



## Разработка режимов прокатки вагонной стойки на среднесортном стане «550» ЧАО «ЕВРАЗ ДМЗ»

G. V. Bergeman /Cand. Sci. (Tech.)/

PJSC «EVRAZ DMP»

### Development of rolling mode for wagon stands profile on medium-section mill «550» PJSC «EVRAZ DMP»

В условиях прокатного производства ЧАО «ЕВРАЗ Днепропетровский металлургический завод» разработан и освоен способ горячей прокатки крупногабаритного корытообразного профиля вагонной стойки с наклонными стенками и вертикальной осью симметрии, используемого в вагоностроении для производства кузовов цельнометаллических грузовых полувагонов. (Ил. 7. Табл. 7. Библиогр.: 5 назв.)

**Ключевые слова:** корытообразный прокатный профиль, среднесортный стан «550», фасонный разрезной калибр, обжимная реверсивная клеть дуо, нейтральная линия калибра, высота калибра.

**Формулировка научной проблемы.** В настоящее время, в связи с постоянно изменяющейся конъюнктурой рынка металлопродукции, у ее производителей возникает необходимость применения новых нестандартных подходов для использования оригинальных технологических и технических решений, позволяющих в максимально сжатый срок производить освоение и последующую постановку на производство новых видов металлопроката [1].

**Постановка задачи.** На предприятии ЧАО «ЕВРАЗ ДМЗ»<sup>1</sup> в 2014 г. освоено производство высокомаржинального фасонного профиля для вагоностроения – профиля вагонной стойки, производимого согласно ГОСТ 5267.6–90.

Геометрические размеры и технические характеристики профиля вагонной стойки согласно ГОСТ представлены на рис. 1 и в табл. 1 соответственно.

В качестве одного из основных конструктивных элементов, наряду с зетовыми и угловыми прокатными профилями, данный корытообразный профиль используется на вагоностроитель-

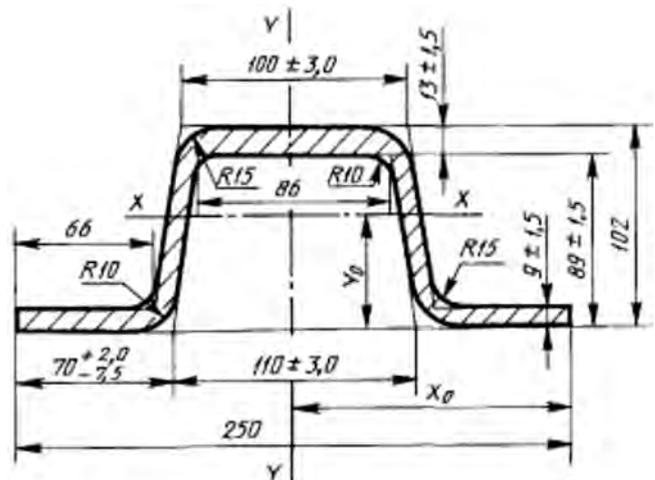


Рис. 1. Геометрические размеры профиля вагонной стойки

ных заводах при производстве кузовов цельнометаллических грузовых полувагонов. Ранее монопольным производителем профиля вагонной стойки в странах СНГ являлся ОАО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат» (ОАО ЕВРАЗ НТМК).

Таблица 1

Основные технические характеристики профиля вагонной стойки

Площадь поперечного сечения (см <sup>2</sup> )	Линейная плотность материала (кг/м)	Справочные значения величин для осей (x - x) и (y - y)						
		Момент инерции J (см <sup>4</sup> )		Момент сопротивления W (см <sup>3</sup> )			X <sub>0</sub> (см)	Y <sub>0</sub> (см)
S	ρ	J <sub>x</sub>	J <sub>y</sub>	W <sub>x</sub> - низ	W <sub>x</sub> - верх	W <sub>y</sub>	12,50	5,1
36,57	28,71	582,92	1469,3	116,35	112,32	117,54		

<sup>1</sup>До 1 мая 2016 г. ЧАО «ЕВРАЗ Днепропетровский металлургический завод» имело название ПАО «ЕВРАЗ ДМЗ им. Петровского».

В настоящее время ЧАО «ЕВРАЗ ДМЗ», после ОАО «Краматорский металлургический завод им. Куйбышева» (ОАО «КМЗ»), стал вторым украинским производителем этого вида металлопроката. Однако согласно установленным критериям качества вагонной стойки [2] поставки проката ОАО «КМЗ» осуществляются только по 325 категории прочности, что существенно снижает конкурентоспособность продукции данного предприятия и приводит к частичной потере рынка сбыта.

