

УДК 621.771.09

Бедринов А.И., Куницын Г.А., Придеин А.А., Прокопенко Л.В., Базаев Е.Л., Рой В.М.

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ШТРИПСА ПОВЫШЕННОЙ ХЛАДОСТОЙКОСТИ ДЛЯ ОБУСТРОЙСТВА ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЗАВОДА ПО ПРОИЗВОДСТВУ СЖИЖЕННОГО ГАЗА ОАО «ЯМАЛ-СПГ»

Аннотация. В рамках совершенствования штрипса из стали марок К42-К60 для электросварных труб диаметром 530-1220 мм, производимого на АО «Уральская Сталь», в 2005 году ГНЦ ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина» были разработаны и согласованы с заинтересованными организациями ТУ 14-1-5511 «Прокат толстолистовой для электросварных труб класса прочности К42-К60 диаметром 530-1220 мм». Указанный прокат был успешно использован в проектах для изготовления трубопроводов «Восточная Сибирь – Тихий океан», «Бованенково-Ухта», Сахалин-Хабаровск – Владивосток и мн. др. Учитывая богатый опыт АО «Уральская Сталь» при производстве штрипса для трубопроводов по национальным проектам, АО «Уральская Сталь» было выбрано основным поставщиком штрипса класса прочности Х70(К60) для изготовления труб, предназначенных для обустройства газосборных систем завода по производству сжиженного газа ОАО «Ямал-СПГ», в рамках освоения Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения на полуострове Ямал. При разработке стали было предусмотрено ужесточение требований по ряду технических характеристик, направленное на повышение надежности штрипса и повышения его эксплуатационных характеристик. Совершенствование коснулось в части повышения хладостойкости стали, повышения требований по ударной вязкости на образцах Шарпи при отрицательных температурах до -60°C , чистоты стали по неметаллическим включениям, по увеличению нормативных требований по пределу текучести, расширение размерного сортамента в части поставки штрипса толщиной 25-28,5 мм. Рассматриваемый металлопрокат – штрипс класса прочности Х70(К60), произведенный на стане 2800 АО «Уральская Сталь», обеспечивал не только более высокие качественные характеристики труб, но и имел более привлекательные цены в сравнении со штрипсом, произведенном на стане 5000 других металлургических предприятий. АО «Уральская Сталь» – единственное металлургическое предприятие России, обеспечивающее производство на стане 2800 штрипса класса прочности Х70(К60) толщиной более 20 мм. Освоенный в промышленном производстве на АО «Уральская Сталь» штрипс из стали класса прочности Х70(К60) улучшенной хладостойкостью и свариваемостью был предложен широкому кругу потребителей – трубным заводам и заводам по производству фитингов, деталей трубопроводов. Штрипс класса прочности Х70(К60) позволяет изготавливать трубы и эксплуатировать трубопроводы с высокими эксплуатационными характеристиками в районах крайнего Севера.

Ключевые слова: термомеханическая прокатка, микроструктура, ускоренное охлаждение, микролегирование.

Введение

В настоящее время практически все современные толстолистовые станы, занятые в производстве штрипсов, оборудованы устройствами для интенсивного охлаждения раскатов, позволяющими реализовать технологию термомеханической прокатки с последовательным ускоренным охлаждением. Практически такая технология применяется для штрипсов толщиной 14 мм и более. Применение ускоренного охлаждения позволяет одновременно повысить прочностные свойства и хладостойкость проката за счет получения более дисперсной структуры и замены перлита в углеродсодержащей фазе на продукты промежуточного превращения в стали. Это обстоятельство позволяет либо поднять класс прочности штрипса при аналогичном уровне легирования, либо снизить общее легирование стали для одного и того же класса прочности.

Наиболее распространенной композицией химического состава, применяемой для сталей класса прочности Х70 (К60) в толщинах до 20 мм, является система легирования С-Si-Mn-Nb-V, т.е. стали типа 10Г2ФБ. Использование ускоренного охлаждения позволяет снизить максимальное содержание углерода,

марганца и кремния в стали указанного класса прочности. С увеличением толщины 20 мм и более, как правило, удается снизить содержание углерода с 0,10–0,12 до 0,06–0,08 %.

Как известно, при производстве листового проката класса прочности Х70 (К60) с использованием термомеханической прокатки необходимым условием является использование микролегирующих добавок Nb, V, Ti [1–3], позволяющих эффективно управлять процессами формирования зеренной структуры (контроль роста аустенитного зерна при нагреве, рекристаллизации аустенита), а также выделением мелкодисперсных упрочняющих частиц, тем самым формируя требуемый комплекс механических и технологических свойств проката (табл. 1).

