



УДК 669.014.018.29: 622.831

Левченко Г.В. /д.т.н./, Воробей С.А. /д.т.н./,
Дёмина Е.Г. /к.т.н./
ИЧМ НАН Украины

Оробцев А.Ю. /к.т.н./, Хорошилов В.В.,
Долгопол А.В.
ПАО «Енакиевский металлургический завод»

Опробование технологии производства проката винтового профиля для анкерного крепления горных выработок в условиях ПАО «Енакиевский металлургический завод»

Приведены результаты опытно-промышленного опробования производства арматурного проката винтового профиля класса А500ш для анкерного крепления горных выработок из непрерывнолитых заготовок в условиях ПАО «Енакиевский металлургический завод». Показан расчётный и достигнутый уровень механических свойств проката. Ил. 5. Табл. 5. Библиогр.: 8 назв.

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

The results of experimental and industrial test of the reinforcing bar production of screw profile, A500ш class, for rock-anchoring of mining works from continuously cast billets in PJSC «Yenakieve Iron and Steel works» are shown. The expected and the achieved level of mechanical properties of the rolled metal are shown.

Keywords: screw profile reinforcing bar, mines rock-anchoring, mechanical properties, structure

Введение

Затраты на крепление и поддержание горных выработок достигают 25 % себестоимости угля и, в значительной степени, определяются видом и качеством шахтной крепи. В настоящее время на угольных шахтах для поддержания выработок применяется около 100 различных видов крепи. Наибольшее применение имеют рамные металлические крепи из специального профиля. Затраты на крепление одного метра горной выработки таким способом составляют от 3 до 6 тыс. грн., расход металлопроката – от 300 до 1000 кг. Кроме этого, рамные металлические крепи оказываются недостаточно надёжными в сложных геологических условиях. В связи с этим в течение многих лет усилия металлургов были направлены на повышение комплекса механических свойств шахтной крепи путём совершенствования химического состава стали и режимов термического упрочнения проката [1]. Однако результаты многочисленных экспериментов показали, что никакая технически выполнимая и экономически целесообразная жёсткая крепь выработок, проведенных в горных породах на больших глубинах, не может противодействовать горному давлению, и поэтому бороться с образованием зоны разрушения путём увеличения несущей способности арочной клетки нецелесообразно. Таким образом, применяемая традиционная технология поддерживающего и подпорного крепления выработок рамно-арочной крепью исчерпала свои технические и технологические возможности [2].

Кардинальное решение проблемы крепления горных выработок в сложных условиях может быть

достигнуто за счёт применения новых типов крепи. Как показал зарубежный опыт, в наибольшей степени требованиям «идеальной крепи» отвечают современные анкерные крепи высокой несущей способности (рис. 1) [2].

Анкерная крепь, независимо от формы и размеров поперечного сечения выработок, состоит из одних и тех же основных элементов: стальная анкерная штанга, капсула полимерного закрепителя, гайка и подхват.

Основная функция анкерных штанг – формирование в приконтурном массиве грузонесущей опоры для сдерживания горных пород от смещений в выработку. Кроме того, с помощью штанги при её установке в шпур производится разрушение патронов с полимерным закрепителем, перемешивание их содержимого для получения однородной смеси, транспортирование смеси и плотная укладка её вдоль шпура.

Объём горных выработок с анкерной крепью в Великобритании достиг 90 %. Анкерная крепь широко применяются в шахтах Германии и США, внедряется в России. Выполненные расчёты показали [2], что обеспечить требуемые уровни несущей способности анкерной крепи (обычный, повышенный либо особо высокий) можно за счёт применения штанг различных диаметров (от 20 до 28 мм), с различным уровнем прочностных характеристик и неизменно высокой пластичностью.

В Украине в 2003-2005 гг. на металлургическом комбинате ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» совместно с ИЧМ НАНУ и ИГТМ НАНУ была разработана и реализована технология производства

© Левченко Г.В., Воробей С.А., Дёмина Е.Г., Оробцев А.Ю., Хорошилов В.В., Долгопол А.В., 2013 г.

