

УДК 621.774:622.23/24]:620.039]:669.14.018.8

ВЛИЯНИЕ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ КОНЦА ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НЕФТЕГАЗОПРОВОДНЫХ ТРУБ ИЗ СТАЛИ 06X1

ДЕРГАЧ Т. А., *к.т.н.*

Кафедра материаловедения и обработки материалов, ГБУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. + 38 (0562) 47-39-56, E-mail: ta_dergach@i.ua, ORCID ORG 0000-0003-0235-5342

Аннотация. Цель работы – установить влияние микролегирования ниобием и параметров горячей деформации при прокатке на структуру и качественные характеристики нефтегазопроводных труб из стали 06X1. **Методики.** Использованы методы: качественной и количественной металлографии, химического анализа, коррозионных исследований; испытания механических свойств на растяжение и на ударную вязкость. **Результаты.** Исследовано влияние микролегирования стали 06X1 ниобием и режимов горячей деформации при прокатке на ТПА-140 на структуру, механические и коррозионные свойства нефтегазопроводных труб. Показано, что завершение деформации в межкритическом интервале температур способствует снижению ударной вязкости при температурах – 40 и – 60°C при сохранении высоких механических свойств труб при испытании на растяжение. Подогрев труб перед калибровочным станом до температур выше $A_{с3}$ (нормализационная прокатка) обеспечивает высокий комплекс механических свойств, в том числе, ударную вязкость при отрицательных температурах, и высокие коррозионные свойства труб. **Научная новизна.** Установлены особенности микроструктуры и научно обоснованы высокие механические и коррозионные свойства нефтегазопроводных труб из стали 06X1, микролегированной ниобием. **Практическая значимость.** Результаты работы внедрены на Никопольском заводе стальных труб «ЮТиСТ» и могут быть использованы на других трубных заводах Украины.

Ключевые слова: низколегированная сталь, микролегирование ниобием, горячая деформация, трубы, микроструктура, механические свойства, коррозионная стойкость

ВПЛИВ МІКРОЛЕГУВАННЯ І ТЕМПЕРАТУРИ КІНЦЯ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ГАРЯЧІЙ ПРОКАТЦІ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ НАФТОГАЗОПРОВІДНИХ ТРУБ ЗІ СТАЛІ 06X1

ДЕРГАЧ Т. О., *к.т.н.*

Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. + 38 (0562) 47-39-56, E-mail: ta_dergach@i.ua, ORCID ORG 0000-0003-0235-5342

Анотація. Мета роботи – встановити вплив мікролегування ніобієм і параметрів гарячої деформації на структуру і якісні характеристики нафтогазопровідних труб зі сталі 06X1. **Методики.** Використані методи: якісної та кількісної металлографії, хімічного аналізу, корозійних досліджень; випробування механічних властивостей на розтягування і на ударну в'язкість. **Результати.** Вивчено вплив мікролегування сталі 06X1 ніобієм і режимів гарячої деформації при прокатці на ТПА-140 на структуру, механічні й корозійні властивості нафтогазопровідних труб. Показано, що завершення деформації в міжкритичному інтервалі температур сприяє зниженню ударної в'язкості при температурах – 40 і – 60°C при збереженні високих механічних властивостей при випробуванні на розтягування. Підігрівання труб перед калібрувальним станом до температур вище $A_{с3}$ (нормалізаційна прокатка) забезпечує високий комплекс механічних властивостей, у тому числі, ударну в'язкість при негативних температурах, і високі корозійні властивості труб. **Наукова новизна.** Встановлені особливості микроструктури і науково обґрунтовано високі механічні та корозійні властивості нафтогазопровідних труб зі сталі 06X1, мікролегованої ніобієм. **Практична значимість.** Результати роботи впроваджено на Нікопольському заводі сталевих труб «ЮТиСТ» і можуть бути використані на інших трубних заводах України.

