# Новые наноструктурированные высокоазотистые марганцевые стали

**В статье проведен краткий обзор имеющейся информации о наноструктурированных высокоазотистых сталях. Приведены основные способы их получения.**

In the article the short review of the available information about nanostructured high-nitrogen steels is done. The basic ways of production them are resulted.

До недавнего времени самым прочным материалом считалась сталь. Однако с развитием нанотехнологий по многим показателям ей пришлось уступить место наноматериалам. Их производство еще остается очень дорогостоящим, и в ближайшее время наиболее распространенными конструкционными материалами будут по-прежнему оставаться стали.

Требования, предъявляемые к сталям, заставляют их обладать целым комплексом свойств: высокой прочностью, коррозионной стойкостью, трещиностойкостью, износостойкостью и т.д. Добиться этого всего

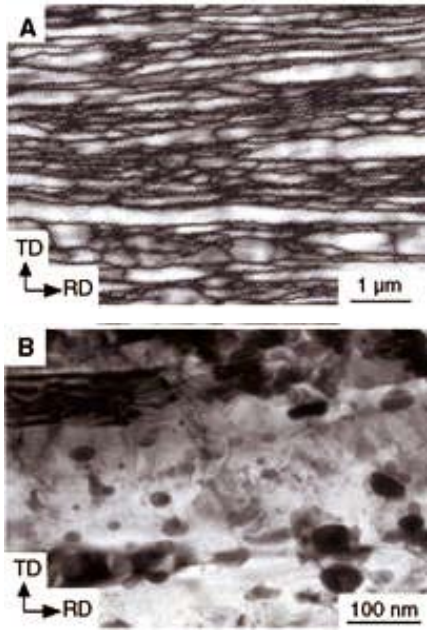



**Рис. 1. А — микроструктура образцов после температурной формовки при 500°С. Изображение получено методом дифракции отраженных электронов (EBSD), угол разориентировки между зернами составляет меньше 5°. RD – направление прокатки. Б — микрофотография (ПЭМ) показывает распределение наноразмерных карбидов в металлической матрице**

для одного универсального сплава невозможно, что заставляет материаловедов постоянно создавать новые сплавы. Среди таких перспективных материалов можно выделить высокоазотистые стали (ВАС). Введение азота позволяет получить стали со специальными свойствами, которые невозможно получить с другими элементами. Например, высокопрочную и коррозионностойкую аустенитную сталь применяют в машиностроении, атомной энергетике, химической промышленности.

Развитие нанотехнологий позволило создавать новые стали, а также изучать микроструктуру и свойства существующих. Целью работы являлось проанализировать вклад нанотехнологий в создание новых сталей с повышенным содержанием азота.

Введение азота позволяет стабилизировать аустенитную металлическую матрицу, что, в свою очередь, позволяет уменьшить количество других $\gamma$ – стабилизаторов: марганца и никеля. Некоторые авторы считают, что возможности азота как легирующего элемента, раскрыты лишь в малой степени.

В последнее время появилась информация о создании наноструктурированных сталей. Отмечается, что прочность такой стали возрастает в 3–4 раза, а твердость – на порядок, при улучшении хладостойкости и многократном увеличении коррозионной стойкости.

Российская государственная компания «Рэлтек» давно работает в области нанотехнологий. В этой компании наноструктурированные стали получают в среднечастотных индукционных плавильных печах, которые позволяют точно регулировать температуру во всей массе металла и получать металл с заранее заданными свойствами.

В турбоиндукционноплавильных агрегатах вместимостью 5-10 тонн осуществляется активное перемешивание металла и его вращение вокруг оси печи, что обеспечивает активное взаимодействие шлака и расплава металла в турбулентном слое под шлаком. В результате жидкий металл, интенсивно перемешиваясь, насыщается азотом до требуемой концентрации, обеспечивая активный процесс образования наночастиц и мелкокристаллических фаз, присутствующих в расплаве компонентов – алюминия, титана, ванадия, марганца и др. Агрегаты обеспечивают высокоэффективную плавку не только с точки зрения качества металла, но и с точки зрения экономии электроэнергии (расход – на 30% меньше). Среднечастотной технологии всего 20 лет, это самый современный способ электроплавки. Если в электродуговой печи плавка идет за счет дуги (и вблизи дуги температура металла может достигать 3 тысяч градусов, при том, что у стенки печи металл может быть холодным), то в индукционных печах нового поколения за счет вихревых токов в толще металла идет прямой, а не косвенный нагрев металла.

В Российской Федерации разработкой ВАС активно занимается Центральный научно–исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей». Разработанная там ВАС НС-5Т превосходит западные аналоги «Авесту-254» и «Поларит-774».

В ЦНИИКМ «Прометей» разработано несколько ВАС, которые называются «высокопрочные азотистые аустенитные стали с гарантированным уровнем свойств, обеспечиваемых формированием наноструктуры».

Технология получения листового проката азотистых сталей основывается на термомеханической обработке, позволяющей формировать особое наноструктурное состояние, обеспечивающее необходимый комплекс эксплуатационных свойств.

Новые стали предназначены для изготовления ответственных изделий, эксплуатирующихся в сильноагрессивных коррозионных средах, для немагнитных труб направлен-

ного бурения в нефтедобывающей промышленности, для медицинских инструментов и имплантантов, вживляемых в человеческий организм, для немагнитных корпусов научно-исследовательских судов, исследующих магнитное поле Земли. Эти ВАС обладают следующим сочетанием характеристик: пределом текучести до 650 МПа, относительным удлинением не менее 30%, магнитной проницаемостью менее 1,01, высокой коррозионной стойкостью в хлоридных средах.