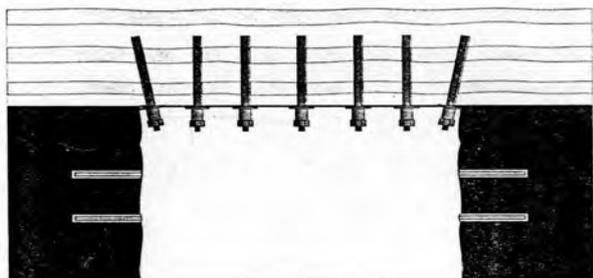


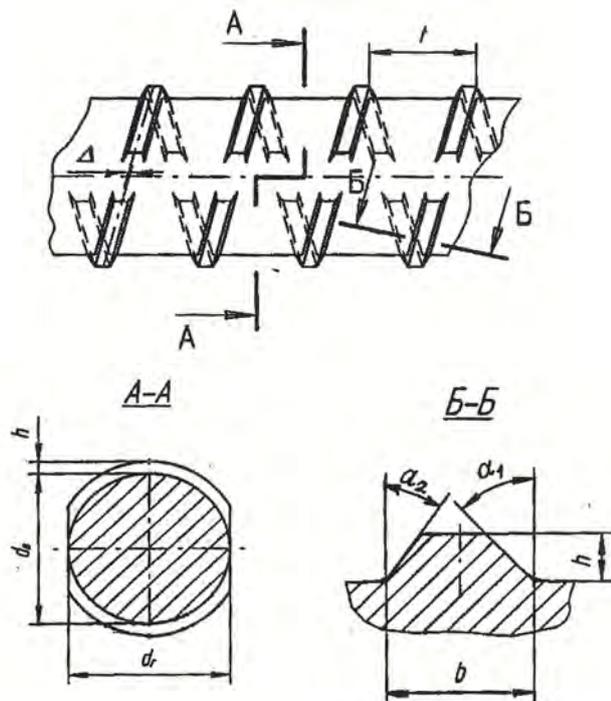
Рис. 1. Схема анкерного крепления горной выработки [2]

Таблица 1. Требования к химическому составу стали

Вид анализа	Массовая доля элементов, пределы или не более, % (масс.)				
	C	Mn	Si	S	P
в 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

арматурного проката винтового профиля для анкерного крепления горных выработок классов А400ш и А500ш [3, 4]. Согласно разработанным техническим условиям прокат изготавливается из стали марки 30ГС следующего химического состава (% масс.): С 0,25-0,33; Mn 0,90-1,30; Si 0,60-0,90; S не более 0,045; P не более 0,040.

Рис. 2. Разработанный периодический прокат



Освоение производства данного вида проката позволило существенно увеличить применение анкерного крепления на шахтах Украины. Однако в настоящее время потребность в таком прокате превышает объем производства. Кроме того, в условиях

ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» данный прокат изготавливается из слитков, разлитых в изложницы, что приводит к повышенному расходу металла и энергоносителей.

Цель настоящей работы – опытно-промышленное опробование производства проката винтового профиля для анкерного крепления горных выработок в условиях ПАО «Енакиевский металлургический завод» («ЕМЗ») из непрерывнолитых заготовок.

Основные результаты исследования

С учётом накопленного опыта производства и применения проката для анкерного крепления, были разработаны технические условия ТУ У 27.3-23365425-661:2011 «Прокат для анкерной системы крепления горных выработок»¹. Данные технические условия предусматривают производство арматурного проката класса А500ш. Требования к химическому составу стали приведены в табл. 1.

Механические свойства проката в состоянии поставки должны удовлетворять следующим требованиям:

- предел текучести (s_T) – не менее 500 Н/мм²;
- временное сопротивление (s_B) – не менее 620 Н/мм²;
- отношение временного сопротивления к пределу текучести (s_B/s_T) – не менее 1,2;
- полное относительное удлинение при максимальной нагрузке (d_{max}) – не менее 8 %;
- относительное удлинение после разрыва (d_3) – не менее 20 %.

