

УДК 621.74.047.06:001

А.Л. Сотников /д.т.н./, Л.П. Мироненко, С.А. Руссиян /к.т.н./
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)
Д.В. Ильченко
Министерство транспорта Донецкой Народной Республики (Донецк)

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ВЫСТАВКИ ОБОРУДОВАНИЯ СОРТОВОЙ МНЛЗ

Предложена технология и принципы рациональной выставки оборудования сортовых машин непрерывного литья заготовок, основанная на высокоточных онлайн-геодезических измерениях. Показано, что при выставке оборудования участка формирования непрерывнолитого слитка МНЛЗ относительно технологической оси в первую очередь следует руководствоваться отклонениями координат положения оборудования относительно заданных проектно-конструкторской документацией. Во-вторых – значением относительной разницы радиусов кривизны сопряженных дугообразных участков, образующих технологическую ось. Минимального значения разницы радиусов кривизны можно достичь путем совмещения их центров при условии равенства значения кривизны.

Ключевые слова: МНЛЗ, технологическая ось, контроль положения, выставка оборудования, радиус кривизны.

Постановка проблемы

Протяженность участка формирования непрерывнолитого слитка (НЛС) радиальной сортовой машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) составляет пару десятков метров, на протяжении которого механическое оборудование участка должно быть выставлено относительно дугообразной технологической оси ручья с точностью $\pm 0,2-0,5$ мм. В процессе эксплуатации МНЛЗ возникают отклонения (ошибки) положения оборудования значительно выше установленного допуска. Данные отклонения зависят от многих факторов, связанных как с точностью проведения сборочных и монтажных работ в процессе текущего и капитального ремонтов МНЛЗ, так и с техническим состоянием, условиями и режимами эксплуатации оборудования МНЛЗ. В ряде случаев обеспечить указанную точность выставки оборудования МНЛЗ относительно технологической оси ручья не получается, в связи с чем необходима разработка технологии и принципов высокоточной выставки оборудования машины.

Анализ последних исследований и публикаций

Как правило, контроль положения и выставка оборудования МНЛЗ осуществляется относительно рядом расположенного оборудования с помощью строительных уровней, отвесов и струн, линеек и шаблонов. При этом руководствуются положениями, разработанными в 80-х годах прошлого века [1], или проектно-

конструкторской документацией заводов-изготовителей современных МНЛЗ.

Известен ряд работ отечественных и зарубежных специалистов по разработке различных методов контроля положения узлов и механизмов МНЛЗ относительно рядом расположенного оборудования [2 и др.]. Практического применения данные разработки не нашли в силу несовершенства технических решений и применявшихся электронно-вычислительных средств на момент их разработки в 80-90-х годах XX века.

С появлением современных технологий и инструментов геодезических методов контроля положения оборудования, а также электронно-вычислительных средств стало возможным решение задач точной выставки оборудования относительно технологической оси МНЛЗ [3-6]. В основе разработанных технологий используется электронный тахеометр [6-8], позволяющий выполнять измерение расстояний, горизонтальных и вертикальных углов, а также определять координаты и высоты точек с точностью 0,1 мм.

При этом на практике при контроле положения и выставке оборудования сортовых МНЛЗ с помощью разработанных технологий всегда возникал вопрос – какими принципами выставки оборудования следует руководствоваться? Стремиться к обеспечению отклонений положения оборудования в пределах установленного допуска или обеспечению заданной формы технологической оси ручья МНЛЗ? При этом, как было установлено на практике, отклонения положения оборудования в пределах установлен-

ного допуска не гарантируют соответствие формы технологической оси ручья МНЛЗ заданной проектно-конструкторской документации машины.

Цель (задачи) исследования

Целью настоящей работы является установка взаимосвязи между отклонениями положения оборудования участка формирования НЛС и формой технологической оси ручья МНЛЗ на данном участке с разработкой принципов высокоточной выставки оборудования сортовой МНЛЗ относительно технологической оси ручья.

Основной материал исследования

Выбор формы технологической оси МНЛЗ и расположение оборудования участка формирования НЛС осуществляется при профилировании технологического канала МНЛЗ из условия осуществления литья заготовок с расчетной максимальной скоростью и движения слитка с минимальными напряжениями деформации правки для вывода его на горизонт.

Минимальные напряжения деформации зависят от радиуса кривизны технологической оси машины и шага установки роликов зоны вторичного охлаждения (ЗВО) и тянуще-правильного устройства (ТПУ) [9-12]. Переменный радиус технологической оси обеспечивает в процессе литья заготовок прогрессирующую правку НЛС по нескольким участкам разгиба, характеризующимся различными радиусами для вывода на горизонт. Радиус начальной дуги окружности является базовой характеристикой радиальной МНЛЗ. Таким образом, к основным параметрам технологической оси МНЛЗ, то есть к базовым конструкторским параметрам машины, относятся базовый радиус и сопряженные радиусы разгиба слитка при многоточечном разгибе, шаг расстановки роликов вдоль оси, отклонение роликов от оси и длина технологической оси.