Японские исследователи предложили новый метод термомеханической обработки, который авторы назвали температурной формовкой или темпформингом (tempforming). В качестве модельного сплава использовалась низколегированная сталь, содержащая 0,4% C, 2% Si, 1% Cr и 1% Mo. Формовка образцов производилась с эквивалентной деформацией порядка 1,7 после отпуска стали при 500°C. Последующие механические испытания нового материала показали отличные результаты по сравнению со сталью, закаленной обычным образом и отпущенной при 500°C.

В частности, значение ударной прочности по Шарпи для образцов после температурной формовки (ТР-образец) составляет 226 Дж, что почти в 16 раз больше, чем в аналогичном испытании с обычной сталью. Для ТР-образцов наблюдается максимум в интервале температур от -60°C до -20°C, при дальнейшем повышении температуры ударная прочность уменьшается. Подобное поведение объясняется микроструктурой стали (рис. 1). После темпформинга происходит удлинение зерен вдоль 110 кристаллографического направления, которое совпадает с направлением прокатки. Средний поперечный размер зерен металла составлял порядка 260 нм, размер сферических карбидных частиц, диспергированных в железной матрице, не более 50 нм.

Как уже сообщалось выше, в ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» создаются объемно-наноструктурированные материалы конструкционного назначения. На рисунке 2 приведены изображения структур, полученных методом ПЭМ при исследовании формирования высокопрочных ультрадисперсных и наноструктурных состояний в коррозионно-стойкой высокоазотистой стали.

Известно, что одним из эффективных способов повышения эксплуатационных свойств сталей является формирование в них нанокристаллических структур (НК) методами интенсивной пластической деформации (ИПД). ИПД путем холодной прокатки формирует в исследуемой стали мелкозернистую структуру

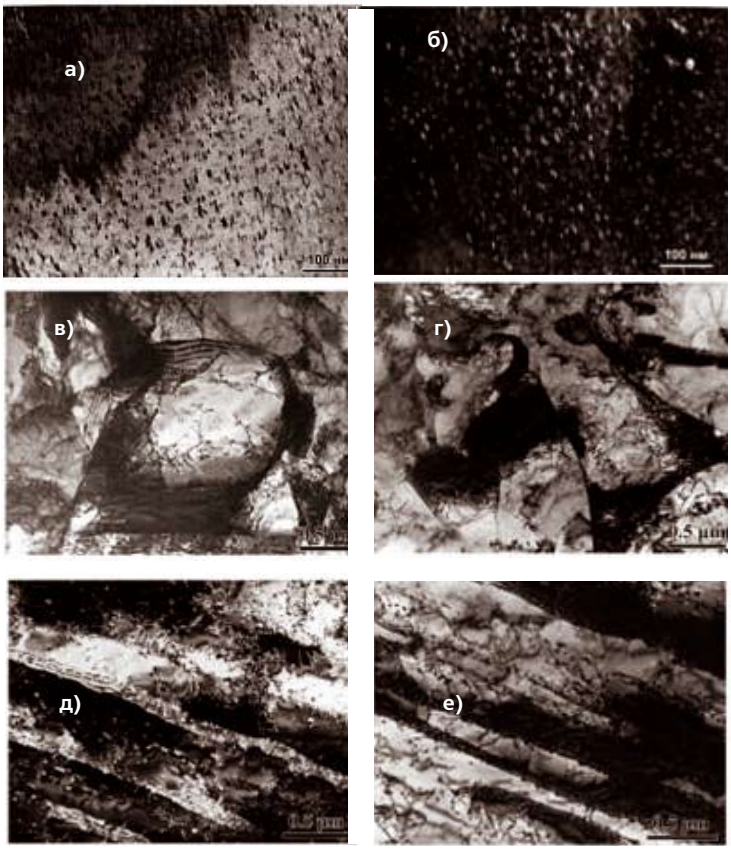



**Рис. 2. Формирование высокопрочных ультрадисперсных и наноструктурных состояний в коррозионностойкой высокоазотистой аустенитной стали базовой композиции 04Х20Н6Г11М2АФБ при термической и термомеханической обработке: а, б — образование наноразмерных выделений нитридной фазы после горячей прокатки, отжига при 1050°C и длительной выдержки при 700°C ; б — темнопольное изображение наночастиц в рефлексе g = (111)VN; в, г — формирование декорированных нанофазными выделениями малоугловых дислокационных границ после горячей прокатки и отжига при 1050°C; д, е — формирование ультрадисперсных фрагментированных структур после интенсивной горячей деформации и закалки с прокатного нагрева**

α-мартенсита с размером зерна 9...10 нм. После закалки с 1000°C структура стали двухфазная: α-мартенсит и γ-ост. Количество γ-ост составляет ~30% и это в 3 раза выше, чем в горячекатаной стали после аналогичной закалки.

Также одним из способов создания наноструктуры в реальных изделиях является высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО), которая заключается в последовательном выполнении операции горячей деформации и последующей закалке. В зависимости от режимов обработки (температура деформации, ее степень и скорость, схема охлаждения) может быть получена различная структура – от наноразмерной субструктуры с малоугловыми границами в виде дислокационных построений до рекристаллизационной зерновой структуры с большеугловыми границами. Образование полигональной субструктуры с наноразмерами происходит при относительно небольших степенях горячей деформации вблизи пика на диаграмме горячего деформирования. Деформация должна сочетаться с последеформационной выдержкой перед началом охлаждения.

Учитывая, что для получения требующихся эксплуатационных характеристик конструкционные стали претерпевают несколько этапов термообработки (закалку, отпуск), субструктуру удается наблюдать только в конечном состоянии. Субструктура аустенита, сформировавшегося при горячей деформации, наследуется мартенситом, влияя на его дисперсность и морфологию, и оказывает влияние на процессы отпуска, дисперсность карбидов и субструктуру ферритной матрицы. Субструктура ферритной матрицы имеет размеры элементов в пределах 20-100 нм при среднем размере 30-40 нм. Размеры карбидов 7-10 нм, значительно меньше, чем при обычной закалке и даже при

ВТМО, выполняемой с большими степенями деформации.

