

УДК 621.771.014.2

Бергеман Г. В.

РЕЖИМЫ ДЕФОРМАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА РЕЛЬСА КОНТАКТНОГО ВАГОНОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

В настоящее время в Украине и странах СНГ значительные объемы средств направляются на модернизацию имеющихся и строительство новых линий метрополитена. Развитие инфраструктуры современного метрополитена, который оказывает благоприятное влияние на экологию городского пространства, в первую очередь, зависит от достижения высоких показателей транспортировочной способности его подвижного состава [1]. Одним из основных факторов, которые положительно влияют на решение данного вопроса, является удовлетворительное техническое состояние контактной сети метрополитена, напрямую зависящее от эксплуатационной надежности контактных рельсов [2], изготавливаемых в условиях современного металлургического производства.

Контактный рельс как техническое изделие (рис. 1) представляет собой жёсткий контактный провод 1, предназначенный для осуществления скользящего контакта с токоприёмниками 2 подвижного состава метрополитена. Данное техническое изделие должно изготавливаться (прокатываться) из «мягких» марок стали, а геометрические размеры и форма его поперечного сечения тождественны геометрическим размерам и форме поперечного сечения ходовых железнодорожных рельсов метрополитена. При помощи изоляторов 3 контактный рельс – провод 1 крепится к специальным кронштейнам 4, которые в свою очередь монтируются на шпалы ходовых железнодорожных рельсов 5.

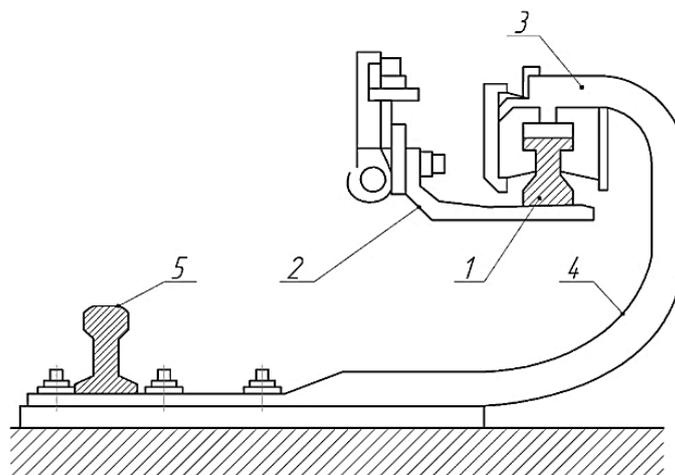


Рис. 1. Схема скользящего контакта рельса контактного с токоприёмником электроподвижного состава метрополитена [3] (1 – контактный рельс; 2 – токоприёмник моторного вагона; 3 – изоляторы; 4 – кронштейн; 5 – ходовой железнодорожный рельс)

Воспринимаемые контактным рельсом усилия от токоприёмников сравнительно невелики (менее 250 Н). Поэтому площадь поперечного сечения контактного рельса определяется исключительно из условий обеспечения наименьшего электрического сопротивления, чтобы в процессе скользящего контакта до минимума сократить потери электроэнергии.

Контактные рельсы классического конструктивного исполнения, как правило, изготавливаются из мартеновской стали с минимальным содержанием углерода. Жёсткое ограничение состава стали по количеству углерода объясняется тем, что примесь углерода заметно увеличивает электрическое сопротивление стали [4].

Нормальная (мерная) длина контактных рельсов, выпускаемых металлургическими предприятиями СНГ, составляет 12,5 м. На тоннельных участках, как на прямых, так и

кривых с радиусом 300 м и более, одиночные рельсы сварены в плети электроконтактным способом. При этом длина плетей доходит до 100 м. На открытых наземных участках, и в местах расположения точек питания контактный рельс монтируется из рельсов длиной 37,5 м. Вес 1-го погонного метра контактного рельса высотой 118 мм равен 51,686 кг.