Данные технические условия предусматривают производство усовершенствованного профиля проката, отличительной особенностью которого являются наклонные выступы постоянной высоты, выполненные по винтовой линии, разделенной по длине стержня диаметрально расположенными продольными срезами (рис. 2).

Разработанный профиль проката обеспечивает необходимое сочетание различных механизмов удержания анкера в шпуре и, в целом, существенное повышение несущей способности анкерной штанги для широкого спектра горно-геологических условий.

Предварительное определение режимов термической обработки проката в потоке стана производили с использованием разработанных в Институте чёрной металлургии математических моделей формирования структуры и механических свойств проката [5, 6]. В расчётах использовали фактические параметры установки термоупрочнения стана 390. Диапазоны варьирования содержания в стали углерода, марганца и кремния приведены в табл. 2.

Результаты расчёта механических свойств проката диаметром 25 мм в зависимости от химического состава стали и температуры самоотпуска приведены на рис. 3. Режимы термообработки в потоке стана выбирали таким образом, чтобы гарантированно обе-

¹Технические условия разработаны совместно с ТК4 и ИГТМ НАНУ

спечить заданные механические свойства арматурного проката для анкерного крепления горных выработок класса А500ш. Результаты выполненных расчетов позволили рекомендовать температуру самоотпуска 640-650 °С для профилей № 20-28.

Таблица 2. Диапазоны варьирования химического состава стали 30ГС

Химический элемент	Содержание в стали, % (масс.)		
	Миним.	Среднее	Максим.
Углерод	0,27	0,30	0,33
Марганец	1,1	1,18	1,26
Кремний	0,72	0,81	0,90
Углеродный эквивалент $C_e = C + Mn/8 + Si/7$	0,510	0,563	0,616

Таблица 3. Химический состав опытных плавков стали марки 30ГС

Условный номер плавки	Содержание химических элементов, % (масс.)								
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	N
1	0,28	1,20	0,79	0,002	0,019	0,09	0,05	0,06	0,01
2	0,26	1,16	0,71	0,004	0,012	0,07	0,03	0,06	0,01
3	0,29	1,03	0,54	0,003	0,011	0,04	0,03	0,05	0,01
4	0,30	1,19	0,80	0,002	0,022	0,05	0,03	0,03	0,01

В ПАО «ЕМЗ» были выплавлены и разлиты в заготовки сечением 150×150 мм опытные плавки стали марки 30ГС. Химический состав опытных плавков приведен в табл. 3. На стане 390 Макеевского филиала ПАО «ЕМЗ» из заготовок был произведен арматурный прокат № 20-28. При прокатке варьировали количеством и номерами включенных секций охлаждения в установке термоупрочнения. При этом контролировали температуру проката при его поступлении на холодильник (T_x). В зависимости от диаметра проката и скорости прокатки эта температура ниже температуры самоотпуска (T_{co}) на 7-12 °С. После охлаждения металла на холодильнике отбирали пробы для определения механических свойств проката. Результаты приведены в табл. 4.

Анализ механических свойств опытного проката показал следующее. В полной мере требованиям технических условий к механическим свойствам соответствует только прокат № 20 и 28 плавки № 2 ($T_x = 635-645$ °С). Прокат № 20 (плавка № 1) при температуре $T_x = 790-795$ °С характеризуется низкими значениями предела текучести, а при температуре 700-705 °С – низкими значениями предела текучести и относительного удлинения. Прокат № 25 и 28 той же плавки, прокат № 28 плавки № 3 и прокат № 22 плавки № 4 при температуре $T_x = 635-640$ °С так же характеризуется низкими значениями относительного удлинения. Однако при этом значения отношения s_B/s_T высокие для всего опытного проката и соответствуют требованиям, предъявляемым к арматурному прокату для анкерного крепления горных выработок, что говорит о наличии ресурса пластичности металла.

Значения предела текучести и временного сопротивления опытного проката близки к расчётным, относительного удлинения – несколько ниже.

