

УДК 669.1

Бигеев В.А., Кретова А.О., Сычков А.Б., Зайцев Г.С., Малашкин С.О., Атангулова Г.Я.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ МАРКИ 80P В УСЛОВИЯХ ПАО «ММК»**

***Аннотация.** В данной статье рассмотрена существующая технология производства стали марки 80P. Приведен перечень недостатков действующей технологии, негативно сказывающейся на качестве стальной заготовки. С целью снижения неметаллических включений в стали, высокое содержание которых повышает обрывность проката, рекомендовано снизить содержание в стали кремния и алюминия. Для повышения деформируемости проката при волочении предложено внедрить технологию двустадийного охлаждения на линии Стелмор стана 170 Сортового цеха ПАО «ММК».*

***Ключевые слова:** легирование стали, электромагнитное перемешивание, неметаллические включения, термообработка, аустенизация.*

В условиях ПАО «ММК» [1-3] производство стали марки 80P и непрерывно-литой заготовки характеризовалось нижеприведенными положениями. На период освоения указанной марки стали ее химический состав представлен в табл. 1.

Базовая технология производства стали заключалась в следующем.

Перед выплавкой стали марки 80P (в ходе подготовки ферросплавов и сыпучих материалов к плавке) отбираются пробы от всех материалов, используемых для раскисления – легирования металла во время выпуска плавки и внепечной обработки, для определения содержания влаги, которое не должно превышать 1%. При необходимости прогревают кремний и марганецсодержащих материалы перед их присадкой в сталковш на выпуске из АПК. Выплавка стали проводится преимущественно в двуванном сталеплавильном агрегате (ДСА) с «горячей» футеровкой, с расходом жидкого чугуна на ДСА не менее 160 т, причем в качестве металлического лома используется «чистая» прокатная обрезь. Науглераживание металла производится с использованием жидкого чугуна в количестве 20-25 т/плавку, а на выпуске допускается использовать твердые науглераживатели, такие как графит, электродный бой и т.д. Выпуск металла производится в горячий сталеразливочный ковш с исключением попадания в него печного шлака. Для раскисления металла на выпуске из ДСА используется алюминий первичный из расчета 150-180 кг. Наведение шлака в ковше на АПК проводится синтетическими плавлеными смесями, а также допускается использовать свежееобожженную известь в количестве 1,5 т, плавикового шпата не менее 400 кг.

В начале внепечной обработки проводится раскисление металла алюминиевой проволокой из расчета получения содержания алюминия по верхнему пределу. Раскисление шлака в ковше проводится чушковым алюминием или карбидом кремния до получения белого шлака в ковше. Получение в металле заданного содержания углерода, марганца и кремния проводится после получения белого шлака в ковше. Для науглераживания используются углеродсодержащие материалы с содержанием углерода не менее 99% и летучих не более 0,5%, также допускается использование порошковой проволоки с углеродом для корректировки его содержания. После наведения шлака в ковше и получения заданного содержания серы в ковш присаживается сухой кварцевый песок в количестве 700-1000 кг. После получения в металле заданного содержания углерода, марганца, кремния и алюминия при глубоко раскисленном металле производится микролегирование бором. По завершении обработки металла проводится «мягкая» продувка металла аргоном по следующей технологии: устанавливается минимальный расход аргона на пористые пробки, визуально обеспечивающий слабое волнение поверхности расплава, проводится продувка металла аргоном продолжительностью не менее 3 мин, проводится ввод расчетного количества в зависимости от содержания в стали алюминия феррокальциевой порошковой проволоки для повышения жидкотекучести стали при непрерывной разливке. По окончании обработки плавки кальцием проводится «мягкая» продувка плавки продолжительностью не менее 5 мин. Нагрев плавки, а также ввод алюминия и ферроспла-