Ряд работ [3, 5, 6] посвящен технологии производства контактных рельсов с использованием процессов прессования и последующей продольной прокаткой биметаллических (алюминий-сталь) токоподводящих рельсов. Недостатками указанных способов является, прежде всего, получение продукции с ненадежной металлической связью между основным металлом (сталь) и накладкой головки рельса (алюминий), а также низкая производительность, которая обусловлена большой цикличностью операций.

Существующие методы и способы калибровок валков токоподводящих рельсов, не позволяют получить высокие коэффициенты вытяжек (λ) по калибрам. Так, например, [7], в черновых калибрах $\lambda=1,06-1,12$; в рельсовых – $\lambda=1,06-1,35$; в чистовых – $\lambda=1,045-1,05$.

Соответственно, разработка новой технологии прокатки и совершенствование существующих режимов деформации рельса контактного вагонов метрополитена, за счет создания в клетях «дуо» сортопрокатных станов оптимальной компоновочной схемы черновых и чистовых групп калибров, предназначенных для стабильного и эффективного производства данного прокатного профиля, является актуальной производственной и научной задачей.

Целью настоящей работы является разработка технологии и совершенствование режимов деформации при прокатке рельса контактного вагонов метрополитена с учетом минимально возможной величины электрического сопротивления.

В условиях ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского» прокатный профиль контактного рельса вагонов метрополитена изготавливается согласно ТУ У 27.1-19305558-003:2009 [8]. Для производства данного прокатного профиля в условиях кислородно-конверторного цеха был разработан и освоен способ производства кипящей (электротехнической) стали «М» с низким процентным содержанием углерода (0,08–0,12 мас. %) [9, 10]. Согласно разработанного способа [9], низкоуглеродистая кипящая сталь «М» выплавляется в 50-ти тонных кислородных конверторах, с продувкой железо-углеродистого расплава сверху, производимой при помощи Г-образной фурмы технически чистым кислородом, с чистотой не менее 98,5% [10]. Химический состав стали «М» приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав стали «М»

Марка стали	Массовая доля основных химических элементов (мас.%)*				
	углерода	марганца	кремния (не более)	серы (не более)	фосфора (не более)
М	0,08-0,12	0,25-0,50	0,030	0,030	0,030

* Предельные отклонения по химическому составу стали готовых контактных рельсов от норм, указанных в табл.1, должны соответствовать: C \pm 0,01%; Mn \pm 0,03%; P+0,005%; S+0,005%

При этом величина удельного электрического сопротивления стали «М» при температуре +15°C не должна превышать 0,125 Ом \times мм²/м.

Форма и основные геометрические размеры поперечного сечения профиля рельса контактного вагонов метрополитена приведены на рис. 2 [8].

Основные технические требования, предъявляемые к данному прокатному профилю при его производстве на среднесортном стане «550» ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского», изложенные в [8] и скомпонованы в три следующие группы.

1. Контактные рельсы изготавливаются длиной от 6,0 м до 12,5 м. Предельное отклонение по длине рельсов не должны превышать \pm 30 мм. На поверхности рельсов не должно быть плен, закатов и трещин. Не допускаются раскатанные пузыри и рванины, глубиной более 2 мм. Скручивание рельсов не допускается.