Ключові слова: низьколегована сталь, мікролегування ніобієм, гаряча деформація, труби, микроструктура, механічні властивості, корозійна стійкість

EFFECT OF MICROALLOYING AND TEMPERATURE AT THE END OF HOT ROLLING DEFORMATION ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF OIL-AND-GAS LINE TUBES MADE OF 06X1 STEEL

DERGACH T. A., *Cand. Sc. (Tech.)*

Department of Materials and Materials Processing, SIHE «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», St. Chernyshevsky, 24-a, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. + 38 (0562) 47-39-56, ta_dergach@i.ua, ORCID ORG 0000-0003-0235-5342

Abstract. Purpose. Establish effect of niobium microalloying and hot deformation conditions on structure and quality characteristics of oil-and-gas line tubes made of 06X1 steel. **Methodology.** Methods used: qualitative and quantitative metallography, chemical analysis, corrosion studies; mechanical property tests for tension and impact resistance. **Findings.** Effect of niobium microalloying of 06X1 steel hot worked at a tube rolling installation TRI «140» on structure, mechanical and corrosion properties of oil-and-gas line tubes has been established. It was shown that completion of deformation within an intercritical temperature range causes decrease in impact resistance at temperatures from -40 and -60 °C while high mechanical properties were retained in tensile tests. Heating of tubes to temperatures above A_{c3} point (normalizing rolling) before their rolling at a sizing mill ensures a high complex of mechanical properties including impact resistance at subzero temperatures and high corrosion resistance properties of tubes. **Originality.** Microstructural features have been established and high mechanical and corrosion properties of oil-and-gas line tubes made of niobium microalloyed 06X1 steel have been scientifically substantiated. **Practical value.** The research results have been introduced at YuTiST Steel Tube Works (Nikopol, Ukraine) and can be used at other tube works in Ukraine.

Keywords: low-alloy steel, niobium microalloying, hot deformation, tubes, microstructure, mechanical properties, corrosion resistance

Введение

Сопутствующее добыче нефти извлечение большого количества высокоминерализованных пластовых вод, возрастающие объёмы закачки в нефтяные пласты агрессивных сточных вод, а также широкое применение химических реагентов для увеличения нефтеотдачи пластов, приводит к ускоренному коррозионному и эрозионному износу нефтепромыслового оборудования и особенно нефтепроводов, водоводов для поддержания пластового давления, трубопроводов для перекачки соленых пластовых вод, выкидных трубопроводов, систем сброса воды, нефтегазосбора и других видов нефтяного оборудования [1, 2]. Наиболее распространёнными видами коррозии труб являются язвенная, обусловленная действием хлорид-, нитрат- и сульфат- ионов, а также коррозия под действием растворенного в пластовой воде углекислого газа и сероводорода [1, 3, 4]. При этом преобладающее влияние на аварийность промышленных трубопроводов оказывает внутренняя коррозия (до 90% случаев) [5].

Анализ литературы показывает, что при добыче нефти и газа экономически целесообразным является использование труб из сталей повышенной коррозионной стойкости, изготовленных с использованием технологических приемов, обеспечивающих их однородную мелкозернистую структуру [6-12].

Ранее проведенными исследованиями было показано, что перспективной для производства нефтегазопроводных труб повышенной коррозионной стойкости является легированная хромом сталь 06X1 [13], которая была использована для разработки технологии производства таких труб на Никопольском заводе стальных труб «ЮТиСТ».

В данной работе приведены результаты исследования труб из микролегированной ниобием стали 06X1, изготовленных на НЗСТ «ЮТИСТ» по различным технологическим вариантам.

Целью работы явилось установление влияния микролегирования и параметров горячей деформации на качественные характеристики нефтегазопроводных труб из стали 06X1.

Материал и методы исследования

Материалом исследования служили горячекатаные трубы из стали 06X1 и трубы из этой стали, микролегированной ниобием, изготовленные из

трубной заготовки производства ММЗ «ИСТИЛ УКРАИНА». Химический состав и механические свойства трубных заготовок представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Химический состав трубных заготовок из стали 06X1 / Chemical composition of tube billets made of 06X1 steel

№ плавки	Содержание элементов, % масс.						
	C	Cr	Mn	P	S	Si	Nb
26475	0,05	1,06	0,53	0,007	0,005	0,25	–
32320	0,06	1,26	0,64	0,007	0,013	0,22	0,025

Таблица 2

Механические свойства трубных заготовок / Mechanical properties of tube billets

№ плавки	Механические свойства			Примеч.
	σ_b , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	
26475	420...423	295...300	35...38	без Nb
32320	490...500	360...370	32...33	0,025% Nb

Исследовали микроструктуру труб методами качественной и количественной металлографии; производили количественную оценку специальных низкоэнергетических границ (СГ) зерен типа $\Sigma 3^n$ в феррите, которые выявляли по наличию на них фасеток (резких изломов) и противолежащего им угла, близкого к 180° [14]; подсчёт СГ производили методом секущих с индивидуальным распознаванием принадлежности границ к специальным или общего типа. Определяли механические свойства труб – на растяжение с определением σ_b , $\sigma_{0,2}$, δ_5 , и на ударную вязкость (на образцах с острым надрезом, по Шарпи) при температурах – 20, – 40 и – 60°С. Проводили коррозионные испытания на стойкость к водородному растрескиванию (ВР) по методу NACE TM 0284 и к сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением (СКРН) по методу А, NACE TM 0177.