При профилировании технологического канала ручья МНЛЗ и выбора его основных параметров учитывается, что напряжения деформации правки σ_n слитка для вывода его на горизонт зависят от радиуса кривизны R технологической оси, например, в простейшем виде [2]:

$$\sigma_n = \frac{Eh}{2R},$$

где E – модуль упругости металла НЛС при температуре плавки; h – толщина слитка.

Из приведенной зависимости следует, что изменение радиуса кривизны технологической оси приводит к изменению напряжения правки,

при этом зависимость линейная. Увеличение радиуса кривизны на 10 % приведет к пропорциональному повышению напряжения деформации также на 10 %, и наоборот. При этом если рассмотреть возможность изменения радиуса кривизны на $\pm 0,2-0,5$ мм (в пределах установленного проектно-конструкторской документацией допуска), то видно, что это не отразится на значении напряжения деформации.

В случае многоточечного разгиба НЛС технологическая ось ручья МНЛЗ образуется совокупностью сопряженных дуг окружностей с различными радиусами. В этом случае кривизна технологической оси и степень деформации должны быть постоянными на всем участке формирования слитка. Функция кривизны, а также первая и вторая ее производные не должны иметь разрывов. А это будет возможно, если кривизна каждого дугообразного участка технологической оси, характеризуемого своим радиусом дуги (кривизны), будут равны как между собой, так и некоторому заданному значению. В общем случае кривизна равна:

$$K = \frac{1}{R}.$$

С помощью разработанной технологии выставки оборудования МНЛЗ были проведены работы по определению отклонений положения оборудования относительно технологической оси ручья радиальной сортовой МНЛЗ конструкции Daniela в условиях Донецкого электрометаллургического завода (ДЭМЗ) [13,14,15]. Результаты были получены следующие.

Установлено, что максимальное отклонение роликов от технологической оси ручья МНЛЗ было в ЗВО, минимальное – на ТПУ. Из четырех секций ЗВО ролики секций № 1 и № 2 имели значительные отклонения, соответственно – 32,71 и 21,37 мм. Отклонение положения роликов в вертикальной продольной плоскости привело к изменению шага расположения роликов. Среднее значение угла наклона нормали составляло $0,12^\circ$.

На рис. 1 приведена гистограмма распределения значений отклонений (с учетом знака) линейных координат положения роликов ЗВО и ТПУ. Среднее отклонение составляло 10,88 мм (максимальное – 46,59 мм, минимальное – 0 мм), что соответствует точности выставки оборудования с помощью таких широко применяемых инструментов, как линейки, машиностроительные уровни, струны и шаблоны [16].

