ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Сочетание композиционного и технологического подходов при обеспечении качества заготовок из супердуплексных сталей

Седьмая научно-техническая конференция
«Коррозия и управление рисками в нефтяной и газовой промышленности»
атомной отрасли «КОМАНДА-2023»

Ксения Николаевна Уткина, ведущий научный сотрудник

Л.Я. Левков, Е.Л. Корзун, И.А. Иванов, М.В. Ульянов

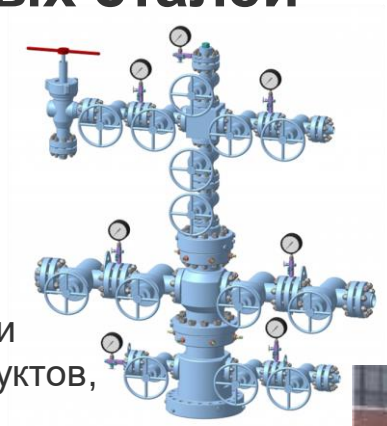
05-07 сентября 2023 г.

Актуальность применения супердуплексных сталей

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Добыча нефти и газа

Запорно-регулирующая арматура, оборудование шельфовой и наземной добычи





Химическая промышленность

Котлы сульфатной варки целлюлозы, установки рециклинга карбамида, емкости для промпродуктов, сосуды высокого давления



Машиностроение

Оборудование по очистке сточных вод, объекты гражданского строительства, включая несущие конструкции мостовых опор



Атомная энергетика

Опреснительные установки и трубопроводы морской воды АЭС



Рынок дуплексных и супердуплексных сталей

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Металлургические заготовки из дуплексных и супердуплексных сталей, востребованные на рынке:

- литье
- поковки и штамповки
- листовой прокат
- сортовой прокат
- трубы бесшовные
- сварочная проволока

Мировой рынок:
250-280 тыс.т/год
рост 3-5 %/год

Основные производители оборудования: Cameron; Vetco Gray; Weatherford; Sumitomo, Kawasaki, FMC TECHNOLOGIES; General Electric; One Subsea, Axon; Mokveld Valves; Baker Hughes; Halliburton; Schlumberger и металлургических заготовок: Sandvik; Outokumpu; Böhler; AK Steel; Arcelor Mittal; POSCO; Baosteel и др.

Перспектива – замещение импорта заготовок и оборудования

Металлургические и машиностроительные предприятия-изготовители:

ОАО «Русполимет»; АО «АЭМ-Спецсталь»; АО «МЗ Электросталь»; ООО «ЛМЗ «МашСталь»; Группа ТМК; АО «Новомосковский МЗ»; ООО «ПОЛЕМА»; АО «Гранком»; ООО «Завод НГО «Техновек» и др.

Отрасли потребления СДС



Ключевые заказчики/ потребители:

Нефть/газ: Газпром, Роснефть, Транснефть, Лукойл,Татнефть, Новатэк

Химия и насосное оборудование: Сибур, Фосагро, НКНХ,Танэко, ГМС

Опреснительное, теплообменное и очистное оборудование: Росатом, ГМК, ЦБК, городское коммунальное хозяйство

Сочетание композиционного и технологического подхода при создании нового материала

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Совершенствование химического состава ЗИ-130 (03Х24Н6АМ3) ⟶ 03Х23Н6М4Д3АБ-Ш:

C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	N	Mo	Nb	Al	S	P
н.б. 0,03	0,3-0,5	0,9-1,2	5,8-7,0	22,5-24,0	3,0-3,3	0,16-0,25	3,5-4,8	0,27-0,37	н.б. 0,04	н.б. 0,015	н.б. 0,008

Композиционный подход

- регулирование соотношения феррит- и аустенитобразующих элементов
- легирование N, Nb, Cu;
- модифицирование РЗМ и Ca



Технологический подход

- обеспечения высокой технологической пластичности;
- повышения прочности путем дисперсионного упрочнения материала;
- обеспечение плотной макроструктуры, физической однородности слитка и, как следствие, отсутствия проблем дендритной ликвации Cr, Ni, Mn и Mo;
- повышения чистоты стали по коррозионно-активным неметаллическим включениям