Результаты исследований и их обсуждение

Трубы $\varnothing 114 \times 9$ мм изготавливали из сплошных трубных заготовок $\varnothing 100$ мм стали 06X1, микролегированной ниобием, по двум вариантам: без подогрева и с подогревом труб перед калибровочным станом. Технология включала:

- нагрев трубных заготовок в кольцевой печи при температуре 1190...1200°С;

- прошивку заготовок в цилиндрические полые гильзы размерами $\varnothing 122 \times 12,5$ мм на оправке $\varnothing 88$ мм при температуре 1180...1190°C.

- прокатку труб на автоматическом стане; формирование толщины стенки трубы осуществляли на оправках $\varnothing 94$ и 96 мм в калибре $\varnothing 114$ мм; температура труб соответствовала 1050...1070 °С;

- раскатку труб на двухвалковых раскатных станах на оправках $\varnothing 102$ мм при расстоянии в пережиме валков – 112 мм; размеры труб после обкатки – $\varnothing 122 \times 9$ мм;

- подогрев труб перед калибровочным станом в шелевой газовой печи с шагающими балками при температуре 980...1020°C (при необходимости);

- калибровку труб на семиклетьевом калибровочном стане на конечный размер $\varnothing 114 \times 9$ мм при 830...950°C и правку.

На рисунках 1 и 2 представлена микроструктура труб, изготовленных из трубной заготовки стали 06X1, микролегированной ниобием, без подогрева (рис. 1) и с подогревом (рис. 2) перед калибровочным станом в нормализационной печи. В первом случае калибровка труб проходила при температурах межкритического интервала.

Из приведенных данных видно, что горячекатаные трубы, изготовленные по двум технологическим вариантам (без подогрева и с подогревом перед калибровочным станом при температуре 1020°C) имели мелкозернистую феррито-перлитную микроструктуру с величиной ферритных зерен 15...21 мкм (рис. 1 и 2). Влияние на величину зерна подогрева труб перед калибровочным станом незначительно. Ликвационная перлитная полосчатость структуры не превышает 0,5 баллов.

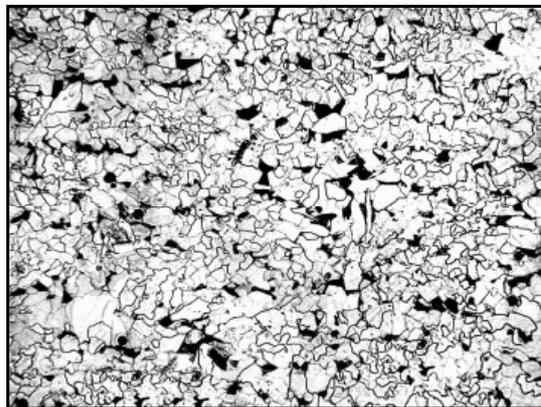
Независимо от температурно-деформационных параметров горячей прокатки, в ферритной составляющей структуры труб присутствуют специальные низкоэнергетические границы зерен типа $\Sigma 3^n$ (показаны стрелками на рисунках 1 в и 2 в).

Количественная оценка показала, что содержание специальных границ при завершении прокатки в МКИ составляет в среднем 12%, а после нормализационной прокатки $\approx 15\%$.

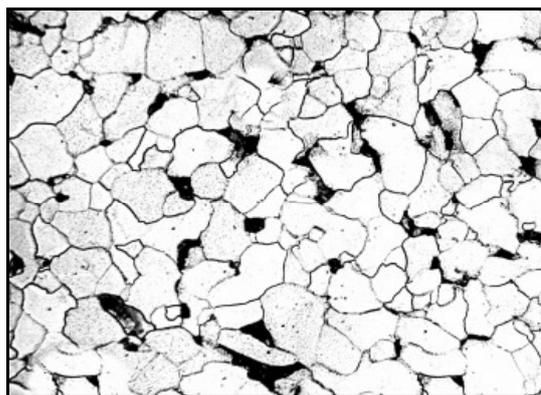
Результаты испытаний механических свойств труб из стали 06X1 без микролегирования и содержащей 0,025% Nb, приведены в таблицах 3 и 4.