По абсолютным координатам положения роликов ЗВО и тянущего ролика ТПУ можно

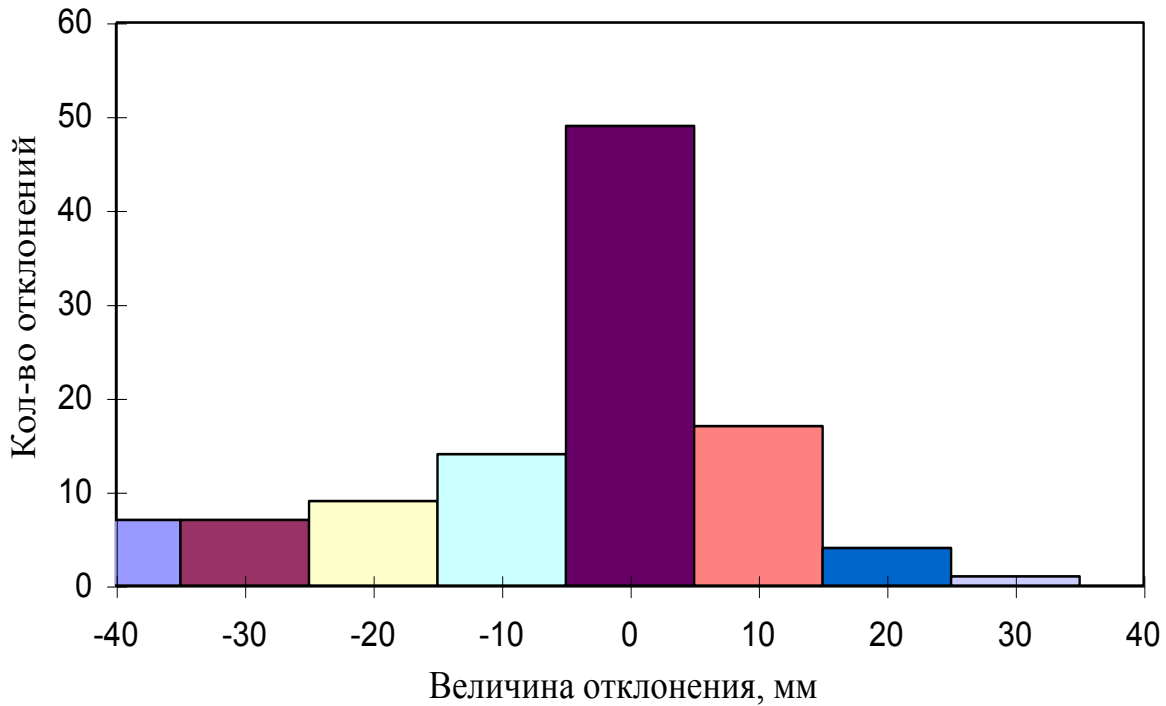


Рис. 1. Гистограмма распределения отклонений фактических координат положения роликов ЗВО и ТПУ МНЛЗ Daniela

определить фактический радиус дуги окружности, являющейся технологической осью МНЛЗ. Это позволяет дать оценку технологической оси машины с точки зрения осуществления прогрессирующей правки НЛС.

Для определения радиуса дуги окружности, образующейся в результате расположения роликов ЗВО с отклонениями, была составлена следующая система уравнений (рис. 2) – математическая модель технологической оси:

$$\begin{cases} S_1^2 = (R + r_2)^2 + (R + r_1)^2 - 2(R + r_2)(R + r_1)\cos\alpha_1, \\ S_2^2 = (R + r_3)^2 + (R + r_2)^2 - 2(R + r_3)(R + r_2)\cos\alpha_2, \\ S_3^2 = (R + r_3)^2 + (R + r_1)^2 - 2(R + r_3)(R + r_1)\cos\varphi, \\ \varphi = \alpha_1 + \alpha_2 \end{cases}$$

где R – фактический радиус дуги окружности технологической оси; r_1 , r_2 и r_3 – соответственно фактический радиус трех подряд расположенных роликов; α_1 , α_2 и φ – углы между соответствующими прямыми, проведенными из фактического центра кривизны оси ручья МНЛЗ в центры трех подряд расположенных роликов; S_1 , S_2 и S_3 – расстояние между центрами трех подряд расположенных роликов.

В результате вычислений был определен радиус дуги окружности и отклонения положения

центра кривизны МНЛЗ фактической технологической оси каждого ручья МНЛЗ Daniela на участках между секциями № 1 и № 3 ЗВО и секции № 3 ЗВО и тянущим роликом ТПУ (табл. 1 и 2).

Из приведенных результатов вычислений следует, что отклонение радиуса дуги окружности на участке от секции № 3 ЗВО до тянущего

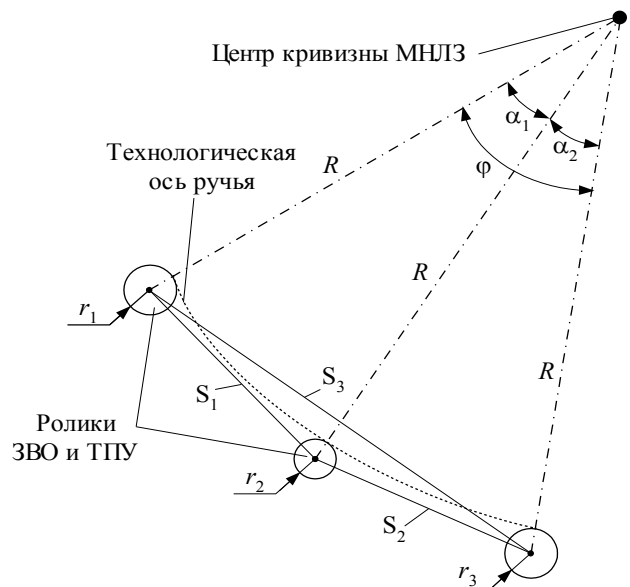


Рис. 2. Расчетная схема к определению фактического радиуса дуги окружности фактической технологической оси ручья МНЛЗ

Табл. 1. Параметры фактических технологических осей ручьев МНЛЗ на участке между роликами секции № 1 и № 3 ЗВО

Ручей	Фактический радиус, R_1 , мм	Отклонение радиуса, ΔR , мм	Отклонение координат центра кривизны МНЛЗ	
			ΔX , мм	ΔY , мм
№ 1	8325,44	325,44	222,53	-229,32
№ 2	7928,74	-71,26	-106,83	10,19
№ 3	8029,30	29,30	-26,33	-47,31
№ 4	7672,07	-327,93	-308,36	182,28
№ 5	7846,10	-153,90	-166,26	66,92
№ 6	7983,72	-16,28	61,74	10,83
Среднее значение	7964,23	-35,77	-53,92	-1,07

Табл. 2. Параметры фактических технологических осей ручьев МНЛЗ на участке между роликом секции № 3 ЗВО и тянущим роликом ТПУ