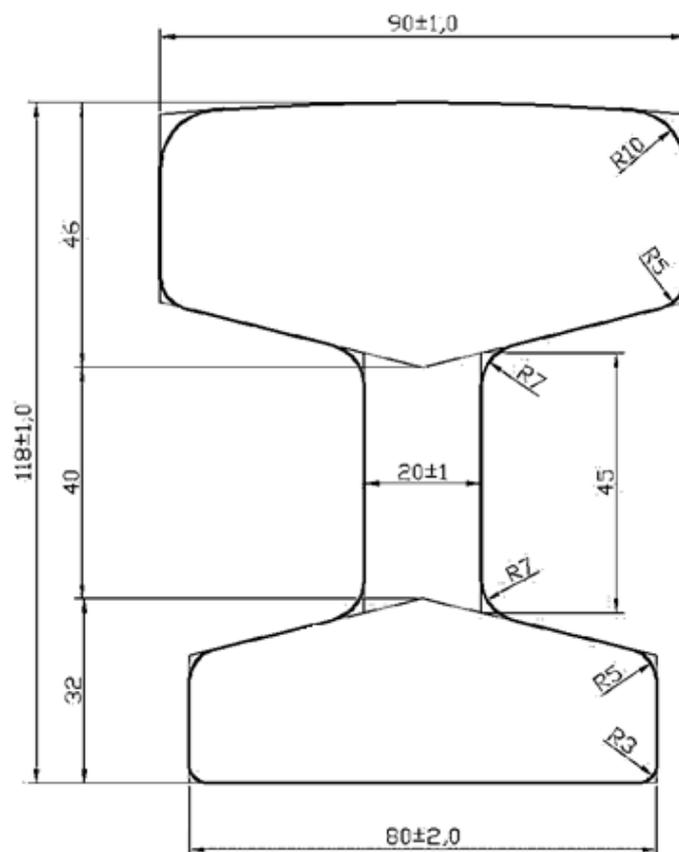


Рис. 2. Форма и геометрические размеры поперечного сечения профиля рельса контактного вагонов метрополитена

2. Контактные рельсы поставляются потребителю с не фрезерованными торцами, при этом концы рельсов должны быть ровно обрезаны. Косина торцов рельсов по отношению к продольной оси не должна превышать 5 мм при измерении в любом направлении.

3. Контактные рельсы как готовый металлопрокат должны соответствовать следующим нормам и требованиям по прямолинейности:

- стрела прогиба рельса при его равномерном отклонении от прямолинейности по всей длине не должна превышать 0,1 % его длины в вертикальной плоскости и 0,15 % его длины в горизонтальной плоскости;

- одиночные местные отклонения от прямолинейности (прогибы) по всей длине рельса не должны превышать 2,0 мм на длине 1,0 м;

- отклонение от прямолинейности (кривизна) на любом участке рельсов не более 3 мм на длине 1,0 м;

- отклонение от прямолинейности (кривизна) концов рельсов в горизонтальной и вертикальной плоскости на длине 1,0 м не более 2,0 мм;

- подошва рельсов не должна быть вогнутой. Равномерная выпуклость подошвы по отношению к ее краям не должна превышать 1,0 мм.

Для получения стабильного промышленного производства прокатного профиля рельса контактного вагонов метрополитена, в условиях стана «550» ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского» был последовательно выполнен комплекс следующих организационно-технических мероприятий.

1. В соответствии с конструктивными особенностями данного профиля рельсового типа и техническими возможностями среднесортного стана «550», разработана технологическая схема его прокатки в шести клетях стана и согласно данной схемы спроектирована калибровка прокатных валков (рис. 3).

2. Изготовлена привалковая арматура, а также комплекты производственных и контрольных шаблонов.

3. Разработан и утвержден комплект нормативно-технической документации, включающий техническое задание на прокатку данного профиля и технические условия на его производство.

Рассмотрим разработанный способ производства крупногабаритного профиля рельса контактного вагонов метрополитена, используемый на среднесортном стане «550» ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского».

