

16+

**С.Л. Горобченко**

**Курс Основы выбора и применения материалов**

Модуль Системный инжиниринг литейных криогенных сталей

Станислав Горобченко

**Курс «Основы выбора и  
применения материалов для  
трубопроводной арматуры»**

«ЛитРес: Самиздат»

2019

## **Горобченко С. Л.**

Курс «Основы выбора и применения материалов для трубопроводной арматуры» / С. Л. Горобченко — «ЛитРес: Самиздат», 2019

Модуль "Системный инжиниринг литейных сталей для криогенной арматуры" входит в общий курс "Основы выбора и применения материалов для трубопроводной арматуры" и является частью специализации "Инжиниринг и применение трубопроводной арматуры" системы дополнительного профессионального образования в арматурной отрасли. Курс может быть полезен для специалистов-материаловедов, специализирующихся на литых материалах, разработчиков арматуры, специалистов по эксплуатации арматуры предприятий-потребителей, технических специалистов, специалистов по развитию арматурных и литейных предприятий.

© Горобченко С. Л., 2019

© ЛитРес: Самиздат, 2019

# Содержание

Введение и задачи модуля	9
1. Обзор основных тем	10
1.1. Модуль 1. Введение и обзор основных тем	11
1.2. Модуль 2. Теоретические основы хладостойкости и легирования литейных сталей криогенного назначения	13
1.3. Модуль 3. Практика исследования литейных сталей	16
Конец ознакомительного фрагмента.	20

## Особенности курса

Курс "Основы выбора и применения материалов для трубопроводной арматуры" предназначен для слушателей, имеющих незначительный опыт или не имеющих опыта в анализе, подборе и применении материалов для трубопроводной арматуры.

Курс может быть полезен для специалистов-материаловедов, специализирующихся на литых материалах, разработчиков арматуры, специалистов по эксплуатации арматуры предприятий-потребителей, технических специалистов, специалистов по развитию арматурных и литейных предприятий.

## Описание

В результате овладения материалами курса слушатель начинает разбираться в современных подходах к выбору и применению материалов для трубопроводной арматуры; знакомится с особенностями применения материалов в арматуре в основных отраслях промышленности; овладевает навыками подбора материалов в зависимости от технических, экономических и проектных требований; практикуется в умении анализировать альтернативы выбора материалов; определяет возможности повышения уровня проектных спецификаций арматуры в ходе ее выбора на основе применения критериев оптимизации выбора материалов; изучает особенности применения материалов в зависимости от технологии изготовления арматуры и задач эксплуатации.

## Документы об образовании

По окончании обучения слушатель получает сертификат о прохождении программы дополнительного профессионального образования и удостоверение установленного образца о повышении квалификации.

## Структура курса

Курс построен по модульной системе и включает в себя:

1. Базовые модули
  - 1.1. Модуль "Современные подходы к выбору и применению материалов для трубопроводной арматуры".
  - 1.2. Модуль "Основные сведения о материалах в арматуростроении".
  - 1.3. Модуль "Применение материалов в трубопроводной арматуре разных отраслей"
2. Специализированные модули по выбору
  - Модуль "Материалы для арматуры в химии и ЦБП"
  - Модуль "Материалы для энергетической арматуры" и ЖКХ
  - Модуль "Материалы для арматуры в горной промышленности и металлургии"
  - Модуль "Материалы для нефтегазовой арматуры"
  - Модуль "Материалы для пищевой арматуры и их применение в пищевой и фармацевтической промышленности"
  - Модуль "Материалы для вакуумной, хладостойкой, криогенной арматуры и арматуры технических газов".
  - Модуль "Системный инжиниринг литейных сталей криогенного назначения (для криогенной арматуры)"

Специализированные модули разрабатываются по заказу. Выбор специализированных модулей для изучения определяется слушателями.

