

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА УСТАНОВОК ПРИ ГАРАНТИРОВАННОЙ НАРАБОТКЕ ДО ОТКАЗА ОПОРНЫХ ВАЛКОВ

Скобло Т.С., Автухов А.К., Сидашенко А.И., Цыганкова И.В.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка

Дан анализ эксплуатационной стойкости рабочих и опорных валков листовых широкополосных станов горячей прокатки. Приведены причины, вызывающие отказы валков и снижающие производительность станов во время эксплуатации. Показано, что важной операцией восстановления работоспособности валков путем перешлифовки является контроль величины усталостных напряжений в процессе механической обработки. Указаны основные факторы, оказывающие влияние на величину наработки до отказа по причине усталостного разрушения опорных валков, такие как: начальная твердость материала, съём металла при перешлифовках и количество установок. Для определения влияния указанных факторов на величину гарантированной наработки в данной работе с целью описания процесса, имеющего область оптимума при проведении экспериментальных исследований, принято центральное композиционное рототабельное планирование 2³. Функцией отклика при проведении эксперимента служили магнитные параметры рабочего слоя и количество установок до разрушения валков, а также качественный показатель – состояние поверхности валков. В качестве анализируемых факторов использовали твердость металла опорных валков (установлены из условия обеспечения на заводе-изготовителе производства валков в указанном интервале), уровень наработки за установку (расчитан, исходя из данных исследования определения фактической наработки) и съём металла при перешлифовке (определен из условия устранения локального максимального износа бочки валка и обеспечения при этом заданной профилировки). В результате математико-статистической обработки получены зависимости, описывающие влияния количества установок опорных валков от изменения магнитных параметров рабочего слоя на их склонность к усталостному разрушению.

Ключевые слова: *прокатные валки, эксплуатационная стойкость, твердость, рабочий слой, магнитные параметры.*

Постановка проблемы. Анализ эксплуатационной стойкости рабочих и опорных валков листовых широкополосных станов горячей прокатки показывает, что по своему функциональному назначению – эксплуатации в условиях износа, удовлетворяет 52% рабочих и 61% опорных валов [1,2]. Отказы валков по другим причинам: выкрошкам, отслоениям, разрушениям и т.п. приводят к аварийным отказам, что вызывает снижение производительности станов, и изменение удельного расхода валков в широких пределах: 0,64 - 2,1 кг/т и 0,24 – 0,5кг/т для рабочих и опорных соответственно [3].

Каждое изделие имеет определенное число диагностических признаков (параметров) по которым можно судить о его техническом состоянии [4]. Валки относятся к формующему металл оборудованию, о которых известно, что их дефекты и повреждения являются одной из основных причин изменения качества металлопроката. Поэтому поддержание и восстановление формующего инструмента прокатных станов требуют учета вероятностных факторов потери работоспособности валков и возможностей их восстановления [5].

Отказы опорных валков по выкрошкам, в результате развития механизма накопления усталостных напряжений в поверхностных слоях, можно оценить по мере увеличения наработки за установку. По данным [6], наклеп поверхностного слоя завершается после $(4-5) \times 10^5$ циклов нагружения, затем отмечается падение их твердости.

Большое влияние на склонность к наклепу оказывает исходная твердость поверхностного рабочего слоя опорного валка. В процессе кампании твердость увеличивается на 10-15 HS при исходной твердости металла валков в исходном состоянии 40-50 HS [1]. Учитывая, что максимальные напряжения сдвига, а также накопление усталостных напряжений происходит в подповерхностном слое на глубине 3-5 мм, важной операцией восстановления работоспособности валков путем перешлифовки является контроль величины усталостных напряжений в процессе механической обработки.

Цель работы. Целью настоящего исследования является установление оптимального количества установок для гарантированной наработки в межремонтный период опорных валков, исключающий их усталостное разрушение, а также определение величины магнитных показаний при эксплуатации, формируемых в рабочем слое, соответствующих данной наработке.

Результаты исследований. Основными факторами, оказывающими влияние на величину наработки до отказа по причине усталостного разрушения опорных валков являются: начальная твердость материала, съём металла при перешлифовках, количество установок.

