $1,2 \dots 1,5\text{ мм}$ для ліквідації зазору в горизонтальному напрямленні.

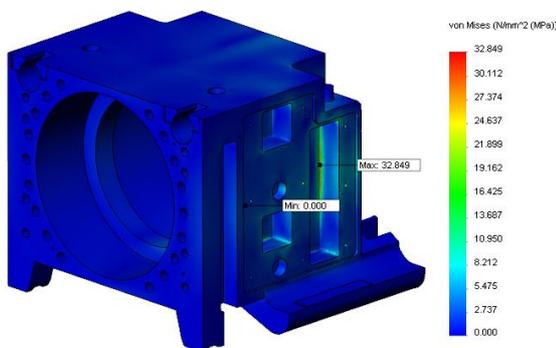


Рис. 5 – Результати прочностного розрахунку подушки НРВ со сторони привода

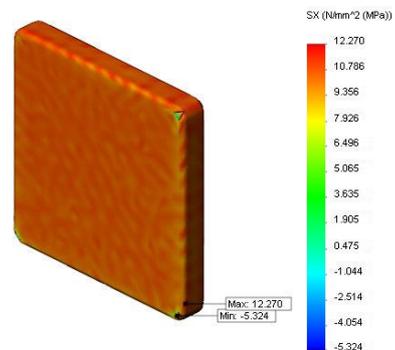


Рис. 6 – Результати прочностного розрахунку вставки

Для підтвердження цілесобразності використання пристроїв ГКРК на базі подушки НРВ (сторона привода) чернкової прокатної кліти кварто ЛПЦ–3000 було виконано напруже-

ние ММ используемого в настоящее время оборудования согласно [10]. Результаты расчета приведены в таблице 1.

Для обоснования принятых технических решений по конструктивному исполнению устройства ГКРК необходимо сравнить результаты прочностных расчетов моделей (см. табл. 1). Результаты процентного уменьшения максимальных эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв. max}}$, возникающих в соответствующих элементах черновой клетки с узлом ГКРК подушки НРВ, в сравнении с рассчитанными $\sigma_{\text{экв. max}}$ в элементах черновой клетки имеющейся конструкции при горизонтальном динамическом ударе подушки НРВ о станину приведены в таблице 2.

Таблица 1

Величины максимальных напряжений в деталях ММ

	Напряжения	Подушка НРВ	Клин приводной	Клин подвижный	Наделка (вставка)	Тяга	Лицевая планка	Станина
Детали узлов ГКРК	$\sigma_{\text{экв. max}}$, МПа	32,849	23,167	19,006	X	39,38	53,524	57,302
	$\sigma_{\text{сж. max}}$, МПа	X	X	X	12,27	X	X	X
Действующее оборудование	$\sigma_{\text{экв. max}}$, МПа	81,319	X	X	198,686	X	286,226	93,174

Таблица 2

Процентное уменьшение максимальных эквивалентных напряжений при использовании узлов ГКРК

	Станина	Лицевая планка	Подушка НРВ
Уменьшение, %	38,5	81,3	59,6

Как видно из результатов расчета (см. табл. 2), при использовании устройств ГКРК существенно уменьшаются максимальные эквивалентные напряжения в узлах черновой прокатной клетки кварто ЛПЦ–3000. Материалоемкость и компактность узлов ГКРК позволяет выполнить их установку в установочные пазы в подушках РВ как в новое, так и реконструированное оборудование. Разработка защищена патентом Украины на изобретение [11].

Выводы

Использование устройств ГКРК позволит: снизить горизонтальные динамические нагрузки и колебания, действующие на оборудование валковой группы и станины; более равномерно распределить горизонтальную нагрузку между контактными поверхностями лицевых планок станин и наделок подушек РВ; ликвидировать зазор между контактными поверхностями устройств ГКРК в горизонтальном направлении при эксплуатации прокатных клетей; стабилизировать взаимное положение РВ для улучшения качества проката.

Список использованных источников:

1. Артюх В.Г. Влияние времени захвата раската рабочими валками на динамические нагрузки в листовых прокатных клетях / В.Г.Артюх, С.В.Казанцев, В.О.Мазур // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь, 2010. – Вып. 12. – С. 163-171.
2. Повышение работоспособности валковых опор широкополосных станов / Ю.В.Липухин [и др.] // Сталь. – 1987. – №1. – С. 56-61.
3. Ищенко А.А. Экспериментальная оценка ударных нагрузок на станины рабочих клетей листовых станов. / А.А.Ищенко, И.А.Калиниченко, В.П.Гришко // Сталь. – 2009. – №5. - С. 56-58.
4. Снижение динамических нагрузок при захвате полосы на широкополосных станах / В.Д.Плахтин [и др.] // Черная металлургия: Бюллетень ин-та «Черметинформация». – 1983. – №10. – С. 36-37.
5. Мазур В.О. К вопросу определения горизонтальных сил при листовой прокатке / В.О.Мазур // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь, 2008. – Вып. 10. – С. 79-86.
6. Пат. 2014919 Россия, МКИ В 21 В 31/04. Рабочая клеть листового прокатного стана / Плахтин В.Д., Бобух И.А., Канев Н.Г. и др. (Украина) // №5056022/27. Заявлено 02.06.1992; Оpubл. 30.06.1994, Бюл. №12. - 5с.
7. Пат. 2025158 Россия, МКИ В 21 В 31/02. Комплект подушек валков прокатной клетки / Бо-

бух И.А., Плахтин В.Д., Пономарев В.И. и др. (Украина) // №5030585/27. Заявлено 04.03.1992; Оpubл. 30.12.1994, Бюл. №12.- 9с.

8. Разработка мероприятий по стабилизации работы главных линий рабочих клетей ТЛС 3000 ММК им. Ильича при проектной производительности и их внедрение. Этап III. Разработка технических требований на изготовление и эксплуатацию основных деталей рабочих клетей стана и предложений в технологические инструкции по производству тяжелого сортамента: отчет о НИР: № 70 – 2462 / ВНИИМЕТМАШ; рук. Коновалов Л.В.; исполн.: Воронцова Г.В. и др. – Москва, 1992. – 218 с.

9. Исследование динамических нагрузок на станины клетки стана 3000 в процессе прокатки и разработка предложений по оптимизации его работы: отчет о НИР: № 6/04 / ПГТУ; рук. Ищенко А.А.; исполн.: Гришко В.П. и др. – Мариуполь, 2006. – 118 с. – № ГР 0104U005363.

10. Артюх В.Г. Анализ напряженного состояния элементов прокатной клетки / В.Г.Артюх [и др.] // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь, 2010. – Вып. 12. – С. 172-178.

11. Пат. 92400 Україна, МПК В21В 13/00. Комплект подушок валків прокатної кліті / Артюх В.Г., Артюх Г.В., Мазур В.О. (Україна) // №а 2009 00190.- Заявлено 12.01.2009; Оpubл. 25.10.2010, Бюл. №20.- 6с.

Рецензент: В.И. Капланов
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 17.12.2010