Для получения документа об образовании и полного обучения по курсу "Основы выбора и применения материалов для трубопроводной арматуры" слушатель должен пройти обязательный базовый курс и один специализированный курс по выбору.

### **Особенности дистанционного обучения на курсе**

Курс построен в виде электронного учебника и рабочей тетради, что дает возможность слушателям курса использовать свои комментарии и наработки в качестве рабочего конспекта в своей дальнейшей профессиональной деятельности.

### **Сроки обучения**

Срок обучения 3 мес. по методике дистанционного обучения с момента открытия доступа по базовому курсу "Основы выбора и применения материалов для трубопроводной арматуры".

### **Виды специализации**

Материалы для трубопроводной арматуры в химии и ЦБП. Специализация включает изучение курса "Материалы для трубопроводной арматуры в химии и ЦБП" и углубленное изучение вопросов применения материалов для арматуры в химической и целлюлозно-бумажной промышленности.

Материалы для энергетической арматуры и арматуры ЖКХ. Специализация включает углубленное изучение курса "Материалы для энергетической арматуры и арматуры ЖКХ".

Материалы для арматуры в горной промышленности и металлургии. Специализация включает углубленное изучение курса "Материалы для трубопроводной арматуры в горной промышленности и металлургии".

Материалы для нефтегазовой арматуры в нефтегазовой отрасли. Специализация включает углубленное изучение курса "Материалы для трубопроводной арматуры в нефтяной, газовой, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности".

Материалы для пищевой арматуры. Специализация включает углубленное изучение курса "Материалы для трубопроводной арматуры в пищевой и фармацевтической, промышленности".

Материалы для вакуумной, хладостойкой, криогенной арматуры и арматуры технических газов. Специализация включает углубленное изучение курса "Материалы для вакуумной, хладостойкой, криогенной арматуры и арматуры технических газов".

## **СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ**

### **ВВОДНЫЙ МОДУЛЬ. ЧТО ТАКОЕ ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ?**

*Что такое дистанционное обучение? Андрагогический подход к обучению. Основы методики дистанционного обучения в профессиональном образовании. Технология дистанционного обучения. Электронные учебники и методические пособия. Руководства в помощь слушателям. Поддержка слушателей. Тьюторы. Группы самопомощи.*

*Организация самостоятельной работы. Маршрутная карта обучения. Самооценка прогресса в обучении. Пути повышения навыков самообразования при дистанционном обучении.*

## БАЗОВЫЙ КУРС

### МОДУЛЬ 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ И ПРИМЕНЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ В ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЕ

Модуль "Современные подходы к выбору и применению материалов в трубопроводной арматуре" дает представление об основах выбора материалов для трубопроводной арматуры в зависимости от различных противоречивых требований, которые, как правило, предъявляются к трубопроводной арматуре.

Обсуждаются технические, экономические и проектные критерии в выборе материалов.

Дается представление о подходах к выбору перспективных марок материалов на основе критериев проекта, прогнозных критериев по эксплуатации и применения технико-экономического анализа.

Представлены общие принципы выбора материалов для арматуры: технические условия и стандарты, зависимость выбора от требований к долговечности конструкции и видам отказов. Указаны особенности подхода к выбору основных свойств материала: физико-химическим, механическим; выбору материалов с особыми механическими и физическими свойствами и требованиями к технологическим свойствам.

Отдельно выделены современные способы оценки конструкционной прочности материалов. Даны представления об оценке конструкционной прочности методами механики разрушения. Проиллюстрированы специальные методы испытаний и неразрушающие методы контроля качества материала. Особо выделены методы оценки надежности материалов, применяемых в арматуре, на основе критериев интенсивности напряжений и вязкости разрушения, показаны критерии оценки стойкости к усталостному разрушению. Даны представления о критериях оценки вязкости излома методами фрактографического анализа поверхности разрушения.

Модуль снабжен большим количеством кейсов, демонстрирующих применение показанных моделей и концепций на практике.