Из таблицы 3 следует, что по уровню механических свойств трубы, изготовленные из стали 06X1, не содержащей ниобий, соответствуют классу прочности X42, а трубы из стали, микролегированной ниобием, – классу прочности X52 по стандарту на нефтегазопроводные трубы API 5L. То есть, микролегирование стали 06X1 ниобием способствует повышению прочностных характеристик труб на 20...30% при сохранении высокой пластичности (табл. 3). Обращает на себя внимание низкое отношение предела текучести к пределу прочности $\sigma_{0,2}/\sigma_B$. Для труб из стали 06X1 не содержащей ниобий, и микролегированной ниобием $\sigma_{0,2}/\sigma_B$ составляет в среднем 0,71 и 0,76,

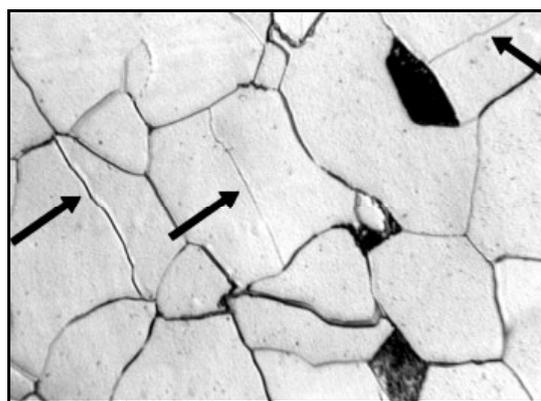
соответственно (табл. 3), что ниже предельно допустимого значения, оговоренного зарубежными стандартами (до 0,85). Указанное соотношение является косвенной характеристикой трещиностойкости труб и низкие его значения свидетельствуют об их высоких вязкопластических характеристиках и высокой стойкости к сульфидному и водородному коррозионному растрескиванию.



a



б



в

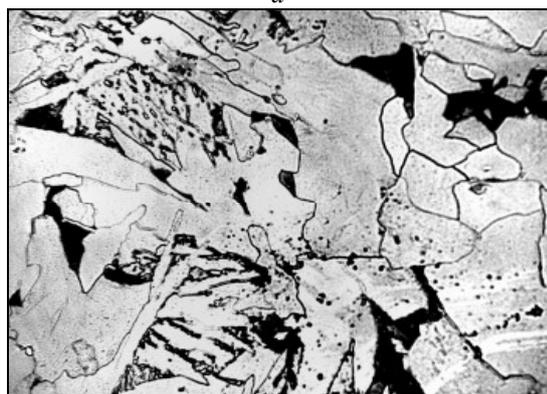
Рис. 1. Микроструктура трубы из стали 06X1 (0,025% Nb), изготовленной на ТПА «140» без подогрева перед калибровочным станом:

a – $\times 100$; б – $\times 400$; в – $\times 800$ /

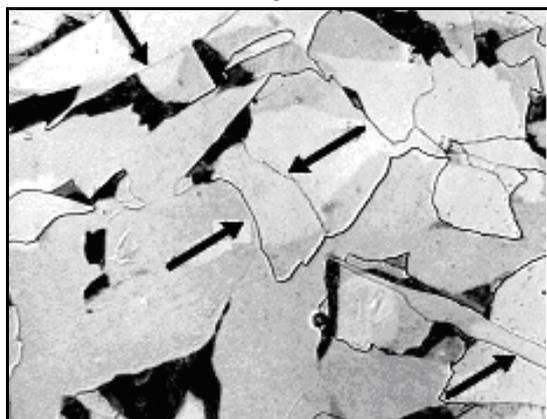
Microstructure of 06X1 (0,025% Nb) steel tube made at TRI «140» with no heating before working in the sizing mill: a – $\times 100$; б – $\times 400$; в – $\times 800$



a



b



в

Рис. 2. Микроструктура трубы из стали 06X1 (0,025% Nb), изготовленной на ТПА «140» с подогревом перед калибровочным станом: а – $\times 100$; б – $\times 400$; в – СГ показаны стрелками, $\times 800$ /
 Microstructure of 06X1 (0,025% Nb) steel tube made at TRI «140» heated before working in the sizing mill:
 a - $\times 100$; b - $\times 400$; c - SG are shown by arrows, $\times 800$