Кроме того, к профилю предъявляются следующие технические требования:

1. Отклонение отогнутых краев наклонных полок профиля от горизонтали не должно превышать: вверх – 1 мм; вниз – 2 мм.

2. Кривизна профиля в горизонтальной и вертикальной плоскостях не должна превышать 0,2 % длины профиля при длине до 8 м и 0,4 % длины при длине профиля более 8 м.

3. Прогиб стенки профиля не должен превышать 0,15 толщины, а скручивание профиля не должно превышать 1,5 мм на 1 м длины.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Существенная доля предприятий, производящих данный вид профиля, находится в Российской Федерации. Их технологические схемы прокатки положительно зарекомендовали себя на предприятии ОАО «ЕВРАЗ НТМК». На крупносортном стане «650» данного предприятия при прокатке вагонной стойки используются следующие схемы и методики расчета [3].

Откорректированная калибровка [4] предусматривает получение готового профиля вагонной стойки из исходной заготовки сечением 320×300 мм за 14 пропусков по технологической схеме – 7 пропусков в 5 калибрах обжимной дуореверсивной клетки «850» и 7 пропусков в чистовой линии «650». При этом чистовая линия крупносортного стана «650» состоит из двух клеток «650» трио и одной клетки «650» дуо, с распределением 7 пропусков раската вагонной стойки в калибрах каждой из данных клеток в последовательности – 3; 3 и 1 пропуск. Кроме того, в обжимной клетке «850» перед задачей в калибры № 2 и 3 раскат вагонной стойки кантуется на 90°.

Анализ существующих технологий производства [2–4] и возможности их применения в условиях стана 550 ЧАО «ЕВРАЗ ДМЗ» показал следующее.

1. Необходимы значительные обжатия для полного заполнения калибров металлом, что не всегда возможно в условиях среднесортных прокатных станов.

2. В связи с недостаточной мощностью приводов клеток среднесортного стана «550» при по-

строении калибровки профиля вагонной стойки необходимо уменьшение геометрических размеров исходной заготовки и конфигурации площади поперечного сечения раската профиля, последовательно формирующей его структурные элементы – центральную стенку, наклонные полки и их отогнутые края. Данная отличительная особенность, учитываемая при построении калибровки в условиях стана «550», приводит к уменьшению высоты  $H_{(K)}$  и увеличению ширины  $S_{(K)}$  практически всех калибров, в которых формируется данный прокатный профиль.

3. При построении калибровки профиля вагонной стойки в условиях среднесортного стана «550» получение необходимой высоты фасонных калибров определяется последовательным растягиванием формирующихся наклонных полок данного крупногабаритного фасонного профиля.

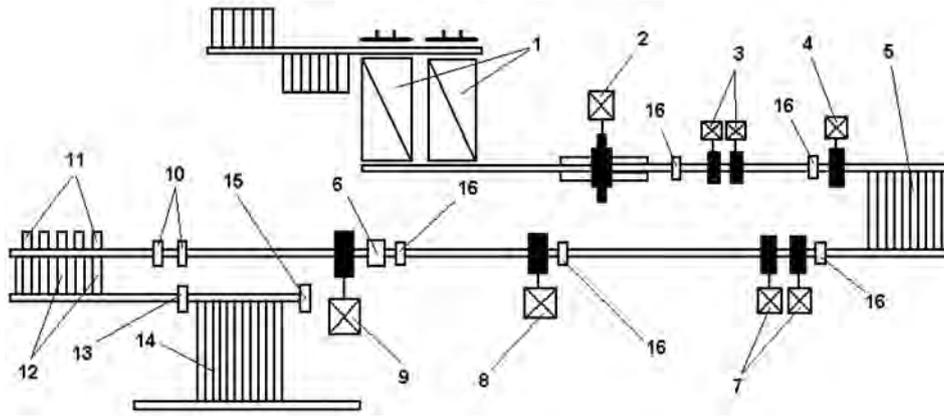
4. При производстве данного вида металлопродукции возникают сложности со стабильным получением необходимых для 345 класса прочности [5] механических свойств, связанные с колебаниями химического состава заготовок.

