

Шишлонова Алёна Николаевна

инженер

ООО «ИЦ Термодеформ-МГТУ»

г. Магнитогорск, Челябинская область

магистрант

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный

технический университет им. Г.И. Носова»

г. Магнитогорск, Челябинская область

Мальков Михаил Владимирович

технолог

ООО «ИЦ Термодеформ-МГТУ»

г. Магнитогорск, Челябинская область

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЛИСТОВОГО ПРОКАТА СТАЛИ КЛАССА ПРОЧНОСТИ X120 В УСЛОВИЯХ СТАНА «5000» ОАО ММК

Аннотация: в статье изучены характеристики выпускаемых марок сталей листового сортамента и параметры обработки на прокатном участке ЛПЦ-9 ОАО «Магнитогорского металлургического комбината». Теория и практика производства металла для труб большого диаметра является одной из наиболее сложных проблем современной металлургии и материаловедения массовых высококачественных сталей и является одним из приоритетных направлений развития современной металлургической науки и технологии.

Ключевые слова: высокопрочный листовой прокат, контролируемая прокатка, горячая деформация, трубные заготовки, класс прочности X120, сталь.

Эксплуатационные требования к стали прочности X120

1. Повышение толщины стенки до 50 мм.
2. Увеличение диаметра до 1420–1620 мм (прямошовные).
3. Использование сталей категорий прочности X42 – X80 с повышенной ударной вязкостью. Разработка и освоение производства сталей X100-X120.

4. Обеспечение надежности транспортировки газа с учетом коррозионных проблем.

5. Повышение хладостойкости до температур – 60°C.

6. Увеличение давления в трубопроводе до 84–120 атмосфер.

В настоящее время разработано и исследовано более 20 марок сталей для труб диаметром от 530–1420 мм на рабочее давление 55,0–100 атм. (5,5–10,0 МПа) для строительства и эксплуатации при температурах до – 60 °С.

Основным направлением совершенствования композиции химического состава сталей высоких категорий прочности X100-X120 является уменьшение содержания углерода (как правило, до 0,04–0,07%) и повышение содержания ниобия, что, в сочетании с использованием дополнительного легирования Mo, Cr, Ni, Cu, V, позволяет достигать комплекса высоких характеристик прочности, хладостойкости и свариваемости стали.

Учитывая постоянно возрастающие требования, предъявляемые к хладостойкости и свариваемости (величине СЭКВ), рассмотрим варианты композиции химического состава с пониженным содержанием углерода (0,04–0,07%) и различные схемы легирования:

1) традиционная (C-Mn-V-Nb) композиция химического состава при пониженном содержании углерода позволяет обеспечивать для основного металла труб с толщиной стенки 16 мм комплекс свойств, соответствующий требованиям класса прочности X65. Дальнейшее наращивание прочности может быть достигнуто лишь при увеличении содержания углерода, марганца и ванадия. Это может негативно сказаться на свариваемой способности стали, ее вязкостных характеристиках и характеристиках при ИПГ [1];

2) легирование Cr-Ni-Cu (в суммарном количестве 0,30–0,60%) позволяет получать свойства основного металла на уровне класса прочности X70 даже при содержании углерода 0,03% и 0,04%. Требуемый комплекс свойств обеспечивается феррито-бейнитной (с долей перлита) структурой стали с мелким зерном,

полученным при контролируемой прокатке. Структурное состояние стали – преимущественно смесь полигонального и игольчатого феррита с небольшой долей бейнита;

3) легирование молибденом в количестве приблизительно 0,20% позволяет обеспечивать прочностные свойства основного металла труб на уровне класса прочности X80 в сочетании с удовлетворительным относительным удлинением $\delta_5 > 21\%$ и высокой ударной вязкостью $KCV^{-20} > 150$ Дж/см²;

4) добавка бора позволяет сохранить структуру нижнего бейнита при меньшем содержании легирующих. Бор также в значительной степени замедляет превращение аустенита в феррит [1].

Однако следует отметить, что для стали без бора требуется намного более высокое содержание легирующих элементов, чем для стали с бором.

Индекс прокаливаемости β для стали, легированной бором составляет 3,2, а для стали без бора – 3,4. Эта разница соответствует содержанию Мо примерно на 0,6% выше в стали без бора, если содержание Мо в стали с бором принять равным 0,2%.

Легирование бором увеличивает прокаливаемость стали. Это подтверждается следующим. Энергия разрушения CVN (энергия разрушения по Шарпи с V-образным надрезом) стали с бором, особенно при содержании С 0,05% или ниже, является высокой. Энергия разрушения CVN стали без бора в целом ниже, чем для стали с бором, особенно при содержании С выше 0,05%. Энергия разрушения CVN при -20°C в зависимости от индекса прокаливаемости показана на рисунке 1 [2].