Ручей	Фактический радиус, R , мм	Отклонение радиуса, ΔR , мм	Отклонение координат центра кривизны МНЛЗ	
			ΔX , мм	ΔY , мм
№ 1	7911,29	-88,71	-45,83	86,35
№ 2	7855,08	-144,92	-58,83	140,19
№ 3	8013,87	13,87	-1,56	-9,22
№ 4	8001,56	1,56	-5,53	-1,93
№ 5	7909,24	-90,76	-40,85	83,42
№ 6	7916,88	-83,12	-53,03	79,60
Среднее значение	7934,65	-65,35	-34,27	63,07

ролика ТПУ в два раза больше, чем на участке между секциями № 1 и № 3 ЗВО. Неравенство радиусов на этих двух участках свидетельствует о наличии перегиба движущегося НЛС на ролике секции № 3 ЗВО и, соответственно, о действии дополнительных нагрузок как на слиток (второй концентратор напряжения в нем), так и на ролик. Меньшие отклонения фактического положения роликов ЗВО и ТПУ не всегда свидетельствует о меньшем значении усилий, действующих на них, что требует проведения дополнительных исследований.

Прогрессирующая правка НЛС на МНЛЗ Danieli осуществляется как минимум по трем участкам, характеризующимся различными радиусами дуги окружности, в отличие от требований по двухточечному разгибу, предъявляемых проектно-конструкторской документацией. Минимальное суммарное отклонение радиусов по двум участкам отмечено на ручье № 3 МНЛЗ. Наименьшее отклонение радиуса отмечено на участке между секцией № 3 ЗВО и тянущим роликом ТПУ ручья № 4-1,56 мм.

По результатам анализа отказов и неисправностей роликов ЗВО и ТПУ (табл. 3) сортовой МНЛЗ конструкции Danieli в условиях ДЭМЗ была отмечена корреляция между уровнем отклонений положения роликов ЗВО и ТПУ относительно технологической оси в радиальном направле-

нии и количеством отказов, приходящихся на соответствующий ролик. Большее количество отказов приходится на ролики, имеющие значительные отклонения положения относительно технологической оси ручья МНЛЗ, что в принципе может и обуславливать возникновение данных отказов.

В процессе эксплуатации МНЛЗ Danieli в условиях ДЭМЗ наиболее часто происходили следующие виды отказов и неисправностей: износ и разрушение подшипников опор роликов; осевое смещение роликов; отсутствие стопорных колец; выработка на прижимных кулисах и заклинивание механизмов прижима роликов (табл. 3).

По результатам количественного анализа отказов и неисправностей роликов (см. табл. 3) следует, что большее их количество приходится на ролики секции № 1 и № 3, соответственно, меньшее количество – в секциях № 2 и № 4. Больше всего отказов роликов приходится на ручьи № 1, № 2, № 5 и № 6, а меньше – на ручей № 3.

Значение и характер появления отклонений или ошибок положения оборудования МНЛЗ можно представить как случайные, вызывающие рассеяние точности конструкторских параметров машины. Изучение и анализ случайных отклонений, как правило, выполняют методами

Табл. 3. Количественный анализ отказов и неисправностей роликов МНЛЗ конструкции Danieli

Ручей	Секция ЗВО				Всего отказов
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
№ 1	5	2	6	1	14
№ 2	7	2	9	1	19
№ 3	2	1	6	1	10
№ 4	2	1	7	2	12
№ 5	7	5	7	1	20
№ 6	5	2	8	3	18
Всего отказов	28	13	43	9	93

статистики, основанными на теории вероятностей. Данные методы дают возможность установить определенную связь между возможными значениями случайной величины и вероятностью их проявления.

Суммарное отклонение (ошибку) положения оборудования МНЛЗ можно определить с помощью статистических методов на основе экспериментальных данных, т.к. числовые значения случайных величин группируются вокруг их среднего значения. Мерой рассеяния этих величин около центра группирования является среднеквадратическое отклонение.

Для проведения статистического анализа были взяты экспериментальные данные распределения отклонений фактических координат положения роликов ЗВО и ТПУ МНЛЗ Danieli.

Так как рассматривается достаточное число независимых однородных параметров, близко изменяющихся по значению, то закон рассеяния случайных величин приближается к закону нормального распределения. Этот закон графически выражается в виде симметричной кривой, асимптотически приближающейся к оси абсцисс. Площадь, ограниченная кривой нормального распределения и осью абсцисс, выражает вероятность попадания случайной величины в этот интервал. Доказано, что с вероятностью,

равной 99,73 %, т.е. близкой к единице, поле рассеяния случайных величин относительно среднего значения лежит в пределах $\pm 3a$, где a – случайная величина [17]. Этот интервал необходимо сравнить с допустимым отклонением положения оборудования МНЛЗ. Если выполняется условие, что допускаемые отклонения положения $[\delta] \geq \pm 3\sigma_\delta$, где σ_δ – среднеквадратическое отклонение координат положения роликов ЗВО и ТПУ, то можно считать, что точность задания выполнена, то есть допуск технологически обеспечен.