Эти результаты подтверждаются высокой ударной вязкостью труб при испытании при отрицательных температурах, вплоть до минус 60°C (табл. 4). Однако, ударная вязкость труб из стали, микролегированной ниобием, деформация которых завершалась при температурах межкритического интервала, были значительно ниже, чем у труб, прокатанных по режиму нормализационной прокатки, особенно при испытаниях при температурах -40 и -60°C. По этому показателю

указанные трубы не соответствуют повышенным требованиям технических условий на них (ТУ У 27.2-30926951-106: 2005), табл. 4. В трубах из стали без Nb снижение ударной вязкости при завершении прокатки в МКИ не наблюдали.

Таблица 3

Механические свойства при испытании на растяжение труб из стали 06X1 / Mechanical properties found in tensile tests of 06X1 steel tubes

Механические свойства				
σ_B	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,2} / \sigma_B$	$\delta_5, \%$	Примеч.
Н/мм ²				
420...430	300...315	0,69...0,72	30...36	сталь без Nb
ср. 415	ср. 310	ср. 0,71	ср. 33	
Требования ТУ				
≥ 413	≥ 289	$\leq 0,83$	≥ 25	сталь с 0,025 % Nb
490...540	380...420	0,74...0,78	29...35	
ср. 515	ср. 400	ср. 0,76	ср. 33	
Требования ТУ				
≥ 455	≥ 359	$\leq 0,83$	≥ 25	

Таблица 4

Ударная вязкость образцов труб из стали 06X1 / Impact resistance of specimens taken from 06X1 steel tubes

KCV, Дж/см ² , при температуре, °C:			Примеч.
минус 20	минус 40	минус 60	
381...413	378...403	356...396	сталь без Nb
ср. 396	ср. 390	ср. 375	
220...255	232...276	198...238	сталь с Nb и подогревом
ср. 237	ср. 254	ср. 218	
200...225	98...224	96...198	сталь с Nb без подогрева
ср. 213	ср. 161	ср. 147	
Требования ТУ			-
≥ 196	≥ 147	≥ 147	

Таким образом, полное соответствие всех характеристик механических свойств труб из микролегированной Nb стали 06X1 требованиям ТУ обеспечивается после их нормализационной прокатки.

Коррозионные исследования показали высокую стойкость труб к сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением и к водородному растрескиванию при испытаниях в насыщенном сероводородом растворе хлорида натрия и уксусной кислоты: 0,1н NaCl + 0,5 г/л CH₃COOH, pH \approx 4,8, – по методам NACE TM 0177 (A) и NACE TM 0284 соответственно (табл. 5, рис. 3).

Образцы труб из стали 06X1 группы прочности Х42 не разрушились за время испытаний 720 часов по методу NACE TM 0177 при растягивающих напряжениях 200 и 220 МПа (0,7 $\sigma_{0,2}$ и 0,75 $\sigma_{0,2}$, соответственно). Образцы труб группы прочности Х52, изготовленных по той же технологии из трубной заготовки стали 06X1, содержащей 0,025% Nb, не разрушились при напряжениях, равных

250 и 269 МПа (которые также соответствуют $0,7 \sigma_{0,2}$ и $0,75 \sigma_{0,2}$ для труб этого класса прочности). При напряжении 285 МПа ($0,8 \sigma_{0,2}$) время до их СКРН составило от 635 до более 720 часов (табл. 5). Таким образом, пороговое напряжение растрескивания для труб из стали 06X1 без ниобия и содержащей 0,025% Nb, составило $0,75 \sigma_{0,2}$ (220 и 269 МПа).

При испытании на стойкость к водородному коррозионному растрескиванию по методу NACE TM 0284 скорость общей коррозии в сероводородсодержащей среде образцов труб из стали 06X1 и из этой стали с 0,025% Nb, в среднем составили 0,27 и 0,24 мм/год, соответственно; хрупкие трещины и блистеринги отсутствовали (рис. 4).