Также следует уделять повышенное вниманию появлению нанокарбидов. Присутствие мелкодисперсных частичек (размером до 10 нм) карбидов, которые препятствуют движению дислокаций, а также способствуют их размножению, в конечном итоге, приводит к повышению прочности стали. Например, в закаленных аустенитных сталях с 1% ниобия (12Х18Н10Б) или из 1% титана (12Х18Н10Т) при высокотемпературной (~700°С) выдержке на дефектах упаковки выделяются когерентно связанные с матрицей кубические карбиды NBC и TiC.

В Российской Федерации реализован новый подход к созданию интеллектуальных аустенитных сталей с управляемым эффектом памяти формы (ЭПФ) в результате формирования нанокарбидов VC различной формы и размеров. Предложенные интеллектуальные стали (патент РФ № 2270267) отличаются от известных высокой прочностью, пластичностью, технологичностью производства, существенно меньшим содержанием марганца и кремния, возможностью регулирования величины эффекта памяти формы и могут выпускаться в массовых количествах. Проведена выплавка предложенной ЭПФ-стали на заводах Урала и получен листовой прокат шириной 1000 мм. Изготовлены оболочки нагреваемых цилиндрических снарядов для герметизации дефектных обсадных труб в нефтяных скважинах.

Таким образом, уже сегодня открываются широкие перспективы по созданию принципиально новых конструкционных наноструктурированных сталей, обладающих повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

**Выводы:**

1. Наноструктурированные стали обладают повышенными физико-механическими свойствами. Прочность такой стали возрастает в 3-4 раза, а твердость – на порядок, при улучшении хладостойкости и многократном увеличении коррозионной стойкости.

2. Наличие в стали мелкодисперсных карбидов (размером до 10 мкм) также позволяет значительно повысить прочностные характеристики материала за счет сдерживания движения дислокаций.

3. Одним из способов получения нанокристаллических структур является метод интенсивной пластической деформации путем холодной прокатки. Это позволяет формировать в исследуемых сталях мелкозернистую структуру α-мартенсита с размером зерна 9...10 нм.

4. Одним из способов создания наноструктуры в реальных изделиях является высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО), которая заключается в последовательном выполнении операции горячей деформации и последующей закалке. С помощью ВТМО возможно получение субструктуры ферритной матрицы, которая имеет размеры элементов в пределах 20-100 нм при среднем размере 30-40 нм. Размеры карбидов 7-10 нм.

***В. А. Колесников***

# СОДЕРЖАНИЕ
## НОМЕРА


## АКТУАЛЬНО

6 Машиностроение: итоги полугодия и перспективы

## МЕРОПРИЯТИЯ

8 Выставка «МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ» — место встречи для обмена опытом

10 Международная конференция «Новая Энергия Планеты»

12 Итоги специализированного форума «АПСС–Украина 2010»

## СЕКТОР ОБЗОРА

14 Системы мониторинга и диагностики машин

## ОБОРУДОВАНИЕ

18 Компрессоры серии PORTAIR – универсальные, экономичные, эффективные

## ИНСТРУМЕНТ

20 Обновленная серия фрез SECO: новый вид и новая производительность

22 Бесстружечные метчики (раскатники)

## ТЕХНОЛОГИИ

24 Очистка тлеющим разрядом металлических поверхностей перед диффузионной паркой и пайкой в вакууме

27 Важные машинные элементы

28 Технологии нанесения защитных покрытий

31 Новые наноструктурированные высокоазотистые марганцевые стали

34 Пути оптимизации технологических процессов ковки труднодеформируемых и малопластичных сталей


Стр. 18

Винтовые компрессоры DALGAKIRAN серии PORTAIR – лучшие в классе передвижных дизельных компрессоров – высокотехнологичные устройства, разработаны специально для производства сжатого воздуха и могут быть применены на промышленных предприятиях любого масштаба. Высокая мобильность компрессоров этой серии позволяет использовать устройства последовательно в различных технологических циклах производства.

Стр. 20

Обширный диапазон фрез производства компании Seco с прямоугольными пластинами типа XOMX... или XOEX... для чернового и получистового фрезерования плоскостей и уступов теперь ещё более конкурентоспособен. Значительно улучшены характеристики инструмента, что приводит к большому экономическому эффекту.

**ООО «Далгакиран Компрессор Украина»**

04080, г. Киев, ул. Новоконстантиновская, 4-А
т/ф: (044) 581-13-77, 501-54-74,
отдел продаж: (044) 205-73-10
info@dalgakiran.com.ua

**Филиалы:**

г. Харьков, ул. Шевченко, 32, оф. 222
т/ф: (057) 760-17-09, (050) 560-68-90,
bkrylov@dalgakiran.com.ua

г. Донецк, ул. Университетская, 96
т.: (062) 380-68-09, (067) 644-58-09,
acherkasov@dalgakiran.com.ua

г. Одесса, ул. Люстдорфская дорога, 11/2, оф.2
т/ф: (048) 785-35-16, (067) 441-12-42,
aivlev@dalgakiran.com.ua

г. Днепропетровск, ул. Юрия Савченко, 26
т.: (056) 378-93-99, (050) 320-51-99,
vkazunin@dalgakiran.com.ua

