

## **Введение**

В рамках политики технологического развития и снижения зависимости от импорта по ключевым направлениям производственной деятельности ПАО «Газпром» организована и ведется планомерная работа по расширению использования импортозамещающей продукции, предлагаемой научно-производственными предприятиями субъектов РФ.

Потребность ПАО «Газпром» в высокотехнологичной продукции поставила перед отечественными поставщиками трубной продукции новые задачи. В число приоритетных направлений вошли освоение производства и разработка бесшовных насосно-компрессорных и обсадных труб различного назначения и типа в коррозионно-стойком и хладостойком исполнении для объектов Чайядинского, Ковыктинского и Уренгойского месторождений, а также шельфовых месторождений – Киринского и Южно-Киринского.

В ходе выполнения Программы импортозамещения в 2015 г. между ПАО «Газпром» и ПАО «ТМК» заключен Договор на производство, поставку, техническое, сервисное и ремонтное обслуживание импортозамещающей продукции под гарантированные объемы поставок будущих лет. В рамках подписанного Договора ПАО «ТМК» предстояло освоить серийный выпуск обсадных и насосно-компрессорных труб в коррозионно-стойком исполнении из стали с 13 масс. % Cr повышенной и высокой прочности (группы L80, C95, P110) и с газогерметичными резьбовыми соединениями премиум в хладостойком и коррозионно-стойком исполнениях. Данные трубы предназначены для работы в условиях коррозионных сред с содержанием CO<sub>2</sub> до 6 % и являются функциональным аналогом импортных изделий производства Sumitomo Metal Industries Ltd. (Япония), JFE (Япония).

Одна из значительных проблем, с которой приходится сталкиваться сегодня при строительстве скважин Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ) и эксплуатации ачимовских залежей Уренгойского газоконденсатного месторождения, – это опасность коррозионных разрушений труб и оборудования из-за присутствия в добываемой продукции скважин

месторождений диоксида углерода. Углекислотная коррозия является достаточно распространенным для газовых месторождений явлением как в России (в частности, на месторождениях Краснодарского края), так и за рубежом (месторождения Средней Азии, Украины и пр.). Известен как отрицательный опыт, связанный с недоучетом опасности коррозионных проявлений и соответствующими негативными последствиями, так и положительный опыт борьбы с углекислотной коррозией.

Особенность проблемы внутренней коррозии скважин, промышленного оборудования и газопроводов состоит в многофакторности и специфичности коррозионных процессов, а также в неповторимости каждого газового месторождения и, как следствие, в различиях условий работы и коррозионного разрушения труб и оборудования на различных месторождениях.

Соответственно, как следует из опыта эксплуатации оборудования на месторождениях природного газа, характер и интенсивность коррозии на разных месторождениях могут существенно отличаться, и, зная содержание  $\text{CO}_2$  в газе, можно лишь ориентировочно оценить степень коррозионной опасности.

Опыт эксплуатации месторождений, в добываемой продукции которых содержится  $\text{CO}_2$ , показывает, что игнорирование средств защиты от углекислотной коррозии приводит к несравнимо бóльшим потерям, чем стоимость мер противокоррозионной защиты. Рациональным способом решения проблемы углекислотной коррозии является использование высокохромистых сталей. Для этого наилучшим образом подходят содержащие около 13 масс. % хрома коррозионно-стойкие стали с микроструктурой, в которой доминирующей составляющей являются продукты отпуска мартенсита. Продукция, выпущенная из таких сталей, составляет не менее 70 % общего потребления труб из коррозионно-стойких марок стали. При этом объем производства такой продукции в мире неуклонно растет с 1980-х гг., что связано с неуклонным увеличением доли добычи в осложненных углекислотной коррозией условиях. Следует отметить, что стали с содержанием хрома около 13 масс. % обеспечивают достаточно высокую стойкость в диапазоне повышенных

температур, в случаях, когда проблемы коррозионной защиты не могут быть эффективно решены за счет полимерных покрытий. Более того, за последние 10–15 лет спрос на трубы из коррозионно-стойких сталей и сплавов заметно увеличился, в результате чего были разработаны международные стандарты на сегмент насосно-компрессорных и обсадных труб из сложнолегированных мартенситных, супермартенситных, ферритных, суперферритных, двухфазных аустенито-ферритных, аустенитных сталей, а также сплавов на основе никеля.

