

сти валкового узла. Кроме того, для повышения осевой жесткости горизонтальных клеток предлагается заменить рычажно-винтовой механизм осевой регулировки валков на гидравлический.

Реализация этих мероприятий позволит повысить долговечность подшипникового узла вследствие равномерного распределения усилия прокатки на все тела качения, уменьшить деформацию деталей кассеты и устранить перекосы осей валковых узлов, увеличить прочность и жесткость кассеты. В результате на стане 600 ПАО «АМК» повысится точность прокатки двутавровых балок.

Библиографический список

1. Шпаков В. А., Базарова Е. В., Чичкан А. А. Исследование разнотолщинности фланцевых профилей на крупносортом стане 600. // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия». – М.: ОАО «Черметинформация», 2012. – Вып. 1 (1345). – С. 53-60.

2. Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент: ГОСТ 8239-89: изд. офиц. – [Введ. 1990-07-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 5 с.

3. Лапач С. Н. Статистика в науке и бизнесе. / С. Н. Лапач, А. В. Чубенко, П. Н. Бабич – К.: МОРИОН, 2002. – 640 с.

4. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества / Р. Шторм. – М.: Мир, 1970. – 368 с.

5. Румшицкий Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента: справочник. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

6. Моделирование напряженно-деформированного состояния элементов кассет с приводными вертикальными валками для чистовых клеток сортовых станов // В. С. Медведев, Е. В. Базарова, А. А. Чичкан, В. А. Шпаков // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2013. – № 43. – С. 169-179.

Поступила 24.01.2014

УДК 669.017:621.771:622.7.083.133

Оробцев А. Ю. /к. т. н./,

Хорошилов В. В.,

Долгопол А. В.

ПАО «Енакиевский металлургический завод»

Производство

Нефедьева Е. Е. /к. т. н./,

Левченко Г. В. /д. т. н./,

Воробей С. А. /д. т. н./

ИЧМ им. З. И. Некрасова НАН Украины

Освоение производства проката с винтовым профилем класса прочности А600 для анкерного крепления горных выработок

Приведены результаты опытно-промышленного опробования производства арматурного проката винтового профиля класса АШ600 для анкерного крепления горных выработок из непрерывнолитых заготовок в условиях ПАО «Енакиевский металлургический завод». Показана целесообразность повышения содержания кремния в базовой марке стали 30ГС. Ил. 1. Табл. 4. Библиогр.: 4.

Ключевые слова: арматурный прокат винтового профиля, анкерное крепление горных выработок, механические свойства, структура

The results of pilot testing of the production of rebars screw profile class АШ500 anchoring mining of continuously cast billets in PJSC «Yenakieve Steel». The expediency of increasing the amount of silicon in the base steel grade 30ГС.

Keywords: rebars helical profile, anchor mines, mechanical properties, structure

Для различных видов крепления горных выработок целесообразно использовать анкерную крепь трех уровней несущей способности: обычный, повышенный и особо высокий, для которых рекомендуется применять прокат периодического профиля классов прочности А400, А500 и А600 соответственно [1]. В настоящее время на шахтах Украины наибольшее применение находит прокат класса А500. Однако перспективным является прокат класса А600.

Производство проката класса А500 освоено на

ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» (из слитков, разлитых в изложницы) [2] и ПАО «Енакиевский металлургический завод» (из непрерывнолитых заготовок) [3]. На ПАО «ЕМЗ» прокат класса А500 производится по техническим условиям ТУ У 27.3-23365425-661:2011 «Прокат винтового профиля класса АШ500 для анкерного крепления горных выработок». Прокат производится на стане 390 Макеевского филиала ПАО «ЕМЗ» из стали марки 30ГС с химическим составом, приведенным в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав стали для производства проката винтового профиля класса АШ500 по ТУ У 27.3-23365425-661:2011

Вид анализа	Массовая доля элементов, в пределах или не более, %				
	углерод	марганец	кремний	сера	фосфор
по ковшевой пробе	0,25-0,33	0,90-1,30	0,60-0,90	0,045	0,040
в готовом прокате	0,25-0,35	0,90-1,40	0,60-0,95	0,050	0,040

Примечание. Допускается изменение массовой доли углерода, марганца и кремния при условии обеспечения нормируемых механических свойств проката

Массовая доля азота в стали должна быть не более 0,012 %, мышьяка – не более 0,08 %. Массовые доли хрома, никеля и меди должны быть не более 0,30 % каждого. Допускается легирование стали титаном, бором, алюминием и (или) другими элементами по выбору изготовителя в количестве, необходимом для обеспечения заданных механических свойств проката.

