

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

**Л. Н. Дейнеко, Р. В. Мясоед, Г. И. Перчун, А. Сони**

*Национальная металлургическая академия Украины.*

Ужесточение условий добычи нефти и газа на материковых и шельфовых месторождениях ведет к постоянному повышению требований [1] к нормируемому комплексу механических свойств (табл.1,2) основных элементов магистральных трубопроводов (труб и соединительных деталей). Для металла труб класса прочности K65 (X80), соответственно и соединительных деталей, в последние годы регламентируется следующий уровень механических свойств, в т.ч. и ударной вязкости в зависимости от диаметра трубопроводов и давления продукта в них:

*Таблица 1.*

*Нормируемый уровень механических свойств для металла труб и СДТ*

| Механических свойств строительных сталей разных классов прочности |                  |                  |
|---|------------------|------------------|
| API Spec 5L \ ISO 3183  |                  |                  |
| Класс прочности   | $\sigma_B$ , МПа | $\sigma_T$ , МПа |
| X56   | 489-517          | 386              |
| X60   | 517-537          | 413              |
| X65   | 531-551          | 448              |
| X70   | $\geq 565$       | 482              |
| X80   | 655-862          | 551              |
| X100  | 765-931          | 689              |

*Таблица 2.*

*Нормируемый уровень вязкости металла труб и СДТ*

*в зависимости от диаметра и эксплуатационного давления трубопровода*

| Диаметр трубы, мм | 1020   | 1220 | 1420 |
|-------------------|--|------|------|
| Давление, МПа     | Ударная вязкость KCV <sup>-20</sup> , Дж/см <sup>2</sup> |      |      |
| 7,5               | 59   | 79   | 99   |
| 10                | 79   | 99   | 128  |
| 12                | 99   | 128  | 154  |

В реальности расчетные и экспериментальные данные существенно увеличивают необходимый уровень ударной вязкости (KCV<sup>-20</sup>) для труб диаметром 1420 мм с уровнем прочности X80 (K65) до значений  $\geq 225$  Дж/см<sup>2</sup>. С увеличением уровня прочности металла труб свыше K65 (например, X100 (K75) при давлении в трубе 12,6 МПа) расчетные и экспериментальные значения ударной вязкости, гарантирующие остановку трещины, возрастают до значений  $\geq 335$  Дж/см<sup>2</sup> [2].

Следует отметить, что за последние десятилетия имеет место тенденция к увеличению толщины стенки труб (до 40-48 мм) [3,4,5] и соединительных деталей (до 80-100мм), которые могут эксплуатироваться при давлениях до 25 МПа. По-

вышение толщины стенки труб и соединительных деталей трубопроводов (СДТ) при одновременном возрастании требований к нормированному уровню свойств металла существенно осложняют возможность производства качественных изделий по существующим технологическим схемам.

Производство СДТ (тройников, отводов, переходов, днищ), толщина стенки которых уже достигает 100 мм при более сложной их геометрической конфигурации (по сравнению с трубами), является значительно более сложным по сравнению с трубным. Следует отметить, что при одинаковых диаметрах и условиях эксплуатации трубопровода напряжения, возникающие в металле СДТ, в 1,5-3 раза и более превышают аналогичные напряжения в трубах.

Обеспечение нормируемого уровня свойств толстолистового проката для производства штампованных соединительных деталей большого диаметра с уровнем прочности K65 (X80) и выше возможно [6] при условии:

- наличия штрипсовых сталей для различных уровней прочности, при этом химический состав сталей для СДТ большого диаметра и технология изготовления толстолистового проката должны удовлетворять требованиям обеспечения в готовых изделиях мелкозернистой аустенитной и феррито-бейнитной (феррито-мартенситной) или бейнитной (игольчатый феррит) структуры при удовлетворительной свариваемости металла в условиях монтажа, т.е. при температурах ~ -40<sup>0</sup>C и ниже. Это обусловлено тем, что стали для этих изделий с феррито-перлитной структурой, даже при максимально возможном в производственных условиях уровне измельчения аустенитного зерна и вторичной структуры, уже не обеспечивают нормируемый уровень прежде всего прочностных свойств для классов выше K60 (X70). Повышение требований к свариваемости и к уменьшению ликвационных явлений в металле толстолистового проката предопределяет низкое содержание в металле таких изделий углерода (в современных штрипсовых сталях его концентрация не превышает 0,09-0,1%), серы, фосфора, газов, неметаллических включений. Компенсировать снижение содержания углерода и обеспечить требуемый уровень прочности металла готовых изделий целесообразно за счет микролегирования сталей (молибденом, ниобием, титаном, ванадием и др.) и применения упрочняющих обработок листового проката и готовых изделий;

- использования качественных непрерывно литых заготовок, которые получены с применением различных технологических приемов, уменьшающих степень ликвации металла и измельчающих дендритную структуру литого металла. При этом возникает целесообразность в ограничении количества лома при производстве сталей для таких ответственных изделий как трубы и соединительные детали магистральных трубопроводов;

- применение регламентированной черновой и чистовой прокатки (при частичной или полной фазовой перекристаллизации металла подката между черновой и чистовой прокаткой). Увеличение требований к низкотемпературной вязкости (количеству вязкой составляющей в изломе, количеству расслоений по толщине листа) и свойствам в z-направлении предопределяет отказ от завершающей стадии чистовой прокатки в межкритической, а тем более в подкритической областях температур, но с обязательным регламентированным охлаждением металла с температуры прокатки (обычно до температур ~550-600<sup>0</sup>C) с целью предотвращения выделения крупных частиц вторичной фазы, измельчения вторичной структу-

ры (феррито-бейнитной, бейнитной) и последующей противоблоксной обработкой (кроме вакуумирования жидкой стали часто применяют замедленное вылеживание листов после прокатки в стопах при температурах  $\sim 500-250^{\circ}\text{C}$ ). Применительно к производству высокопрочного толстолистового (свыше 40мм) проката, когда температура конца прокатки не должна снижаться ниже  $A_{\text{r3}}$  (для предотвращения текстурованности металла и связанных с этим последствий) возрастает роль термоциклических обработок в линии прокатного стана с целью дополнительного измельчения зеренной структуры металла, как это делается в известных разновидностях технологий контролируемой прокатки – процессах типа SHT (Sumitomo high toughness process), TMCR (Thermo-mechanical controlled rolling) и др.