Марки (группы) стали, включенные в стандартные спецификации API 5CT, получили самое широкое распространение – прежде всего, группа прочности L80 13Cr. Однако трубы из нее для нефтяной и газовой промышленности РФ не выпускались ввиду отсутствия спроса (необходимости разработки таких запасов), а точечная потребность удовлетворялась за счет разовых поставок импортной продукции.

В настоящее время ввиду начала разработки таких месторождений в РФ спрос сформирован. Специфика условий добычи, в первую очередь при экстремально низких температурах окружающей среды в зимнее время, требует использовать разработанные ранее композиции состава сталей, возможно, с их незначительной корректировкой, которая не приводит к очень резкому росту капитальных затрат ввиду высокого содержания молибдена (1,5–3,0 %), никеля (4,5–6,5 %) и ультранизкого содержания углерода (не более 0,03 %).

Опыт ПАО «ТМК» освоения производства отечественных обсадных и насосно-компрессорных труб из сталей с 13 масс. % Cr стал первым для российских производителей трубной продукции. Однако, по причине отсутствия технической возможности изготовления труб определенного типоразмера заводами группы ПАО «ТМК», в 2020 г. ПАО «ТМК» обратился в ООО «Мотовилиха-гражданское машиностроение», с целью производства заготовок труб размером  $\Phi 114,3 \times \Phi 76 \times 1700$  мм и  $\Phi 114,3 \times \Phi 74,7 \times 2600$  мм. На поставку заготовок труб (переводников) было разработано и утверждено Техническое соглашение № 180/1.

В таблицах 1 и 2 указаны выдержки из Технического соглашения № 180/1.

Таблица 1

## Требования к химическому составу стали 13CrL

Массовая доля элементов, %								
C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	P	S
≤ 0,10	0,25 0,60	≤ 0,50	12,50 14,00	2,50 4,50	0,90 1,80	≤ 0,25	≤ 0,020	≤ 0,015
Примечание: допускается микролегирование стали элементами, не указанными в таблице, способствующими формированию мелкозернистой структуры (например, Al, Ti, V, Nb).								

Таблица 2

## Требования к механическим свойствам заготовок труб из стали 13CrL

Предел текучести, $\sigma_{0,6}$ , МПа	Предел прочности, $\sigma_B$ , МПа	Относительное удлинение, $\delta$ , %	Ударная вязкость * при минус 60 °С, КСV-60, Дж/см <sup>2</sup>	Ударная вязкость при минус 40 °С, КСV-40, Дж/см <sup>2</sup>	Ударная вязкость при минус 60 °С, КСU-60, Дж/см <sup>2</sup>
748-965	не менее 862	не менее 11,0	не менее 70	не регламентируется	не регламентируется

Примечание: \* - значения ударной вязкости факультативны, поковки отгружаются с фактическими полученными значениями.

### Краткое изложение хода работ

Впервые заказ на производство опытной партии поковок из стали 13CrL поступил в ООО «МГМ» от ПАО «ТМК» в 2020г. Согласно заказа требовалось изготовить и поставить поковки размером  $\varnothing 114,3 \times \varnothing 76 \times 1700$ мм и  $\varnothing 114,3 \times \varnothing 74,7 \times 2600$ мм.

Этапы производства поковок из стали 13CrL в ООО «МГМ»:

- выплавка стали и разливка в блюмы, отжиг блюмов,
- ковка, отжиг поковок, правка,
- предварительная механическая обработка под окончательную термообработку, проведение ультра-звукового контроля,
- окончательная упрочняющая термическая обработка, правка, механические испытания поковок,
- окончательная механическая обработка под сдачу поковок заказчику.