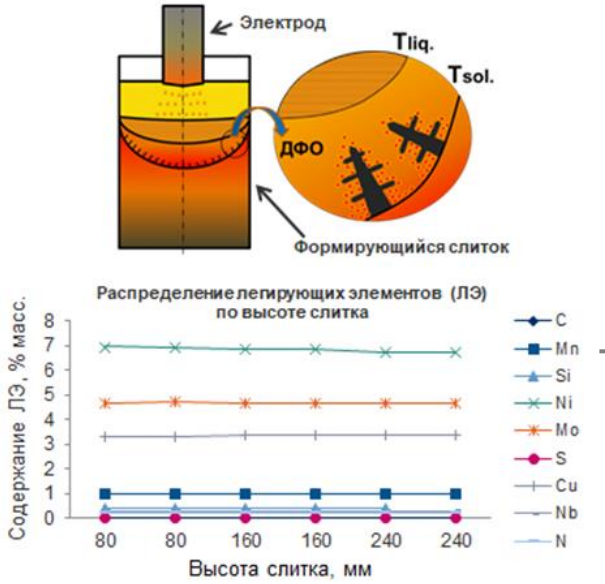
Использование инструментов компьютерного моделирования термодинамики и кинетики фазового состава позволило определить оптимальный химический состав

Дуплексная нержавеющая сталь для производства запорной и регулирующей арматуры / Левков Л.Я., Уткина К.Н., Шурыгин Д.А., Баликоев А.Г., Ефимов В.М., Калугин Д.А., Марков С.И., Орлов С.В., Толстых Д.С. / Патент на изобретение RU 2693718 C2

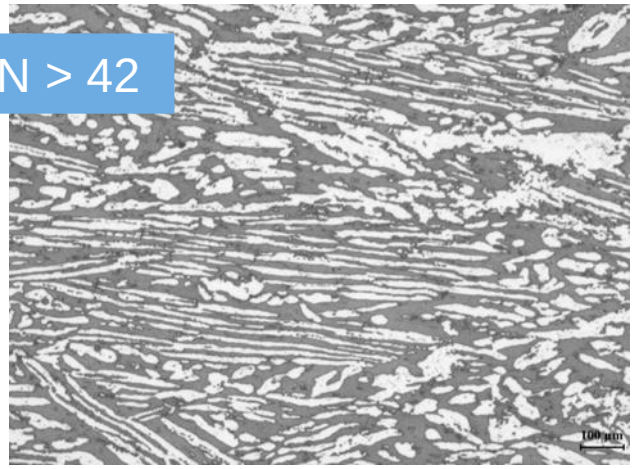
Реализация преимуществ новой марки супердуплексной стали

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

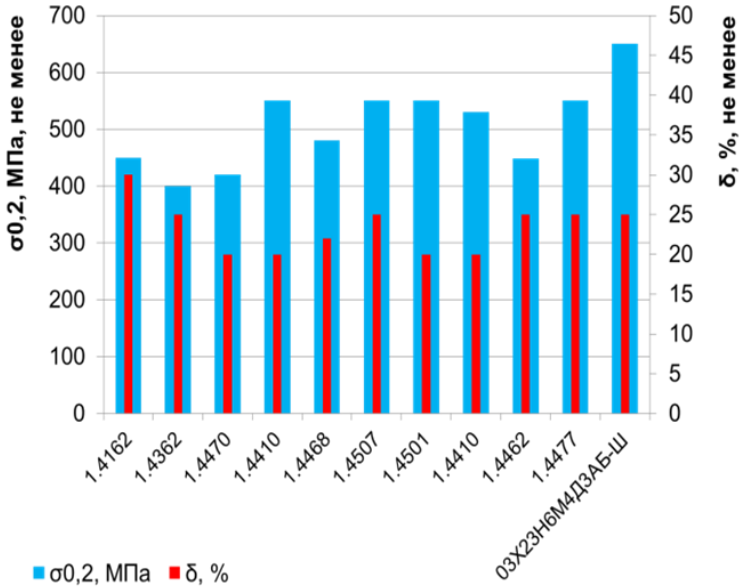
Максимальное использование отходов собственного производства	Обеспечение химической, физической и структурной однородности слитка	Обеспечение высоких скоростей деформации без захолаживания поверхности	Закалка из состояния твердого раствора δ/γ≈ 1	Высокое качество поверхности - условие коррозионной стойкости
Выплавка	ЭШП	Горячая пластическая деформация	Термообработка	Механическая обработка



PREN > 42



Микроструктура и механические свойства стали 03Х23Н6М4Д3АБ-Ш



Возможности технологической площадки АО «НПО «ЦНИИТМАШ»