### МОДУЛЬ 2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О МАТЕРИАЛАХ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЕ

Модуль предоставляет основные сведения по материалам трубопроводной арматуры в сжатой форме. Дана история применения металлов в арматуростроении. Представлены основные сведения по чугунам, включая серые, ковкие, высокопрочные и специальные; по сталям, включая углеродистые, низколегированные, высоколегированные и нержавеющие стали и сплавы; по цветным металлам и сплавам (бронза, латунь, алюминий, никель, титан); по неметаллическим и керамическим материалам. Даются подробные данные о коррозионной стойкости материалов, коррозионному расчету проточной части арматуры, рекомендуемые материалы для применения в арматуростроении в зависимости от коррозионного воздействия сред.

### 3. МОДУЛЬ ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

Проводится обзор применения материалов арматуры в основных отраслях промышленности, таких как химическая, целлюлозно-бумажная промышленность, энергетика и ЖКХ, нефтегазовая промышленность, металлургия и такие важные отраслевые сегменты как криогенная техника и промышленные газы, пищевая и фармацевтическая промышленность и др.

Включены: материалы для трубопроводной арматуры в химии и ЦБП; материалы для энергетической арматуры; материалы для пароводяной арматуры и ЖКХ; материалы для арматуры в горной промышленности и металлургии; материалы для нефтегазовой арматуры; материалы для пищевой арматуры; материалы для вакуумной, хладостойкой, криогенной арматуры и арматуры технических газов.

## СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ КУРСЫ ПО ВЫБОРУ

### МОДУЛЬ 1. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ В ХИМИИ И ЦБП

Модуль рассматривает основные подходы к выбору и применению материалов для арматуры в основных технологических процессах и установках химической и целлюлозно-бумажной промышленности. Рассматриваются основные сложности и проблемы применения материалов для арматуры в древесно-массном, целлюлозном и бумажном производстве, в зависимости от характеристик используемых сред.

### МОДУЛЬ 2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ АРМАТУРЫ И ЖКХ

Модуль дает представление о применении материалов в энергетической арматуре. Рассматриваются материалы, применяемые в арматуре магистральных теплопроводов.

### МОДУЛЬ 3. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АРМАТУРЫ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И МЕТАЛЛУРГИИ

Модуль рассматривает особенности применения материалов арматуры для горно-обогажительных, горно-металлургических, горно-химических, электрометаллургических и других производств черной, цветной металлургии и промышленности минеральных удобрений. Их особенностью является большой объем пульпы и других абразивных сред и рассматривается применение материалов для этих сред.

### МОДУЛЬ 4. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ АРМАТУРЫ

Модуль дает представление о применении материалов в арматуре в основных процессах установок и трубопроводах нефтяной и газовой промышленности, а также о материалах, применяемых на нефтехимических, нефтеперерабатывающих производствах и устройствах хранения нефти и газа.

### МОДУЛЬ 5. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ АРМАТУРЫ

Модуль дает представление об использовании материалов в условиях разнообразных пищевых, фармацевтических производствах и основных рабочих средах этих производств.

### МОДУЛЬ 6. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВАКУУМНОЙ, ХЛАДОСТОЙКОЙ, КРИОГЕННОЙ АРМАТУРЫ И АРМАТУРЫ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ГАЗОВ

В модуле показаны современные материалы, применяемые в вакуумной, хладостойкой, криогенной, арматуре и арматуре для технических газов.

## **Введение и задачи модуля**

Первый модуль "Введение и обзор основных тем" сосредоточен на обзоре основных вопросов и тем, которые будут подниматься в процессе обучения. Его главной задачей является ввести Вас в проблемы применения и создания литейных сталей и дать обзор основных направлений развития материалов, которые в дальнейшем мы будем рассматривать более детально.