Таблица 1

Химический состав стали марки 80P

	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	N	Ti	Al	B
Требования ТС 14-101-841-2010	0,77-0,82	0,20-0,37	0,50-0,80	0,020	0,030	0,10	0,10	0,10	0,008	0,005	0,010-0,030	0,001-0,003
	не более											

© Бигеев В.А., Кретова А.О., Сычков А.Б., Зайцев Г.С., Малашкин С.О., Атангулова Г.Я., 2019

вов во время или после обработки металла кальцием и проведения «мягкой» продувки запрещается. В случае необходимости корректировки химического состава металла или его температуры после обработки кальцием и проведения мягкой продувки необходимо повторно провести обработку металла «мягкой» продувкой аргоном. При обработке стали марки 80P отношение Ca/Al в ковшевой пробе должно быть 0,1-0,3, для чего расход проволоки с феррокальцием на АПК должен составлять 600-900 кг/плавку.

Разливка стали проводится закрытой струей (защита металла от вторичного окисления) через промковш переклазохромитового состава с применением электромагнитного перемешивания (ЭМП), снижающим протяженность развития зоны столбчатых кристаллов (ЗСК). Первыми в серии разливаются промывочные плавки из стали марок 75-80 для снижения количества экзогенных неметаллических включений (НВ) в стали.

Отгрузка заготовок производится после охлаждения в период с мая по октябрь - в плотном штабеле до температуры поверхности заготовок менее 1000°C и с ноября по апрель - в томильном коробе для обеспечения условий для удаления диффузионно-подвижного водорода и предотвращения межкристаллитного разрушения.

Недостатки вышеописанной технологии производства высокоуглеродистой стали марки 80P, оказывающие влияние на качество стальной заготовки, следующие:

1. На АПК не проводится модифицирование НВ, что обуславливает наличие в стали крупных недеформирующихся НВ.

2. Массовая доля алюминия в стали составляет по НД 0,01-0,03% для раскисления стали. Это неэффективно, так как сталь значительно загрязняется недеформирующимися, вязкими и тугоплавкими окислами алюминия, приводящими к обрывности проволоки при ее волочении. Кроме того, разливочные стаканы зарастают алюминатными настылями, что при-

водит к прекращению разливки стали.

3. Повышенное содержание в стали кремния и низкое отношение марганца к кремнию (соответственно НД нормирует массовую долю марганца на уровне 0,50-0,80%, кремния 0,20-0,37% и при целевом попадании в средние значения указанных диапазонов содержания марганца и кремния отношение марганца к кремнию составляет зачастую менее 2 (желательно не менее 3). Высокое содержание в стали кремния и алюминия приводит к формированию в стали НВ алумосиликатного типа и снижает технологическую деформируемость проката на метизном переделе.

4. В стали на АПК наблюдается в конце обработки достаточно высокое содержание водорода до 5ppm, обуславливает повышенную дефектность непрерывно-литой заготовки по НВ и явление водородного охрупчивания стали.

5. Относительно высокое содержание FeO (1,3-1,8 %) в белых шлаках АКП, что подтверждает вероятность образования в стали оксидных НВ.

С целью частичного устранения указанных недостатков нами было предложено снизить нормативное содержание в стали алюминия - не более 0,005 %, обеспечить отношение марганца к кремнию на уровне не менее 2,5-3,0 (Mn = 0,65-0,70 %, Si = 0,20-0,22 %), модифицировать сталь кальцием в рациональных количествах, как наиболее дешевым материалом по сравнению, например, с редкоземельной лигатурой.

Для определения эффективности исключения обработки стали алюминием, снижения в стали массовых долей кремния были проведены четыре экспериментальные плавки (1-4) и одна контрольная плавка (5) из стали 80P. Химический состав и информация о технологичности переработки на метизном переделе и у изготовителей железобетонных шпал приведены в табл. 2. В табл. 3 представлены параметры выплавки металла в ДСА.

