ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА С ВАЛКАМИ И УСИЛИЯ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ СЛОЖНЫХ ПРОФИЛЕЙ

В. Н. Перетятько ¹, С. В. Сметанин ², М. В. Филиппова ¹

¹ Сибирский государственный индустриальный университет, ² АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат», г. Новокузнецк, Россия

В работе рассмотрены вопросы определения контактной площади при прокатке трамвайных желобчатых рельсов. Предложена методика определения контактных площадей с использованием графического пакета Компас 3D. Экспериментальные исследования силы прокатки показали, что ее величина хорошо совпадает с результатами, которые получены при определении контактной площади с помощью программы Компас 3D, и в 1,4 раза меньше, чем с использованием метода «приведенной полосы».

Ключевые слова: прокатка, трамвайные рельсы, сила прокатки, контактная площадь, разрезной калибр, рельсовый калибр, графический пакет

DEFINITION OF THE CONTACT SURFACE OF METAL WITH ROLLER AND EFFORTS AT HOT THE PROSKATING RINK OF DIFFICULT PROFILES

V. N. Peretyatko ¹, S. V. Smetanin ², M. V. Filippova ¹ ¹ Siberian state industrial university, ² EVRAZ Consolidated West-Siberian Metallurgical Plant, Novokuznetsk, Russia

The paper presents the issues concerning determination of the contact area during the rolling process of grooved tram rails. The method for determination of the contact area with the use of graphic package Compass 3D has been offered. Experimental studies of the rolling force showed that its value is in a good agreement with the results obtained from determination of the contact area using the program Compass 3D, and in 1.4 times less than using the method of «reduced band».

Ключевые слова: rolling, tram rails, roll load, contact area, web-cutting pass, edging pass, graphic package Compass 3D

Для прочностных расчетов оборудования главной линии прокатного стана необходимо знать силу, которая действует на валки рабочей клети при прокатке металла. При практических расчетах величины силы прокатки находят как произведение среднего контактного нормального напряжения (удельного усилия) на площадь соприкосновения металла с валком [1].

Р=р_{ср}F, (1) где F- проекция площади соприкосновения металла с валком, называемая также контактной площадью, на плоскость нормальную к направлению силы Р;

р_{ср}- среднее удельное усилие.

Таким образом, определения силы прокатки сводится к решению двух основных задач [2].

- вычисление площади соприкосновения прокатываемого металла с валком или, точнее, проекции этой площади на плоскость, нормальную к направлению силы Р;

- определения среднего удельного усилия на валки.

(2)

В работе рассматривается вопрос, определение контактной пощади металла с валками.

При прокатке профилей прямоугольного сечения контактную площадь можно подсчитать по уравнению

где I_d – длина дуги захвата, мм,

В_{ср} – средняя ширина прокатываемого металла, мм.

В большинстве случаев можно принять, что

$$B_{cp} = (B_0 + B_1)/2,$$
 (3)
или точнее,
 $B_{cp} = (2/3)(B_0 + B_1),$ (4)

где В₀ и В₁ – ширина полосы до и после прокатки, мм.

При прокатке металла в калибрах контактную площадь определяют графически, аналитически или графо-аналитически.

При графическом способе вычерчивают калибр с прокатываемым металлом в трех проекциях и определяют площадь соприкосновения. Аналитически, по методу «приведенной полосы», абсолютное обжатие принимают равным линейному обжатию по ширине профиля:

$$\Delta h = S_0 B_0 - S_1 B_1, \tag{5}$$

где S_0 и S_1 – площадь сечения профиля до и после прокатки, мм²

Катающий радиус и длину дуги захвата определяем по выражениям

R=0,5(D-S₁/B₁) и I_d=
$$\sqrt{R \cdot \Delta h}$$
 (6)

В литературе имеются данные для определения контактной площади при прокатки металла в калибрах простой формы (круг, овал, квадрат и др.) [1, 3, 4]. Однако, определение контактной площади в калибрах сложной формы вызывает затруднение.

В качестве объекта исследования был выбран один из самых сложных рельсовых профилей трамвайный желобчатый рельс РТ62, имеющий асимметрию не только в горизонтальной, но и в вертикальной плоскостях.