Параметры распределения отклонений положения приведены в табл. 4. Статистическая обработка показала, что допускаемое предельное отклонение положения оборудования МНЛЗ при его монтаже с применением традиционных методов и средств составило:

$$\sigma_\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\delta_i - \bar{\delta})^2 m_i} = \sqrt{\frac{1}{108} 12427,55} = 10,73 \text{ мм,}$$

$$\bar{\delta} = \frac{1195}{108} = 11,06 \text{ мм,}$$

где $n=108$ – число измерений; δ_i – случайная величина (отклонение положения ролика), мм; k – число различных значений (интервалов) случайной величины; m_i – частота появления случайной величины.

Тогда допускаемое предельное отклонение координат положения роликов ЗВО и ТПУ радиальной сортовой МНЛЗ при их контроле и выставке с помощью традиционных методов и средств составляет:

$$[\delta] \geq \pm 3 \cdot 11,06 = \pm 33,18 \text{ мм,}$$

что явно не согласуется с требованиями проектно-конструкторской документации завода – изготовителя МНЛЗ.

Табл. 4. Параметры статистического распределения отклонения координат положения роликов ЗВО и ТПУ МНЛЗ Danieli

Интервал, δ_i , мм	Середина интервала, δ'_i , мм	Частота, m_i	$m_i \delta'_i$	$\delta'_i - \bar{\delta}$	$(\delta'_i - \bar{\delta})^2$	$m_i (\delta'_i - \bar{\delta})^2$
0...5	2,5	49	122,50	-8,56	73,36	3594,45
5...15	10	31	310,00	-1,06	1,13	35,15
15...25	20	13	260,00	8,94	79,84	1037,89
25...35	30	8	240,00	18,94	358,54	2868,33
35...40	37,5	7	262,50	26,44	698,82	4891,73
Сумма:	–	108	1195,00	–	–	12427,55

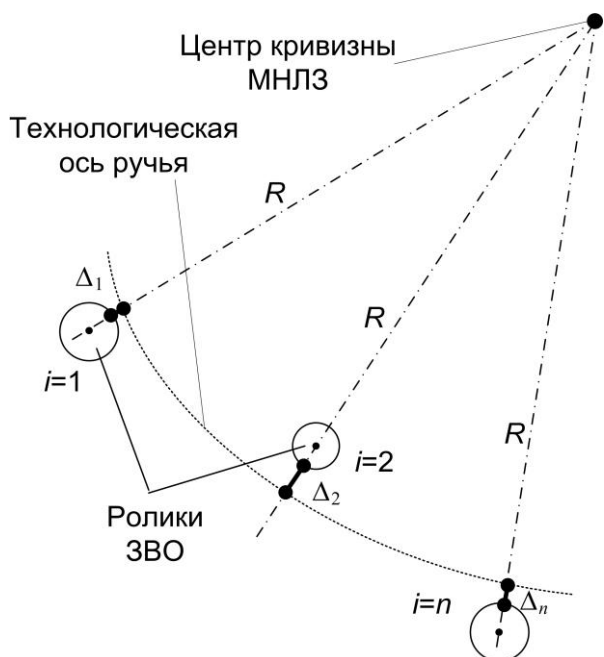


Рис.3. Расчетная схема для определения абсолютной погрешности и среднеквадратичного отклонения положения роликов ЗВО

Если рассматривать отклонения положения, например, роликов ЗВО относительно «идеальной» технологической оси, т.е. заданной согласно проектно-конструкторской документации в радиальном направлении (рис. 3), то согласно теории погрешностей можно вычислить абсолютную погрешность во всей системе роликовой проводки ЗВО:

$$\sum_{i=1}^n \Delta_i,$$

где n – число роликов; Δ_i – отклонение i -го ролика от идеальной технологической оси, а также определить абсолютную погрешность на каждом ролике ЗВО:

$$\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n}.$$

Среднеквадратичное отклонение положения ролика относительно «идеальной» технологической оси будет равно:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}}.$$

В табл. 5 приведены результаты расчета для роликов ЗВО МНЛЗ Danieli по имеющимся экспериментальным данным. Анализ приведенных данных показывает, что наименьшая абсолютная погрешность и среднеквадратичное отклонение положения роликов наблюдается на ручье № 5, а наибольшее – на ручье № 6. Сам по себе данный анализ малоинформативен, т.к. не коррелируется ни с какими данными проведенных исследований.