Механические свойства проката в состоянии поставки должны удовлетворять таким требованиям: предел текучести – не менее 500 Н/мм²; временное сопротивление – не менее 620 Н/мм²; отношение временного сопротивления к пределу текучести не менее 1,2; полное относительное удлинение при максимальной нагрузке ($\delta_{\max}$) – не менее 8 %; относительное удлинение после разрыва (δ_5) – не менее 20 %.

Требуемый комплекс механических свойств проката класса АШ500, произведенного ПАО «ЕМЗ», достигается при его вылеживании в течение 10-20 дней после прокатки. Непосредственно после прокатки примерно у 70 % партий относительное удлинение (δ_5) было на 1-4 % (абс.) ниже требуемого, а полное относительное удлинение при максимальной нагрузке ($\delta_{\max}$) – на 0,5-1 % (абс.) ниже требуемого.

Методами математического моделирования с применением разработанных в Институте черной металлургии математических моделей [4] было установлено, что повысить комплекс прочностных и пластических свойств в данном прокате можно путем увеличения содержания кремния в стали по отношению к предусмотренному в Технических условиях (см. табл. 1) до 1,1-1,2 %.

Для уточнения влияния базового химического состава стали марки 30ГС на механические свойства провели анализ базы данных о химическом составе и механических свойствах проката класса АШ500 с позиций возможного обеспечения требований к классу АШ600. Термообработка всего проката в потоке стана производилась по одному режиму (при постоянной длине трассы охлаждения). Методика анализа состояла в следующем. Все партии проката разделили на два массива:

- массив 1 – прокат с пределом текучести менее 600 Н/мм² (64 партии);
- массив 2 – прокат с пределом текучести 600 Н/мм² и более (10 партий).

Характеристика массивов приведена в таблице 2.
Таблица 2. Характеристика массивов № 1 и 2

Номер массива	Значения	C	Mn	Si	σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	σ_B/σ_T	δ_5 , %
1	миним.	0,25	1,05	0,65	540	697	1,21	20
	максим.	0,31	1,17	0,76	595	760	1,32	26,5
	среднее	0,28	1,12	0,688	566	720	1,27	22,9
2	миним.	0,31	1,09	0,72	600	765	1,23	20
	максим.	0,33	1,16	0,75	625	785	1,30	23
	среднее	0,32	1,11	0,744	615	773	1,26	21,9

Приведенные данные показывают, что химический состав стали, из которой произведен прокат с пределом текучести 600 Н/мм² и более, характеризуется повышенным содержанием кремния, что подтверждает результаты, полученные расчетным путем. Кроме того, прокат с пределом текучести 600 Н/мм² и более характеризуется несколько более высоким содержанием углерода (0,31-0,33 %).

Анализ полученных данных показывает также, что прокат из стали марки 30ГС с содержанием углерода и кремния близким к верхним допустимым значениям при пределе текучести 600-630 Н/мм² имеет временное сопротивление 765-785 Н/мм², а относительное удлинение – 20-23 %. Таким образом, получить рекомендуемый в работе [1] комплекс механических свойств проката класса А600 ($\sigma_T \geq 600$ Н/мм², $\sigma_B \geq 800$ Н/мм² и $\delta_5 \geq 20$ %) при использовании стали марки 30ГС не представляется возможным. Даже без привязки к стали марки 30ГС требования к временному сопротивлению проката класса А600, приведенные в указанной работе, явно завышены, так как в этом случае при минимально допустимых значениях σ_B и σ_T отношение σ_B/σ_T составляет 1,33. При этом отношение минимально допустимых значений σ_B и σ_T для проката класса А400 составляет 1,25; для класса А500 – 1,24.

Если учесть статистические параметры распределения значений механических свойств проката, то гарантированно можно получать следующие минимальные значения механических свойств проката класса А600 из стали марки 30ГС: $\sigma_T = 600$ Н/мм², $\sigma_B = 750$ Н/мм² и $\delta_5 = 18$ %.

Для уточнения комплекса механических свойств на стане 390 Макеевского филиала ПАО «ЕМЗ» были прокатаны опытные партии арматурного проката № 20 класса А500 из стали марки 30ГС с термообработкой в потоке стана на класс А600. При этом содержание в стали углерода и кремния близко к верхнему допустимому пределу, предусмотренному в ТУ У 27.3-23365425-661:2011 (табл. 3). Значения механических свойств проката приведены в табл. 4.