Современные системы твердотельного моделирования позволяют с высокой точностью определить геометрические контактные поверхности раската с элементами калибра прокатного валка. Точное понимание геометрии очага деформации и физических объемов смещаемого металла в очаге деформации, позволяют разрабатывать энергоэффективные калибровки, учитывающие оптимальные деформации элементов рельсовых и фланцевых профилей.

Качество готового профиля во многом предопределяется системой черновых рельсовых калибров, от конфигурации которых зависит рациональность деформаций по элементам профиля в чистовых пропусках. Особенностью калибровки рельсовых профилей является взаимосвязь первого разрезного калибра и предчистового рельсового калибра, которые являются определяющими в получении требуемой геометрии готового профиля. Конструкция первого разрезного калибра определяет последующую схему деформаций для формирования фланцев профиля.

Исследовали калибровку, разработанную для нового рельсобалочного стана «ЕВРАЗ ЗСМК» (рисунок 1).

Как видно из рисунка 1, нерперывнолитую заготовку сечением HxB = 365 x 300 мм прокатывают на трамвайный рельс в двух черновых клетях дуо (BD-1 и BD-2) и чистовой группе Tandem, состоящей из трех универсальных клетей. Всего прокатка рельсового профиля производится за 18 проходов. Начальная температура прокатки – 1200 °C.

Исследование проводили на калибрах, оказывающих определяющее значение на формоизменение раската, обеспечивающие геометрию готового профиля – это первый разрезной калибр (8 пропуск), последний рельсовый калибр в черновой клети (12 пропуск) и разрезной калибр головки рельса чистовой клети (13 пропуск). При определения контактной площади использовали графический пакет Компас-3D.

Так же была произведена оценка критерия эффективности деформации металла, предложенного И. М. Павловым и М. Л. Зайцевым, который представляет собой отношение смещенных объемов металла в длину V_{выт} и по высоте V_{см} [5].

$$K_{\mathfrak{s}}_{\phi} = \frac{V_{\mathfrak{s}\mathfrak{s}\mathfrak{m}}}{V_{\mathfrak{c}\mathfrak{M}}} = 1 - \mu \frac{F_{\mathfrak{y}\mathfrak{m}}}{F_{\mathfrak{c}\mathfrak{M}}};\tag{7}$$

где μ - коэффициент вытяжки;

F_{уш} – часть площади поперечного сечения, смещенной в ширину;

*F*_{см} – смещенная площадь по высоте.

Ползуновский альманах № 2 2015

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА С ВАЛКАМИ И УСИЛИЯ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ СЛОЖНЫХ ПРОФИЛЕЙ



Рисунок 1 – Схема прокатки трамвайных рельсов РТ62 в черновых клетях BD-1, BD-2 и чистовой группе клетей Tandem рельсобалочного стана EBPA3 3CMK

На рисунке 2 приведена 3D модель поперечного сечения раската по оси валков с очагом деформации.

Из рисунка 2а видно, что захват металвалками осуществляется разрезным ла гребнем валков. Небольшую высотную деформацию получает головка профиля, и подошва рельсового профиля. На рисунке 2б приведено сечение калибра по оси валков с проекциями очагов деформации. Как видно из рисунка 2б, разрезные гребни верхнего и нижнего валков имеют разную высоту и разный угол наклона гребней, поэтому контактная площадь со стороны нижнего валка (верхняя часть рисунка) и верхнего валка часть рисунка) (нижняя различны И

Ползуновский альманах № 2 2015

составляют 26503,5 мм² и 20195,9 мм² соответственно. В первом разрезном калибре объем верхнего очага деформации составляет $V_{\rm B}{=}326~756,34~{\rm Mm}^3,$ объем нижнего очага деформации составляет V_н=542 759,26 мм³, различие верхнего и нижнего очага деформации 1,66 раза. Разность длин очагов деформации в верхней части калибра проекция деформации длины очага составляет 186,66 мм, а в нижней 231,95 мм, при этом различие в длинах составляет 45,29 мм. Коэффициент вытяжки в этом калибре составляет λ=1,19. Коэффициент эффективности калибра составляет 0,799. Остальные результаты исследования представлены в таблице 1.