Табл. 5. Абсолютная погрешность и среднеквадратичное отклонение положения роликов ЗВО относительно «идеальной» технологической оси

Ручей	Ролики ЗВО					$\sum_{i=1}^n \Delta_i$	$\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n}$	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}}$
	Δ_1	Δ_2	Δ_3	Δ_4	Δ_5			
№ 1	38,32	9,98	7,89	8,49	0,19	64,49	12,90	20,63
№ 2	32,87	20,65	1,59	6,86	1,92	60,05	12,01	19,75
№ 3	38,40	22,42	7,75	5,95	4,78	79,30	15,86	22,89
№ 4	22,93	28,38	3,36	1,76	0,07	56,36	11,27	18,34
№ 5	25,10	19,59	0,04	1,59	5,34	40,90	8,18	16,16
№ 6	38,66	27,19	12,60	10,42	0,87	88,00	17,60	25,01

Табл. 6. Параметры технологической оси в ЗВО МНЛЗ Danieli

Ручей	Радиус кривизны оси на участке между роликами, мм		Среднеквадратичное отклонение координат фактического центра кривизны	Относительная разница в значении радиуса кривизны, %
	секции № 1 и №3 ЗВО	секции № 3 ЗВО и тянущим роликом ТПУ		
№ 1	8325,44	7911,29	334,16	4,97
№ 2	7928,74	7855,08	186,09	0,93
№ 3	8029,30	8013,87	54,94	0,19
№ 4	7672,07	8001,56	358,25	4,12
№ 5	7846,10	7909,24	201,86	0,80
№ 6	7983,72	7916,88	112,06	0,93

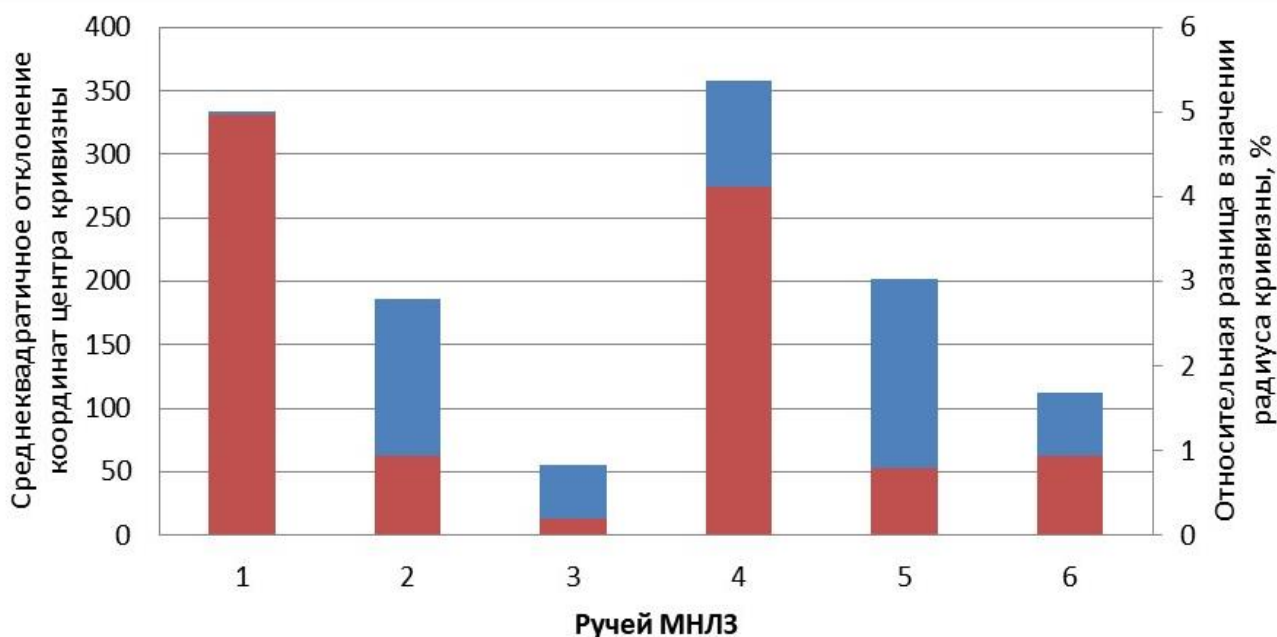


Рис. 4. Среднеквадратичное отклонение координат фактического центра кривизны – 1 и относительная разница в значении радиуса кривизны – 2 на участке технологической оси ЗВО МНЛЗ Danieli

Как показывают экспериментальные данные на МНЛЗ Danieli (см. табл. 1 и 2), технологическая ось в ЗВО имеет два участка с различным радиусом дуг окружностей, ее образующих. Каждая дуга окружности сопряжена с тремя роликами, последовательно расположенными. На основании данных, приведенных в табл. 1 и 2, имеется возможность дать количественную оценку нарушения формы технологической оси каждого ручья МНЛЗ, приведенную в табл. 6 и на рис. 4.