Таблица 2

Химический состав опытных и контрольных партий проката и технологичность его переработки на метизном переделе и заводах железобетонных шпал (ЗЖБШ)

Номер плавки/ партий	Массовая доля химических элементов, %						Обрывность на	
	C/ Mn	Si/ Mn:Si	P/ S	Cr/ Ni	Cu/ Al	N/ B	метизном переделе, т-1	ЗЖБШ, %
1 - опытная партия	0,80/ 0,66	<b>0,23/ 2,87</b>	0,008/ 0,010	0,04/ 0,02	0,03/ <b>0,002</b>	0,005/ 0,0013	0,12	Нет св.
2 - опытная партия	0,78/ 0,70	<b>0,28/ 2,5</b>	0,009/ 0,003	0,04/ 0,03	0,04/ <b>0,002</b>	0,005/ 0,0017	0,04	Нет св.
3 - опытная партия	0,80/ 0,69	<b>0,24/ 2,9</b>	0,005/ 0,006	0,05/ 0,02	0,03/ <b>0,002</b>	0,005/ 0,0026	0,02	Нет св.
4 - опытная партия	0,80/ 0,70	<b>0,26/ 2,7</b>	0,005/ 0,005	0,04/ 0,03	0,03/ <b>0,002</b>	0,006/ 0,0018	0,019	Нет св.
5 - контрольная партия	0,80/ 0,67	0,28/ 2,39	0,011/ 0,005	0,05/ 0,02	0,03/ 0,010	0,006/ 0,0018	0,20	0,053

Примечание. Обрывность на метизном переделе и ЗЖБШ приведена для металла, произведенного по следующему режиму двустадийного охлаждения проката на линии Стелмор: температура металла при виткообразовании - 840-880°C, скорость роликового транспортера витков - 0,15 м/с, вентиляторы отключены.

Сводная таблица основных параметров выплавки металла опытных плавков

Параметры выплавки	Значения		
	min	max	среднее
Общая продолжительность выплавки, мин, в том числе твердый период жидкий период	120 55 55	240 155 80	175 95 66
Расход металлического лома, т	30	69	52
Расход жидкого чугуна, т	167	181	174
Расход природного газа, м <sup>3</sup> /плавку	7000	8000	7333
Температура металла при выпуске, °С	1588	1636	1618
Содержание кислорода в металле, ppm	27,6	41,9	34,1
Химический состав металла на выпуске, %			
углерода	0,032	0,558	0,211
марганца	0,025	0,596	0,287
серы	0,015	0,027	0,020
фосфора	0,003	0,011	0,006
Основность конечного шлака	2,2	4,6	3,3

Во время выпуска плавки в сталеразливочный ковш металл и шлак раскисляли ферросилицием, силико- или ферромарганцем, углеродсодержащим материалом (так называемым «коксыком») и вторичным чушковым алюминием. Расход этих материалов определяли из условия получения содержания соответствующих компонентов металла на нижнем пределе.

Для наведения шлака в ковш присаживалась известь в количестве 1т на плавку. Во время выпуска металла из печи производили его продувку аргоном в сталеразливочном ковше. После раскисления отбирали пробы металла из сталеразливочного ковша, и ковш передавался на агрегат «печь-ковш» для последующей обработки.

Металл всех опытных плавков обрабатывали на агрегате «печь-ковш» в соответствии с технологией. Обязательно фиксировалась стойкость футеровки (количество плавков, обработанных в нём ранее) стен сталеразливочного ковша.

По приходу ковша с металлом на агрегат «печь-ковш» в течение 2-3 мин производили «усреднительную» продувку аргоном, после чего с помощью зонда Celox измеряли температуру металла и содержание в нём кислорода. Затем отбирали пробы металла и шлака

для их химического анализа. Кроме того, при помощи металлической трубки определяли толщину слоя шлака. После измерения температуры на всех плавках производили электронагрев металла с наведением шлака присадками извести и плавикового шпата.