а

б Рисунок 2 – Поперечного сечения раската по оси валков (8 пропуск): а – 3D модель с очагом деформации, б – проекции очага деформации (штриховкой показаны деформируемые объемы металла)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА С ВАЛКАМИ И УСИЛИЯ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ СЛОЖНЫХ ПРОФИЛЕЙ



б

Рисунок 3 – Поперечного сечения раската по оси валков (12 пропуск) а – 3D модель с очагом деформации, б – проекции очага деформации (штриховкой показаны деформируемые объемы металла)

Ползуновский альманах № 2 2015

а

Таблица 1 – Результаты определенных очагов деформации при прокатке трамвайного рельса T62 в клети дуо BD-2

	Новая технология прокатки				
Оцениваемый критерий	Первый разр (8 пр	оезной калибр опуск)	Последний рельсовый калибр (12 пропуск)		
	Верх калибра	Низ калибра	Верх калибра	Низ калибра	
Объем очага деформа- ции, мм ³	326 756,34	542 759,26	135 058,85	237 947,79	
Суммарный объем очагов деформации	869	515,6	373 006,64		
Геометрическая длина очага деформации, мм	186,66	231,95	133,65	223,96	
Разность длин очагов деформации, мм	45,29		90,31		
Смещенная площадь по высоте, мм ²	3 442,69	4 748,45	2 052,41	2 569,87	
Суммарная смещенная площадь по высоте, мм ²	8 191,14		4 622,28		
Площадь проекции очага деформации, мм ²	20 195,91	26 503,51	21 630,66	21 516,04	
Коэффициент вытяжки	1,19		1,17		
Площадь поперечного сечения смещенная в ширину, мм ²	1 38	32,57	1 366,27		
Коэффициент эффективности калибра	0,	799	0,654		
Общий коэффициент эффективности	0,747				

На рисунке 3 приведено поперечного сечения раската по оси валков с очагом деформации (12 пропуск). Из рисунка 3а видно, что захват металла валками осуществляется боковыми поверхностями разрезных гребней валков. Наибольшую высотную деформация получает металл со стороны нижнего валка. На рисунке 36 приведено сечение калибра по оси валков с проекциями очагов деформации. Как видно из рисунка 36, боковые поверхности разрезного гребня нижнего валка раньше всего вступают в контакт с металлом раската, поэтому на проекции контактной площади (верхняя часть рисунка) имеют характерные пики. Верхний валок более равномерно деформирует металл по высоте. Контактная площадь со стороны нижнего валка (верхняя часть рисунка) и верхнего валка (нижняя часть рисунка) примерно равны и составляют 21516 мм² и 21630,7 мм² соответственно. Установлено, что объем верхнего очага деформации составляет V_в=135 058,85 мм³, объем нижнего очага деформации составляет V_н=237 947,79 мм³, разность объемов составляет 1,76 раза. Также имеется значительное различие по геометрическим длинам очагов деформации, которые составляют для верхнего 133,65 мм, для нижнего 223,96 мм. Соприкосновение нижнего валка происходит на 90,31 мм раньше, чем с верхним. Коэффи-

Ползуновский альманах № 2 2015

циент вытяжки калибра λ=1,17, а коэффициент эффективности калибра составляет 0,654. Полученные результаты представлены в таблице 1.

При сравнении рельсовых калибров (8 и 12 пропуск) наиболее эффективным является рельсовый разрезной калибр, так же коэффициент эффективности этого калибра значительно выше.

Так же была произведена оценка общего коэффициента эффективности в двух проходах, которую можно определить по уравнению:

$$\mathcal{K}_{\mathbf{9}\mathbf{\phi}.\mathbf{0}\mathbf{6}\mathbf{H}} = \frac{\mathcal{K}_{\mathbf{9}\mathbf{\phi}.\mathbf{1}}F_{\mathsf{CM}\mathbf{1}} + \mathcal{K}_{\mathbf{9}\mathbf{\phi}.2}F_{\mathsf{CM}2}}{F_{\mathsf{CM}\mathbf{1}} + F_{\mathsf{CM}\mathbf{2}}}; \qquad (8)$$

И. И. Кучко [6] отмечал следующие особенности деформации металла при разрезке головки трамвайного рельса. Интенсивная деформация головки в предчистовом и чистовом калибрах сказывается на утяжке фланцев подошвы рельса; на практике установлено, что утяжка фланцев подошвы в предчистовом и чистовом калибре составляет 14 – 18 мм в закрытых ручьях и 3 – 6 мм в открытых.

