

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО И БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

TECHNOLOGY AND HIGH QUALITY OF MANUFACTURE, DURABILITY DETAILS FOR  
EXPLORATION OIL AND DRILLING EQUIPMENT

УДК 621.83

**М.В. ПЕСИН**

**Е.Д. МОКРОНОСОВ**

**M.V. PESIN**

**E.D. MOKRONOSOV**

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

**KEYWORDS:**

к.т.н., доцент  
д.т.н., профессор

Dr. Sci. Tech., Senior lecturer, Deputy Director CJSC Trading house PKNM (Perm Oil Engineering Company)

Dr. Sci. Tech., Professor, General Director CJSC Trading house PKNM

нефтяное машиностроение, нефтепромысловое оборудование, азотирование, ионно-вакуумное импульсное азотирование, химико-термическая обработка, упрочнение  
Petroleum mechanical engineering, oil production equipment, nitrogen, ion-vacuum pulse nitrogen, chemical -thermal processing, hardening

Пермь

M.Pesin@mail.ru

Perm

На основе имеющихся разработок и промышленного опыта в области изготовления продукции с упрочнёнными высоконагруженными при эксплуатации рабочими поверхностями методами нанотехнологий ионно-вакуумного импульсного азотирования увеличить производство выпускаемых и освоить новые изделия машиностроения для применения в различных отраслях.

On the basis of available development and industrial experience in the field of manufacturing production with hardened hardly loaded surfaces at operation by working by methods nanotechnology ion-vacuum pulse nitriding to increase manufacture let out and to master new products of mechanical engineering for application in various branches.

Рассмотрено применение механической обработки и процесса азотирования на машиностроительных предприятиях как наиболее эффективного метода для упрочнения поверхностного слоя высоконагруженных деталей машин. Так на основании исследований Богданова В.В., Лахтина Ю.М., Когана Я.Д., Гаврилова А.В., Герасимов С.А., Березиной Е.В., Зубарева Г.И., Пряничникова В.А. и многих других ученых, и в том числе собственного опыта применения азотирования ЗАО «Пермская компания нефтяного машиностроения» (ПКНМ), сделан однозначный выбор в пользу ионно-вакуумного, по следующим основным причинам: первая, на поверхности деталей образуются различные по строению и фазовому составу слои, имеющие неодинаковые эксплуатационные свойства; вторая, наличие управляемых технологических параметров, влияющих на формирование упрочненного слоя, таких как температура азотирования, скорость нагрева и остывания, время азотирования, рабочее давление в камере, программа набора давления, состав газа, импульсный ток, импульсное напряжение, коэффициент заполнения импульсов, размеры садки, давление насыщающего газа, электрические характеристики и межэлектродное расстояние; третья, высокая повторяемость процесса. Вышеуказанные параметры с успехом используются для получения качественного прогнозируемого упрочненного слоя.

Но, так как высокая износостойкость не единственное требование к эксплуатационному качеству цилиндров скважинных штанговых насосов (СШН), то следует учитывать влияние параметров азотирования на другие характеристики их поверхностного слоя и всей детали в целом. То же самое для резьбовых частей утяжеленных буровых труб (УБТ), ведущих буровых труб (ВБТ), толстостенных буровых труб (ТБТ), переводников к ним, а также роторов винтовых забойных двигателей (ВЗД).

Технологической новизной освоенного ПКНМ ионно-вакуумного азотирования в импульс-плазме является эффективное управление параметрами процесса в совокупности с комплексом подготовительных и финишных операций, которые позволяет достигнуть требуемых эксплуатационных характеристик деталей нефтяного и общего машиностроения. Созданные в ПКНМ технологии упрочнения позволили достичь на рабочих поверхностях цилиндрично-плунжерной пары СШН преимущественной твердости 1000-1300 HV, превышающей твердость абразивных частиц (кварц, гранит), высокой износ-коррозионной стойкости с минимизацией изменения размерных и чистовых параметров прецизионно-точных изделий нефтепромыслового оборудования.

Далее при низких температурах азотирования наблюдается образование тонких (однослойных по азоту) пластинчатых зародышей нитридов, полностью когерентных с окружающей  $\alpha$ -фазой (рис. 1 а).

При более высоких температурах возникают многослойные, более крупные пластинчатые нитриды (2...4 нм), в которых атомы легирующих элементов образуют структуру типа NaCl, а атомы азота занимают октаэдрические поры. Образование таких нитридов приводит к частичному нарушению когерентности (по краям пластины), однако по плоскости (001) когерентность нитрида и  $\alpha$ -фазы сохраняется (рис. 1 б).

Дальнейшее повышение температуры ведёт к образованию более крупных нитридов (4...10 нм). В этом случае происходит нарушение когерентности по всем плоскостям коагуляции и сфероидизации нитридов (рис.1 в).

Рост нитридов протекает в результате притока атомов из внешней среды и процесса коагуляции, когда рост одних нитридов происходит вследствие растворения других, термодинамически менее устойчивых. Чем выше содержание легирующих элементов и длительнее процесс азотирования,

тем больше образуется нитридов.