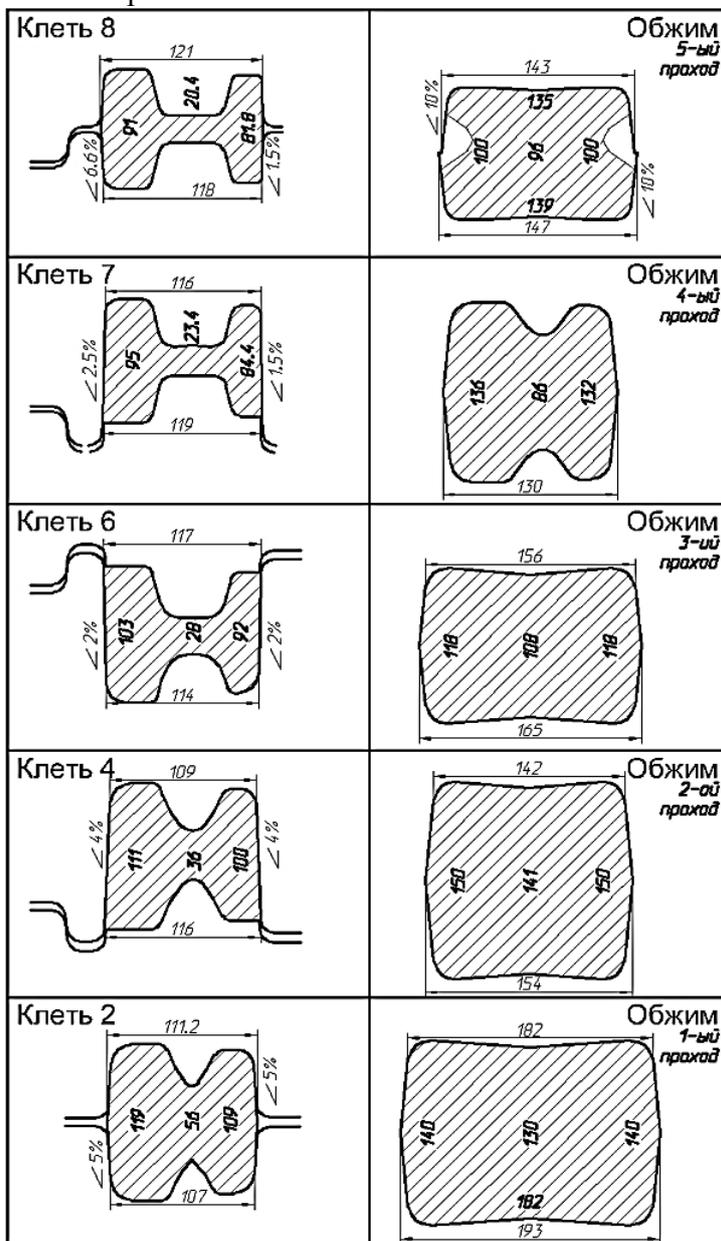


Рис. 3. Структурная схема расположения и компоновки калибров в клетях «дуо» сортопрокатного стана «550» (калибровка), используемая при производстве прокатного профиля рельса контактного вагонов метрополитена

Вначале исходную заготовку с поперечным сечением квадратной формы, размерами 170×170 мм, выплавленную из стали марки «М» и сформированную калибрах рельсобалочного стана «800», нагревают в методической печи стана «550» до температуры прокатки 1110–1180°С.

Затем, исходя из возможностей технологического оборудования среднесортного стана «550» и конструктивных особенностей данного прокатного профиля, а также, согласно разработанной калибровки (рис. 3), производится:

- обжатие исходной прямоугольной заготовки, с ее кантовкой после каждого прохода на 90° в 5-ти открытых калибрах обжимной реверсивной клетки №1 «дуо» (670) стана «550»;
 - последовательная прокатка раската в пяти фасонных (закрытых и открытых) калибрах клеток №2, 4, 6, 7, 8 «дуо» (630) стана 550.

В дальнейшем, остывший без принудительного охлаждения на холодильнике стана «550», полученный прокатный профиль рельса контактного подвергается холодной правке на девяти роликовой правильной машине и поступает на участок отделки готового проката для осмотра, сортировки, приемки и отгрузки потребителю.

Отличительной особенностью при производстве данного прокатного профиля является выполнение норм и требований по его прямолинейности. Это вызвано тем, что низкая прочность кипящей стали марки «М», при длине штанг профиля 12,5 м, требует к ним осторожного обращения на стадиях охлаждения, отделки и складирования. На данных стадиях производства велика вероятность отклонений от норм кривизны штанг профиля из-за возможности их «провисания» под собственным весом или других механических воздействий.