Далее приведены результаты по исследованию первого калибра клети UR-1, где происходит разрезка головки. Как видно из рисунка 4 в первом четырехвалковом разрезном калибре клетей Tandem, где происходит предварительная разрезка головки профиля, по всем обрабатываемым поверхностям существует значительная неравномерность деформации.

Раньше всех в контакт с металлом вступает вертикальный валок с разрезным гребнем, который осуществляет деформацию головки рельса (рисунок 4а). Длина очага деформации при этом составляет 189,8 мм. Вертикальный валок со стоны подошвы последним осуществляет деформацию. Длина очага деформации при этом составляет всего 34,8 мм. На рисунке 4б видно, что со стороны верхнего валка (нижняя часть рисунка) и со стороны нижнего валка (верхняя часть рисунка) на эпюрах контактной площади наблюдаются два пика. Наличие пиков означает, что захват металла валками происходит боковыми поверхностями выступа валка и максимальная деформация наблюдается на радиусах перехода шейки и головки и шейки и подошвы соответственно.

Максимальная длина очагов деформации от нижнего валка составляет 156,2 мм, от верхнего 149,5 мм. Полученная форма очагов деформации от горизонтальных валков является наиболее приемлемой с точки зрения позиционирования раската в калибре за счет того что раскат удерживается в четырех точках, тем самым обеспечивая его устойчивость в калибре, после чего происходит обжатие по всему периметру профиля. Объемы очагов деформации распределились следующим образом: от нижнего валка V_{H} = 47 377,16 мм³, от верхнего валка V_{B} = 56 310,44 мм³, со стороны разрезного ролика V_{P} = 52 135,67 мм³, со стороны гладкого ролика V_{r} =5 153.77 мм³. Коэффициент вытяжки составляет λ =1,21. Коэффициент эффективности деформации в данном калибре равен 1.

Сложная форма и несимметричность рельсового профиля обуславливают прокатку его с неравномерными обжатиями. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы неравномерная деформация по возможности осуществлялась в первых проходах, когда металл обладает наибольшей пластичностью и наименьшим сопротивлением деформации. В последних проходах неравномерность деформации должна быть наименьшей [5].

Анализируя вышеприведенные результаты, стоит отметить, что прокатка сложных фланцевых профилей характеризуется неравномерностью деформации, при этом отдельные элементы профиля обрабатываются неодновременно.

С целью проверки адекватности полученных результатов было проведено математическое моделирование существующей технологии в программном комплексе Deform-3D [7 – 9] с определением силы прокатки, и проведены промышленные замеры усилий прокатки в первом калибре клети UR-1. Результаты представлены в таблице 2

Из таблицы 2 видно, что усилие прокатки, полученные путем моделирования в программном комплексе Deform-3D, отличается от фактических замеров, не более, чем на 10 %. Эти данные говорят о хорошей сходимости результатов компьютерного моделирования с результатами фактических замеров усилия прокатки.. Наблюдаются значительное различие экспериментальных данных от полученных расчетным путем по методу «приведенной полосы». Так для первого пропуска в клети UR-1, рассчитанные значение усилия прокатки больше, чем экспериментальные для горизонтальных валков в 1,37 раза, вертикального валка с разрезным гребнем в 2,2 раза, для вертикального валка со стороны подошвы в 1,4 раза.

В. Н. ПЕРЕТЯТЬКО, С. В. СМЕТАНИН, М. В. ФИЛИППОВА



Рисунок 4 – Поперечного сечения раската по оси валков (13 пропуск): а – 3D модель с очагом деформации, б – проекции очага деформации (штриховкой показаны деформируемые объемы металла)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА С ВАЛКАМИ И УСИЛИЯ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ СЛОЖНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Таблица 2 – Результаты	теоретических	и промышленных	исследований	площади	контактной
поверхности и усилия про	катки				