В настоящее время приоритетным направлением в АО «Газпром» стало строительство магистральных газопроводов диаметром 1420 мм. Станам 2800 достается «скромное» участие в изготовлении штрипса, предназначенного для изготовления ответвлений, перемычек и отводов.

Тем не менее с целью освоения Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения, возникла необходимость в поставке труб диаметром 530 мм для обустройства газосборных сетей ОАО «Ямал-СПГ», предусматривающая строительство завода по производству сжиженного природного газа (СПГ) мощностью 16,5 млн т в год.

© Бедринов А.И., Куницын Г.А., Придеин А.А., Прокопенко Л.В., Базаев Е.Л., Рой В.М., 2021

Требования по механическим свойствам стали класса прочности X70 (K60)

Класс прочности	Предел текучести σ_T , Н/мм ²	Временное сопротивление σ_B , Н/мм ²	Отношение σ_T/σ_B	Относительное удлинение δ_5 , %	Ударная вязкость KCV ⁻⁵⁰ / KCV ⁻⁶⁰ , Дж/см ²	Доля волокна при ИПГ (-20°C), %
			не более	не менее		
X70 (K60)	505–605	590–710	0,90	22,0	58,8	70

Результаты исследование и производства

В рамках заказов ПАО «ЧТПЗ» и АО «ЗТЗ» АО «Уральская Сталь» осуществляла поставку стали класса прочности X70 (K60) трех профилей штрипса 25×1577 мм, 28×1568 мм, 28,5×1566 мм общим объемом 6000 т. Фактически данный заказ был первым участием АО «Уральская Сталь» в масштабных проектах по строительству трубопроводов с толщиной стенки свыше 20 мм.

Особенностью данного проекта была поставка «относительно» толстых профилей для стана 2800 – 25–28,5 мм класса прочности X70 (K60) с требованиями по ультразвуковому контролю листов по критериям, превышающим требования 0 класса сплошности ГОСТ 27772 в десять раз.

Такие высокие требования потребовали разработки комплексной технологии производства стали класса прочности X70 (K60):

1. В качестве базового химического состава выбран классический химический состав стали класса прочности X70 (K60), предусматривающий микролегирование Nb, V, Ti (табл. 2).

Таблица 2

Химический состав стали класса прочности X70 (K60) массовая доля, %

Сталь класса прочности	C	Si	Mn	Nb	V	Ti	S	P	N
X70 (K60)	0,07-0,09	0,25-0,35	1,50-1,70	0,05-0,06	0,05-0,06	0,015-0,030	0,002	0,010	0,008

2. Использование чугуна при шихтовке значительно снижает содержание в готовой стали цветных примесей: олова, свинца, сурьмы, цинка и др. В связи с чем при выплавке в электропечах, содержание чугуна в шихтовке стали составляло 80%.

3. При непрерывной разливке стали на МНЛЗ на первой плавке в серии происходит набор скорости от 0 до рабочей, на последней плавке в серии, наоборот, происходит снижение скорости разливки от рабочей до 0. Процесс разгона и торможения при непрерывной разливке ухудшает условия кристаллизации металла и приводит к переохлаждению поверхности непрерыв-

нолитой заготовки. Для обеспечения заданных требований по УЗК при планировании разливки стали класса прочности X70 (K60) первая и последняя плавки в серии назначались на другие заказы со схожим химическим составом и более мягкими требованиями по УЗК.

Максимальное использование чугуна при шихтовке стали и исключение первой и последней плавки при непрерывной разливке в сочетании с замедленным охлаждением листов в стопах позволили обеспечить установленные требования по УЗК, отсортировка по данному дефекту на объеме 6000 т составила 2 листа.

4. Другой характерной особенностью разработанной технологии было применение «относительно» высокой температуры нагрева слэбов под прокатку 1200–1220°C. Данный режим позволил провести прокатку в черновой клети при температуре 1050–1120°C с обеспечением относительных обжатий до 15–18%. Такие обжатия позволили формировать более мелкое и равноосное аустенитное зерно после черновой стадии прокатки благодаря протеканию рекристаллизации после каждого прохода на клети ДУО и в конечном результате повысить как прочностные, так и пластические свойства.

5. Чистовую стадию прокатки осуществляли в интервале температур 790–820°C. Суммарная деформация на чистовой стадии прокатки составила более 75%, частные обжатия за проход составляли 12–18%.