-наличия современных прокатных станов (включающих охлаждающие и нагревательные устройства в линии стана), способных обеспечить реализацию параметров современной технологии контролируемой прокатки или ее разновидностей для листов с конечной толщиной 40-100мм ;

-наличия современных технологий финишной объемной термической обработки готовых труб и СДТ, печного и закалочного оборудования для их реализации.

При производстве листового проката в толщинах 40 - 100мм (и это не предел) ухудшается деформационная проработка металла по толщине, т.к. на отечественных заводах практически отсутствует возможность реализовать классические схемы контролируемой прокатки и последующей термической обработки (регламентированное охлаждение с требуемой интенсивностью с температуры конца прокатки), а, следовательно, и получать требуемое структурное состояние и уровень его свойств в таком металле. Наличие в технологической цепочке производства СДТ одно- и многократных технологических нагревов под штамповку листовой заготовки до  $1000-1100^{\circ}\text{C}$  приводит к последующему ухудшению структурного состояния металла толстолистового проката за счет существенного роста аустенитного зерна в металле заготовки. В мировой практике изготовления СДТ диаметром свыше 530мм штамповочной вариант является наиболее распространенным. Штамповочные СДТ имеют большое количество сварных швов и характерные для этого состояния металла механические свойства и уровень остаточных напряжений. Именно поэтому возрастает роль финишной упрочняющей термической обработки готовых СДТ с толщиной стенки свыше 30-40мм и с уровнем свойств класса  $\geq X80$ .

Учеными кафедры термообработки ДМетИ (НМетАУ) совместно с ОАО Трубодегаль (г. Челябинск), был проведен цикл НИОКР [6-8], который завершился созданием технологии и оборудования для упрочняющей термической обработки готовых СДТ, проектированием и пуском в 2004г современного термического цеха, обеспечивающего в металле деталей уровень прочности K56-K60 (до X70). К сожалению, при создании этих мощностей не были реализованы все современные теоретические и практические наработки, которые могли бы обеспечить стабильное получение в металле СДТ уровня свойств  $>X70$ .

Достижение современного уровня нормируемых свойств в металле труб и СДТ для строящихся нефтегазопроводов (и для реконструкции существующих) возможно только при комплексном подходе к этой проблеме. Перед научными и производственными коллективами стоит задача создания новых подходов к техно-

логической цепочке производства штрипсового металла (от выбора схемы легирования для основного металла и металла сварного шва, выплавки, кристаллизации, термомеханической обработке толстолистового проката), изготовления готовых изделий и финишной их термической обработки, способных обеспечить требуемое структурное состояние и уровень механических свойств в металле готовых сварных изделий. Особенно остро этот вопрос стоит в отношении производства соединительных деталей на уровень прочности свыше Х70 при толщине их стенки свыше 40мм. Разработанная концепция их создания отличается от реализованных до сих пор на практике подходов. Промышленность Украины имеет в своем составе достаточно мощные предприятия по изготовлению труб большого диаметра, но не имеет современных мощностей для производства соединительных деталей диаметром до 1420мм, в т.ч. и для термоупрочнения таких СДТ. Учитывая необходимость коренной реконструкции существующих трубопроводов, срок эксплуатации которых истекает или уже истек, необходимость строительства новых магистралей, отвечающих современным требованиям, а также то, что цена тонны готовых СДТ выше по сравнению с трубами, целесообразно создание в составе промышленных предприятий Украины мощностей по производству СДТ.

### **Список использованных источников:**

1. Арабей А.Б. Развитие технических требований к металлу труб магистральных газопроводов. \ Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2010, № 7.- С.3-10
2. Шабалов И.П., Шафигин Е.К., Одесский П.Д. О некоторых требованиях к современным сталям для магистральных трубопроводов \ Сталь, 2010. № 12. - С.54-60
3. Маркин В.С. Развитие трубного комплекса для обеспечения потребностей Северо-Европейского газопровода и Штокмановского месторождения \ Сталь, №11, 2006.-С.108-109
4. И. Л. Пермяков, Н. Е. Кардаев. Освоение технологии производства прямоточных труб на Волжском трубном заводе. Бюл. «Черная металлургия», №2, 2010.- С.56-59
5. Трубы для подводных магистральных газонефтепроводов \ Чернышов С.Г., Митин А.С., Степанов П.П. и др. \ Сталь, №9, 2009.- С.60-61
6. Дейнеко Л.М. Розробка наукових основ зміцнювальної термічної обробки сполучних деталей нафтогазопроводів і виробів спеціального призначення. Дис. на здобут. наук. ступ. д. т. н., Дніпропетровськ, 2000.
7. Дейнеко Л.Н., Большаков В.И. Термическое упрочнение соединительных деталей магистральных трубопроводов. Днепропетровск, Gaudeamus, 2000.-120с ISBN 966-7282-36-8
8. Дейнеко Л.Н. Влияние процессов структурообразования на изменение механических свойств термически упрочненных малоуглеродистых сталей при отпуске. \ Строительство, материаловедение, машиностроение \ Сб. научн. тр. Вып.58.-Днепропетровск, ГВУЗ «ІГАСА», 2011.-С.232-262