№ П.п	Наименование параметра	Существующая технология					
		Первый разрезной калибр (8-ой пропуск)	Последний рельсовый калибр (12-ый пропуск)	Первый калибр клетей Тандем (разрезка головки 13 пропуск)			
				Горизонтальные валки	Разрезной ролик	Ролик подошвы	
1	Усилие прокатки, МН						
	- по общепринятым теоретическим формулам	10,2	5,26	3,16	3,7	1,5	
	- расчет в программ- ном комплексе Deform-3D	6	4,3	2,5	1,5	1,1	
	- по результатам промышленных экспериментов	-	-	2,3	1,65	1,15	
2	Площадь контактной поверхности, м ²						
	- по общепринятым теоретическим формулам	0,0574	0,0249	0,0129	0,0219	0,0039	
	- по результатам геометрических построений в программе Компас	0,0202 и 0,0265	0,0215 и 0,0216	0,0097 и 0,0103	0,0099	0,0052	

Полученные значительные расхождения между теоретическими расчетами и экспериментальными результатами, можно объяснить неточностью расчета площади контактной. Отношение значений контактных площадей полученных по методу «приведенной полосы» и полученных путем моделированием в программном комплексе составляет от 0,75 до 2,2 раза.

Можно отметить, что экспериментально замеренные усилий прокатки на вертикальных валках клети UR-1 имеет разные значения. Так, со стороны вертикального валка с разрезным гребнем усилие прокатки составляет 1,65 MH, а со стороны гладкого валка подошвы, только 1,15 MH., что говорит о

Ползуновский альманах № 2 2015

наличии горизонтальных усилий на валки прокатного стана при разрезке головки.

Выводы:

1 Предложена методика определения контактной площади при прокатке сложных профилей с использованием графического пакета Компас 3D.

2 Получены результаты последовательного заполнения очага деформации и контактные площади при прокатке сложных профилей.

З Сила прокатки, полученная с учетом графического определения контактной площади с помощью Компас-ЗD, хорошо совпадает с результатами промышленного эксперимента, и в 1,4 раза меньше, чем при использованием метода «приведенной полосы». 4 Экспериментальные данные показали, что горизонтальная сила со стороны вертикального валка с разрезным гребнем в 1,43 раза больше, чем сила со стороны вертикального валка подошвы.

Список литературы

1. Целиков, А.И. Теория продольной прокатки / А.И. Целиков, Г.С. Никитин, С.Е. Рокотян. - М.: Металлургия, 1980. - 320 с.

2. Целиков, А.И. Теория расчета усилий в прокатных станах. - М.: Металлургиздат, 1962. - 498 с.

3. Смирнов, В.К. Калибровка прокатных валков / В.К. Смирнов, В.А. Шилов, Ю.В. Инатович. -М.: Теплотехник, 2010. – 490 с.

4. Рудской, А.И. Теория и технология прокатного производства / А.И. Рудской, В.А. Лунев. – СПб.: Наука, 2008. – 527 с.

5. Полухин, П.И., Прокатка и термическая обработка рельсов / П.И. Полухин, Ю.В. Грдина. - М.: Металлургиздат, 1963. – 510 с.

6. Кучко, И.И. Производство трамвайных рельсов новых типов / И.И. Кучко, М.Г. Серкин, И.Б. Рапопорт // Сталь. - 1956. - № 8. - С. 708 – 716.

7. Перетятько, В.Н. Деформация металла в чистовом разрезном калибре при прокатке трамвайных желобчатых рельсов / В.Н. Перетятько, С.В. Сметанин, М.В. Филиппова // Изв. вузов. Черная металлургия. - 2008. - № 10. - С.68 - 69. 8. Перетятько, В.Н. Исследование напряженно-деформированного состояния металла при прокатке трамвайных рельсов в универсальном четырехвалковом калибре / В.Н. Перетятько, С.В. Сметанин, К.В. Волков // Сталь. – 2014. - № 7. – С.36 - 39.

9. Перетятько, В.Н. Новая технология прокатки трамвайных желобчатых рельсов./ В.Н. Перетятько, С.В. Сметанин, К.В. Волков, М.В. Филиппова // Изв. вузов. Черная металлургия. - 2015. -№ 5. - С.328 - 334.

Перетятько Владимир Николаевич¹ – д. т. н., профессор, профессор-консультант кафедры «Обработка металлов давлением и металловедение ЕВРАЗ ЗСМК»

Сметанин Сергей Васильевич² – к. т. н., начальник Центральной лаборатории автоматизации и механизации

Филиппова Марина Владимировна¹ – к. т. н., доцент

¹ ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

² АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»,

г. Новокузнецк, Россия