Анализ влияния указанных факторов на величину гарантированной наработки показывает [1, 7], что для математического описания процесса возникновения аварийных отказов прокатных валков во время эксплуатации, линейное приближение, т.е. использование полных факторных планов экспериментальных исследований, является недостаточным. Это обусловлено наличием экспериментальных значений функций отклика. В данной работе для описания процесса, имеющего область оптимума при проведении экспериментальных исследований, принято центральное композиционное рототабельное планирование 2^3 [8]. Уровни факторов и интервалы их варьирования для данного плана экспериментальных исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1

Уровни факторов и интервалы их варьирования

Факторы	Уровни факторов*					Шаг варьирования
	нулевой	нижний	верхний	звездный		
				нижний	верхний	
X_1 твердость, HS	45	40	50	35	55	5
X_2 наработка за установку, тыс.т	55	34	76	20	90	21
X_3 съём металла при перешлифовке, мм	2,5	1,0	4,0	0,0	5,0	1,5

*Значения уровней факторов округлены

Нижний и верхний пределы фактора X_1 (твердость металла опорных валков) установлены из условия обеспечения на заводе-изготовителе производства валков в указанном интервале.

Пределы изменения наработки (фактор X_2) за установку установлены, исходя из данных исследования определения фактической наработки. При этом нулевой уровень

(55 тыс.т) установлен из условия, при котором при существующей технологии эксплуатации валков с твердостью 35 HS, выкрашиваний в период кампании не происходило.

Нижний предел съема металла при перешлифовке (фактор X_3) установлен из условия устранения локального максимального износа бочки валка и обеспечения при этом заданной профилировки. Верхний предел

установлен из условия превышения величиной съема металла глубины залегания максимальных скалывающих напряжений.

Функцией отклика служила величина тока размагничивания (mA) и количество установок до разрушения валков, а также качественный показатель – состояние поверхности валков. В последнем случае значение функций отклика в каждом опыте эксперимента записывали в качественной форме: да или нет. План матрицы центрального композиционного рототабельного планирования 2^3 представлен в табл. 2.

Таблица 2.

Матрица планирования экспериментального исследования количества установок при гарантированной наработке до отказа опорных валков и оптимальных режимов их перешлифовки

Составление плана	Матрица планирования				Расчет						Выход				
	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1^2	X_2^2	X_3^2	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Экспиримент 2^3	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	7,5 248,7	7,9 254,0	8,6 272,5	8,8 269,4	8,2 261,2
	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+	15,4 290,5	10,7 323,4	11,5 293,2	14,8 316,9	13,1 306,0
	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-	3,1 309,9	3,3 298,9	4,0 333,6	3,6 326,4	3,5 317,2
	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	3,9 367,7	5,3 355,6	5,2 370,6	4,3 354,9	4,7 362,6
	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	15,3 146,3	16,1 137,5	20,3 138,3	17,9 148,3	17,4 142,6
	+	+	-	+	+	+	+	-	+	-	21,3 166,6	26,4 174,8	24,2 164,5	20,5 179,7	23,1 171,4
	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	18,4 173,1	11,0 181,9	14,5 171,3	7,5 182,5	9,6 177,2
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	13,2 219,5	10,5 190,4	11,2 213,1	12,4 192,2