**Результаты произведенной работы.** На среднесортном стане «550» ЧАО «ЕВРАЗ ДМЗ» профиль вагонной стойки освоили в третьем квартале 2014 г. Материал профиля – сталь повышенной прочности 09Г2Д или 09Г2С, производимая согласно ГОСТ 19281-89. В условиях среднесортного стана «550» ЧАО «ЕВРАЗ ДМЗ» (рис. 2) была разработана технологическая схема прокатки профиля вагонной стойки.

Данная технологическая схема предусматривает получение готового профиля вагонной стойки из исходной прямоугольной заготовки сечением 170×200 мм, за 11 пропусков в 7 закрытых и 8-м открытым чистовым калибре, без проведения кантовок формирующегося раската. Вначале исходная заготовка нагревается в методической печи до температуры прокатки 1200 °С.

После выдачи из методической нагревательной печи, нагретой до температуры прокатки, исходной прямоугольной заготовки в обжимной реверсивной клетке «670» (клетка № 1) за 3 пропуска формируется фасонная заготовка с шириной 257 мм и переменной толщиной 90×86×90 мм. Затем (рис. 3) последовательно производится по 1 пропуску в фасонных калибрах каждой из 7 нереверсивных клеток дуо «630» (клетки № 2–8) стана «550».

В дальнейшем остывший без принудительного охлаждения на наклонном холодильнике стана «550», полученный прокатный профиль подвергается холодной правке на роликотправильной машине и поступает на участок отдел-



1 – нагревательные печи № 1, 2; 2 – обжимная клеть дуо 670; 3 – непрерывные клетки дуо 630; 4 – отдельная клеть дуо 630; 5 – передаточные шлеппера; 6 – задающий механизм клетки периодической прокатки; 7 – непрерывные клетки дуо 630; 8 – отдельная клеть 630; 9 – чистовая клеть 630; 10 – машины для обрезки и обжатия «усов»; 11 – пилы горячей резки; 12 – передаточные шлеппера; 13 – клеймочная машина; 14 – холодильник; 15 – пила для отбора проб; 16 – шайбовые кантователи

Рис. 2. Схема расположения основного технологического оборудования среднесортного стана «550» ЧАО «ЕВРАЗ ДМЗ»