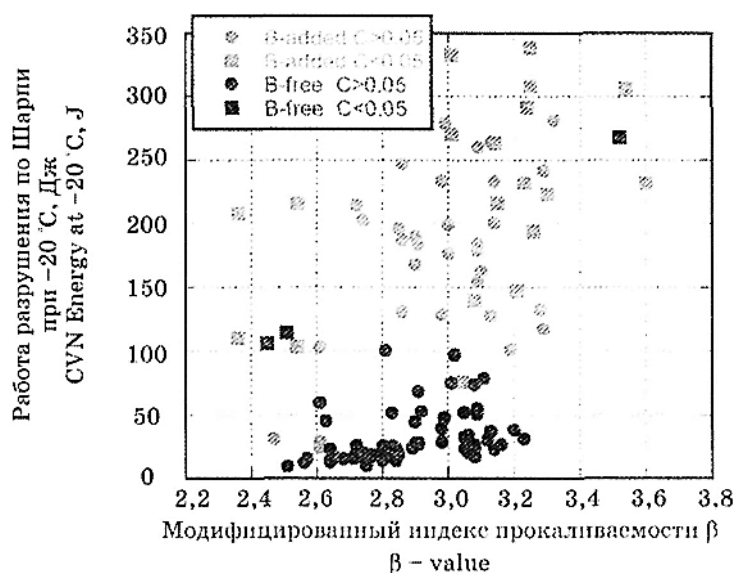


Рис. 1. Зависимость энергии CVN при -20°C от величины прокаливаемости стали для стали, микролегированной бором, и стали, свободной от содержания бора

На микрофотографиях, сделанных на электронном просвечивающем микроскопе, (рисунок 2), видно, что в зоне термического влияния (ЗТВ) сварного шва в стали с бором формируется структура НБ, тогда как в стали без бора преимущественно образуется структура ВБ. В микроструктуре ВБ между рейками наблюдаются длинные крупные карбиды или структурные составляющие аустенит-мартенсит.

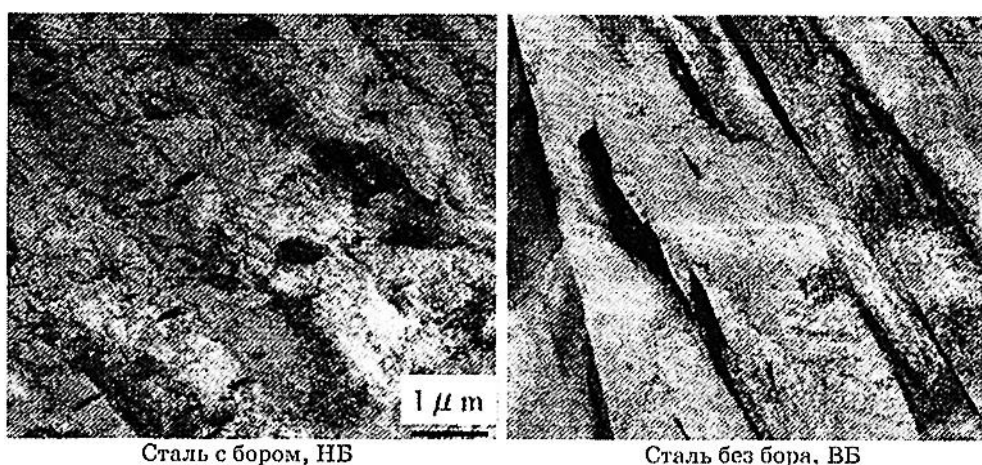


Рис. 2. Электронные микрофотографии зоны термического влияния сварного шва

В таблице 1 (рис. 3) приведен химический состав стали категории X120, на рисунке 4 структура стали.

	C	Mn	Mo	Ti	B	others	Pcm
Base metal	0.041	1.93	0.32	0.020	0.0012	Cu,Ni,Cr,Nb	0.21
	0.036	1.96	0.34	0.017	0.0012	Cu,Ni,Cr,Nb	0.21

Рис. 3. Таблица 1. Химический состав стали X120 производства компании Nippon Steel [3]

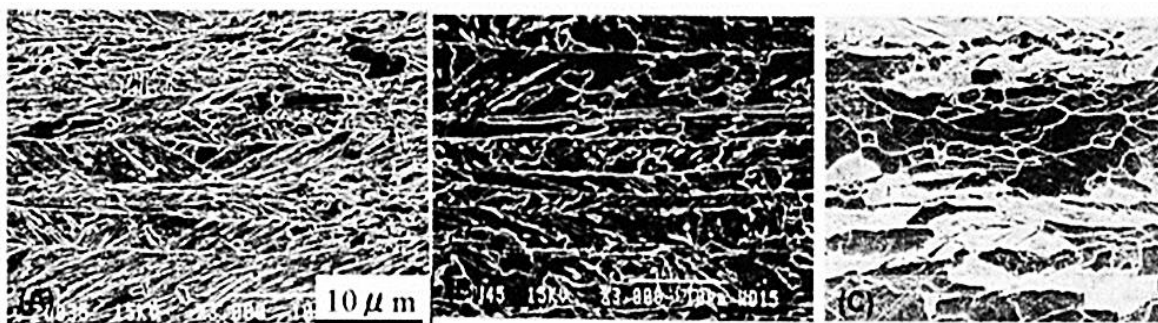


Рис. 4. Микроструктура стали X120 с комплексным легированием и добавкой В (Бора)