Сопоставление приведенных данных с результатами ранее выполненного причинно-количественного анализа отказов и неисправностей роликовой проводки ЗВО и ТПУ радиальной сортовой МНЛЗ Danieli позволяет сделать вывод о том, что именно разность значения кривизны сопряженных дугообразных участков, образующих технологическую ось ручья, является определяющим фактором безотказности оборудования участка формирования НЛС, стабильности и безопасности процессов непрерывной розливки стали на МНЛЗ.

Из приведенной на рис. 4 диаграммы следует, что технологическая ось ручья № 3, характеризующегося в рассматриваемом периоде времени минимальным количеством отказов и неисправностей (см. табл. 3), имеет переход от одного дугообразного участка к другому с изменением радиуса кривизны на 0,19 %, среднеквадратичное отклонение координат фактического центра кривизны составляет 54,94 мм. По ручьям

№ 2, № 5 и № 6 наблюдается картина, когда относительная разница в значении радиуса кривизны стремится к минимальному значению, а среднеквадратичное отклонение координат центра кривизны – к максимальному, что можно также сопоставить с низкими показателями безотказности оборудования МНЛЗ. По ручьям № 1 и № 4 картина также очевидна – увеличение отклонений положения центров кривизны сопряженных дугообразных участков технологической оси приводит к росту разницы в их радиусах кривизны.

Таким образом, при выставке оборудования участка формирования НЛС МНЛЗ относительно технологической оси, во-первых, следует руководствоваться отклонениями координат положения оборудования относительно заданных проектно-конструкторской документацией, во-вторых – значением относительной разницы кривизны сопряженных дугообразных участков, образующих технологическую ось.

Минимального значения разницы можно достичь путем совмещения их центров кривизны при условии равенства значения кривизны.

Отклонение оборудования МНЛЗ относительно технологической оси в радиальном направлении в диапазоне 0,2-0,5 мм установлено исходя из обеспечения минимального отклонения координат фактических центров кривизны сопряженных дугообразных участков технологической оси.

Выводы

1. Причины отказов и неисправностей оборудования МНЛЗ заключаются, наряду с условиями эксплуатации и режимами работы машины, в нарушении технологий и методов обслуживания, ремонта, сборки и монтажа (выставки) узлов и механизмов оборудования, обуславливающих нарушение положения относительно технологической оси ручья и действие на них высоких динамических нагрузок.

2. Точность конструктивных параметров оборудования МНЛЗ должна обеспечиваться оперативным контролем и выставкой его положения с оценкой технического состояния как основополагающей причины отклонения технологической оси машины от проектного положения.

3. Полученные результаты оценки планово-высотного положения оборудования участка формирования НЛС сортовой МНЛЗ, выполненной с помощью разработанной технологии контроля, позволили подтвердить наличие отклонений и дать оценку как применяемым традиционным методам контроля положения и выставки оборудования, так и уровню отклонений его положения. Отклонения положения оборудования участка формирования НЛС превышают допустимые значения, установленные проектно-конструкторской документацией МНЛЗ, на несколько порядков.

4. Установлено, что определяющим условием точности конструктивных параметров МНЛЗ является относительная разница кривизны сопряженных дугообразных участков, образующих технологическую ось ручья. При выставке оборудования МНЛЗ необходимо обеспечить совмещение их центров кривизны при условии равенства значения кривизны для минимизации их относительной разницы.

Список литературы

1. Ведомственные строительные нормы: ВСН 396-85. Монтаж технологического оборудования сталеплавильных цехов. – М.: Минмонтажспецстрой СССР, 1986. – 30 с.
2. Тимохин, О.А. Особенности расчета технологической оси МНЛЗ и ее контроля / О.А. Тимохин. – Сталь. – 2000. – № 2. – С. 16-21.
3. Danieli Service customer technical support: Is your conticasteraligned properly? // Danieli News. – 2014. – No.170. – P. 98-99.
4. Industrial 3-D Surveying with Optical Instruments. – Witten (Germany): GLM Lasermeßtechnik GmbH, 2007. – 16 p.
5. Laser Tracker use in industrial maintenance: machine and plant engineering. Press Release. –