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. Следы дендритной структуры исследовали на продольных шлифах и выявляли травлением в горячем растворе пикрата натрия. Этот реактив выявляет химическую микро неоднородность кремния (дендритную ликвацию, твёрдофазную сегрегацию), приводя к потемнению участков с повышенным его содержанием.

Арматурный прокат № 20 плавки № 1 по всему сечению имеет феррито-перлитную структуру, т.е., его состояние – горячекатаное. Отличие микроструктуры поверхностных слоёв от микроструктуры центральной зоны состоит в незначительном уменьшении размера действительного зерна перлита (от 12,7 до 9,5 мкм) и его объёмной доли (38 до 35,5 %).

Характер структуры остального проката соответствует термоупрочненному состоянию – отпущенный мартенсит в поверхностном слое и ферритно-перлитная структура центральной зоны (рис. 4). При этом толщина поверхностного слоя отпущенного мартенсита 1,0-1,3 мм. Размер действительного зерна перлита в центральной зоне поперечного сечения проката составляет 18-20,5 мкм, а его объёмная доля 44-57 %.

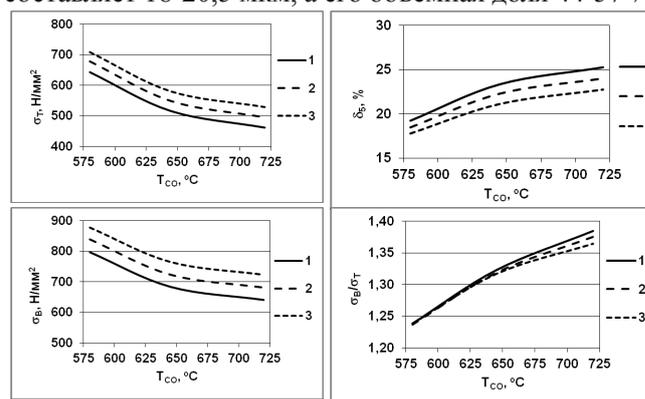


Рис. 3. Расчётные значения механических свойств проката в зависимости от химического состава стали и температуры самоотпуска: 1 – величина углеродного эквивалента 0,51; 2 – 0,56; 3 – 0,62 %

Исследование следов дендритной структуры в прокате показало, что при увеличении диаметра арматурного проката от 20 до 28 мм средний размер элементов дендритной структуры остаётся практически постоянным и составляет 10 и 15 мкм для междендритных пространств и дендритных ветвей соответственно (рис. 5). Однако при этом максимальный раз-

мер дендритных ветвей в микроструктуре арматурного проката № 20, 25 и 28 составляет 90, 130 и 180 мкм.

Возможно, наличие участков металла с недостаточно деформационно измельченной дендритной структурой является одной из причин несколько пониженного соотношения прочностных и пластических свойств опытного проката.

Таблица 4. Средние значения механических свойств опытного арматурного проката из стали марки 30ГС

Условный номер плавки	Номер профиля	Номер эксперимента	Tx, °C	σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	σ_B/σ_T	δ_s , %
1	20	1-1	790-795	475	652	1,37	20,8
		1-2	700-705	500	662	1,32	18,8
	25	1-3	635-640	556	700	1,26	18,8
	28	1-4	635-640	563	733	1,30	18,5
2	20	2-1	645	511	665	1,30	21,3
	28	2-2	635-640	530	676	1,27	22,0
3	28	3-1	635-640	527	679	1,29	18,8
4	22	4-1	635-645	527	699	1,32	16,8

Разработанные технические условия ТУ У 27.3-

23365425-661:2011 регламентируют механические свойства арматурного проката в состоянии поставки. В тоже время известно, что в процессе вылеживания проката наблюдается изменение значений его механических свойств – снижение прочностных показателей и увеличение пластических [7, 8], что авторы данных работ связывают со снижением содержания свободного водорода

и уменьшением остаточных напряжений. В связи с этим провели определение механических свойств проката № 25 (плавка № 1) и проката № 22 (плавка № 4) после вылеживания в течение 10 и 20 дней, соответственно. Результаты приведены в табл. 5.