6. Подстуживание раската на межклетьевом пространстве составляло 9–10 минут, что отрицательно сказывается на производительности стана. С целью обеспечения производительности стана на уровне 110–120 т/ч и исключения «пересиживания» слэбов в методических печах применена технология «отдельного» посада. Одновременно в разные печи высаживался металл класса прочности X70 (K60) по технологии термомеханической прокатки и металл, прокатываемый без регламентации температуры окончания прокатки.

7. Использование ускоренного охлаждения сразу после окончания пластической деформации обеспечивает получение мелкозернистой структуры. Увеличение интенсивности охлаждения позволяет получить мелкодисперсную ферритобейнитную микроструктуру и обеспечит высокую прочность и хладостойкость штрипса.

Уровень механических характеристик, достигнутый при производстве листов толщиной 25–28,5 мм класса прочности X70 (K60) приведен на рис. 1.

Значения хладостойких характеристик в зависимости от температуры окончания прокатки приведены на рис. 2.

Требование нормативного документа предусматривало значение доли волокна в изломе образцов ИПГ при температуре минус 20°C не менее 70%. На одном образце допускалось снижение доли волокна на 10%, при этом среднеарифметическое значение должно

быть не менее 70%. С учетом допустимого снижения по результатам исполнения всего заказа 4 листа имели заниженное значение доли вязкой составляющей.

Характерный вид изломов образцов при испытании падающим грузом представлен на рис. 3.

Термомеханическая прокатка в сочетании с ускоренным охлаждением обеспечивает получение однородной мелкодисперсной ферритобейнитной структуры (рис. 4). Соотношение структурных составляющих: бейнит – 15%, феррит – 80%, перлит – 5%.

