

***Шубин Игорь Геннадьевич***

канд. техн. наук, доцент

***Казанков Виталий Александрович***

магистрант

***Мальков Михаил Владимирович***

магистрант

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный

технический университет им. Г.И. Носова»

г. Магнитогорск, Челябинская область

## **ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПРОКАТКИ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ТРЕБУЕМЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

*Аннотация:* в статье проведён анализ перспектив развития трубопрокатной металлургии во взаимосвязи с требованиями заказчиков. Рассмотрена технология термомеханической прокатки и определён наиболее подходящий химический состав для трубных сталей.

*Ключевые слова:* трубный прокат, механические свойства, химический состав, снижение себестоимости, высокопрочная сталь.

### *Введение*

По данным прогноза Министерства энергетики Российской Федерации, спрос на моторное топливо в развитых странах в скором времени начнёт снижаться за счет завершения насыщения общества автомобильной техникой, а обновление автомобильного парка приведет не к росту, а к снижению потребления топлива, за счёт повышения топливной эффективности автотранспорта и внедрения автомобилей на альтернативных источниках питания [1]. В совокупности с низкими ценами, установившимися на углеводороды, нефтедобывающим компаниям необходимо снижать себестоимость нефти для сохранения и увеличения доли на рынке.

Одним из методов снижения себестоимости нефти является снижение затрат на строительство нефтепроводов за счёт увеличения прочности и уменьшения толщины стенок труб.

Использование высокопрочных трубных марок сталей даст существенную экономию при прокладке новых нефтепроводов.

*Требования, предъявляемые к механическим свойствам трубных сталей*

Нефтедобывающие компании выдвигают строгие регламентации к пластическим и прочностным свойствам трубопроводов. Рассмотрим наиболее важные из них:

- временного сопротивления разрыву от 588,4 до 686,5 МПа и выше;
- отношение предела текучести к временному сопротивлению должно быть не более 0,80 – для труб после объемной нормализации, 0,85 – для труб после объемной закалки и отпуска, 0,90 – для сварных труб, изготовленных без проведения объемной термической обработки и для сварных труб, подвергнутых объемному отпуску;
- величина относительного удлинения должна быть не меньше 18 для труб с временным сопротивлением до 637,4 МПа, 16 для труб с временным сопротивлением 686,5 МПа и выше;
- величиной ударной вязкости KCV или KCU, требования приведены в таблице 1 [2].

Таблица 1

Требования по ударной вязкости

Номинальная толщина стенки( $\delta$ ), мм	Среднеарифметические значения по результатам испытаний трех образцов, замеренные на образцах Менаже (KCU тип 1–3 по ГОСТ 9454–78) при температуре равной минус 60°C. KCU-60°C, Дж/см <sup>2</sup> (кгс*м/см <sup>2</sup> )				
	для основного металла		для сварных соединений		
	трубы	детали	трубы	детали	
1	2	3	4	5	
$\delta \leq 15$	39,2 (4,0)		39,2 (4,0)		
$15 < \delta \leq 25$	49,0 (5,0)	39,2 (4,0)			
$25 < \delta \leq 30$	58,8 (6,0)				

Опасность хрупкого разрушения стали при низких температурах эксплуатации является основанием для требования по доле вязкой составляющей в изломе образцов при испытании падающим грузом (обычно не менее 70–90%) [3].

### *Обзор технологических режимов прокатки сталей*

Современная технология термомеханической прокатки предусматривает регулирование температуры нагрева, температуры прокатки и величин обжата, а также процесса охлаждения после завершения прокатки [4]. Также важной составляющей технологии контролируемой прокатки является микролегирование ниобием, ванадием и титаном. Эффект упрочнения низколегированных сталей достигается несколькими структурными механизмами: измельчение зерна, управление механизмом аустенитно-ферритного превращения, дисперсионное упрочнение твёрдого раствора. Измельчение зерна является основным механизмом упрочнения, который оказывает положительное влияние одновременно на прочность и хладостойкость стали [5].

В связи с этим, главной целью термомеханической прокатки является получение измельченной структуры аустенита, что достигается благодаря управлению процессом рекристаллизации и последующего роста зерна в промежутках между пропусками при многопроходной прокатке.

На современных толстолистовых станах технология производства листового проката из трубных сталей включает в себя следующие основные этапы [6]:

1. Повторный нагрев слябов перед прокаткой. Как правило, нагрев слябов осуществляется в печах с шагающими балками, иногда используются также и методические печи. При этом температура и время нагрева оказывают значительное влияние на комплекс механических свойств готового листового проката.

2. Черновая прокатка – первоначальный процесс деформации, проходящий обычно при наиболее высокой температуре – выше температуры рекристаллизации, сразу после выдачи сляба из нагревательной печи. Иногда процесс осуществляется на специальной черновой клетке.