Модуль также должен дать Вам представление о том, как мы будем учиться, и почему подходы в обучении взрослых сильно отличаются от обучения студентов. Вы познакомитесь с основными положениями андрагогического подхода, который будет более полно описан в учебно-методических пособиях, являющихся приложением к курсу, и которые Вы получите вместе с курсовыми материалами.

## 1. Обзор основных тем

Модуль "Инжиниринг литейных сталей для криогенной арматуры" состоит из нескольких основных разделов (модулей), раскрывающих теоретические и практические аспекты хладостойкости литейных сталей криогенного назначения.

В модуле рассматриваются

- теоретические основы хладостойкости литых сталей при криогенных температурах,
- практические материалы по исследованию литых сталей для криогенной температуры (на примере хромомарганцевых аустенитных сталей)
- инжиниринг литых сталей для криогенной арматуры
- общие вопросы системного инжиниринга литых сталей и подходы к исследованию металлов на основе системного подхода и ТРИЗ.

Ниже представлено содержание основных модулей.

## 1.1. Модуль 1. Введение и обзор основных тем

### ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ МОДУЛЯ

*Программа обучения. Как мы будем учиться. Обзор основных тем курса.  
Развитие идей по получению литейных материалов для сверхнизких температур.  
Модуль 1 дает представление об основных темах и методе обучения, которым мы будем пользоваться в нашем дистанционном обучении.*

### ЗАЧЕМ МЫ УЧИМСЯ?

Обучение взрослых сильно отличается от обучения студентов. Здесь действуют совсем другие мотивационные механизмы по сравнению с молодежью и юношеством. Поэтому и методика обучения значительно разнится. И мы должны постараться предоставить знание, практику и опыт, которые повысят естественную способность взрослых учиться.

Нам важно помнить, что каждый взрослый человек – это личность. Взрослые более независимы и целеустремленны. Взрослые могут учиться всю жизнь и более заинтересованы в получении значимой информации. Взрослые уже имеют опыт, который повышает их способность к обучению. Взрослые больше стремятся к знаниям, чтобы решать свои проблемы, и, поэтому они более сосредоточены на практическом обучении, мотивированы и готовы взять на себя ответственность за обучение.

В обучении взрослых важна направленность обучения, связанная с карьерой, успехом, а иногда и с удовольствием от обучения. Но в целом можно сказать, что истинной причиной, будь то желание учиться или потребность в профессиональном росте, выступает самомотивация, сосредоточенная по большей части на практической проблеме в своей профессиональной деятельности.

Путь обучения для слушателей курсов технической направленности сложен тем, что при формировании программ нужно предоставить соответствующую среду обучения, рассчитанную на особенности мотивации слушателей и их активное участие в процессе обучения. Для этого мы будем использовать некоторые приемы, характерные для обучения взрослых. Среди них:

- использование многочисленных форм практического вовлечения слушателей в процесс обучения и решения практических задач;
- самостоятельное чтение дополнительных материалов, подбираемых под практические задачи, решаемые Вами;
- изучение конкретных ситуаций, которые могут стать моделью для решения собственных задач;
- обсуждение и активное вовлечение в процесс работы над материалами курса при помощи специальных обучающих инструментов;
- практика и полевые проекты на базе создаваемых кейсов;
- учебный журнал самонаблюдения, выполняемый в виде маршрутных карт обучения;
- организация групп взаимопомощи.

Такой подход обеспечит большую внутреннюю вовлеченность Вас, уважаемые слушатели, в процесс обучения, активное участие в освоении материала в контексте своей практической деятельности. За счет рассмотрения материала курса с разных сторон, в т. ч. и в контексте профессиональной коммуникации, Вам легче будет встроить новые знания в ваши професси-

ональные компетенции. Но больше всего мы уверены в том, что наш подход позволит нашим слушателям настроить внутреннее желание непрерывно учиться и потому быть впереди...

## **ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ МОДУЛЯ КУРСА**

Целью преподавания модуля «Системный инжиниринг литейных сталей для криогенной арматуры» является изучение применяемых в настоящее время перспективных типов и видов материалов, их особенностей и функционального назначения.