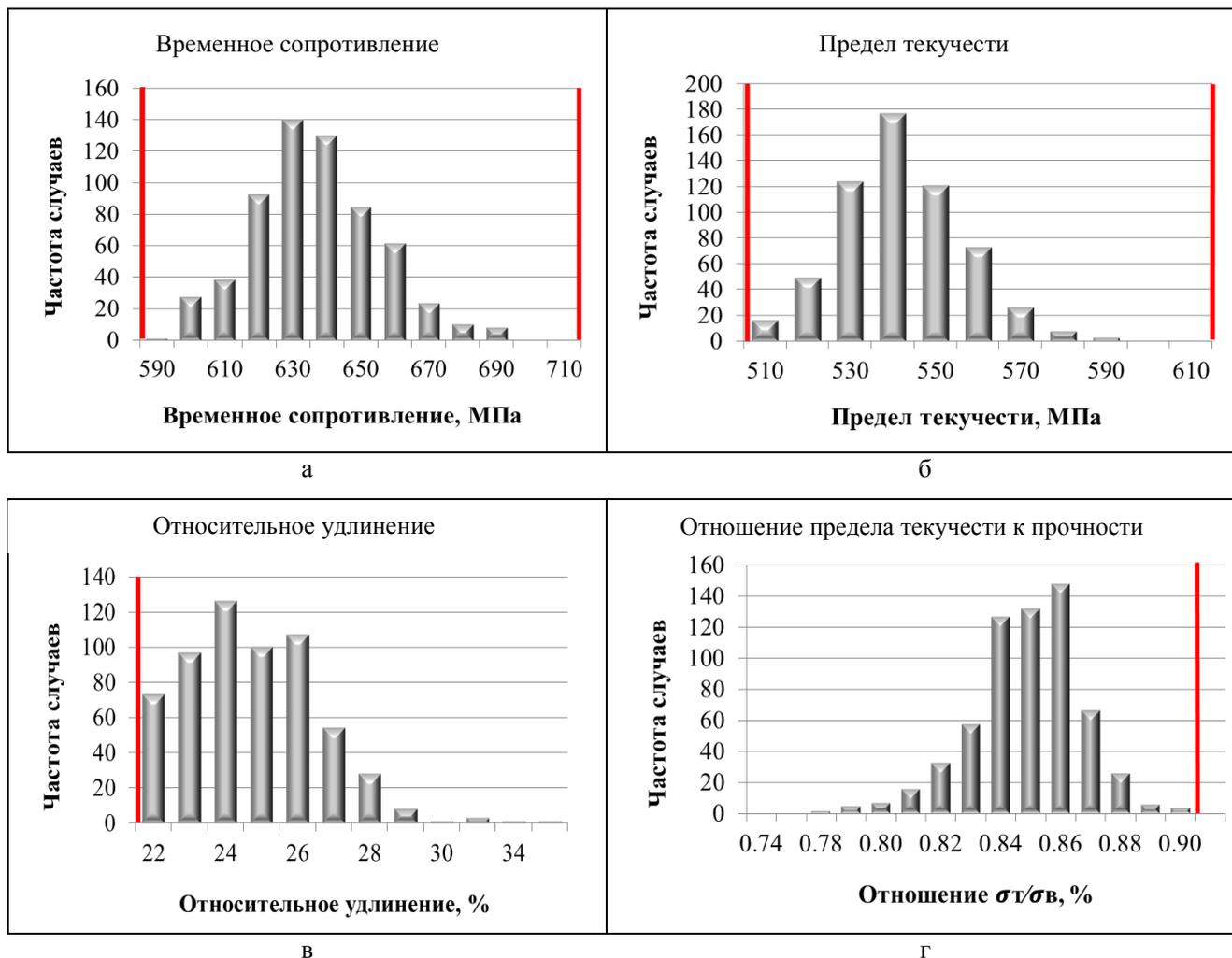


Рис 1. Уровень механических свойств листов K60 (X70) толщиной 25–28,5 мм:

- а – частотное распределение временного сопротивления;
- б – частотное распределение предела текучести;
- в – частотное распределение относительного удлинения;
- г – частота распределения отношения предела текучести к временному сопротивлению