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Участок выплавки и разливки



Печь ИСТ-0,16



УНУ электрошлакового переплава ЭШП 0,5У с источниками питания 0-10 Гц и 50 Гц



Печь ОКБ-716

Участок термодеформационного передела



молот с массой падающих частей 750 кг



электропечь сопротивления камерная СНО-8.16.5/12,5-И1





Закалочный бак с системой циркуляции потока не менее 3 м/с

- Выплавка и разливка заготовок массой до 150 кг по жидкому металлу;
- Получение заготовок ЭШП Ø до 250 мм сплошного сечения и Ø 275х60 мм полого сечения;
- Охлаждение заготовок и сталей массой до 70 кг с использованием специальных условий закалки;

Научно-практический задел АО «НПО «ЦНИИТМАШ»

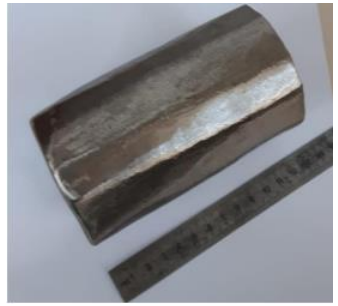
ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Разработка технологии производства заготовок корпуса арматуры и ВКУ из супердуплексной коррозионностойкой стали типа 03Х23Н6М4Д3АБ

Вид заготовки	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %	Ψ, %
Поковка	825	643	27,0	61,0
Отливка	743	570	22,5	22,0



Отливка втулки

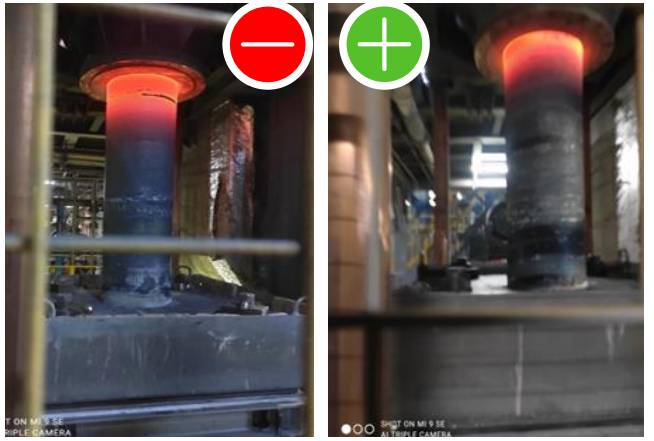


Поковка диска

Реализация схемы производства кованых на прессе или радиально-ковочной машине заготовок диаметром или стороной квадрата 127- 255 мм с применением ЭШП (S 32750)

Принудительное охлаждение «горячей» зоны слитка препятствует развитию диффузионных процессов формирования вторичных фаз, в т.ч. обеспечивает высокие скорости охлаждения в температурном интервале Т=1000-600 ℃

$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %	Ψ, %	KCV^{-46}, Дж/см^2
min 810	min 620	min 35,0	min 70,0	min 177



Перспектива: Освоение отечественными металлургическими и машиностроительными заводами технологии производства заготовок из супердуплексной стали

Научно-практический задел АО «НПО «ЦНИИТМАШ»

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Применение инструментов цифрового материаловедения для управления формированием вторичных фаз в супердуплексной стали

Модель расчета ударной вязкости, учитывающая:

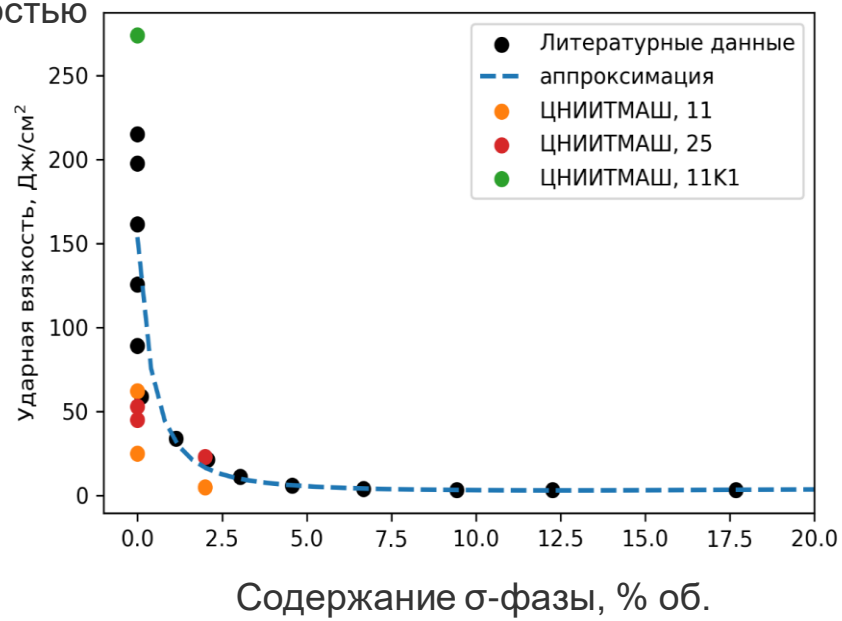


Зависимость критической скорости охлаждения от химического состава стали аппроксимирована линейной регрессией (R^2 = 0,995):