Таблица 5

Влияние микролегирования ниобием на стойкость образцов труб из стали 06X1 против СКРН / Effect of niobium microalloying on resistance of specimens taken from 06X1 steel tubes to SSCC

Напряжение, $\sigma_{пор.}$, МПа	Время до разрушения, ч	% Nb в стали
250 ($0,7 \sigma_{0,2}$)	> 720	0,025
269 ($0,75 \sigma_{0,2}$)	> 720	
285 ($0,8 \sigma_{0,2}$)	от 676 до 735	
200 ($0,7 \sigma_{0,2}$)	> 720	-
220 ($0,75 \sigma_{0,2}$)	> 720	



Рис. 3. Вид поверхности образца трубы из стали 06X1 (0,025% Nb) после испытаний на стойкость против водородного растрескивания по стандарту TM 0284, $\times 4$ / Appearance of surfaces of 06X1 (0,025% Nb) steel tubes after hydrogen embrittlement resistance tests carried out according to standard TM 0284

Следует отметить, что согласно имеющимся литературным данным скорость коррозии труб из легированной хромом и ванадием стали 20ХФ при испытании указанным методом может достигать 0,8 мм/год, а труб из стали 20 – более 2 мм/год [15].

Повышенная коррозионная стойкость труб из стали 06X1 обусловлена их химическим составом, в частности, наличием $\approx 1\%$ хрома и низким содержанием углерода и примесей.

Было установлено, что в процессе эксплуатации в нефтепромысловых средах хлоркальциевого типа на поверхности труб из стали 06X1 образуется плотная оксидная защитная пассивирующая плёнка с повышенным (в среднем более чем в 2,5 раза по сравнению с основным металлом) содержанием хрома.

Это подтверждается литературными данными, согласно которым содержание хрома в продуктах коррозии значительно (до 10 раз) превышает его содержание в стали (рис. 4). Снижение содержания

углерода с 0,15 до 0,05% также способствует снижению скорости коррозии в ≈ 2 раза. [1].

Кроме того, положительное влияние на стойкость к водородному и сероводородному коррозионным растрескиваниям, связанным с абсорбцией металлом водорода, может оказывать наличие в микроструктуре стали специальных низкоэнергетических границ зерен типа $\Sigma 3^n$, обладающих наряду с повышенной коррозионной стойкостью, также пониженной адсорбционной способностью и «прозрачностью» для движущихся дислокаций [14].

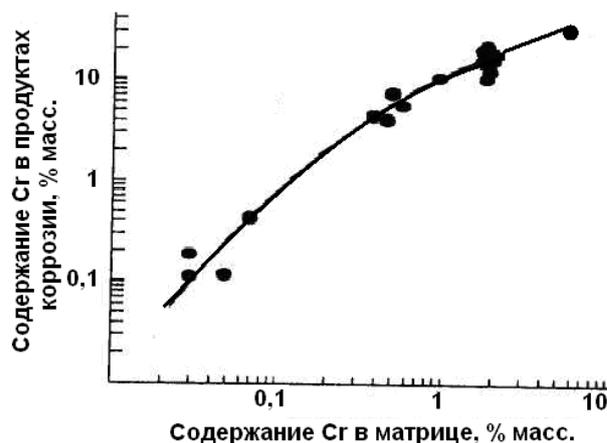


Рис. 4. Содержание хрома в стали и продуктах ее коррозии / Chromium content in the steel and in its corrosion products

Таким образом, использование низкоуглеродистой стали 06X1, легированной хромом ($\approx 1\%$) и микролегированной ниобием (0,025%), позволяет путем нормализационной прокатки получать нефтегазопроводные трубы с высокими механическими и коррозионными свойствами.

Выводы

1. Исследовано влияние микролегирования стали 06X1 ниобием и режимов горячей деформации при прокатке на ТПА-140 на структуру, механические и коррозионные свойства нефтегазопроводных труб.
2. Показано, что завершение деформации в межкритическом интервале температур при прокатке труб из стали 06X1, микролегированной ниобием, способствует снижению их ударной вязкости при температурах -40 и -60°C при сохранении высоких механических свойств при испытании на растяжение.
3. Нормализационная прокатка труб из стали 06X1 (0,025% Nb) обеспечивает высокий комплекс механических свойств, в том числе, ударную вязкость при отрицательных температурах, и высокую коррозионную стойкость труб.
4. Микролегирование стали 0,025% Nb способствует повышению на 20...30% прочностных свойств труб при сохранении высокой пластичности.
5. Высокие механические и коррозионные свойства нефтегазопроводных труб обусловлены рациональным легированием и мелкозернистой

феррито-перлитной структурой стали, без перлитной полосчатости, с наличием специальных границ зерен типа Σ3ⁿ.