**www.dalgakiran.com.ua**



ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ВариУс

**Измерительный инструмент**
Всегда в наличии в Днепропетровске

e-mail: td@varius.com.ua
www.varius.com.ua
тел.: (056) 790-06-82

июнь–июль
№ 6-7 (103-104)
2010

# МТТ

# Мир Техники и Технологий

**The World of Technics and Technologies**

международный промышленный журнал

роботизация под ключ
www.robotics.kiev.ua тел. (044) 407-16-16

Роботикс
инженерия

Системы мониторинга и диагностики

Ячеисто-каркасные отливки

Очистка тлеющим разрядом

Экструзионно-выдувное формование

TECHMACH
marketing@techmach.com.ua
www.techmach.com.ua

АЛИСТА

office.ukraine@guehring.de
GÜHRING
www.guehring.kiev.ua

www.interlink.dp.ua

DOOSAN
Doosan Infracore
Machine Tools

ВариТек

МТТ Мир Техники и Технологий
Welt der Technik und Technologien

Подписной индекс 23997

**ИЗДАТЕЛЬ И УЧРЕДИТЕЛЬ:**

**ООО Редакция «Мир Техники и Технологий»**

| | |
|---|---|
| Шеф-редактор | **А. А. КРАВЧЕНКО** |
| Выпускающий редактор | **Е. В. РОМАНОВА** |
| Отдел подписки | **Л. С. ЛЕБЕДЕВА** |
| Отдел рекламы | **О. М. ДЗЮБА** |
| Вёрстка | **А. Е. АНАНЬЕВ** |

Регистрационный номер КВ 14118-3089ПР
от 21.05.2008 г.

**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

**А. И. ГРАБЧЕНКО,** д. т. н., профессор, Заслуженный работник высшей школы Украины, заведующий кафедрой «Резание материалов и режущие инструменты» НТУ «ХПИ»;
**Мечислав КАВАЛЕЦ,** д. т. н., профессор, заведующий кафедрой Познаньской «Политехники» (Польша);
**Фридхельм ЛИЕРАТ,** д. т. н., профессор, директор института Магдебургского университета (Германия);
**В. А. ФАДЕЕВ,** главный инженер ГП ХМЗ «ФЭД», кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения и металлорежущие станки» НТУ «ХПИ»;
**В. М. ШУЛАЕВ,** к. ф.-м. н., с. н. с., заместитель генерального директора ННЦ «ХФТИ».

**ТЕЛЕФОНЫ РЕДАКЦИИ:**

Тел.: +38 (057) 754-77-58,
Факс: +38 (057) 757-89-80

**АДРЕС РЕДАКЦИИ:**

пр. 50 лет ВЛКСМ, 56, оф. 405,
61123, г. Харьков, Украина

а/я 1091
61118, г. Харьков, Украина

E-mail: mtt@mtt.com.ua
reklama@mtt.com.ua
http://www.mtt.com.ua

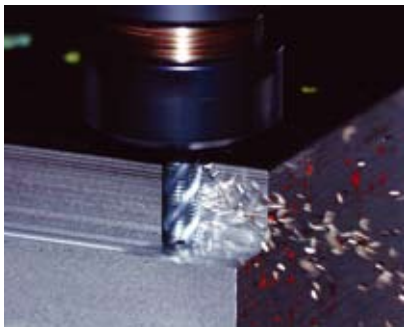
Отпечатано в типографии «ПолиАрт»
Тираж: 4500 экз. Цена договорная

Ответственность за содержание рекламных материалов несет рекламодатель.
Перепечатка материалов без согласия редакции не допускается.
Точка зрения авторов может не совпадать с позицией редакции.

# Читайте в следующих номерах:

### Новое поколение цельных твердосплавных концевых фрез Pramet End Mills

Компания Pramet Tools предлагает новое поколение цельных твердосплавных концевых фрез Pramet End Mills. Основной областью применения этих фрез является общая обработка. При этом они могут использоваться для всех групп обрабатываемых материалов. Уникальная комбинация современной геометрии зубьев, субмикронной основы и наноструктурированного PVD покрытия придаёт увеличение стабильности и стойкости в процессе как обычного фрезерования, так и тяжёлого в суровых условиях резания.



### Серия сверл для малых отверстий фирмы Seco Tools

Компания Seco Tools AB, являясь производителем высококачественного инструмента для обработки отверстий, учитывает постоянно увеличивающиеся запросы потребителей на рынке инструмента для металлообработки. Поэтому обширный диапазон сверл дополнился новой продукцией – появились цельные твердосплавные сверла диаметром от 0,1мм. Компания Seco предлагает широкую гамму сверл, которые способны удовлетворить самые высокие запросы клиентов по качеству и производительности инструмента.

### Технологии получения качественных отливок из высокопрочных литейных алюминиевых сплавов

ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт материалов» разработали технологии получения качественных отливок из высокопрочных литейных алюминиевых сплавов. Выполнение предлагаемых технологических приемов дает возможность обеспечить высокий уровень механических свойств литейных алюминиевых сплавов. В этой связи перспективными выделяются три направления: широкое применение холодильников при литье в разовую форму; литье с кристаллизацией под поршневым давлением (жидкая штамповка) и компьютерное моделирование процесса формирования отливки в форме еще на стадии проектирования детали.

### Формирование алмазоподобных покрытий импульсными потоками плазмы

В настоящее время алмаз является объектом пристального внимания. Данный материал имеет уникальное сочетание физико-механических характеристик: сверхвысокая прочность, предельно низкий коэффициент трения, высокая теплопроводность (в несколько раз превышающая теплопроводность меди), низкая электропроводность (на уровне лучших диэлектриков), высокий показатель преломления и прозрачности в широком диапазоне длин волн оптического излучения (вплоть до инфракрасного спектра). Применение алмаза и алмазоподобных покрытий востребовано в различных областях науки и техники. Вместе с тем, применение алмазоподобных структур в промышленности определяется успехами в разработке технологии синтеза алмаза, поскольку использование природных кристаллов этого материала для нанесения покрытий на изделиях практически невозможно.