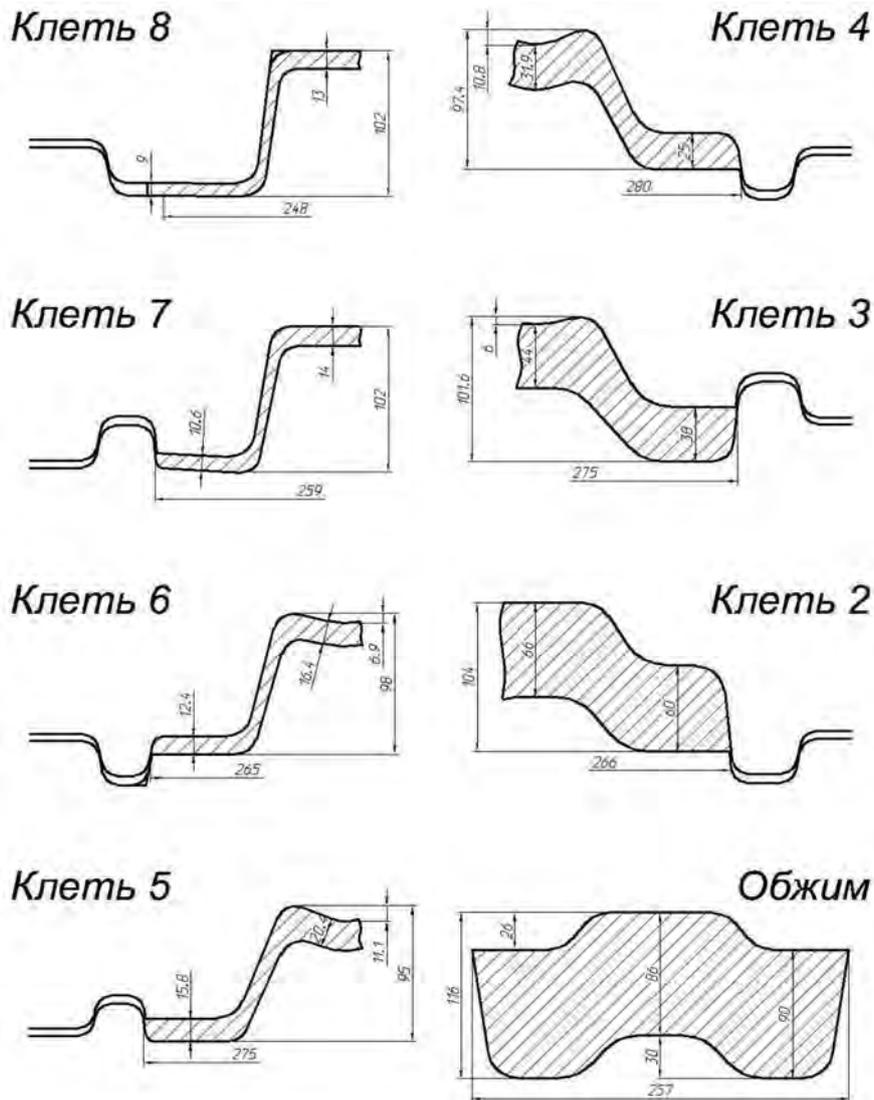


Рис. 3. Структурная схема расположения и компоновки калибров на среднесортном стана «550», задействованная при производстве крупногабаритного корытообразного прокатного профиля вагонной стойки

ки готового проката для осмотра, сортировки, приемки и отгрузки потребителю.

Анализ заполнения калибров на основе отобранных темплетов показал, что, благодаря рационально подобранной высоте и ширине калибров, раскат центрируется и симметрично заполняет каждый последующий калибр.

Потери металла в брак при производстве профиля вагонной стойки, полученные за период 2014–2016 гг. (табл. 2), имеют весьма низкие показатели, находящиеся в диапазоне 0,83–1,22 % от произведенного.

С целью получения стабильных механических свойств профиля вагонной стойки 345 класса прочности и разработки оптимальных температурных режимов деформации раскатов профиля при его прокатке на стане «550» проведен комплекс специальных исследований, где соблюдались следующие условия:

1. Для достижения высокой прочности процентное содержание углерода и марганца в плавках из стали 09Г2Д, назначенных на производство профиля вагонной стойки, находилось в следующих диапазонах: углерода 0,09–0,12 % марганца 1,48–1,7 %. В случае несоблюдения указанных диапазонов плавки назначались на производство проката ниже 345 класса прочности.

2. Прокатка профиля вагонной стойки в условиях среднесортного стана 550 осуществлялась в температурных режимах, указанных в табл. 3 и 4. При этом на каждом температурном режиме производился контроль токовой нагрузки привода клетей среднесортного стана «550».

4. Исследование производилось при прокатке 5 плавков стали 09Г2Д, химический состав которых приведен в табл. 5.

5. Плавки стали 09Г2Д прокатывались с постепенным снижением температуры начала прокатки. Температура начала прокатки регулировалась работой нагревательной печи по утвержденным режимам и измерялась переносным портативным пирометром «Термоскоп-300». Температурный режим прокатки плавков стали 09Г2Д приведен в табл. 6.

Снижение температуры начала прокатки приводит к снижению температуры металла на шлеппере и в чистовой клетке стана «550». Зависимость между температурами начала и конца прокатки (рис. 4) является линейной и прямо пропорциональной. Можно принять, что снижение температур выдачи металла из печи стана «550» на 50 °С или 100 °С снижает температуру конца прокатки на такое же значение.

Таблица 2

Потери металла в брак при прокатке профиля вагонной стойки за 2014–2016 гг.

Год	Выпуск всего т	Брак по прокату т %		Основные виды брака по прокату									
				Недокат металла		Искривление профиля		Отклонение по геометрии		Скрученность		Вкат Окаины	
				т	%	т	%	т	%	т	%	т	%
2014	596,9	4,95	0,83	2,88	0,48	0,24	0,04	0,83	0,14	0,66	0,11	0,34	0,06
2015	125,4	1,53	1,22	-	-	1,53	1,22	-	-	-	-	-	-
2016	439,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 3

Температурные режимы прокатки профиля вагонной стойки

Температура начала прокатки, °С	Температура конца прокатки, °С
1100	950
1150	1000
1200	1000

Таблица 4

Температурный режим работы нагревательных печей стана «550»

Темп прокатки (секунд)	Шаг раскладки заготовок	Температура печи по зонам, °С			Температура заготовки на выдаче из печи °С
		1	2	3 и 4	
29	280	900–1000	1000–1050	1120–1150	1100
29	280	900–1050	1050–1100	1170–1200	1150
29	280	900–1100	1100–1200	1200–1240	1180–1220