## **МЕСТО КУРСА В СТРУКТУРЕ ОБУЧЕНИЯ**

Предмет относится к базовой части профессионального цикла. В дальнейшем навыки, приобретенные в курсе, понадобятся Вам при освоении других модулей курса, связанных с применением материалов в трубопроводной арматуре. Для освоения курса необходимы сведения из дисциплины Физика, Химия, Математика, Материаловедение, Криогенная техника.

## **КОМПЕТЕНЦИИ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ КУРСА**

Процесс изучения курса направлен на формирование профессиональных компетенций по направлениям "Трубопроводная арматура", "Материалы для трубопроводной арматуры", "Системный инжиниринг трубопроводной арматуры" и др.

В результате освоения модуля Вы узнаете основные положения теории хладноломкости литых сталей, подробнее узнаете о применяемых сталях и сплавах для криогенной арматуры и разберетесь в вопросах инжиниринга литых сталей криогенного назначения. Вы также лучше будете понимать особенности применяемых методов испытаний при криогенных температурах, особенности чтения фрактографии поверхности разрушения и других современных способов анализа изломов и прогнозирования ресурса и надежности литых сталей при криогенных температурах.

Вы будете уметь осуществлять выбор и понимать особенности применения литых сталей при криогенных температурах и будете способны самостоятельно провести выбор сталей для конкретных условий по расчетным диаграммам.

## **СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ КУРСА**

Общая трудоемкость курса составляет более 180–220 часов. Вам потребуется найти время до 10–15 часов в неделю, чтобы успеть справиться со всеми материалами курса и получить максимальную пользу при выполнении практических заданий, ориентированных на вашу профессиональную деятельность.

## 1.2. Модуль 2. Теоретические основы хладостойкости и легирования литейных сталей криогенного назначения

### ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ МОДУЛЯ

*Обзор теорий. Применимость теоретических положений к решению задачи повышения хладостойкости криогенных сталей. Теория Б. Б. Гуляева. Основные положения. Хладостойкость элементов. Хладостойкость бинарных сплавов. Диаграммы состояния и их анализ. Системы Fe-Mn сплавов. Системы Fe-Ni сплавов. Хладостойкость трехкомпонентных и сложных сплавов. Выбор основных элементов для легирования. Методы анализа свойств сплавов. Регрессионный анализ и планирование эксперимента. Топологический анализ. Нейронные сети. Использование при анализе методов фрактографии, стереологии, распознавания образов, полиэдров Воронова, расчета ямочного излома и пр.*

В модуле 2 мы подробно рассмотрим основные факторы, определяющие работоспособность литых сталей при криогенных температурах.

К ним относятся:

1. Внешние факторы
2. Внутренние факторы
3. Технологические факторы.

Из внешних факторов большое влияние на работу литых сталей при криогенных температурах оказывают:

- характер и скорость приложения нагрузки
- концентраторы напряжений
- масштабный фактор
- циклические нагрузки
- среда.

Их влияние и особенно сочетание их в различной степени могут предопределять хрупкое разрушение изделий, при этом особенности собственно литой структуры оказывают сильное влияние на разрушение литых конструкций.

Мы также подробно рассмотрим влияние внутренних факторов. К ним относятся:

- температурный порог хладноломкости, характерный для стали
- тип кристаллической решетки
- величина зерна и особенно литого зерна (дендрита).

Для литых сталей особенно выражено и влияние технологических факторов, способных уже на этапе изготовления отливки получить набор дефектов, которые в дальнейшем станут источниками хрупкого разрушения.

Чаще всего разрушение конструкций происходит под действием не одного, а многих факторов из вышеуказанных. Каждый из них способствует охрупчиванию материала. Чувствительность материала к одному из факторов не находится в однозначной связи с чувствительностью к другому фактору. Поэтому испытания материала желательнее проводить в условиях, как можно более близких к реальным условиям работы этого материала. Для литых изделий особое внимание надо обращать на такие факторы, как понижение температуры, наличие надразов и трещин, размеры образцов и конструкций, т. к. именно они являются основными.