*Выплавка стали и разливка в блюмы, отжиг блюмов.*

При разработке технологии выплавки стали учитывались следующие

моменты:

- марка стали 13CrL относится к низкоуглеродистым коррозионно-стойким сталям легированным никелем и молибденом.
- в стали ограничено содержание углерода не более 0,10% и фосфора не более 0,020%, поэтому выплавка производилась на никель молибденовой шихте с «окислением».
- хром из шихты не извлекается. После расплавления шихты, удаления фосфора и окисления углерода плавка выпускалась из печи.
- дальнейшая доводка стали производилась на печи-ковше, где осуществлялось легирование до заданных пределов отдачей феррохрома, марганца металлического и кремния.

Основной проблемой при выплавке стали марки 13CrL являлся рост содержания углерода в стали при легировании на внепечной обработке. Науглероживание стали происходило из следующих основных источников: периклазоуглеродистая футеровка стальной ковша (кирпич содержит от 7 до 13% углерода), ферросплавы, графитированные электроды. Продолжительность времени обработки на печи-ковше также отрицательно влияет на рост содержания углерода в стали. На предприятии производился тщательный входной контроль феррохрома и марганца металлического на содержание углерода. По результатам контроля подбирали партии материалов с минимальным содержанием углерода. Также на агрегате комплексной обработки стали (АКОС) для минимизации науглероживания стали, специально применяли графитированные электроды ЭГСП – УНР качества.

Для получения заданного содержания хрома в стали необходимо было ввести в сталь около 11 т феррохрома. Такое количество ферросплавов сильно охлаждает сталь, требуется проводить длительный нагрев. Как следствие увеличивается время обработки стали и содержание углерода. Была разработана технология предварительного подогрева феррохрома. Основная порция феррохрома объёмом 10т заранее нагревалась в вспомогательном ковше на стенде разогрева. Отдача «горячего» феррохрома из ковша производилась

кантованием порциями по 3-3,5 т. Из бункерной эстакады отдавали только небольшое количество «холодного» феррохрома для точечной корректировки химического состава стали.

Все принятые дополнительные меры позволили сократить время внепечной обработки (на АКЭС), не допустить роста в стали содержания углерода и получить сталь требуемого химического состава.

Далее выполнялась вакуумная обезводороживающая обработка стали.

Вакуумированная сталь разливалась на установке непрерывной разливки стали (УНРС) в блюм сечением 270x370 мм для дальнейшей ковки на РКМ в поковки требуемых размеров. Блюмы охлаждались в закрытом кессоне до определенной температуры в течение не менее 48 часов.

Далее выполнялся отжиг блюмов.

*Ковка, отжиг поковок, правка.*

Ковка поковок выполнялась на радиально-ковочной машине (далее – РКМ) по следующей технологии (краткое описание):

1). нагрев блюмов в кольцевой нагревательной печи КНП по следующему режиму:

- посадка холодных блюмов при температуре печи не выше 600 °С, выдержка при данной температуре не менее 4-х часов.

- нагрев до температуры 900 °С со скоростью 50 °С/час, выдержка при данной температуре 1,5-2,0 часа.

- нагрев под ковку до температуры 1250 °С.

2). Ковка на РКМ происходила в два прохода: промежуточный и окончательный диаметр поковки. Температура исходной заготовки при выдаче 1250 °С, температура начала ковки – 1220 °С, температура конца ковки - не менее 950 °С.

Далее производился отжиг поковок, после чего отоженные поковки подвергались горячей правке.

*Окончательная упрочняющая термическая обработка, правка, механические испытания поковок.*

Окончательная упрочняющая термическая обработка выполнялась на

механически обработанных поковках в шахтных печах с окислительной атмосферой. Максимальный вес садки в шахтных печах составляет 30 т с учетом оснастки. Настройка заготовок под термообработку осуществлялась вертикально на «тарелку» с применением существующей оснастки. На всех операциях термообработки заготовки располагались вертикально. Перемещение настройки осуществлялось с помощью мостового крана.

Режим термообработки включает в себя двухкратную закалку с охлаждением в масло и последующий отпуск на свойства. Время выдержки при нагреве заготовок и охлаждения в масле назначалось по сечению заготовки.