Таблица 5

Химический состав плавков стали 09Г2Д

Номер Плавки	Содержание элементов, %									
	C *100	Mn *100	Si *100	S *1000	P *1000	Cr *100	Ni *100	Cu *100	Al *1000	Ti *1000
13455	9	145	31	17	13	1	1	25	4	1
13461	9	149	30	29	17	1	1	26	7	1
13471	10	167	34	14	17	1	1	27	6	1
13479	12	167	32	20	19	1	1	24	3	1
13492	12	146	26	18	17	1	1	25	4	1

## ПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Снижение температуры прокатки металла увеличивает его сопротивление деформации и, соответственно, нагрузку на оборудование стана «550» (рис. 5).

Изменение температуры прокатки в большей степени отражается на нагрузке клетей № 3 и 4. Снижение температуры прокатки на 100 °С увеличивает токовую нагрузку на 20–25 %.

Результаты механических испытаний образцов профиля представлены в табл. 7. Для адекватности сравнения полученных результатов дополнительно приведены значения температур прокатки и фактора химического состава стали.

Прочность стали 09Г2Д определяется двумя основными химическими элементами: углеродом и марганцем. Для оценки химического состава стали было использовано значение углеродного эквивалента, применяемого к сталям обыкновенного качества:

$$C_{э\text{кв}} = C + \frac{Mn}{6}$$

На основании полученных результатов построены графики (рис. 6, 7). На графиках каждое значение напряжения подписано соответствующим значением углеродного эквивалента.

Таблица 6  
Температурный режим прокатки плавок стали 09Г2Д

Номер плавки	Температура начала прокатки	Температура на передаточном шлеппере, начало – конец	Температура конца прокатки
13492	1200	1150–1060 1120–1100	980
			980
			990
			990
			1005
			1015
13479	1200	1130–1080 1140–1060	990
			1003
			990
13471	1150	1100–1050 1100–1040 1105–1050	970
			974
			970
			980
			980
			980
13461	1100	1080–1040 1020–1000 1040–1020 1040–1010 1050–1030	950
			960
			960
			960
			940
			950
13455	1100	1080–1040 1020–1000 1040–1020 1040–1010 1050–1030	950
			960
			960
			960
			940
			950