Значения предела текучести опытных партий проката ПАО «ЕМЗ» несколько ниже требуемой

Таблица 3. Химический состав опытных партий проката

Класс проката по стандартам	Номер плавки	Содержание химических элементов, % (масс.)				
		углерод	марганец	кремний	сера	фосфор
A500C	233556	0,30	1,19	0,83	0,002	0,017
AШ500	334555	0,33	1,19	0,80	0,002	0,012
AШ500	334556	0,31	1,21	0,79	0,002	0,014

Таблица 4. Механические свойства опытных партий проката

Номер плавки	Значения механических свойств					
	σ_T Н/мм ²	σ_B Н/мм ²	σ_B/σ_T	δ_5 , %	δ_{max} , %	δ_p , %
233556	595-605	784-789	1,30-1,32	22,5-32,0	—	11,5-14,0
334555	571-588	773-776	1,32-1,36	20,0-21,0	10,0-11,5	—
334556	571-583	770-772	1,32-1,35	20,0-22,0	11,0-12,0	—

для класса АШ600 величины (600 Н/мм^2) при значениях относительного удлинения δ_5 , близких к нижней границе для класса АШ500. При этом значения относительного удлинения при максимальной нагрузке (δ_{max}) значительно выше нижней границы для класса АШ500 (8 %).

Металлографические исследования образцов проката выполнены на микроскопе «Axiovert 200 M MAT» производства фирмы «Carl Zeiss», количественный анализ выполнен в программе «AxioVision 4.6.3». Микроструктуру образцов выявляли на поперечных шлифах исследуемых образцов с помощью 4-% спиртового раствора азотной кислоты.

По результатам металлографического исследования установлено, что все образцы опытного проката имеют у поверхности темнотравящийся ободок глубиной 1-1,2 мм, со структурой отпущенного мартенсита. Основное сечение проката состоит из сорбитной структуры и феррита по границам зерен. Средний размер зерен составляет 23-27 мкм. Объемная доля феррита составляет 4-10 %.

Отличительной особенностью структуры опытного арматурного проката от проката класса АШ500 массового производства является то, что основное сечение проката состоит из сорбитной структуры, в которой дисперсность перлита выше, а это, в свою очередь, позволяет повысить пластические характеристики стали.

Проведенное математическое моделирование показало, что для повышения предела текучести проката на $25-35 \text{ Н/мм}^2$ целесообразно снизить температуру самоотпуска с 610 до $595-600 \text{ }^\circ\text{C}$, например, путем снижения скорости прокатки примерно на $0,5 \text{ м/с}$. Однако при этом относительное удлинение (δ_5) уменьшится на $0,5-1,5 \%$. Расчеты показали, что такого же повышения предела текучести можно достигнуть без изменения скорости прокатки и температуры самоотпуска, увеличив содержание в стали кремния до $1,05-1,10 \%$. При этом расчетное снижение значений относительного удлинения (δ_5) составило всего $0,2-0,3 \%$.

Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать следующее содержание основных химических элементов в стали для производства проката винтового профиля класса АШ600: углерод $0,27-0,33 \%$, марганец $0,90-1,30 \%$, кремний $0,75-1,10 \%$. Механические свойства проката класса АШ600 в состоянии поставки должны удовлетворять таким требованиям: предел текучести – не менее 600 Н/мм^2 ; временное сопротивление – не менее 750 Н/мм^2 ; отношение временного сопротивления к пределу текучести не менее $1,2$; полное относительное удлинение при максимальной нагрузке (δ_{max}) – не менее 8% ; относительное удлинение после разрыва (δ_5) – не менее 18% .

Полученные результаты были учтены при разработке Изменения № 1 к ТУ У 27.3-23365425-661:2011¹.

По разработанному нормативно-техническому документу была произведена опытная партия проката № 22 класса АШ600. Содержание основных химических элементов в стали (% масс.): углерод $0,30$; марганец $1,30$; кремний $0,85$.

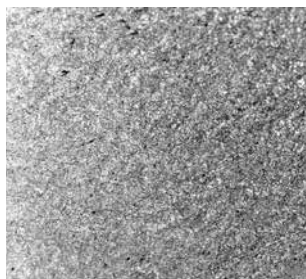
Анализ механических свойств образцов опытного проката класса АШ600 показал, что они в полной мере соответствуют требованиям технических условий: предел текучести – 603 Н/мм^2 ; временное сопротивление – 805 Н/мм^2 ; отношение временного сопротивления к пределу текучести равно $1,33$; полное относительное удлинение при максимальной нагрузке (δ_{max}) – 13% ; относительное удлинение после разрыва (δ_5) – 21% .