После основных технологических операций (раскисления, десульфурации, легирования) отбирали пробы металла и принимали решение о введении соответствующих добавок. Суммарный расход материалов представлен в табл. 4.

Анализ данных табл. 2 показывает, что исключение обработки стали алюминием с одновременным повышением отношения марганца к кремнию, а именно обеспечение массовой доли алюминия на фоновом уровне 0,002 вместо 0,010 % и соответственно отношения марганца к кремнию 2,5-2,9 вместо не более 2,4, при одном и том технологическом режиме прокатки, термообработки на линии Стелмор и последующем переделе (метизном и на ЗЖБШ), обусловило снижение обрывности при волочении проволоки с 0,34 до 0,12-0,02 т-1, то есть в 2,8-17 раз. Эти результаты подтверждают высокую эффективность предложенной технологии.

Расход материалов при внепечной обработке металла опытных плавов, кг

Номер плавки	Известь	Плави- ко- вый шпат	Ферро- марганец	Силико- марганец	Ферро- силиций	Порошковая проволока с наполнителем			Карбид кремния
						феррокаль- ций	силико- кальций	углерод	
1	416	175	54	0	218	21	0	0	152
2	741	1442	131	0	213	0	54	20	307
3	1174	273	299	102	60	0	178	141	405
4	1167	271	99	102	0	0	80	0	204
5	551	249	161	46	360	0	61	20	0
6	512	282	0	0	271	50	0	30	0
7	214	452	0	0	74	50	0	0	0
8	1366	314	65	107	48	25	0	0	224
9	708	191	159	0	58	61	0	72	0
10	798	175	93	0	0	0	50	0	205
11	827	177	0	102	351	0	91	20	256
12	514	255	160	0	114	0	60	30	206
13	782	163	0	0	235	0	66	0	304
14	316	345	63	36	83	0	70	20	302
15	887	210	0	0	93	0	56	0	205
16	1314	243	126	149	0	0	50	0	256
17	1602	380	0	74	59	0	81	0	304
18	414	167	105	411	76	0	70	15	304
19	778	402	372	0	430	0	50	70	306
20	1971	572	0	205	380	0	50	70	0
21	1244	409	194	97	126	0	60	0	304
22	855	445	257	0	0	30	31	71	305
23	867	232	93	407	51	0	70	0	304
24	867,3	232,1	69	252	49	51	0	0	206

Наряду с обеспечением высокого качества непрерывно-литой заготовки по чистоте стали от неметаллических включений, дефектности поверхности, низкому уровню развития зональной и микрофизической-дендритной ликвации, повышение однородности перлитной структуры высокой дисперсности является гарантией высокой деформируемости проката при волочении и последующей переработки сорбитизированной проволоки в арматуру железобетонных шпал нового поколения, арматурные канаты и другие виды проволоочной продукции. Металловедческая гарантия [4] формирования пластинчатого перлита высокой дисперсности – сорбитообразного перлита заключается в регламентированном охлаждении проката с рациональными температурой аустенитизации и скоростью до температурной области сорбитного превращения. Выбор режимов аустенитизации проката и последующего его охлаждения на линии Стелмор обоснован

на построенной термокинетической диаграмме (ТКД) для стали типа 80P и закономерностях распада аустенита при непрерывном охлаждении [5, 6], согласно которым межпластинчатое расстояние в перлите подчиняется параболической зависимости. Максимальное межпластинчатое расстояние (малопластинчатого грубодисперсного перлита) формируется при температурах аустенитизации (температуры виткообразования на линии Стелмор) в диапазоне 830-880°C. Оптимальная структура сорбитообразного перлита может быть получена при температурах как ниже, так и выше этого температурного диапазона. Однако при температурах ниже 830°C кроме постепенного увеличения дисперсности перлита формируется также вследствие высокой скорости водяного охлаждения структура отпущенного сорбита, обуславливающего развитие поверхностных микротрещин и обрывность такого металла при волочении. При температурах выше