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Звездные точки	+		0	0	2,828	0	0	0	0	0	$\frac{8,6}{170,6}$	$\frac{7,3}{171,5}$	$\frac{7,7}{181,7}$	$\frac{6,6}{183,8}$	$\frac{7,6}{176,9}$
	+	+1,68	0	0	2,682	0	0	0	0	0	$\frac{11,9}{252,1}$	$\frac{12,5}{223,7}$	$\frac{14,9}{229,0}$	$\frac{15,1}{249,2}$	$\frac{13,6}{238,5}$
	+	0	-1,682	0	0	2,682	0	0	0	0	$\frac{20,1}{181,3}$	$\frac{19,6}{176,4}$	$\frac{15,7}{191,4}$	$\frac{15,9}{201,3}$	$\frac{17,8}{187,6}$
	+	0	+1,68	0	0	2,682	0	0	0	0	$\frac{4,2}{272,4}$	$\frac{4,6}{275,4}$	$\frac{3,7}{248,6}$	$\frac{3,9}{255,2}$	$\frac{4,1}{262,9}$
	+	0	0	0	0	0	2,682	0	0	0	$\frac{4,2}{368,1}$	$\frac{3,9}{372,8}$	$\frac{5,2}{396,3}$	$\frac{5,9}{407,8}$	$\frac{4,8}{386,5}$
	+	0	0	+1,68	0	0	2,682	0	0	0	$\frac{20,1}{163,0}$	$\frac{19,6}{155,1}$	$\frac{16,2}{165,9}$	$\frac{17,3}{153,2}$	$\frac{18,3}{159,3}$
Нулевые точки	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{8,8}{200,1}$	$\frac{9,4}{203,6}$	$\frac{10,3}{224,0}$	$\frac{10,3}{219,9}$	$\frac{9,7}{211,9}$
	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{8,2}{208,1}$	$\frac{8,8}{209,4}$	$\frac{9,2}{223,4}$	$\frac{9,4}{220,3}$	$\frac{8,9}{215,3}$
	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{9,0}{218,0}$	$\frac{9,2}{219,0}$	$\frac{10,7}{202,0}$	$\frac{11,5}{204,6}$	$\frac{10,1}{210,9}$

Примечание:

– в числителе приведены данные функции отклика количества установок, в знаменателе – ток размагничивания;

– последняя установка пересчитана по величине наработки до отказа.

Величину тока размагничивания определяли с помощью коэрцитиметра КИФМ-1. Измерения производили по образующей бочки в потенциальных местах усталостного разрушения (150-250 мм от края бочки). Величину тока размагничивания контролировали перед установкой, после снятия валка с клетки и восстановления работоспособности валков путем их перешлифовки.

В результате математико-статистической обработки были получены зависимости количества установок (N) опорных валков и величина тока размагничивания (I_c) их рабочего слоя до усталостного разрушения.

$$N=166,019 - 6,899HS - 0,307t - 2,936\Delta h + 0,0847HS^2 + 0,00499t^2 + 1,075 \Delta h^2 - 0,00833HSt + 0,033 HS\Delta h - 0,0235t\Delta h \quad (1)$$

$$I_c=3257,1 - 1236,8HS - 8,8t - 138,4\Delta h + 1,4HS^2 + 0,09t^2 + 25,6 \Delta h^2 - 0,51HSt - 0,58 HS\Delta h - 0,17t\Delta h \quad (2)$$

Сравнительный анализ расчетных данных по формулам 1 и 2 с экспериментальными данными представлены в табл.3. и 4.

Таблица 3

Сравнительный анализ расчетных и экспериментальных данных съема металла при перешлифовках опорных валков и значение величины тока размагничивания их рабочего слоя до усталостного разрушения

Съем металла при перешлифовке, мм	Ток размагничивания, мА		Средне-квadraticная погрешность	Доверительный интервал	Относительная погрешность
	расчетный	экспериментальный			
1	2	3	4	5	6
0,0	325,0	339,5 328,4 336,1	10,72	325,0±25,22	7,76
1,0	240,0	251,6 257,8 260,2	16,92	240,0±39,8	16,59
3,0	160,0	168,3 171,6 170,5	10,22	160±24,06	15,03
3,0	160,0	168,3 171,6 170,5	10,22	160±24,06	15,03
5,0	132,0	146,7 148,2 139,3	12,83	132,5±30,21	22,79

Таблица 4.

Сравнительный анализ расчетных и экспериментальных данных количества установок опорных валков до их усталостного разрушения

Нароботка за установку, тыс.т	Количество установок		Средне-квадратичная погрешность	Доверительный интервал	Относительная погрешность
	расчетное	экспериментальное			
1	2	3	4	5	6
80,0	2,4	2,61 2,35 2,86	0,29	2,4±0,69	28,7
60,0	3,6	3,87 3,79 3,81	0,223	3,6±0,53	17,7
40,0	5,6	6,02 5,86 5,94	0,34	5,6±0,81	14,4

Анализ табл. 3 и 4 показывает, что относительная погрешность при контроле величины тока размагничивания составляет 7,76-22,79%, а в определении количества установок – 14,4-28,7%. Это позволяет рекомендовать полученные зависимости использовать в технологических расчетах при определении рекомендуемой наработки опорных валков во время эксплуатации.