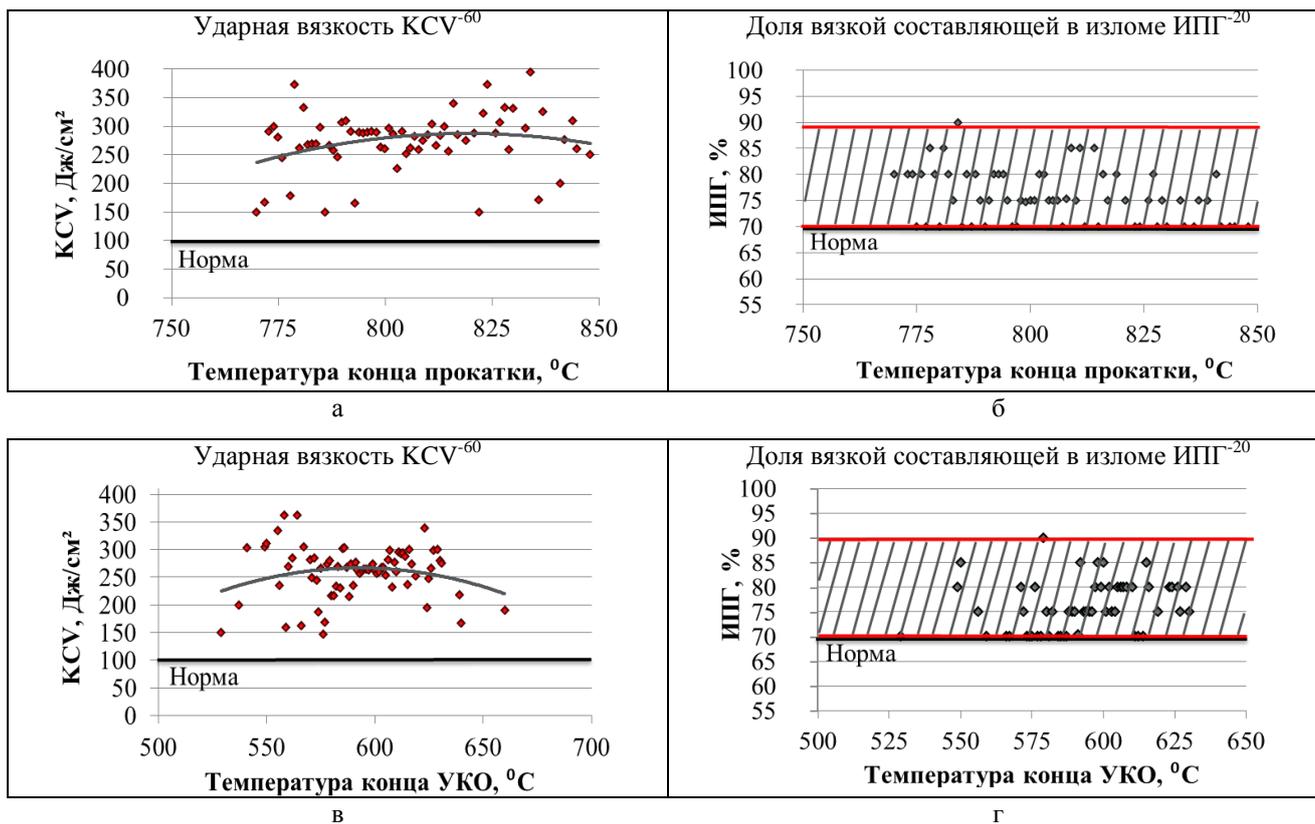


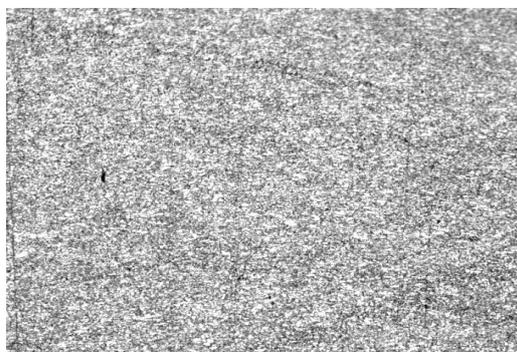
Рис. 2. Зависимость KCV^{-60} и IIP^{-20} листов толщиной 25–28,5 мм от температуры конца прокатки и температуры ускоренного охлаждения в УКО:
 а – зависимость KCV^{-60} от температуры конца прокатки;
 б – зависимость IIP^{-20} от температуры конца прокатки;
 в – зависимость KCV^{-60} от температуры ускоренного охлаждения в УКО;
 г – зависимость IIP^{-20} от температуры конца прокатки



Рис. 3. Вид изломов образцов толщиной 25 мм при испытании падающим грузом



Поверхность, $\times 500$



Поверхность, $\times 100$

Рис. 4. Микроструктура листов толщиной 25 мм

Заключение

В условиях АО «Уральская Сталь» успешно внедрена комплексная технология производства листового проката толщиной 25–28,5 мм из стали класса прочности Х70 (К60) с требованиями по ультразвуковому контролю листов по критериям, превышающим требования 0 класса сплошности ГОСТ 27772 в десять раз. Требуемый уровень прочностных характеристик в сочетании с высокой хладостойкостью проката KCV⁻⁵⁰, KCV⁻⁶⁰, ИПГ⁻²⁰ обеспечивается путем формирования мелкозернистой ферритобейнитной структуры при термомеханической обработке.

Разработаны и внедрены высокоэффективные режимы ускоренного охлаждения штрипсов толщиной более 20 мм.

Проведенный комплекс работ подтвердил перспективное развитие стана 2800 в направлении листового проката из высокопрочных марок, предназначенных для электросварных труб толщиной до 34 мм и фитингов толщиной до 50 мм.

Сведения об авторах

Бедринов Александр Игоревич – главный инженер АО «Уральская Сталь», Новотроицк, Россия. E-mail: info@uralsteel.com.

Куницын Глеб Александрович – технический директор АО «Уральская сталь», доктор технических наук, Новотроицк, Россия. E-mail: g.kunitsyn@uralsteel.com.

Придеин Андрей Александрович – начальник управления технического сопровождения прокатного производства АО «Уральская Сталь», Новотроицк, Россия. E-mail: a.pridein@uralsteel.com.

Прокопенко Леонид Владимирович – начальник прокатного отдела АО «Уральская Сталь», Новотроицк, Россия. E-mail: l.prokopenko@uralsteel.com.

Базаев Евгений Леонидович – главный специалист прокатного отдела АО «Уральская Сталь», Новотроицк, Россия. E-mail: e.bazaev@uralsteel.com.

Рой Вадим Михайлович – главный специалист прокатного отдела АО «Уральская Сталь», Новотроицк, Россия. E-mail: v.roy@uralsteel.com.

Коллектив АО «Уральская Сталь» удостоен золотой медали международной выставки «Металл ЭКСПО» за разработку и промышленное освоение технологии производства штрипса и труб для обустройства газосборных сетей завода ОАО «Ямал-СПГ».