Необходимо также отметить, что, согласно табл. 2, суммарные потери металла в брак, полученные при производстве данного прокатного профиля имеют весьма низкий показатель $>1,5\%$ от произведенного.

Таблица 2

Потери металла в брак при прокатке профиля рельса контактного вагонов метрополитена за 2014–2015 гг.

Год	Выпуск всего	Потери металла в брак		Основные виды брака по прокату и по металлу							
				Недокат металла		Механические повреждения		Рванина		Плена	
				<i>m</i>	%	<i>m</i>	%	<i>m</i>	%	<i>m</i>	%
2014	2455,8	97,05	0,95	8,32	0,34	4,62	0,18	9,54	0,39	-	-
2015	1464,2	1,67	0,11	0,69	0,05	0,35	0,02	-	-	0,63	0,04

ВЫВОДЫ

1. В условиях прокатного производства металлургического предприятия ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского» разработана новая технология производства и усовершенствован режим деформации профиля контактного рельса вагонов метрополитена, которые позволяют производить данный крупногабаритный прокатный профиль с металла и затрачиваемой энергии.

2. Производство данного профиля позволило расширить действующий сортамент указанного сортопрокатного стана, а также освоить предприятию новые рынки металлопроката.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов С. Н. *Строительство метрополитенов* : учебник / С. Н. Власов, В. В. Торгалов, Б. Н. Виноградов. – М. : Транспорт, 1987. – 278 с.
2. *Путевое хозяйство* / А. С. Бакулин, К. И. Кудринская, Е. Т. Мосин [и др.] // *Сооружения, устройства и подвижной состав метрополитена*. – М. : Транспорт, 1979. – 239 с.
3. *Железнодорожный транспорт* : Энциклопедия / Гл. ред. Н. Конарев. – М. : Большая российская энциклопедия, 1994. – 559 с. : ил.
4. Дубров Н. Ф. *Кипящая сталь* / Н. Р. Дубров, Е. М. Кривко. – М. : Металлургия, 1984. – 97 с.
5. Пат. 2217248 Российская федерация, МПК⁷ B21B1/08, B23K31/02. *Способ изготовления токоподводящего рельса* / Король В. К. (RU), Буше Н. А. (RU), Кадышев С. А. (RU) [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО «Всероссийский институт легких сплавов». – № 2002112740/02; заявл. 16.05.2002; опубл. 27.11.2003. Бюл. № 23.
6. Theller J. J. *Herstellung von Aluminium* / J. J. Theller, F. Wagner, A. Ames, Singen // *Stahl – Verbundstromschienen mit metallurgischer Bindung zwischen Aluminium und Stal durch Verbundstrangpressen*.

Mitteilung der Aluminium -Walzwerke Singen. Metallwissenschaft und Technik. METALL. – 30, Jahrgang. Marz 1976. – Heft 3.

7. Пат. 2409430 Российская Федерация, МПК⁷ B21B1/08. Способ производства рельсового профиля из нержавеющей марки стали / Юрьев А. Б. (RU), Мухатдинов Н. Х. (RU), Дорофеев В. В. (RU) [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат». – № 2009129779/02; заявл. 03.08.2009; опубл. 20.01.2009. Бюл. № 2.

8. Рейки контактні метрополітену для підведення електричного струму до вагонів метрополітену : ТУ У 27.1-19305558-003:2009. – [Дата введення в дію 13.03.2009]. – Дніпропетровськ : ООО НПФ «Днепротехсервіс», 2009. – 18 с. – (Технічні умови).

9. Пат. 105726 Україна, МПК C21C 7/06, C21C 5/28, C21C 5/30, C21C 5/32. Спосіб ваплавки в конферторі низьковуглецевої електротехнічної сталі / Бергеман Г. В. (UA), Заспенко А. С. (UA), Проїдак Ю. С. (UA); власник Національна металургійна академія України. – № а 2013 04977; заявл. 18.04.2013; опубл. 10.06.2014. Бюл. № 11.