880°C степень дисперсности перлита резко увеличивается с повышением температуры, оптимальный диапазон температур составляет 950-1000°C. Недостаток этого диапазона температур заключается в том, что при температуре близкой и выше 1000°C вероятно образование на поверхности проката неудовлетворительной стеклообразной окалины с фаялитом ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ), которая фактически не удаляется с поверхности перед волочением ни химическим, ни механическим способом. Поэтому наиболее приемлемый диапазон температуры аустенитизации (виткообразования) составляет 950-980°C. При этом на поверхности проката формируется повышенное количество воздушной окалины – в среднем до 8 кг/т, вместо 2-3 кг/т при низких температурах (880°C).

Повышенное значение температуры аустенитизации формирует однородное достаточно крупное зерно аустенита, свободное от пленочных выделений ССФ и ССЦ, обуславливает формирование низкий уровень обезуглероживания поверхности [7, 8].

Исходя из принципа получения конечной наилучшей структуры проката для безобрывного волочения, необходимо выбрать технологию с высокой температурой аустенитизации (виткообразования). Обязательным условием формирования сорбитообразного перлита после водяного охлаждения проката на линии Стелмор и получения оптимальной температуры сорбитизации является воздушное охлаждение со скоростями 20-25°C/с.

Поэтому, основываясь на вышеуказанном, в конкретных производственных условиях предложено увеличить температуру виткообразования как минимум до 920-930°C вместо 840-880°C (по технологической инструкции и рекомендациям фирмы Даниели – поставщика оборудования) для максимальной сорбитизации перлитной структуры; скорость роликового транспортера витков – 0,5-0,8 м/с (в дальнейшем, по возможности, – до 1,0-1,2 м/с) для получения однородности структуры и свойств витков проката за счет равномерного обдува металла вентиляторным воздухом: в работе все 14 вентиляторов на максимальной мощности. Для исключения на метизном переделе операции патентирования рекомендуется модернизация линии Стелмор стана 170 ПАО «ММК».

На семи плавках (1-7) были опробованы предложенные режимы (табл. 5), металлографический анализ показал, что по сравнению с резко неоднородной структурой проката диаметром 15,5-16,0 мм, произве-

денной по схеме 1 обработки на линии Стелмор ПАО ММК ( $t_{в/у} = 840-880^\circ\text{C}$ ,  $V_{тр} = 0,15$  м/с, в работе 14 вентиляторов) и улучшенной технологической схемой 2 ПАО ММК ( $t_{в/у} = 840-880^\circ\text{C}$ ,  $V_{тр} = 0,15$  м/с, все вентиляторы отключены – фактически это режим прокатной нормализации), опытный режим ( $t_{в/у} = 900-940^\circ\text{C}$ ,  $V_{тр} = 0,5-0,8$  м/с, в работе 14 вентиляторов с максимальной нагрузкой) характеризуется максимальной однородностью структуры, высокой дисперсностью перлита: межпластинчатое расстояние в перлите по режимам соответственно составило 0,28 мкм при прокатной нормализации, 0,23 мкм при скорости транспортера 0,5 м/с и повышенной температурой виткообразования и охлаждении вентиляторными, 0,15 мкм при скорости транспортера 0,8 м/с и повышенной температурой виткообразования и охлаждении вентиляторными.

Наблюдается различие в дисперсности перлита – количестве перлита 1 и 2 баллов по ГОСТ 8233-56 на поверхности и сердцевине поперечного сечения проката. Эта разница составляет на опытном металле температуру виткообразования (после виткоукладчика)  $t_{в/у} = 900-940^\circ\text{C}$ , скорость роликового транспортера витков  $V_{тр} = 0,5$  м/с, 14 вентиляторов в работе – с 1 по 10 вентилятор на второй ступени, с 11 по 14 вентилятор на 80% загрузке, 15 вентилятор выключен до 10%, для контрольных партий ( $t_{в/у} = 840-880^\circ\text{C}$ ,  $V_{тр} = 0,15$  м/с, вентиляторы в работе) – до 40%.