Хладноломкость литых сталей в значительной степени отличается от механизмов формирования хладноломкости деформированных сталей. Деформирование во многом исправляет и облагораживает грубую литую структуру. Чтобы понять механизмы хладноломкости литой

стали необходимо применять те теоретические положения, которые в наибольшей степени описывают изменение механических свойств литых сталей с температурой. Такой теорией является теория синтеза литых сталей на основе физико-химического анализа диаграмм состояния профессора Б. Б. Гуляева. В дальнейшем при описании изменения свойств литых сталей с температурой и нахождении оптимальных составов сталей мы будем пользоваться именно ею.

В соответствии с теорией синтеза сплавов при разработке сталей и сплавов применительно к конкретной задаче необходимо:

выявить связь конкретного свойства с периодической системой Менделеева

рассмотреть связь свойств двухкомпонентных сплавов и далее многокомпонентных сплавов с рассматриваемым свойством

дать предварительные технико-экономические оценки на основе знания производственной и потребительской стоимости предполагаемых компонентов

построить математические модели сталей и сплавов на основе метода планирования эксперимента и провести оптимизацию.

Общая схема разработки литейных сталей показана на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Схема выбора состава литых сталей

Используя эту схему, мы попытаемся провести инжиниринг литой стали для криогенной арматуры. Для этого мы определим, является ли хладноломкость металлов коренным свойством металлов, и связана ли она с Периодической системой элементов Д. И. Менделеева. Далее это позволит нам определить возможности легирования элементов, составляющих основу сплавов с целью повышения хладостойкости и начать формировать комплексы легирующих элементов для управления свойствами сталей. Мы также рассмотрим возможные механизмы изменения свойств сталей под действием низких температур и попытаемся представить механизмы развития хладноломкости в связи с изменением электронного строения материалов. При этом мы сосредоточимся на металлах, которые чаще всего используются для легирования стали и сплавов на основе железа.

В нашем исследовании для дальнейшего инжиниринга литых криогенных сталей мы будем двигаться от макроуровня и до наиболее возможного при современном состоянии методов исследований микроуровня, продвигаясь все ниже и ниже по иерархии структур. В дальнейшем при инжиниринге сталей это поможет нам выявить ведущие уровни управления литой структурой для повышения сопротивления стали хрупкому разрушению при криогенных температурах.

## 1.3. Модуль 3. Практика исследования литейных сталей

### ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ МОДУЛЯ

*Обзор решений по выбору литейных сталей для криогенных температур. Основные классы материалов. Их преимущества и недостатки.*

*Применяемые методы исследований.*

*Механические и технологические свойства литейных хромомарганцевых сталей.*

*Комплексное влияние легирующих элементов на механические и литейные свойства хромомарганцевых сталей при криогенных температурах.*

*Влияние литой структуры на свойства сталей при криогенных температурах. Фрактография разрушения литых сталей.*

*Оценка совокупного влияния структуры и легирующего комплекса на свойства литых хромомарганцевых сталей.*

Модуль 3 является наиболее важным для практики исследования литых сталей на основе хромомарганцевого аустенита, как наиболее перспективной основы для литых сталей криогенного назначения. В модуле мы подробно рассмотрим особенности формирования свойств литых сталей и математические модели изменения свойств в зависимости от изменения характера легирования. Наше исследование мы сопроводим детальным исследованием особенностей литой структуры хромомарганцевых сталей с целью определения всех значимых элементов структуры сталей, способных оказывать серьезное влияние на хрупкость сталей при криогенных температурах.

### ПРАКТИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ЛИТЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ КРИОГЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

Сейчас мы в конспективной форме дадим основные положения работы, доказывающей перспективность хромомарганцевой системы легирования литых сталей для криогенных температур. Так, хромомарганцевая система легирования в литых сталях позволяет:

– обеспечить повышение хладостойкости за счет выбора рациональной системы легирования. В частности, для корпусов криогенной арматуры найдена оптимальная хромомарганцевая система легирования.

– предложить оптимальные решения для литейных хромомарганцевых сталей, сочетающих в себе высокую прочность при комнатной температуре и высокую вязкость при криогенных температурах.

– выявить свойства этих сталей, и найти области составов литого хромомарганцевого аустенита, имеющего повышенный комплекс механических и литейных свойств.

– дать конкретные рекомендации по выбору состава сталей для литой криогенной арматуры и других деталей криогенных систем.

– предложить математические модели и регрессионные зависимости механических свойств в зависимости от химического состава Cr-Mn-Ni-V-N сталей в широком диапазоне температур и концентраций легирующих элементов. Мы представим регрессионные зависимости литейных свойств от химического состава Cr-Mn-Ni-V-N сталей, способные значительно облегчить поиск оптимальных составов при инжиниринге литых сталей.

– показать характер разрушения литейных сталей при криогенных температурах и выявить наиболее важные элементы структуры, ответственные за хрупкое разрушение литых сталей. Так, Вы увидите, что наибольшее влияние на уровень пластических и вязких свойств оказывает ликвация примесей внедрения и серы, характер дендритной структуры и неметаллических включений. Даже при неравномерном распределении хрома и марганца в пределах литого дендритного зерна, обусловленного концентрацией этих элементов и условиями затвердевания, хладостойкость этих сталей увеличивается.

В практике инжиниринга литых сталей это означает, что, используя регрессионные зависимости, Вы сможете осуществлять обоснованный выбор состава сталей, отвечающих заданному комплексу механических и литейных свойств, получать конкретные составы для литых деталей криогенной техники, позволяющих гарантировать их работоспособность при криогенных температурах. При внедрении этих сталей Вам окажет помощь технологическая инструкция на выплавку, заливку форм и термообработку новых марок сталей. Все вместе дает возможность получить экономический эффект от внедрения литейных Cr-Mn сталей вместо деформированных Cr-Ni сталей. По имеющимся расчетам экономический эффект составляет свыше 700 Долл. на тонну литья.

Основные преимущества применения хромомарганцевых сталей для криогенной техники связаны с нахождением оптимальных пределов варьирования основных легирующих элементов. Как выяснилось, только литейные стали на основе хромомарганцевого аустенита способны обеспечить одновременно высокие механические свойства, высокую хладостойкость при 77К и ниже и одновременно высокие литейные свойства. Хромомарганцевые литые стали для повышения свойств целесообразно легировать элементами, повышающими прочность (азот и ванадий) и пластичность (никель).

В результате рассмотрения множества данных о применении литейных сталей были определены пределы варьирования основных легирующих элементов, позволяющих получить высокий комплекс свойств: хрома 8–14 %, марганца 20–28 % для обеспечения аустенитной структуры, никеля 0–6 % для получения высокой низкотемпературной вязкости, ванадия 0–1,5 % для измельчения дендритной структуры, азота 0–0,2 % для повышения прочностных свойств при комнатной температуре.

## МЕТОДИКА

Выбор составов при комплексном инжиниринге сталей проводится при помощи метода планирования эксперимента. В приводимом исследовании план эксперимента состоял из 21 состава. Стали выплавлялись в 150 кг открытой индукционной печи с хромомagneзитовым тиглем и заливались в оболочковые формы – кусты образцов для механических испытаний, а также в литейную форму Нехендзи-Купцова.