После проведения термообработки заготовки подвергались измерениям твердости, контролю механических свойств и величины зерна, радиального биения. Правка заготовок проводилась с обеспечением радиального биения не более 6 мм. После правки предусмотрен отпуск для снятия напряжений.

Нужно отметить, что на всех партиях заготовок труб из стали 13CrL, получилось мелкое действительное зерно – балл 8-9 по шкале 2 ГОСТ 5639.

Технологический процесс и карты выплавки,ковки, предварительной и окончательной упрочняющей термической обработки поковок из стали 13CrL к настоящей работе не прикладываются ввиду их коммерческой тайны (являются интеллектуальной собственностью ООО «МГМ»).

### **Основная научно-техническая идея**

Основная научно-техническая идея заключается в том, что замечено прямое и значительное влияние технологии производства поковок из стали 13CrL на всех этапах производства. Особенно на этапе выплавки и разливки стали, этапековки и окончательной термообработки. Определены четкие границы технологических параметров на каждом этапе, точное соблюдение которых позволяет изготавливать поковки из стали 13CrL и получать положительные результаты согласно требований заказчика.

Отклонение от этих установленных параметров ведет к ухудшению качества поковок по одному или нескольким показателям.

### **Описание результатов и их значение для практики**

Освоено производство поковок из стали 13CrL, используемых для производства труб, переводников и патрубков нефтяного сортамента, применяемых на месторождениях с особо высоким содержанием и парциальным давлением сероводорода и диоксида углерода в добываемом продукте.

Изделия работают в условиях Арктики, при низких температурах, поэтому к ним предъявляются повышенные требования к механическим свойствам, в частности, по ударной вязкости при температуре минус 60 градусов. Очень сложен был процесс получения данных свойств, отработали более 20 различных режимов термообработки (в лабораторных условиях и в термическом цехе), пока не вышли на требуемый уровень свойств.

В настоящее время в ООО «МГМ», в результате освоения технологии и дальнейшего производства нескольких партий поковок, достигнуты следующие результаты:

- проведены успешные опытно-промышленные испытания готовой продукции в АО «ТМК НГС-Нижневартовск» в ЯНАО г. Новый Уренгой, имеется Акт;
- осуществляются серийные поставки трубных заготовок. Расширяется номенклатурный ряд в части предлагаемых геометрических размеров;
- содержание неметаллических включений в заготовках снижено и соответствует требованиям заказчика;
- заготовки соответствуют по механическим свойствам требованиям заказчика;
- по прочностным механическим свойствам превосходит импортный аналог - сталь 13CrL производства Nippon Steel, Япония. Таким образом решен вопрос импортозамещения на освоенных типоразмерах поковок для производства труб;
- продукция успешно применяется на объектах ПАО «Газпром»;
- продукция ООО «МГМ» - поковки из стали 13CrL – стала дипломантом Всероссийского конкурса программы «100 лучших товаров России» в 2023 году.



### **Объемы внедрения**

В настоящее время ООО «МГМ» изготовило и поставило ПАО «ТМК» (ПАО «Газпром») порядка 162 шт. механически обработанных поковок из стали 13CrL для последующего изготовления продукции (обсадные и насосно-компрессорные трубы, переводники, муфты).

### **Достигнутый экономический и (или) социальный эффект от внедрения**

*Социальным и экономическим эффектом* считаем востребованность нашей продукции у потребителя РФ, а также снижение зависимости экономики РФ от импорта продукции из недружественных стран по одному из ключевых направлений в сфере производства заготовок для изготовления отечественных обсадных и насосно-компрессорных труб (патрубков и т.д.) в коррозионно-стойком и хладостойком исполнении в условиях беспрецедентного санкционного давления.

### **Список литературы**

1. П.В. Крылов; А.Г. Ширяев; С.Г. Чикалов; И.Ю. Пышминцев; С.Г. Четвериков; С.А. Рекин. Разработка марок стали для труб повышенной и высокой прочности, стойких к углекислотной коррозии, в хладостойком исполнении // Газовая промышленность. – 2017. – №12. – С.48-53.