И хотя свойства нормализованного и опытного проката очень близки, перспектива опытного режима очевидна, и надо полагать, что с усовершенствованием режима воздушного охлаждения витков проката на роликовом транспортере за счет модернизации системы вентиляторного охлаждения станет возможным производить прокат с высокой степенью сорбитизации перлитной структуры, что позволит отказаться от термической обработки проката - патентирования на метизном переделе, то есть исключить один передел с перспективой выхода на мировой рынок с сорбитизированным прокатом из высокоуглеродистых марок стали для переработки в высокопрочные арматурные канаты, проволоку, заготовку для шпал нового поколения и т.п.

Высокую эффективность опытных режимов доказывает снижение обрывности на метизном переделе и на ЗЖБШ.

Сравнение качественных показателей проката, произведенных на опытных-экспериментальных режимах, с контрольными партиями проката, произведенными по ранее утвержденным режимам

Номер плавки, диаметр, мм	Режим			Механические свойства, мин.-макс./разбег/ среднее значения			Металлографические показатели				Обрывность на		
	tv/y, °C	v <sub>гр.</sub> , м/с	Вентиляторы <sup>1</sup>	σ <sub>в</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	δ10, %	Ψ, %	Дисперсность перлита, П 1 и 2 баллов по ГОСТ 8233-56, %				Размер зерна по ГОСТ 5639-82, №	метизном переделе	ЗЖБШ
							min	max	разбег	среднее			
1 - опытная партия, 16 мм	910-925	0,5(10 бунтов)-0,8(5 бунтов)	+	1010-1050/40/1023	10-12,5/2,5/10,8	28-32/4/30	50	50	0	50	7-8	0,11	0
1 - контрольная партия, 16 мм	840-880	0,15	-	1010-1050/40/1033	9-10,5/1,5/9,7	27-28/1/27,3	50	50	0	50	7-8	0,12	Нет св.
2 - опытная партия, 16 мм	900-940	0,5	+	1000-1010/10/1003	8,4-9,4/1/8,9	26-28/2/27	65	65	0	65	7-8	0	0,011
2 - контрольная партия, 16 мм	840-880	0,15	-	1000-1020/20/1007	8,8-12/3,2/10,1	25-33/8/27,3	60	60	0	60	7-8	0,04	0,034
3 - опытная партия, 16 мм	900-940	0,5	+	1020-1050/30/1033	8-9,5/1,5/8,8	26-32/6/28,3	65	65	0	65	7-8	0	Нет св.
3 - контрольная партия, 16 мм	840-880	0,15	-	960-1020/60/992	9,1-11,5/2,4/10,6	24-32/8/27,7	60	70	10	65	7-8	0,02	Нет св.
4 - опытная партия, 16,0 мм	900-940	0,5	+	990-1040/50/1017	8,1-11,4/3,3/9,9	29-31/2/29,7	65	65	0	65	7-8	0	0,015
4 - контрольная партия, 16,0 мм	840-880	0,15	-	950-1000/50/978	11,5-12,5/1/12	26-32/6/30,5	70	75	5	72,5	7-8	0,019	Нет св.
6 - опытная партия, 16,0 мм	910-915	0,5	+	1040-1070/30/1060	8-10,5/2,5/9,7	28-33/5/29,7	50	50	0	50	7-8	0,10	Нет св.
6 - контрольная партия, 16,0 мм	820-860	0,15	-	990-1070/80/1023/	9,5-12/2,5/10,8	27-39/12/32,7	60	60	0	60	7-8	0,20	Нет св.
7 - опытная партия, 16,0 мм	910-915	0,5	+	980-1040/60/1020	9-12/3,0/11	28-34/6/32	50	50	0	50	7-8	0,10	Нет св.
7 - контрольная партия, 16,0 мм	820-860	0,15	-	980-1080/100/1026	9-14,5/5,5/10,7	28-33/5/24,7	60	60	0	60	7-8	0,20	Нет св.