- Mannheim (Germany): Automated Precision Deutschland GmbH, 2007. – 3 p.
6. Шоломицкий, А.А. Контроль геометрических параметров машины непрерывного литья заготовок / А.А. Шоломицкий, А.Л. Сотников, В.И. Адаменко // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2007. – № 3. – С. 27-30.
7. Сотников, А.Л. Контроль соосности оборудования МНЛЗ / А.Л. Сотников // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2006. – № 1. – С. 24-27.
8. Sotnikov, A.L. Monitoring alignment of mold oscillatory motion with CCM process stream axis / A.L. Sotnikov, A.A. Sholomitskii // *Metallurgist*. – No. 60(9-10). – 2017. – P.1046-1053.
9. Машины непрерывного литья заготовок. Теория и расчет / Л.В. Буланов [и др.]. – Екатеринбург: Уральский центр ПР и рекламы «Марат», 2004. – 349 с.
10. Тимохин, О.А. Особенности расчета технологической оси МНЛЗ и ее контроля / О.А. Тимохин // *Сталь*. – 2000. – № 2. – С. 16-21.
11. К вопросу о выборе профиля кривой разгиба МНЛЗ / Л.В. Буланов [и др.] // *Сталь*. – 2000. – № 2. – С. 21-22.
12. Карлинский, С.Е. К вопросу выбора шагов роликов МНЛЗ по деформационной способности корки непрерывнолитого слитка / С.Е. Карлинский, В.М. Нисковских, Е.Ю. Гельфенбейн // *Проектирование и анализ работы МНЛ в НИИ Уралмаш: сб. научн. тр.* – 1984. – С. 63-65.
13. Сотников, А.Л. Контроль соосности оборудования МНЛЗ / А.Л. Сотников // *Бюллетень науч.-техн. и эконом. инфор. «Черная металлургия» ОАО «Черметинформация»*. – 2006. – № 11. – С. 52-55.
14. Сотников, А.Л. Отклонения роликов зоны вторичного охлаждения от технологической оси МНЛЗ / А.Л. Сотников // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2006. – № 2. – С. 43-48.
15. Могильный, С.Г. Геодезические работы при проверке соосности оборудования машины непрерывного литья заготовок / С.Г. Могильный, А.А. Шоломицкий, А.Л. Сотников // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2009. – № 2. – С. 19-27.
16. Монтаж технологического оборудования сталеплавильных цехов: ВСН 396-78. – М.: Минмонтажспецстрой СССР, 1986. – 65 с.
17. Кравченко, В.С. Монтаж судовых энергетических установок. – Л.: Судостроение, 1975. – 255 с.

A.L. Sotnikov /Dr. Sci (Eng.)/, L.P. Mironenko, S.A. Russian /Cand.Sci. (Eng.)/

Donetsk National Technical University (Donetsk)

D.V. Ilchenko

Ministry of Transport of Donetsk People's Republic (Donetsk)

DEVELOPMENT OF THE PRINCIPLES OF ALIGNMENT OF CCM EQUIPMENT

Background. *The problem of high-precision alignment of the equipment considered, as due to the imperfection of technical solutions in 80-90-ies of the XX century, the alignment control of the equipment was of a relative nature and carried out with the help of construction levels, plumbs, and other devices. With the advent of modern methods for geodetic control of the equipment position issues raised regarding deviations of the position of equipment within the established tolerance or maintenance of a specified form of the technological axis of the caster stream.*

Materials and/or methods. *The objective of this paper is the technological axis of the caster, the radius of curvature of which determines the choice of the main parameters of the technological channel of the caster stream. The basic technological parameters of the axis are the base radius and conjugate radii of the ingot multi-point straightening, the step of the rollers placement along the axis, the rollers deviation from the axis and the length of the technological axis.*

Results. *The result of the analysis of failures and malfunctions of the rollers of the secondary cooling zone (SCZ) and the withdrawal-straightening unit (WSU) of the Danieli continuous casting machine at the Donetsk Electrometallurgical Plant (DEMP) is the difference between the curvature values of mated arc sections forming the technological axis of the stream, that is a factor of reliability of the section equipment of formation of a conticast ingot (CCI), the stability and security of processes for continuous steel casting. When aligning the equipment of the section of CCI formation of the caster it is necessary to take into account the deviations of the coordinates of the position of the equipment relative to those specified in design documentation.*

Conclusion. *Stated that the causes of failures and malfunctions of the CCM equipment are violations of the technology and maintenance of machinery equipment. Established that the determining condition for the accuracy of the design parameters of the caster is the relative difference in the curvature of the conjugated arc sections forming the technological axis of the stream. When aligning the CCM equipment, it is necessary to ensure the alignment of the curvature centers provided that the curvature values equal, to minimize their relative difference.*

Keywords: *CCM, technological axis, position monitoring, equipment alignment, curvature radius.*

Сведения об авторах

А.Л. Сотников

SPIN-код: 5203-7480

Author ID: 623331

Researcher ID: P-4344-2015

ORCID iD: 0000-0002-4537-858X

Телефон: +380 (71) 301-98-70

Эл. почта: 0713019870@mail.ru

Л.П. Мироненко

Телефон: +380 (71) 430-72-63

Эл. почта: leonid.mironenko@list.ru

С.А. Руссиян

SPIN-код: 5372-5120

Телефон: +380 (71) 375-88-25

Эл. почта: st_russ@mail.ru

Д.В. Ильченко

SPIN-код: 6622-5851

Телефон: +380 (71) 327-57-84

Эл. почта: daria.mahp@gmail.com

Статья поступила 14.03.2018 г.

© А.Л. Сотников, Л.П. Мироненко, С.А. Руссиян, Д.В. Ильченко, 2018

Рецензент д.т.н., проф. С.П. Ерньоко