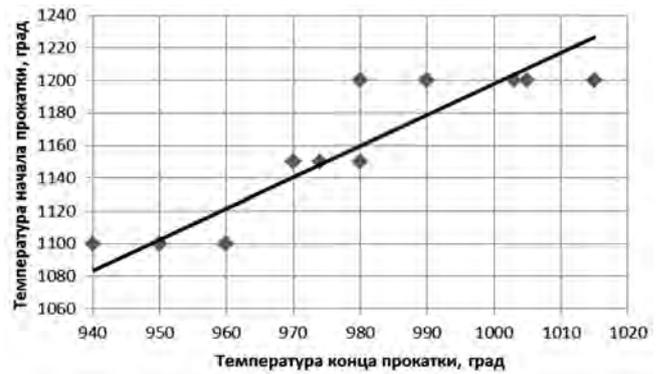


Рис. 4. Зависимость между температурой начала и конца прокатки

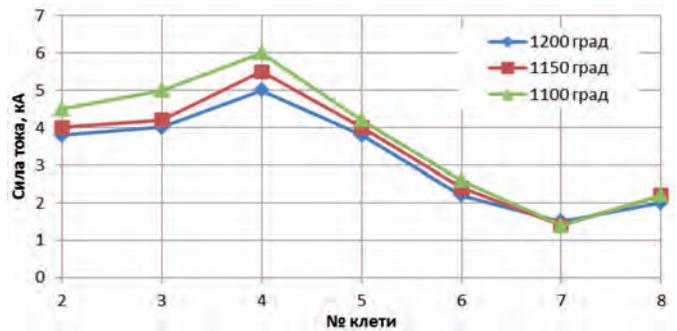


Рис. 5. Изменение токовой нагрузки на привод клетей

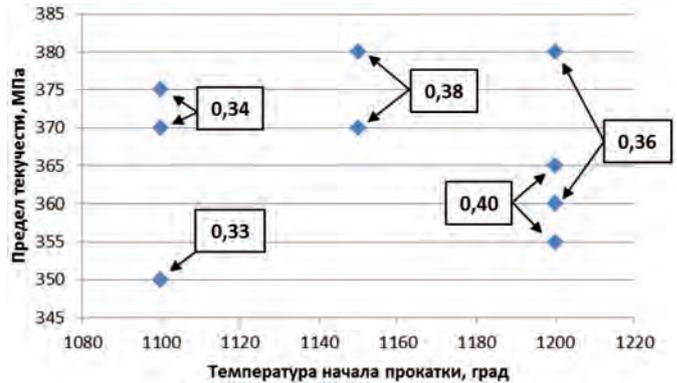


Рис. 6. Значения предела текучести стали 09Г2Д с различными значениями углеродного эквивалента  $C_{э\text{кв}}$ , (показан в рамке) для исследованных температур начала прокатки

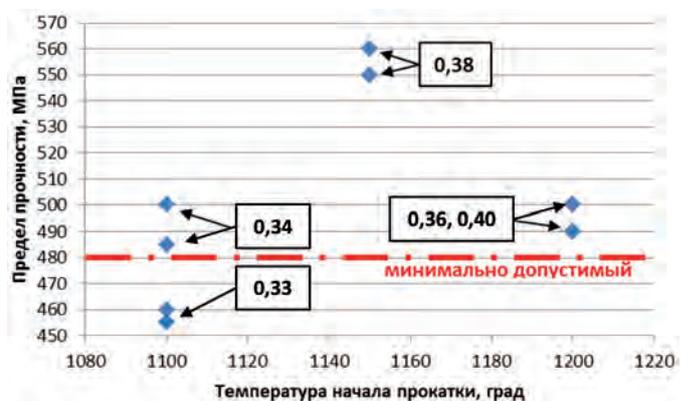


Рис. 7. Значения предела прочности стали 09Г2Д с различными значениями углеродного эквивалента  $C_{э\text{кв}}$ , (показан в рамке) для исследованных температур начала прокатки

Механические свойства профиля вагонной стойки

№ плавки	C <sub>экв</sub> , %	Температура начала прокатки, °С	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Относ. удлинен., %	Ударная вязкость КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	
						-60°С	мех. стар.
ГОСТ 19281 класс прочности 345			Не менее 345	Не менее 480	Не менее 21	Не менее 29	Не менее 29
13455	0,33	1100	350	455-не выполнено	39	180	215
			350	460-не выполнено	35	178	190
			-	-	-	195	220
			-	-	-	180	225
13461	0,34	1100	370	485	29	153	170
			375	500	27	178	180
			-	-	-	160	175
			-	-	-	170	180
13471	0,38	1150	370	550	31	180	170
			380	560	32	178	170
			-	-	-	175	180
			-	-	-	170	193
13479	0,40	1200	355	490	36	150	178
			365	500	36	218	160
			-	-	-	158	175
			-	-	-	165	190
13492	0,36	1200	360	490	37	168	178
			380	500	36	168	175
			-	-	-	200	185
			-	-	-	193	185

Полученные результаты свидетельствуют о существовании зависимости между химическим составом стали, температурой прокатки и прочностью.

При низкой температуре прокатки 1100 °С сталь 09Г2Д с углеродным эквивалентом 0,34 % получает сопоставимую прочность с прокаткой при температуре 1200 °С стали с углеродным эквивалентом 0,40 %. Прокатка стали 09Г2Д с углеродным эквивалентом 0,38 % со снижением температуры на 50 °С до 1150 °С значительно повышает прочность проката.

#### Выводы

1. Предложенная схема прокатки профиля вагонной стойки обеспечивает стабильное и эффективное его производство в условиях среднесортного стана 550 ЧАО «ЕВРАЗ ДМЗ».

2. Полученные экспериментальным путем значения высоты  $H_{(к)}$  и ширины  $S_{(к)}$  предложенных калибров, а также значения углов  $\alpha$  между внутренними стенками раската профиля и вертикалью позволяют получать оптимально возможные параметры калибров в клетях среднесортного стана 550.

3. Разработанная оптимальная структурная схема компоновки калибров обеспечивает устойчивое центрирование и удерживание раскатов формирующегося профиля вагонной стойки в калибрах клетей дуо «630» (клетей № 2–8) среднесортного стана «550» и выполнение заданных геометрических размеров составных элементов данного профиля с минимальным расходом прокатных валков, металла и энергии, затрачиваемой на деформацию металла в данных калибрах.