<sup>1</sup> (+) - в работе все вентиляторы, (-) – вентиляторы отключены.

### Выводы

1. Повышенное содержание кремния и алюминия обуславливает высокий уровень загрязненности металла НВ силикатного и алюминатного типов в виде окислов этих химических элементов, что вызывает повышенную обрывность проката при волочении. Рекомендовано снизить содержание в стали кремния до 0,20-0,22 %, алюминия – не более 0,005 % с целевым

содержанием марганца на уровне 0,67 %.

2. Достаточно высокая степень загрязненности стали НВ предполагает применение модифицирования металла с целью снижения размеров или даже исключения зоны столбчатых кристаллов при непрерывной разливке с применением также и ЭМП. Следует разработать технологию по количеству и порядку отдачи кальций содержащего материала в не-

сколько приемов на установке ковш-печь (УКП) для улучшения условий модифицирования НВ (измельчения включений, снижения их вязкости, изменения их химического состава) в стали этим материалом. Ранее кальцийсодержащий материал отдавался в сталь на УКП с целью повышения ее жидкотекучести при непрерывной разливке в количестве, определяемом содержанием в стали алюминия.

3. Для снижения в стали количества и размеров экзогенных НВ, попадающих в сталь от размывки футеровок сталеразливочных и промежуточных ковшей, погружных труб, введены в практику так называемые «промывочные плавки», когда при производстве высокоуглеродистой стали ответственного назначения следует первой проводить плавку неответственного, рядового качества, особенно при наличии новых футеровок соответствующих агрегатов.

4. Проведенное усовершенствование технологического процесса производства стали, ее внепечной обработки позволило существенно улучшить технологичность переработки круглого проката на метизном переделе. Так, за счет сталеплавильного передела обрывность при волочении высокоуглеродистой проволоки снизилась с 0,34 до 0,10 т-1.

5. На повышение деформируемости проката при волочении повлияло также внедрение новой технологии двустадийного охлаждения на линии Стелмор, формирующей более равномерную микроструктуру проката, доленое влияние на обрывность при волочении составило примерно 50%: обрывность опытных партий проката составило 0,01 т-1 по сравнению с 0,04 т-1 на контрольных партиях.

6. Для дальнейшего улучшения качества высокоуглеродистой стали и проката имеет смысл исследовать и внедрить еще ряд технико-технологических операций. К ним можно отнести: выбор оптимальных режимов работы ЭМП, применение модифицирования расплава перед или в процессе непрерывной разливки, проведение реконструкции линии Стелмор и т.д.

## Список литературы

1. Усовершенствование сквозной технологии производства бунтового проката из стали марки 80P в условиях ОАО «ММК»/А.Г. Корчунов, В.А. Бигеев, А.Б. Сычков, Г.С. Зайцев, Ю.А. Ивин, А.Ю. Дзюба. Вестник Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. 2013. № 2 (42). С. 29-35.
2. Сквозная технология производства бунтового проката из стали 80P/А.Б. Сычков, В.М. Колокольцев, В.А. Бигеев, М.В. Чукин, Г.С. Зайцев // Бюл. БТИ-ЭИ. Черная металлургия. 2013. № 12. С. 40-45.
3. Особенности производства высокоуглеродистой стали в современном ЭСПЦ/ В.А. Бигеев, А.Б. Сычков, М.В. Потапова, Г.С. Зайцев, А.О. Кретова //Современные проблемы электрометаллургии стали: материалы XVIII международной конференции /под ред. В.Е. Рощина. Челябинск: издательский центр ЮурГУ, 2019. Ч. I. С. 57-60.
4. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1977. 648 с.
5. Режим двустадийного охлаждения катанки из стали 80КРД на линии Стелмор//Э.В. Парусов, В.В. Парусов, М.Ф. Евсюков, А.И. Сивак, А.Б. Сычков// Металлургическая и горнорудная промышленность. 2006. № 3. С. 64-67.
6. Разработка режима двустадийного охлаждения катанки из стали С80Д2, легированной бором и ванадием/ Э.В. Парусов, В.В. Парусов, Л.В. Сагура, А.И. Сивак, А.П. Клименко, А.Б. Сычков// Металлургическая и горнорудная промышленность. 2011. № 3. С. 53-56.
7. Парусов В.В., Сычков А.Б., Парусов Э.В. Теоретические и технологические основы производства высокоэффективных видов катанки. Днепропетровск: Арт-Пресс, 2012. 376 с.
8. Сычков А.Б. Технологические аспекты производства качественной катанки //Вестник Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. 2006. № 4 (16). С. 63-69.