Испытания сталей проводятся методами статического растяжения и на динамический изгиб. В приведенных материалах по практике исследования сталей их испытывали в нетермообработанном состоянии и после аустенитизации при 1000–1100°C, выдержки 1 час, охлаждения в воде. Для получения системных результатов, кроме испытаний на статическое растяжение гладких цилиндрических образцов диаметром 6мм и образцов на динамический изгиб размером 10x10x55мм с острым надрезом по Шарпи при температурах 293, 77 и 20К проводятся исследования образцов, вырезанных из литейной пробы после заливки в кокиль, а также после обработки давлением. По результатам заливки определяются литейные свойства.

Анализ структуры проводится металлографическим, магнитным и рентгеноструктурным методом, а состава – микрорентгеноспектральным методом. Характеристики включений определяются металлографическим (по методу П ГОСТ 1778–70) и микрорентгеноспектральным методами.

Распределение легирующих элементов и примесей определяется на растровом электронном микроскопе РЭМ-100У. Оценка характера разрушения образцов проводится на растровом электронном микроскопе JSM-U3.

## **КОМПЛЕКСНОЕ ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЛИТЕЙНЫЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ**

### **ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА**

Основное влияние на повышение прочности при всех температурах оказывает азот. При комнатной температуре в сталях с азотом значений временного сопротивления более 300 МПа можно достичь независимо от концентраций хрома и марганца. С понижением температуры влияние азота на прочность увеличивается.

Упрочняющее действие азота уменьшается при легировании никелем. При совместном легировании азотом и ванадием резко снижается низкотемпературное упрочнение. Удаление азота из твердого гамма-раствора за счет образования карбонитридов дает меньший упрочняющий эффект, чем при легировании одним азотом.

Наибольшая прочность и рост низкотемпературного упрочнения в сталях без азота соответствует составам с 8 % хрома и 20 % марганца. Их сильное упрочнение обуславливается деформационным фазовым превращением при низких температурах. В этих составах появляется до 15 %  $\epsilon$ -мартенсита в изломе при низкотемпературном нагружении. Минимальное значение предела текучести и низкотемпературного упрочнения соответствует области однофазного аустенита с 8 % хрома и 28 % марганца.

### **ПЛАСТИЧНОСТЬ И РАБОТА ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ**

Практически все хромомарганцевые аустенитные стали имеют относительное удлинение при 77 и 20К выше минимально допустимых значений (больше 15 %). В связи с этим более важно оценивать влияние химического состава на энергоемкость при испытаниях на растяжение, являющуюся одним из критериев работоспособности материала.

Регрессионные зависимости энергоемкости деформации и разрушения при статическом нагружении показывают интересные факты. Изменение энергоемкости имеет пик в области температур 77К. Максимальными значениями работы деформации и разрушения обладают стали с 13 % хрома и 28 % марганца.

Азот снижает значения энергоемкости и ее максимум при температуре 77К не достигается. Хотя никель меняет характер поверхности отклика, но максимальные значения работы деформации и разрушения могут быть достигнуты и в случае безникелевых составов. Ванадий мало влияет на характеристики энергоемкости.

### **ВЯЗКИЕ СВОЙСТВА**

При комнатной температуре легирование ванадием совместно с азотом определяет до 64 % общего изменения ударной вязкости. Самые низкие значения KCV соответствуют областям максимальных значений ванадия и азота. При криогенных температурах главная роль в падении значений KCV принадлежит азоту. Понижение ударной вязкости в интервале температур от 293 до 20К соизмеримо со средними значениями KCV при комнатной температуре. Однако, если азот вводить вместе с ванадием, то ударная вязкость мало изменяется вплоть до криогенных температур. Разница между величинами KCV при 293 и 20К составляет меньше 30 Дж/см<sup>2</sup>.

## **ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

Основным видом термообработки для аустенитных сталей является закалка. Влияние закалки на механические свойства определяется по разнице между величинами свойств в литом нетермообработанном и закаленном состоянии при соответствующих температурах испытания (293, 77 и 20К).

## **Конец ознакомительного фрагмента.**

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.