4. Сталь марки 09Г2Д с содержанием углерода не менее 0,09 % и марганца 1,74 % ( $C_{экв}=0,38$ ) или с содержанием углерода не менее 0,10 % и марганца 1,68 % ( $C_{экв}=0,38$ ) обеспечивает требуемый уровень механических свойств профиля вагонной стойки для класса прочности 345 по ГОСТ 19281 без изменения ее температурных режимов деформации.

5. Обеспечение класса прочности 345 по ГОСТ 19281 с отклонениями в меньшую сторону содержания углерода и марганца не может быть гарантировано без ограничения температурного режима прокатки. При содержании угле-

рода в стали не менее 0,09 % и марганца 1,50 % ( $C_{\text{экв}}=0,34$ ) прочность обеспечивается снижением температуры начала прокатки до 1100°C.

6. Значение углеродного эквивалента шлава можно использовать при производстве вагонной стойки класса прочности 345 для установления режимов нагрева заготовки в нагревательных печах среднесортного стана «550». При значениях углеродного эквивалента 0,38–0,40 % – температура выдачи заготовок из печи не ограничивается, при значениях не менее 0,36–0,38 % – температура выдачи заготовок из печи не должна превышать 1150 °С, при значениях не менее 0,34–0,36 % – температура выдачи заготовок из печи не должна превышать 1100 °С.

### Библиографический список / References

1. Бергеман Г. В. Современные технологии производства швеллеров с применением развернутой калибровки валков: монография / Г. В. Бергеман, С. М. Антонюк, М. В. Краев, И. В. Пельх, К. С. Антонюк. – Д.: Арт-Пресс, 2007. – 64 с.

Bergeman G. V., Antonyuk S. M., Kraev M. V., Pelykh I. V., Antonyuk K. S. (2007). *Sovremennye tekhnologii proizvodstva shvellero v s primeneniem razvernutoy kalibrovki valkov* [Modern production technologies of channels using the developed calibration of rolls]. Dnepropetrovsk, Art-Press, 64 p.

2. Смирнов Е. Н. Сопоставительная оценка качества профиля вагонной стойки / Е. Н. Смирнов, В. В. Щербачев // Наукові праці ДонНТУ. Металургія. – 2010. – № 12 (177). – С. 171–181.

Smirnov E. N., Shcherbachev V. V. (2010). *Sopostavitel'naya otsenka kachestva profilya vagonnoy stoyki* [Comparative assessment of quality of profile

of carriage rack]. Scientific works of Donetsk National Technical University, Metallurgy. No. 12 (177), pp. 171-181.

3. Рябоконт Н. К. Прокатка вагонной стойки корытного типа / Н. К. Рябоконт, Г. Д. Фейгин, Ю. Е. Фрейдензон, А. И. Шишкин, Л. Н. Попов / Металлург. – 1968. – № 5. – С. 21–23.

Ryabokon' N. K., Feygin G. D., Freydenzon Yu. E., Shishkin A. I., Popov L. N. (1968). *Prokatka vagonnoy stoyki korytnogo tipa* [Rolling of trough-shaped carriage rack]. *Metallurg*. No. 5, pp. 21-23.

4. Фейгин Г. Д. Освоение нового профиля вагонной стойки / Г. Д. Фейгин, Е. В. Козопасов // Металлург. – 1974. – № 7. – С. 34–35.

Feygin G. D., Kozopasov E. V. (1974). *Osvoenie novogo profilya vagonnoy stoyki* [Development of a new profile of carriage rack]. No. 7, pp. 34-35.

5. Прокат повышенной прочности. Общие технические условия: ГОСТ 19281-2014. – [Дата введения 01.01.2015]. – М.: Стандартиформ, 2015. – 47 с. – (Межгосударственный стандарт).

*Prokat povyshennoy prochnosti. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [Rolling of increased durability. General specifications]. GOST 19281-2014. Effective date 01.01.2015, Moscow, Standartinform, 2015, 47 p. (Interstate standard).

*In terms of rolling production of PJSC «EVRAZ DMP» developed and mastered the method of hot rolling oversized production of top hat profile rack wagon with sloping walls and vertical axis of symmetry, used in car building for the production of all-metal body cargo gondola.*

**Key words:** trough-shaped rolling profile, medium-section mill «550», shaped cutting caliber clamp reversing stand duo, neutral-caliber line-gauge height.

**Поступила 09.08.2016**