Результаты металлографического анализа показали, что все образцы опытной партии арматурного проката №22 имеют у поверхности темнотравящийся ободок глубиной примерно $0,9-1,2 \text{ мм}$, со структурой отпущенного мартенсита. Структура основного сечения образца равномерная, состоящая из сорбита и феррита (рис. 1). Однако в отличие от структуры образцов арматурного проката класса А500, характеризуется более мелким размером зерен, средний размер зерен составляет $15-20 \text{ мкм}$. Объемная доля феррита составляет $12-19 \%$. Такое структурное состояние обеспечивает требования, предъявляемые Техническими условиями к механическим свойствам арматурного проката класса прочности АШ600.

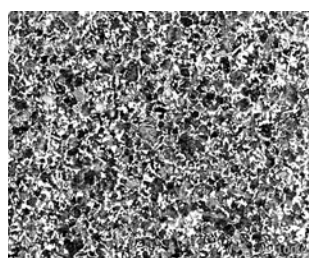
1 Разработано техническим комитетом ТК4 с участием Института геотехнической механики НАН Украины



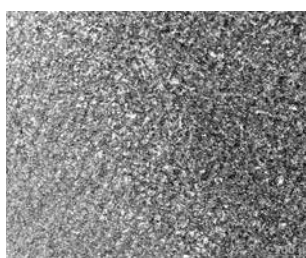
а) общий вид сечения проката



б) поверхностный слой



в) центральная зона



г) переходной слой

Рисунок. Структура арматурного проката № 22 класса АШ600, х200

Выводы

Разработана технология и нормативно-техническая документация на производство арматурно-

го проката с винтовым профилем для анкерного крепления горных выработок класса АШ600 из непрерывнолитых заготовок. Технология освоена на ПАО «Енакиевский металлургический завод».

Библиографический список

1. Булат А. Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт / А. Ф. Булат, В. В. Виноградов – Днепропетровск: Институт геотехнической механики НАН Украины, 2002. – 372 с.
2. Освоение производства арматурного проката для анкерного крепления горных выработок / В. А. Шеремет, А. В. Кекух, Г. В. Левченко и др. // Сталь. – 2004. – № 6. – С. 61-63.
3. Освоение технологии производства проката винтового профиля для анкерного крепления горных выработок в условиях ПАО «Енакиевский металлургический завод» / Г. В. Левченко, А. Ю. Орбачев, С. А. Воробей и др. // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2013. – № 2. – С. 61-65.
4. Применение математических моделей для прогнозирования микроструктуры термоупрочненного арматурного проката / Г. В. Левченко, С. А. Воробей, Т. В. Грицай и др. // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2006. – № 4. – С. 82-85.

Поступила 07.02.2014

УДК 621.721.01

Ершов С. В. /д. т. н./, Гаврилин С. Ю. /д.т.н./
ДГТУ

Мельник С. Н. /к. т. н./
ПАО ДМКД

Наука

Исследование течения металла фасонной полосы в черновых проходах при производстве шпунтовой сваи корытного типа

Шпунтовые сваи работают как консольные балки, нагруженные рассредоточенными силами. Основную нагрузку воспринимает полотно профиля. Суммарное воздействие сил создаёт изгибающий момент, под действием которого сваи могут деформироваться. Это приводит к разъединению свай в замковых элементах. Поэтому при производстве шпунтов особое внимание уделяют выполнению замковых элементов. Ил. 10. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: деформация, калибр, замковый элемент, формоизменение

Sheet piles act as cantilever beams loaded by dispersed forces. The main burden perceives web profile. The total impact force generates a bending moment under the action of which the pile may become deformed. This leads to a disengagement of locking elements in the piles. Therefore, in the manufacture of sheet piling pay special attention to the implementation of interlocking elements.

Keywords: strain, gauge, locking element, forming

Введение

В условиях уплотненной городской застройки, реконструкции сооружений вблизи существующих жилых домов, а также строительстве гидротехнических сооружений широко применяется шпунтовое ограждение.

Большим спросом пользуется шпунтовое ограждение с использованием металлического профиля

шпунтовой сваи типа «Ларсен» с межзамковым расстоянием $B_{\Pi} \geq 500$ мм. Данный профиль, представляет собой П-образный контур с замковыми элементами на краях боковых стоек (полок).

Анализ последних исследований и литературы

Авторы работы [1] рассматривают несколько технологических схем производства горячекатаного профиля шпунтовых свай. Особенностью их