УДК 669:539.1

**Колесников В.А.**

# НОВЫЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ВЫСОКОАЗОТИСТЫЕ МАРГАНЦЕВЫЕ СТАЛИ

*В статье проведен краткий обзор имеющейся информации о наноструктурированных высокоазотистых сталях. Приведены основные способы получения наноструктурированных сталей, представлены снимки микроструктур.*

До недавнего времени самым прочным материалом считалась сталь. Однако с развитием нанотехнологий ей пришлось уступить место по многим “показателям” наноматериалам. Их производство еще остается очень дорогостоящим и в ближайшее время наиболее распространенными конструкционными материалами будут оставаться стали. Требования, предъявляемые к сталям, заставляют их обладать целым комплексом свойств: высокой прочностью, коррозионной стойкостью, трещиностойкостью, износостойкостью и т.д. Добиться этого всего для одного универсального сплава невозможно, что заставляет материаловедов создавать новые сплавы. Среди таких перспективных материалов можно выделить высокоазотистые стали (ВАС). Введение азота позволяет получить стали со специальными свойствами, которые невозможно получить с другими элементами [1 - 3]. Например, высокопрочную и коррозионностойкую аустенитную сталь применяют в машиностроении, атомной энергетике, химической промышленности.

Развитие нанотехнологий позволило создавать новые стали, а также изучать микроструктуру и свойства существующих.

Целью работы являлось проанализировать вклад нанотехнологий в создание новых сталей с повышенным содержанием азота.

Введение азота позволяет стабилизировать аустенитную металлическую матрицу, что в свою очередь, позволяет уменьшить количество других $\gamma$ – стабилизаторов:

марганца и никеля. Некоторые авторы считают, что возможности азота как легирующего элемента, раскрыты лишь в малой степени.

В последнее время появилась информация о создании наноструктурированных сталей [4 - 7]. В электронном ресурсе [4] отмечается, что прочность такой стали возрастает в 3 – 4 раза, а твердость – на порядок при улучшении хладостойкости и многократном увеличении коррозионной стойкости.

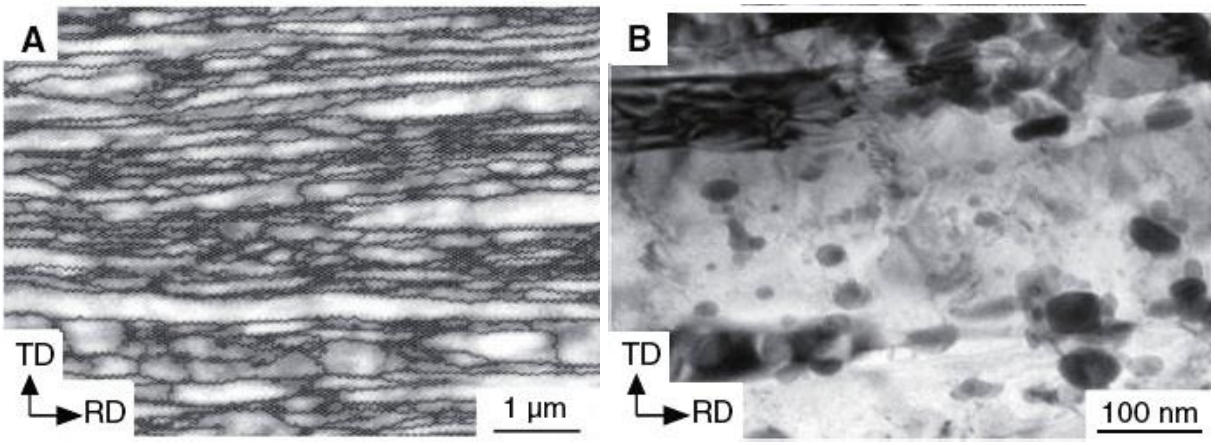
Российская государственная компания Рэлтек давно работает в области нанотехнологий. В этой компании наноструктурированные стали получают в среднечастотных индукционных плавильных печах, которые позволяют точно регулировать температуру во всей массе металла и получать металл с заранее заданными свойствами. В турбоиндукционно плавильных агрегатах вместимостью 5 – 10 тонн осуществляется активное перемешивание металла и его вращение вокруг оси печи, что обеспечивает активное взаимодействие шлака и расплава металла в турбулентном слое под шлаком. В результате жидкий металл, интенсивно перемешиваясь, насыщается азотом до требуемой концентрации, обеспечивая активный процесс образования наночастиц и мелкокристаллических фаз, присутствующих в расплаве компонентов – алюминия, титана, ванадия, марганца и др. Агрегаты обеспечивают высокоэффективную плавку не только с точки зрения качества металла, но и с точки зрения экономии электроэнергии (расход – на 30% меньше). Среднечастотной технологии всего 20 лет, это самый современный способ электроплавки. Если в электродуговой печи плавка идет за счет дуги (и вблизи дуги температура металла может достигать 3 тыс. градусов, при том, что у стенки печи металл может быть холодным), то в индукционных печах нового поколения за счет вихревых токов в толще металла идет прямой, а не косвенный нагрев металла [4].

В Российской Федерации разработкой ВАС активно занимается Центральный научно–исследовательский институт конструкционных материалов “Прометей”. Разработанная там ВАС НС-5Т превосходит западные аналоги “Авесту-254” и “Полярит-774” [8].

В ЦНИИКМ “Прометей” разработано несколько ВАС, которые называются высокопрочные азотистые аустенитные стали с гарантированным уровнем свойств,

обеспечиваемых формированием наноструктуры. Технология получения листового проката азотистых сталей основывается на термомеханической обработке, позволяющей формировать особое наноструктурное состояние, обеспечивающее необходимый комплекс эксплуатационных свойств. Новые стали предназначены для изготовления ответственных изделий, эксплуатирующихся в сильноагрессивных коррозионных средах, для немагнитных труб направленного бурения в нефтедобывающей промышленности, для медицинских инструментов и имплантантов, вживляемых в человеческий организм, для немагнитных корпусов научно-исследовательских судов, исследующих магнитное поле Земли. Эти ВАС обладают следующим сочетанием характеристик: пределом текучести до 650 МПа, относительным удлинением не менее 30%, магнитной проницаемостью менее 1,01, высокой коррозионной стойкостью в хлоридных средах [9].