6. Результаты работы внедрены на Никопольском заводе стальных труб «ЮТиСТ» и могут быть использованы на других трубных заводах Украины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Завьялов В. В. Проблемы эксплуатационной надёжности трубопроводов на поздней стадии разработки месторождений. – М.: – 2005. – 332 с.
2. Асфандияров Ф. А., Низамов К. Р., Пелевин Л. А. Оценка общей фактической скорости коррозии трубопроводов и меры её снижения. «Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности», – М.: – 1975. № 5.
3. Ikeda A., Mucai S. Corrosion behaviour of 9 to 25% Cr Steels in wet CO₂ environments // Corrosion. – 1985, – Vol. 41, – No.4. – P. 185-192.
4. Ikeda A., Ueda M., Mucai S. CO₂ – behaviour of Carbon and Cr Steels Advances in CO₂-corrosion. Proc. corros. 83, Symp. CO₂ Corros.Oil and Gas Ind. – Anaheim, Calif. Ap. 18-19. – 1984. – vol. 1.
5. Рождественский Ю. Г., Гетманский М. Д., Гоник А. А., Финкельштейн А. Б. Внутренняя коррозия нефтепровода под действием обводнённой нефти, содержащей сероводород. «Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности», – М.: – 1975. – № 11.
6. Кесельман Г. С. Экономическая эффективность предотвращения коррозии в нефтяной промышленности. – М.: «Недра», – 1988. – 215 с.
7. Mannesmann Corrosion Resistant Allays for oil Country tubular Goods, – 1988.
8. General Information Seakales Manesmann Steel Pipe, April, 1982, Edition. – 1982.
9. Seacules Line Pipe Special Cradles Vallourec Industries, November, – 1986.
10. Дергач Т. А., Сухомлин Г. Д., Бульбас В. Н. Нефтегазопроводные трубы высокой коррозионной стойкости и эксплуатационной надёжности // Нефть и газ. – Киев: – 2002. – №10. С. 58-63.
11. Дергач Т. А., Круцан А. М. Разработка, исследование и опыт эксплуатации нефтегазопроводных труб повышенной коррозионной стойкости // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – Львів: – 2004. № 4. – С. 387-391.
12. Дергач Т. А. Комплексные исследования нефтегазопроводных труб, изготовленных по энергосберегающей технологии // Металургическая и горнорудная промышленность. – 2009. № 3. – С. 52-58.
13. Сталь підвищеної корозійної стійкості та труби, виготовлені з неї / Сокуренько В. П., Вахрушева В.С., Дергач Т. О. та ін. Патент України на винахід № 82568 від 25.04.2008 р.
14. Большаков В. И., Сухомлин Г. Д., Лаухин Д. В., Бекетов А. В., Дергач Т. А., Куксенко В. И. Специальные границы и множественные стыки в доэвтектоидном феррите низкоуглеродистых сталей // Сборник научных трудов «Теоретические основы строительства». – Варшава: – 2007. – С. 72-79.
15. Пинчук С. И., Мамренко А. С., Белая А. В., Испытания стойкости труб нефтяного сортамента к водородному растрескиванию в сероводородсодержащей среде // Металургическая и горнорудная промышленность. – 2008. – № 6. – С. 59-60.