Следует отметить, что практически во всех случаях (см. табл.3 и 4) расчетные данные занижены по сравнению с экспериментальными. С учетом этого, возрастает вероятность того, что такого типа опорные валки при эксплуатации, не будут массово подвергнуты усталостному разрушению.

Выводы

Выполненные исследования показывают, что контроль количества установок при гарантированной наработке за установку и величины наклепа рабочего слоя опорных прокатных валков в процессе кампании их использования и при перешлифовке по количеству установок можно с большой надежностью контролировать по уровню магнитных параметров в соответствии полученными зависимостями (формулами 1 и 2), что будет способствовать повышению их ресурса при эксплуатации.

Список використаних джерел

1. Производство и применение прокатных валков: справочник / Т. С. Скобло и др. Ред. Т. С. Скобло. Харьков, 2013. ЦД № 1. 572 с.
2. Приходько В.П. Проблемы эксплуатации валков прокатных станов. Сталь, 1986, №7, с.45-47

3. Скобло Т. С., Автухов А. К., Соколов Р. Г. Опыт эксплуатации рабочих валков стана 2000. *Научният потенциал на света-13*. Материали за IX международна научна практична конференция. България. 2013. Том 20. С. 13-27.
4. Бригер И.А. Техническая диагностика. Москва.: Машиностроение 1977. 299с.
5. Боровик Л.И., Добронравов А.И. Технология подготовки и эксплуатации валков тонколистовых станов. Москва: Металлургия, 1984. 105с.
6. Производство и эксплуатация крупных опорных валков / Морозов Н.П., Николаев В.А., Полухин В.П., Легун А.М. Москва.: Металлургия, 1977. 128с.
7. Способ расчета толщины снимаемого слоя при перешлифовке бочек валков прокатных станов. Якамура Сюньити, Фудзивара Кейдзо, Кавасаки Конти/ Патент Японии, кл. В 24 5/04, В 21 В28/02, №56-16019 опубл.14.04.81
8. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. Киев: Техніка, 1975. 168с.

Abstract

RESEARCH INFLUENCE OF THE NUMBER OF INSTALLATIONS AT GUARANTEED WORKING UP TO FAILURE OF SUPPORT ROLLS

Skoblo T.S., Autukhov A.K., Sidashenko A.I., Tsygankova I.V.

The analysis of the operational durability of the working and support rolls of sheet broadband hot rolling mills is given. The reasons for the failure of the rolls and reducing the productivity of mills during operation are given. It is shown that an important operation to restore the working capacity of the rolls by regrinding is to control the magnitude of the fatigue stresses during machining. The main factors that influence the amount of time to failure due to the fatigue failure of the support rolls are indicated, such as: initial hardness of the material, removal of the metal during grinding and the number of installations. To determine the effect of these factors on the magnitude of the guaranteed performance in this work, central composite rotatable planning was adopted in order to describe the process that has an optimum area when conducting experimental studies. The function of the response during the experiment was the magnetic parameters of the working layer and the number of installations before the rolls collapsed, as well as the quality indicator - the condition of the surface of the rolls. As the analyzed factors, the hardness of the metal of the support rolls was used (established from the condition of ensuring the production of rolls in the specified interval at the manufacturer), the operating time per installation (calculated based on the data of the study of determining the actual operating time) and removal of the metal during grinding (determined from the condition of local maximum wear of the roll barrel and at the same time ensuring the specified profiling). As a result of mathematical-statistical processing, dependences were obtained describing the effects of the number of installations of the support rolls on changes in the magnetic parameters of the working layer on their tendency to fatigue failure.

Key words: mill rolls, operational durability, hardness, working layer, magnetic parameters.