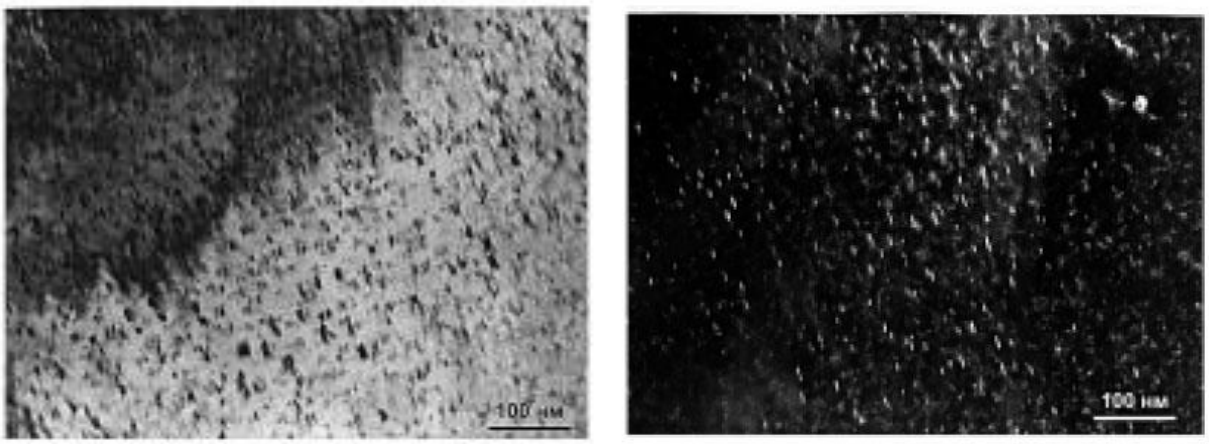
Японские исследователи [5, 6] предложили новый метод термомеханической обработки, который авторы назвали температурной формовкой или темпформингом (“tempforming”). В качестве модельного сплава использовалась низколегированная сталь, содержащая 0,4% C, 2% Si, 1% Cr и 1% Mo. Формовка образцов производилась с эквивалентной деформацией порядка 1,7, после отпуска стали при 500°C. Последующие механические испытания нового материала показали отличные результаты, по сравнению со сталью, закаленной обычным образом и отпущенной при 500°C. В частности, значение ударной прочности по Шарпи для образцов после температурной формовки (ТР-образец) составляет 226 Дж, что почти в 16 раз больше, чем в аналогичном испытании с обычной сталью. Для ТР - образцов наблюдается максимум в интервале температур от - 60°C до - 20°C, при дальнейшем повышении температуры ударная прочность уменьшается. Подобное поведение объясняется микроструктурой стали (рис. 1). После темпформинга происходит удлинение зерен вдоль 110 кристаллографического направления, которое совпадает с направлением прокатки. Средний поперечный размер зерен металла составлял порядка 260 нм, размер сферических карбидных частиц, диспергированных в железной матрице не более 50 нм.



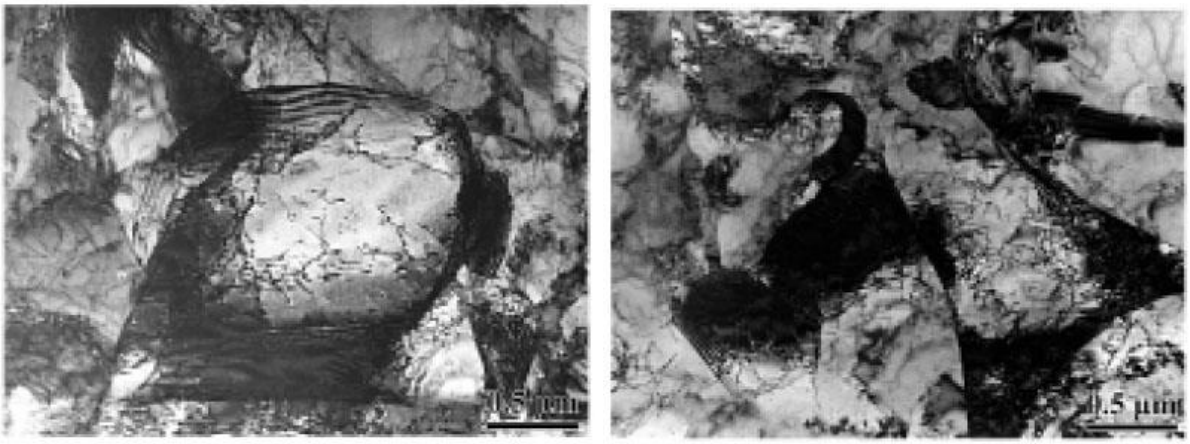

а б

Рис. 1. Микроструктура образцов после температурной формовки при 500 $^0$C (А) Изображение получено методом дифракции отраженных электронов (EBSD), угол разориентировки между зернами составляет меньше 5°. RD – направление прокатки. (б) Микрофотография (ПЭМ) показывает распределение наноразмерных карбидов в металлической матрице [5, 6]