Сравнивая полученные значения механических свойств проката после его вылеживания с результатами испытаний непосредственно после прокатки (табл.5) можно отметить следующее. В процессе вылеживания проката предел текучести временно сопротивление практически не снизился на 20-25 Н/мм², не изменилось, отношение σ_B/σ_T увеличилось в 1,03-1,05 раз, относительное удлинение (δ_s) увеличилось на 2-6 % (абс.), полное относительное удлинение при максимальной нагрузке (δ_{max}) увеличилось примерно на 3 % (абс.). Таким образом, свойства арматурного проката № 25 после вылеживания полностью соответствуют требованиям ТУ У 27.3-23365425-661:2011. В прокате № 22 – требованиям технических условий соответствует примерно 60 % испытанных образцов. Остальные образцы имеют пониженные значения предела текучести.

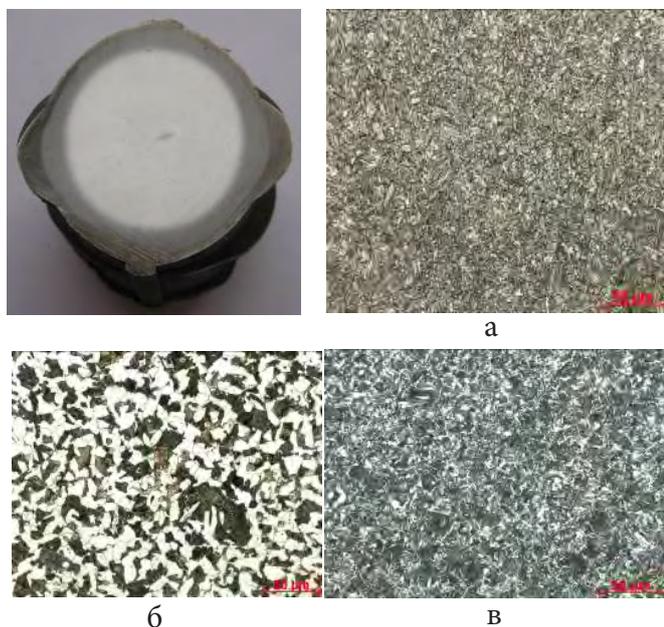


Рис. 4. Структура арматурного проката № 28 (плавка № 2), × 250: а – поверхностный слой, б – центральная зона, в – переходной слой

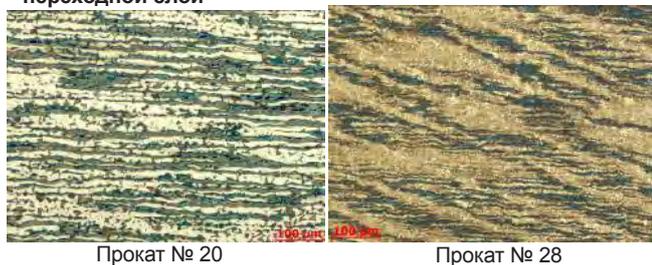


Рис. 5. Следы дендритной структуры в арматурном прокате (½ радиуса), × 100: светлые участки (полосы) без видимой ликвации – «бывшие» дендритные ветви, тёмные ликвационные участки (полосы) – междендритные пространства

Выводы

1. Разработаны технические условия ТУ У 27.3-23365425-661:2011 «Прокат для анкерной системы крепления горных выработок», которые предусматривают производство арматурного проката класса А500ш винтового профиля, обеспечивающего необходимое сочетание различных механизмов удержания анкера в шпуре и, в целом, существенное повышение несущей способности анкерной штанги для широкого спектра горно-геологических условий.