Список литературы

1. Матросов Ю.И. Механизм влияния микродобавок ванадия, ниобия и титана на структуру и свойства малоперлитных сталей // МиТОМ. 1984. №11.
2. Ниобийсодержащие низколегированные стали / Ф. Хайстеркамп, К. Хулка, Ю.И. Матросов, Ю.Д. Морозов, Л.И. Эфрон, В.И. Столяров, О.Н. Чевская. М.: ООО «СП Интернет Инжиниринг», 1999. 94 с.
3. Матросов Ю.И. Литвиненко Д.А., Голованенко С.А. Сталь для магистральных трубопроводов. М.: Металлургиздат, 1989.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

SPECIAL ASPECTS OF PRODUCTION OF STRIPS WITH LOW TEMPERATURE PROPERTIES FOR THE ARRANGEMENT OF GAS DISTRIBUTION SYSTEMS FOR THE LIQUEFIED GAS PRODUCTION PLANT JSC YAMAL-LNG

Bedrinov Alexander I. – Chief Engineer JSC «Ural Steel», Novotroitsk, Russia. E-mail: info@uralsteel.com.

Kunitsyn Gleb A. – Technical Director, JSC «Ural Steel», Doctor of Technical Sciences, Novotroitsk, Russia. E-mail: g.kunitsyn@uralsteel.com.

Pridein Andrey A. – Head of Dpt. Technical support of rolling Production, JSC «Ural Steel», Novotroitsk, Russia. E-mail: a.pridein@uralsteel.com.

Prokopenko Leonid V. – Head of Rolling Dpt., JSC «Ural Steel», Novotroitsk, Russia. E-mail: l.prokopenko@uralsteel.com

Bazaev Evgeniy L. – Chief Spec. of Rolling Dpt., JSC «Ural Steel», Novotroitsk, Russia. E-mail: e.bazaev@uralsteel.com.

Roi Vadim M. – Chief Specialist of Rolling Dpt., JSC «Ural Steel», Novotroitsk, Russia. E-mail: v.roy@uralsteel.com.

Annotation. In 2005 I. P. Bardin Central Research Institute of Ferrous Metallurgy SSC FGUP developed and approved together with interested parties TY 14-1-5511 Technical Specifications “Rolled plates for 530-1,220 mm electric-welded pipes of K42-K60 strength grade” as part of improving K42-K60 strip for 530-1,220 mm electric-welded pipes performed in Ural Steel JSC. The above rolled products were successfully applied in projects on manufacturing of the Eastern Siberia – Pacific Ocean, Bovanenkovo-Ukhta, Sakhalin–Khabarovsk–Vladivostok pipelines and many others. Taking into consideration the vast experience of Ural Steel JSC in strip production for pipelines under national projects it was selected as the key supplier of X70(K60) strip for manufacturing pipelines designed for arrangement of gas-gathering systems in Yamal LNG gas plant within development of South-Tambey gas condensate field located on the Yamal Peninsula. When developing steel it was envisaged to impose stricter requirements on a number of technical characteristics for the purpose of increasing strip reliability and enhancing its performance. The enhancement captured non-metallic inclusion purity degree in terms of steel cold resistance improvement and raised impact strength requirements on Charpy specimen at negative temperatures down to -60 °C and extension of the grade mix for supplied 25-28.5 mm thick strips due to severization of regulatory requirements to yield strength. The rolled steel under study, i.e. X70(K60) strips produced in 2800 Mill at Ural Steel JSC, both ensured much better quality characteristics in pipelines and had more attractive prices compared to strips produced in 5000 Mill at other steelmaking plants. Ural Steel JSC is the only steelmaking plant in Russia which can produce X70(K60) strip with a thickness of over 20 mm in 2800 Mill. X70(K60) strips with improved cold resistance and weldability mastered in industrial production of Ural Steel JSC were offered to a wide variety of customers, including pipeline, fitting and components producing plants. X70(K60) strips allow for manufacturing and operating high performance pipelines in the Far North regions.

Key words: corrosion resistance, hydrogen-induced cracking, sulfide stress cracking, controlled rolling, accelerated cooling, high-temperature tempering, microstructure.

Ссылка на статью:

Особенности производства штрипса повышенной хладостойкости для обустройства газораспределительных систем завода по производству сжиженного газа ОАО «Ямал-СПГ» / А.И. Бедринов, Г.А. Куницын, А.А. Придеин, Л.В. Прокопенко, Е.Л. Базаев, В.М. Рой // Теория и технология металлургического производства. 2021. №2(37). С. 32-37.

Bedrinov A.I., Kunitsyn G.A., Pridein A.A., Prokopenko L.V., Bazaev E.L., Roi V.M. Special aspects of production of strips with low temperature properties for the arrangement of gas distribution systems for the liquefied gas production plant JSC Yamal-LNG. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2021, vol. 37, no. 2, pp. 32-37.