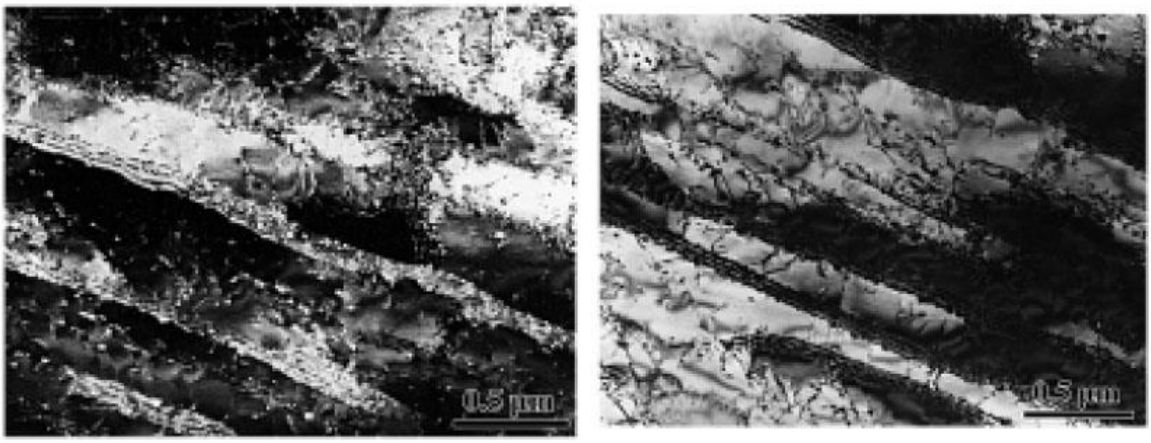
Как уже сообщалось выше, в ФГУП ЦНИИ КМ “Прометей” создаются объемно - наноструктурированные материалы конструкционного назначения. На рис. 2 приведены изображения структур, полученных методом ПЭМ при исследовании формирования высокопрочных ультрадисперсных и наноструктурных состояний в коррозионно-стойкой высокоазотистой стали [7, 10 11].




а б




в г




д е

Рис. 2. Формирование высокопрочных ультрадисперсных и наноструктурных состояний в коррозионно-стойкой высокоазотистой аустенитной стали базовой композиции 04Х20Н6Г11М2АФБ при термической и термомеханической обработке [11]: а, б — образование наноразмерных выделений нитридной фазы после горячей прокатки, отжига при 1050 °С и длительной выдержки при 700 °С ; (б — темнопольное изображение наночастиц в рефлексе g = (111)VN); в, г — формирование декорированных нанофазными выделениями малоугловых дислокационных границ после горячей прокатки и отжига при 1050°С; д, е — формирование ультрадисперсных фрагментированных структур после интенсивной горячей деформации и закалки с прокатного нагрева.

Известно, что одним из эффективных способов повышения эксплуатационных свойств сталей является формирование в них нанокристаллических структур (НК) методами интенсивной пластической деформации (ИПД). ИПД путем холодной прокатки формирует в исследуемой стали мелкозернистую структуру α – мартенсита с размером зерна 9 … 10 нм. После закалки с 1000 °С структура стали двухфазная: α – мартенсит и $\gamma_{ост}$. Количество $\gamma_{ост}$ составляет ~30 % и это в 3 раза выше, чем в горячекатаной стали после аналогичной закалки [12].

Также одним из способов создания наноструктуры в реальных изделиях является высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО), которая заключается в последовательном выполнении операции горячей деформации и последующей закалке. В зависимости от режимов обработки (температура деформации, ее степень и скорость, схема охлаждения) может быть получена различная структура – от наноразмерной субструктуры с малоугловыми границами в виде дислокационных построений до рекристаллизационной зерновой структуры с большеугловыми границами. Образование полигональной субструктуры с наноразмерами происходит при относительно небольших степенях горячей деформации вблизи пика на диаграмме горячего деформирования. Деформация должна сочетаться с последеформационной выдержкой перед началом охлаждения [13].

Учитывая, что для получения требующихся эксплуатационных характеристик конструкционные стали претерпевают несколько этапов термообработки (закалку, отпуск), субструктуру удается наблюдать только в конечном состоянии. Субструктура аустенита, сформировавшегося при горячей деформации, наследуется мартенситом, влияя на его диспесность и морфологию, и оказывает влияние на процессы отпуска, дисперсность карбидов и субструктуру ферритоной матрицы. Субструктура ферритной матрицы имеет размеры элементов в пределах 20 – 100 нм при среднем размере 30 – 40 нм. Размеры карбидов 7 – 10 нм, значительно меньше, чем при обычной закалке и даже при ВТМО, выполняемой с большими степенями деформации [13].

Также следует уделять повышенное вниманию появлению нанокарбидов.

Присутствие мелкодисперсных частичек (размером до 10 нм) карбидов, которые препятствуют движению дислокаций, а также способствуют их размножению, в конечном итоге приводит к повышению прочности стали. Например , в закаленных аустенитных сталях с 1% ниобия (12Х18Н10Б) или из 1% титана (12Х18Н10Т) при высокотемпературной (~700 °С) выдержке на дефектах упаковки выделяются когерентно связанные с матрицей кубические карбиды NBC и TIC [14].

В Российской Федерации реализован новый подход к созданию интеллектуальных аустенитных сталей с управляемым эффектом памяти формы (ЭПФ) в результате формирования нанокарбидов VC различной формы и размеров. Предложенные интеллектуальные стали (патент РФ № 2270267) отличаются от известных высокой прочностью, пластичностью, технологичностью производства, существенно меньшим содержанием марганца и кремния, возможностью регулирования величины эффекта памяти формы и могут выпускаться в массовых количествах. Проведена выплавка предложенной ЭПФ-стали на заводах Урала и получен листовой прокат шириной 1000 мм. Изготовлены оболочки нагреваемых цилиндрических снарядов для герметизации дефектных обсадных труб в нефтяных скважинах [15, 16].

Таким образом, уже сегодня открываются широкие перспективы по созданию принципиально новых конструкционных наноструктурированных сталей, обладающих повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Выводы. 1. Наноструктурированные стали обладают повышенными физико-механическими свойствами. Прочность такой стали возрастает в 3 – 4 раза, а твердость – на порядок, при улучшении хладостойкости и многократном увеличении коррозионной стойкости.