3. Чистовая прокатка – окончательный процесс деформации при температуре ниже температуры рекристаллизации и обычно выше температуры аустенитно-ферритного превращения. В определённых случаях прокатку может завершаться в двухфазной области.

4. Последеформационное охлаждение на воздухе или ускоренное охлаждение водой. Ускоренное охлаждение позволяет дополнительно увеличить дисперсность структуры. Благодаря этому возможно измельчение зерна до 5 мкм и менее, что может быть необходимо для сталей классов прочности от K56 и выше. Начало охлаждения обычно близко к температуре начала фазового превращения из аустенита в феррит, однако иногда охлаждение может начинаться в двухфазной области.

*Оптимальный химический состав для получения качественного  
трубного проката*

Современные трубные стали умеренно легируются марганцем и кремнием, чтобы компенсировать снижение прочности при понижении содержания углерода. Марганец также повышает хладостойкость стали. Микролегирование ниобием, ванадием и титаном необходимо для образования карбидов и нитридов, которые сдерживают рост и рекристаллизацию аустенитных зёрен при нагреве и прокатке, способствуют формированию в прокате мелкодисперсной структуры, т. е. повышают прочностные и вязкие свойства стали. При необходимости дополнительного повышения механических характеристик стали легируются хромом, никелем, медью или молибденом [7].

Построив и проанализировав массив данных из углеродистых, низколегированных, легированных и других сталей с различным химическим составом. Разбив массив сталей на группы по содержанию углерода, а их в свою очередь на подгруппы в которых варьируется только один элемент. В результате было получено, что добавление ванадия и титана в 0,12% и 0,03% соответственно, и сохранение марганца на уровне 1,4–1,6%, способствует повышению предела прочности до уровня сталей класса прочности X100 без снижения пластичности [8], за счет образования карбидов и мелкозернистой структуры.

Кроме того, современные трубные стали имеют низкое содержание вредных примесей и газов. Так содержание серы стремиться к значению менее 0,003%, фосфора – менее 0,010%, что обеспечивает повышение вязкости стали, а также снижает загрязнённость стали неметаллическими включениями. Содержание азота достигается не более 0,005%. В таблице 2 приведены стандартные требования к химическому составу трубных сталей [9].

Таблица 2

### Требования к химическому составу трубных сталей

Массовая доля элементов, не более, %											
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Nb	Mo	V	Ti
0,07	0,2	1,9	0,2	0,003	0,01	0,3	0,2	0,05	0,3	0,08	0,01

### *Выводы*

Требования, предъявляемые к листовому прокату, непрерывно возрастают, вследствие разработки месторождений нефти на крайнем севере, необходимости снижения металлоёмкости и повышения прочности трубопровода.

Получение высококачественного трубного проката, на данный момент, возможно путём применения технологии термомеханической прокатки, предусматривающей регулирование температуры нагрева, температуры прокатки и величин обжатия, а также процесса охлаждения после завершения прокатки.

### *Список литературы*

1. Прогноз научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года / Министерство энергетики Российской Федерации. – М., 2016.
2. Положение Компании «Критерии качества промышленных трубопроводов ОАО «НК «Роснефть» и его дочерних обществ» № П1-01.05 Р-0107 версия 2.00, утверждённые приказом ОАО «НК «Роснефть» от 16 августа 2013 г. №361.
3. Ниобийсодержащие низколегированные стали / Ф. Хайстеркамп [и др.] – М.: Интермет Инжиниринг, 1999. – 94 с.

4. Металловедческие основы получения хладостойких трубных сталей путем высокотемпературной контролируемой прокатки / Л.И. Эфрон [и др.] // Сталь. – 2003. – №6. – С. 69–72.

5. Stalheim D.G. Production of fine grained as rolled structural plate steels / D.G. Stalheim, R. Glodowsky // Iron and Steel Technology. – 2010. – №10. – P. 78–84.

6. Эфрон Л.И. Металловедение в «большой» металлургии. Трубные стали. – М.: Металлургиздат, 2012. – 696 с.

7. Бесте Д. Сталь – лидер по конкурентоспособности // Черные металлы. – 2009. – №10. – С. 54–58.

8. Научное и образовательное пространство: перспективы развития: Материалы V Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 15 апр. 2017 г.) / Редкол.: О.Н. Широков [и др.]. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2017. – 324 с.

9. Стали класса прочности X100 // Металловедение в металлургии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://metal-archive.ru/metallurgiya/769-stali-klassa-prochnosti-x100.html> (дата обращения: 15.04.2017).

10. Мунтин А.В. Разработка технологии прокатки толстого листа с заданными свойствами из трубных марок стали на стане 5000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docplayer.ru/27639898-Moskovskiy-gosudarstvennyu-tehnicheskij-universitet-imeni-n-e-baumana-muntin-aleksandr-vadimovich.html> (дата обращения: 12.05.2017).