REFERENCES

1. Zavyalov V.V. *Problemy ekspluatatsionnoy nadezhnosti truboprovodov na pozdney stadii razrabotky mestorozhdeniy*. [Problems of operating reliability of pipelines on the late stage of working mine]. – М. – 2005. – 332 s. (in Russian).
2. Asfandiyarov F.A., Nizamov K.R., Pelevin L.A. *Otsenka obschey fakticheskoy skorosty korrozii truboprovodov i mery yeyo snizheniya*. [Estimation of general actual speed of corrosion of pipelines and measure of her decline]. *Korroziya i zaschita v neftegazovoy promishlennosti*. [Corrosion and defence are in oil and gas industry]. – М.: – 1975. – № 5. (in Russian).
3. Ikeda A., Mucai S. Corrosion behaviour of 9 to 25% Cr Steels in wet CO₂ environments // Corrosion. – 1985, – Vol. 41, – No.4. – P. 185-192.
4. Ikeda A., Ueda M., Mucai S. CO₂ – behaviour of Carbon and Cr Steels Advances in CO₂-corrosion. Proc. corros. 83, Symp. CO₂ Corros.Oil and Gas Ind. – Anaheim, Calif. Ap. 18-19. – 1984. – vol. № 1.
5. Rozhdestvenskiy U.G., Getmanskiy M.D., Gonik A.A., Finkelshtein A.B. *Vnutrenniaya korroziya nefteprovoda pod deystviyem obvodnennoy nefty, soderzaschey serovodorod*. [Internal corrosion of oil pipeline under the action of obvodnennoy oil, containing the sulphuretted hydrogen]. *Korroziya i zaschita v neftegazovoy promishlennosti*. [Corrosion and defence are in oil and gas industry]. – М.: – 1975. – № 11. (in Russian).
6. Keselman G.S. *Ekonomicheskaya effektivnost predotvrascheniya korrozii v neftyanoy promishlennosti*. [Economic efficiency of prevention of corrosion is in petroleum industry] – М.: «Nedra» [Bowels of the earth], – 1988. – 215 s. (in Russian).
7. Mannesmann Corrosion Resistant Allays for oil Country tubular Goods, – 1988.

8. General Information Seakales Manesmann Steel Pipe, April, 1982, Edition. – 1982.
9. Seacless Line Pipe Special Cradles Vallourec Industries, November, 1986.
10. Dergach T.A., Suhomlin G.D., Bulbas V.N. *Neftegazoprovodniye truby vysokoy korrozionnoy stoykosti i ekspluatatsionnoy nadezhnosti* [Oil-and-gas line tubes of high inoxidizability and operating reliability]. *Neft i gaz*. [Oil and gas] – Kiyev: – 2002. – №10. – S. 58-63. (in Russian).
11. Dergach T. A., Krutsan A. M. *Razrabotka, issledovaniye i opit ekspluatatsiyi neftegazoprovodnih trub povishennoi korrozionnoy stoykosti* [Development, research and experience of exploitation of oil-and-gas line tubes of enhanceable inoxidizability]. *Fiziko-himichna mekhanika materialiv*. [Physical and chemical mechanics of materials]. Lviv: – 2004. – № 4. – S.387-391. (in Russian).
12. Dergach T. A. *Kompleksniye issledovaniya neftegazoprovodnih trub, izgotovlennih po energosberegaushey tehnologii* [Complex researches of the oil-and-gas tubes made on energy-saving technology]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promishlennost*. [Metallogical and mining industry]. – 2009. – № 3. – S. 52-58. (in Russian).
13. *Stal pidvischenoyi koroziynoyi stiykosty ta truby, vivotovleny z neyi* [Steel of an increase corrosive firmness and pipes made from her] / Sokurenko V.P., Vahrusheva V.S., Dergach T. O. *Patent Ukrainy na vinahid* [A patent of Ukraine is on an invention], № 82568 vid 25.04.2008. (in Ukrainian).
14. Bolshakov V.I., Suhomlin G.D., Lauhin D.V., Btketov A.V., Dergach T. A., Kuksenko V.I. *Spetsialniye granitsy i mnozhestvenniye stiky v doevtektoidnom ferrite nizkouglerodistih staley* [The special borders and plural joints are in the hypoeutectoid ferrite of low-carbon steels]. *Sb. nauch. trudov Teoreticheskkiye osnovy stroitelstva*. [Collection of scientific works is "Theoretical bases of building"] – Varshava, – 2007. – S. 72-79. (in Russian).
15. Pinchuk S.I., Mamrenko A.S., Belaya A.V. *Ispitaniya stoikosty trub neftyanogo sortamenta k vodorodnomu rastreskivaniyu v serovodorodsoderzhashey srede* [Tests of firmness of pipes of petroleum assortment to the hydrogen spalling in a сероводородсодержащей environment]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promishlennost* [Metallogical and mining industry]. – 2008. – № 6. – S. 59-60. (in Russian).

Стаття рекомендована до публікації д-ром. техн. наук, проф Г.Д. Сухомлиним (Україна) і д-ром техн. наук, проф. Д.В. Лаухіним (Україна),