2. Наличие в стали мелкодисперсных карбидов (размером до 10 мкм) также позволяет значительно повысить прочностные характеристики материала за счет сдерживания движения дислокаций.

3. Одним из способов получения нанокристаллических структур является метод интенсивной пластической деформации путем холодной прокатки. Это позволяет формировать в исследуемых сталях мелкозернистую структуру α – мартенсита с размером зерна 9 … 10 нм.

3. Одним из способов создания наноструктуры в реальных изделиях является высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО), которая заключается в последовательном выполнении операции горячей деформации и последующей закалке. С помощью ВТМО возможно получение субструктуры ферритной матрицы, которая имеет размеры элементов в пределах 20 – 100 нм при среднем размере 30 – 40 нм. Размеры карбидов 7 – 10 нм.

*ЛИТЕРАТУРА*


1. Balytskyi, O. I. Tribotechnical properties of austenitic manganese steels and cast-irons under sliding friction conditions [Text] / O.I. Balytskyi, V.O. Kolesnikov, P. Kaviak // Materials Science. – vol.41.-№ 5.-2005. – p. 624 – 630.

2. Kolesnikov, V. A. High Nitrogen Steels – perspective tribotechnical materials [Text] / V. A. Kolesnikov**,** O.B. Vus, R.M. Figurka // Proc. of 20th Conf. of Young Scientists of PhMI NAS of Ukraine, Lviv, 2007. – P.17 - 21.

3. Balyts'kyi O.I., Kolesnikow W.A. Tribotechnical properties of high nitrogen steels *the dry friction circumstances // Materials Science (Springer).– 2009, vol. 45, N 4.- P.93-98. (Impact Factor 0,165). http://www.springerlink.com/content.*

4. Предлагаются наноструктурированные стали. Сайт о нанотехнологиях № 1 в России. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.nanonewsnet.ru/blog/nikst/predlagayutsya-nanostrukturirovannye-stali.

5. Сверхпрочная наностуктурирования сталь. Нанометр. Новые материалы. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.nanometer.ru/2008/09/17/new_materials_53969.html.

6. Inverse Temperature Dependence of Toughness in an Ultrafine Grain-Structure Steel. Yuuji Kimura,* Tadanobu Inoue, Fuxing Yin, Kaneaki Tsuzaki. Vol. 320. no. 5879, pp. 1057 – 1060. Science *23* May 2008.

7. РОССИЙСКИЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ. ТОМ 2 №3 – 4 2007 | Акад. Горынин И.В. Исследования и разработки ФГУП ЦНИИ КМ "Прометей" в области кон-

струкционных наноматериалов [Электронный ресурс] Режим доступа: http://nano.crism-prometey.ru/nano-structure.pdf.

8. Больше азотистой стали стране [ Электронный ресурс] / И. Имамутдинов Режим доступа: http://www.expert.ru/printissues/expert/2002/05/05ex-news2/.

9. Наука и инновации в регионах России [Электронный ресурс] Режим доступа: http://regions.extech.ru/innov_ap/firma.php?id=78&deffirm=492.

10. Калинин Г.Ю., Мушникова С.Ю., Нестерова Е.В., Фомина О.В., Харьков А.А. // Исследования структуры и свойств высокопрочной азотистой стали 04Х20Н6Г11М2АФБ. Вопросы материаловедения, 2006. №1(45).С. 45—59.

11. Военные нанотехнологии. Возможности применения и превентивного контроля вооружений, М: Техносфера, 2006.

12. Т.М. Махнева Фазовые превращения в низкоуглеродистой легированной стали с нанокриталлической структурой при нагреве. // От наноструктур, наноматериалов и нанотехнологий к наноиндустрии II Всероссийская конференция с международным интернет-участием 8-10 апреля 2009 года. Ижевск С. 79.

13. О.И. Шаврин Наноструктура в реальных металлах и их прочность. От наноструктур, наноматериалов и нанотехнологий к наноиндустрии II Всероссийская конференция с международным интернет-участием 8-10 апреля 2009 года. Ижевск С. 131 - 132.

14. Фетисов Г.П. Материаловедение и технология металлов, 2001. – 640 с.

15. Важнейшие результаты научных исследований за 2007 год. Физико-технические науки. http://www.uran.ru/resultats/presid/2007/phts/phts2007.htm.

16. Сагарадзе В.В., Белозеров Е.В., Зарипов Ф.Р., Падерин М.Г., Зайнутдинов Ю.Г., Голов С.В. Дисперсионно-твердеющая аустенитная сталь с памятью формы. Патент Р.Ф. № 2270296 от 30.12.2004, Б.И. 2006, № 5.

Колесников В.А. Новые наноструктурированные высокоазотистые марганцевые стали // Мир Техники и Технологий, 2010. - № 6 -7. – С. 31 – 33.

https://kidkrasnodon.at.ua/publ/novye_nanostrukturirovannye_vysokoazotistye_margancevye_stali/3-1-0-16

https://researchworker.ucoz.ru/load/novinki_sinematografa/v_a_kolesnikov_novye_nanostrukturirovannye_vysokoazotistye_margancevye_stali_visnik_skhidnoukrajinskogo_nacionalnogo_universitetu_imeni/2-1-0-23

https://researchworker.ucoz.ru/load/publikacii/novye_nanostrukturirovannye_vysokoazotistye_margancevye_stali/3-1-0-370

https://kidkrasnodon.at.ua/load/novye_nanostrukturirovannye_vysokoazotistye_margancevye_stali/1-1-0-61

https://kolesnikov.ucoz.com/load/novye_nanostrukturirovannye_vysokoazotistye_margancevye_stali/1-1-0-252

https://www.researchgate.net/publication/344957615_Kolesnikov_VA_Novye_nanostrukturirovannye_vysokoazotistye_margancevye_stali_Mir_Tehniki_i_Tehnologij_2010_-_No_6_-7_-_S_31_-_33