Основным направлением совершенствования композиции химического состава сталей высоких категорий прочности X120 является уменьшение содержания углерода (как правило, до 0,04–0,07%) и повышение содержания ниобия, что, в сочетании с использованием дополнительного легирования Mo, Cr, Ni, Cu, B, позволяет достигать комплекса высоких характеристик прочности, хладостойкости и свариваемости стали.

При разработке проектов трубопроводов X100 и X120 очень важным аспектом является проблема обеспечения безопасности эксплуатации трубопроводов. Эта проблема сводится к осуществлению торможения трещины в трубе. На основании проведенных исследований и натурных испытаний сделано заключение о необходимости применения ловушек трещин (crack arresters) для труб категорий прочности X100 и X120 [4].

С учетом требований по низкотемпературной вязкости, а также производительности для создания проката класса прочности X120 была использована сталь, имеющая в основном структуру нижнего бейнита; был применен процесс

прерванной прямой закалки (IDQ) после термомеханической прокатки, обеспечивший формирование в основном структуры нижнего бейнита. В зависимости от температуры окончания IDQ свойства металла изменяются. Временное сопротивление уменьшается с повышением температуры окончания IDQ, хотя до 400 °С изменение относительно мало. Температура вязкохрупкого перехода начинает повышаться, а работа удара снижается при температуре прерывания охлаждения ~450 °С. Микроструктура изменяется от преимущественно нижнего бейнита (НБ) до преимущественно верхнего бейнита (ВБ), что вызывает повышение температуры вязкохрупкого перехода.

Металловедческим подходом, положенным в основу разработки стали X120, явилось получение особо мелкой микроструктуры и высокой чистоты по неметаллическим включениям, что необходимо для достижения повышенных значений прочности и ударной вязкости. В отличие от традиционных феррито-перлитных сталей, при разработке стали X120 для обеспечения высокой сопротивляемости хрупкому разрушению стремятся получить не только мелкое зерно, но и мелкий «домен» размером 2 мкм. Эти так называемые «домены» должны иметь кристаллографическую разориентировку как минимум 10 градусов в пределах одного бывшего аустенитного зерна и состоять из реек нижнего бейнита или реечного мартенсита. Такие составляющие микроструктуры имеют очень высокую плотность дислокаций [6].

Заключение

Смысл исследований и разработок, направленных на создание проката и труб класса прочности X120, тот же, что и при разработке X100: значительное снижение общей стоимости трубопроводов для транспортировки газа на большие расстояния. Такая экономия может быть достигнута благодаря снижению затрат на многих этапах, включая материал, конструкцию, компрессию и комплекс операций по прокладке трубопровода.

Таким образом, для получения трубной заготовки высоких классов прочности X120 решающую роль играют следующие факторы в совокупности:

1) совершенствование композиции химического состава и развитие представлений о влиянии легирующих элементов в низкоуглеродистых сталях на кинетику промежуточного превращения;

2) осуществление рациональных режимов охлаждения заготовки на установке ускоренного охлаждения с целью получения предпочтительного структурного состояния, обеспечивающего необходимый уровень свойств.

Список литературы

1. Полухин П.И. Технология процессов обработки металлов давлением / П.И. Полухин, А. Хензель // *Металлургия*. – 1988. – 408 с.

2. Хара Т. Разработка УОЕ труб ультравысоких классов прочности X120: Материалы международного семинара «Современные стали для газонефтепроводных труб. Проблемы и перспективы». – М., 2006.

3. Келлер М. Магистральные стальные трубы для транспортировки ископаемых энергоносителей (пер. с нем.) / М. Келлер, Х.-Г. Хилленбранд // *Черные металлы*. – 2002. – №10. – С. 43–51.

4. Коликов А.П. Актуальные проблемы трубного производства / А.П. Коликов, Ф.Д. Нуриахмеров // *Сталь*. – 2001. – №1. – С. 23–29.

5. Шабалов И.П. Стали для труб и строительных конструкций с повышенными эксплуатационными свойствами / И.П. Шабалов, Ю.Д. Морозов, Л.И. Эфрон. – М.: *Металлургиздат*, 2003. – 58 с.

6. Разработка и анализ режимов прокатки применительно к новому толстолистовому стану ОАО «ММК» // *Отчет о НИР ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова»*. – Магнитогорск: МГТУ, 2003. – 78 с.