10. Разработка и освоение в сталеплавильных агрегатах ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского» технологии выплавки низкоуглеродистой стали марки «М» для производства контактного рельса вагонов метрополитена / Г. В. Бергеман, А. С. Заспенко, И. В. Пельх [и др.] // *Металл и литье Украины*. – 2014. – № 5–6. – С. 48–50.

REFERENCES

1. Vlasov S. N. *Stroitel'stvo metropolitenov : uchebnik / S. N. Vlasov, V. V. Torgalov, B. N. Vinogradov. – M. : Transport, 1987. – 278 s.*

2. *Putevoe hozhajstvo / A. S. Bakulin, K. I. Kudrinskaja, E. T. Mosin [i dr.] // Sooruzhenija, ustrojstva i podvizhnoj sostav metropolitena. – M. : Transport, 1979. – 239 s.*

3. *Zheleznodorozhnyj transport : Jenciklopedija / Gl. red. N. Konarev. – M. : Bol'shaja rossijskaja jenciklopedija, 1994. – 559 s.: il.*

4. Dubrov N. F. *Kipjashhaja stal' / N. R. Dubrov, E. M. Krivko. – M. : Metallurgija, 1984. – 97 s.*

5. Пат. 2217248 Российская федерация, МПК⁷ B21B1/08, B23K31/02. Способ изготовления токоподводящего рельса / Король В. К. (RU), Буше Н. А. (RU), Кадышев С. А. (RU) [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО «Всероссийский институт легких сплавов». – № 2002112740/02; заявл. 16.05.2002; опубл. 27.11.2003. Бюл. № 23.

6. Theller J. J. *Herstellung von Aluminium / J. J. Theller, F. Wagner, A. Ames, Singen // Stahl – Verbundstromschienen mit metallurgischer Bindung zwischen Aluminium und Stal durch Verbundstrangpressen. Mitteilung der Aluminium -Walzwerke Singen. Metallwissenschaft und Technik. METALL. – 30, Jahrgang. Marz 1976. – Heft 3.*

7. Пат. 2409430 Российская Федерация, МПК⁷ B21B1/08. Способ производства рельсового профиля из нержавеющей марки стали / Юрьев А. Б. (RU), Мухатдинов Н. Х. (RU), Дорофеев В. В. (RU) [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат». – № 2009129779/02; заявл. 03.08.2009; опубл. 20.01.2009. Бюл. № 2.

8. Рейки контактні метрополітену для підведення електричного струму до вагонів метрополітену : ТУ У 27.1-19305558-003:2009. – [Дата введення в дію 13.03.2009]. – Дніпропетровськ : ООО НПФ «Днепротехсервіс», 2009. – 18 с. – (Технічні умови).

9. Пат. 105726 Україна, МПК S21S 7/06, S21S 5/28, S21S 5/30, S21S 5/32. Спосіб ваплавки в конферторі низьковуглецевої електротехнічної сталі / Бергеман Г. В. (UA), Заспенко А. С. (UA), Проїдак Ю. С. (UA); власник Національна металургійна академія України. – № а 2013 04977; заявл. 18.04.2013; опубл. 10.06.2014. Бюл. № 11.

10. Разработка и освоение в сталеплавильных агрегатах ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского» технологии выплавки низкоуглеродистой стали марки «М» для производства контактного рельса вагонов метрополитена / Г. В. Бергеман, А. С. Заспенко, И. В. Пельх [и др.] // *Металл и литье Украины*. – 2014. – № 5–6. – С. 48–50.

Бергеман Г. В. – канд. техн. наук, ген. дир. ЧАО «ЕВРАЗ Днепропетровский металлургический завод»

ЧАО «ЕВРАЗ Днепропетровский металлургический завод» – Частное акционерное общество «ЕВРАЗ Днепропетровский металлургический завод», г. Днепр.

E-mail: ua_office@evraz.com

Статья поступила в редакцию 14.07.2016 г.