2. Произведены опытно-промышленные партии

Таблица 5. Средние значения механических свойств опытного арматурного проката из стали марки 30ГС после вылеживания

Условный номер плавки	Номер профиля	Номер эксперимента	σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	σ_B/σ_T	δ_s , %	δ_{max} , %
1	25	1-3	529	705	1,33	25,0	12,8
4	22	4-1	505	695	1,37	20,6	10,1

проката № 20 - 28 из непрерывнолитых заготовок в условиях ПАО «ЕМЗ». Установлено, что требуемый комплекс механических свойств проката достигается при его вылеживании в течение 10-20 дней после прокатки. Необходимо продолжить исследования в направлении повышения уровня пластических свойств проката для анкерной системы крепления горных выработок.

Библиографический список

1. Термическое упрочнение шахтной крепи / И.Е. Долженков, В.Д. Верболов, Л.В. Пучикова // Термическая обработка металлов. – 1975. – № 4. – С. 15-17.
2. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт / А.Ф. Булат, В.В. Виноградов. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2002. – 372 с.
3. Термоупрочненный периодический прокат для анкерной крепи горных выработок / Г.В. Левченко, А.В. Кекух, В.А. Поляков и др. // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2003. – № 5. – С. 58-61.
4. 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.

5. Прогнозирование и стабилизация структуры и свойств термоупрочненной арматурной стали / Г.В. Левченко, С.А. Воробей, А.В. Ноговицын, И.А. Гунькин // **Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии**: Сб. научн. тр. Вып. 7. – Днепропетровск: Візіон, 2004. – С. 138-144.

6. 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.

7. Водород в промышленных сталях / В.И. Заика, Ю.А. Кашенко, Г.П. Брехаря. – Запорожье: Запорожский ГУ. – 1998. – 192 с.

8. Термомеханическая обработка проката из непрерывнолитой заготовки малого сечения / В.В. Парусов, А.К. Белитченко, Н.А. Богданов и др. – Запорожье: Запорожский ГУ. – 2000. – 142 с.

Поступила 23.11.2012



УДК 620.172.251.1

Большаков Вл.И. /д.т.н./, Носенко О.П. /к.т.н./, Фёдорова И.С. /к.т.н./
ГВУЗ «ПГАСА»

Наука

Зацарная А.В. /к.ф.-м.н./, Шиян А.В. /к.ф.-м.н./
Центр «Исследование механических свойств»
ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАНУ
Мурашкин А.В. /к.т.н./
ПАО «ММК им. Ильича»

Альтернативная методика определения качества конструкционных сталей

В данной статье рассмотрена проблема количественной оценки качества сталей по их способности сопротивляться хрупкому разрушению. Исследования по апробации данной альтернативной методики показали, что результаты, полученные при ее использовании, коррелируют с результатами сдаточных испытаний. Было предложено использовать характеристики механической стабильности K_{ms} и меры оптимальности по механической стабильности M_{Kms}^{σ} , которые могут быть определены путем проведения испытаний на одноосное растяжение, для оценки качества сталей, применяемых в строительных металлоконструкциях и трубах большого диаметра для магистральных нефте-газопроводов. Ил. 3. Табл. 4. Библиогр.: 3 назв.

Ключевые слова: качество стали, хрупкое разрушение, механическая стабильность, одноосное растяжение

In this article the problem of quantitative estimation of the steel quality according to their ability to resist brittle fracture is considered. The research on the approbation of the alternative method showed that the results obtained using this method correlate with the results of an acceptance tests. It was offered to use the characteristics of the mechanical stability K_{ms} and measures of optimality for mechanical stability, which can be determined by means of uniaxial tensile tests, to evaluate the quality of steel used in the construction metal structures and large-diameter pipes for main oil and gas pipelines.

Keywords: Isteel quality, brittle fracture, mechanical stability, uniaxial tension

В комплекс механических характеристик, определяющих пригодность металлопроката для применения в строительных металлоконструкциях, входят следующие базовые показатели, которые определяют

при одноосном растяжении цилиндрических или плоских образцов: $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести, МПа; σ_B – временное сопротивление разрыву (предел прочности), МПа; δ_5 – относительное удлинение

© **Большаков Вл.И., Носенко О.П., Фёдорова И.С., Зацарная А.В., Шиян А.В., Мурашкин А.В., 2013 г.**