## Сведения об авторах

**Бигеев Вахит Абдрашитович** – д-р техн.наук, профессор кафедры МиХТ, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru.

**Кретова Анна Олеговна** – аспирант кафедры МиХТ, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. E-mail: anykretova@yandex.ru.

**Сычков Александр Борисович** – д-р техн.наук, доцент, профессор кафедры литейных процессов и материаловедения, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. E-mail: absyckov@mail.ru.

**Зайцев Григорий Сергеевич** – старший менеджер ООО «Объединенная Сервисная Компания», Магнитогорск, Россия. E-mail: kroll676@rambler.ru.

**Малашкин Сергей Олегович** – аспирант кафедры литейных процессов и материаловедения, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. E-mail: shtirlic21999@mail.ru.

**Атангулова Гузель Ягафаровна** – аспирант кафедры литейных процессов и материаловедения, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. E-mail: 174kamalova@mail.ru.

---

*INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH*

---

---

**IMPROVEMENT OF PRODUCTION TECHNOLOGY FOR GRADE OF STEEL 80P IN THE CONDITIONS OF PJSC «MAGNITOGORSK IRON AND STEEL COMPANY»**

**Bigeev Vakhit Abdrashitovich** – Dr.Sci. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru

**Kretova Anna Olegovna** – Graduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: anykretova@yandex.ru.

**Sychkov Alexander Borisovich** – Dr.Sci (Eng), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: absychkov@mail.ru.

**Zaitsev Grigory Sergeevich** – Senior Manager, LLC “United Service Company” Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: kroll676@rambler.ru.

**Malashkin Sergey Olegovich** – Graduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: shtirlic21999@mail.ru.

**Atangulova Guzel Yagafarovna** – Graduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: 174kamalova@mail.ru.

**Abstract:** *This article discusses the existing technology for the production of steel grade 80P. The list of shortcomings of the current technology that negatively affects the quality of steel billets is given. In order to reduce non-metallic inclusions in steel, the high content of which increases the breakage of rolled products, it is recommended to reduce the content of silicon and aluminum in the steel. To increase the deformability of rolled products during drawing, it was proposed to introduce a two-stage cooling technology on the Stelmor line.*

**Keywords:** *steel alloying, electromagnetic mixing, non-metallic inclusions, heat treatment, austenization.*

---

Бигеев В.А., Кретова А.О., Сычков А.Б., Зайцев Г.С., Малашкин С.О., Атангулова Г.Я. Совершенствование технологии производства стали марки 80P в условиях ПАО «ММК» // Теория и технология металлургического производства. 2019. №4(31). С. 18-25.  
Bigeev V.A., Kretova A.O., Sychkov A.B., Zaitsev G.S., Malashkin S.O., Atangulova G.Y. Improvement of production technology for grade of steel 80P in the conditions of PJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Company» *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2019, vol. 31, no. 4, pp. 18-25.