$$lg\, v_{cr} = -1,23[C] - 0,55[Si] - 0,10[Mn] + 1,82[Ni] + 0,17[Cr] + 1,17[Cu] + 9,40[N] + 3,75[Mo] - 1,12[Nb] - 36,30\ °C/c$$

Зависимость ударной вязкости от доли σ-фазы аппроксимирована приведенной зависимостью (R^2=0,945):

$$\frac{1}{KCV} = -0,01\ \sigma^2 + 0,15\ \sigma + 0,005$$



Перспектива:

Практический инструментарий для технолога, обеспечивающий отсутствие σ-фазы при назначенном режиме охлаждения

Работа выполнена совместно с ФГУП ВНИИА им. Духова Н.Л.

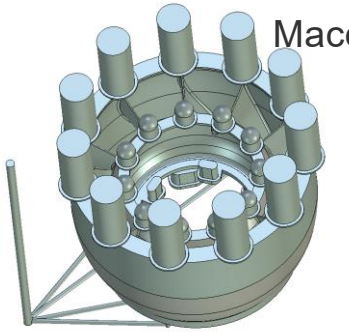
Перспективные направления развития производства супердуплексных сталей

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

- Разработка технологии и изготовление опытной партии бесшовных горячедеформированных труб из коррозионностойкой супердуплексной стали диаметром 60-219 мм на рабочее давление 34,5-69 Мпа

- Разработка технологии и изготовление опытной партии коррозионностойких тяжелонагруженных элементов насосных агрегатов из супердуплексной стали

Масса 17685 кг



3D-модель Колеса рабочего 73-53323

Масса 7631кг



Корпус направляющей лопасти

Применение дуплексной стали 1.4468 для изготовления отливок рабочего колеса насосного агрегата MLBe 2200 для блоков №3 и №4 АЭС «Куданкулам»

1. Для насосных агрегатов водообеспечения АЭС морской водой с годовой потребностью, оцененной в 400 т выгода может составить 350 млн. руб.;
2. Для теплообменного и опреснительного оборудования с годовой потребностью, оцененной в 50 т выгода может составить 30 млн. руб.

- Разработка сварочных материалов и технологии сварки деталей оборудования из супердуплексных сталей

Схема организации взаимодействия предприятий по производству заготовок и оборудования из супердуплексных сталей

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Машиностроительные и металлургические предприятия РФ

- АО «ЗиО-Подольск»,
- АО «СвердНИИхиммаш»,
- АО «НМЗ»,
- Ливгидромаш,
- МКТ-АСДМ,
- АО «Армалит»,
- ООО «Завод НГО «Техновек»,
- АО «Петрозаводскмаш»,
- Севкабель,
- АО «Русполимет»,
- АО «АЭМ-Спецсталь»,
- Группа ТМК
- ООО «Белэнергомаш – БЗЭМ»



Предприятия ГНХ, атомной энергетики

- ГК «Росатом» в лице АО «АСЭ»,
- ПАО «ФосАгро»,
- ООО «Газпром»,
- НК «Роснефть»,
- Группа «Лукойл»,
- ПАО «Татнефть»,
- ПАО «Транснефть»,

Заявка на выполнение ОКР/НИОКР

- Министерство промышленности и торговли РФ
- Министерство образования и науки РФ

Одобрение заявки путем проведения конкурсной процедуры. Финансирование за счет бюджетных средств ОКР/НИОКР

Головная материаловедческая организация

Заключение

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

- Имеющийся научно-практический задел служит основанием для выполнения опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, ориентированных на применение супердуплексных сталей в изделиях, подверженных высоким механическим нагрузкам в контакте с морской водой;
- Специалисты АО «НПО «ЦНИИТМАШ» готовы разработать сквозные технологии литья, ковки, штамповки, термической и механической обработки изделий из дуплексных сталей в соответствии с потребностями заказчиков, а также выполнить цикл испытаний и подготовить портфель научно-технической документации.

Спасибо за внимание

Уткина Ксения

KNUtkina@cniitmash.com

05– 07 сентября 2023 г.