Образования нитридов сопровождается большими упругими искажениями в  $\alpha$ -фазе, так как удельные объемы матрицы и нитридов резко отличаются. Наличие высоких упругих искажений в местах образования нитридов подтверждает как эффекты диффузионного рассеяния вблизи отражений матрицы на стадии полной когерентности, так и деформационный контраст на электронных микрофотографиях [1].

Наибольшая твердость соответствует температурам насыщения, когда образуются однослойные (по азоту) нитриды, полностью когерентные с  $\alpha$ -фазой. Такие агрегации по азоту имеют большую плотность в объеме твердого раствора, что и предопределяет высокую твердость диффузионного слоя. На этой стадии азотирования реализуется механизм упрочнения за счет сильных полей упругих искажений решетки матрицы. Величина энергии, необходимая для прохождения дислокаций через такую область, будет тем больше, чем сильнее поля упругих искажений вокруг нитридных частиц, поперечно связанных с матрицей. Насыщение при температурах, когда частицы нитридов укрупняются и когерентность нарушается, приводит к понижению твердости.

В этом случае дислокации будут удерживаться на выделениях до тех пор, пока приложенное напряжение не будет достаточным для того, чтобы они изогнулись и прошли между частицами.

Варьирование температуры и продолжительности азотирования позволяет фиксировать в диффузионной зоне различные стадии процесса выделения, и, следовательно, дает разный уровень упрочнения.

Электронно-микроскопические темнопольные изображения (рис. 2) [2] иллюстрируют укрупнение «специальных» нитридов в стали 38ХМЮА при повышении температуры азотирования. Максимальная твердость (1000-1100HV) достигается при ►

средних температурах азотирования, когда образуются однослойные по азоту предвыделения, полностью когерентные с решёткой твёрдого раствора. Размеры «специальных» нитридов 0,4-2,0 нм. При повышенных температурах процесса твёрдость снижается до 900-950 HV, а структура при этом характеризуется увеличением нитридов до 5-10 нм и частичным нарушением когерентности. Так из рисунка 5 видно, что зона высокой твердости (HV более 1000) азотированного слоя превышает величину в 170 мкм, что позволяет использовать такие стали в цилиндроплунжерной паре неоднократно, т.е. при ремонте часть поверхностного слоя удаляется хонингованием, но оставшийся слой остаётся достаточно твёрдым для последующего применения в штанговых насосах).

Обобщая сказанное, отметим: в азотированных сталях в зависимости от химического состава, дефектов кристаллического строения матрицы, температурно-временных параметров предварительной термической обработки и режимов азотирования выявлены три типа нитридных частиц, различающихся типом структуры, размером, формой и взаимодействием с кристаллической решеткой матрицы [3], а именно:

1. Зародыши нитридов, в которых атомы занимают те же места, какие они занимали в исходном твердом растворе, т.е. атомы азота занимают октаэдрические поры ОЦК-решётки матрицы, а атомы легирующего элемента замещают некоторые из атомов железа.

В первоначальном кластере, который должен быть полностью когерентным с матрицей, растворенные атомы замещения и внедрения располагаются случайным образом. Перераспределение легирующих элементов в этом случае сопровождается не перестройкой старой структуры, а лишь искажением матрицы вокруг пластинчатых зон. Это и объясняет появление на микроэлектроннограммах непрерывных диффузных тяжей вдоль направлений  $\langle 100 \rangle$  решетки матрицы.

2. Многослойные комплексы нитридной фазы толщиной 2-5 нм, имеющие кристаллическую решетку типа NaCl с периодом  $a = 0,412$  нм. Вследствие большого различия межплоскостных расстояний в ОЦК-матрице и нитридной фазе образование такого многослойного зародыша приводит к нарушению когерентности по краям пластин. При этом когерентность решеток матрицы и нитрида по плоскости  $\langle 100 \rangle$  еще сохраняется.

3. Частицы нитридов размером 7-10 нм с нарушенной когерентностью решеток нитрида и матрицы. Нитриды образуют скопления в виде тонких пластинчатых выделений, расположенных под небольшим углом друг к другу.

Можно сделать следующие выводы:

1. На размер и плотность распределения нитридной фазы влияют: химический состав стали, дефекты кристаллического строения матрицы, режимы предварительной

термической обработки и азотирования.

2. Максимальная износостойкость соответствует образованию в азотированном слое некогерентных нитридных частиц, которые формируют высокую твердость при меньшем уровне микродеформации решетки матрицы по сравнению с когерентными частицами [4].
3. Рассмотрения результатов исследований показали, что износостойкость сталей при азотировании определяют нитриды, их размер, форма, взаимодействие с кристаллической решеткой матрицы.
4. Наилучшие результаты по износостойкости для стали 38Х2МЮА, из которой преимущественно изготавливаются цилиндры СШН (скважинных штанговых насосов), достигаются при размере специальных нитридов 4...8 нм, при которых происходит нарушение когерентности решеток нитридов и матрицы. ■

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Аброян И. А., Андронов А. Н., Титов А. И. Физические основы электронной и ионной технологии. – М.: Высшая школа, 1984. – 320 с.
2. Бобров Г. В. Нанесение неорганических покрытий (теория, технология, оборудование): Учеб. пособие для студентов вузов/ Г.В. Бобров, А.А. Ильин. – М.: Интермет Инжиниринг, 2004. – 624 с.:
3. Барвинок В. А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.

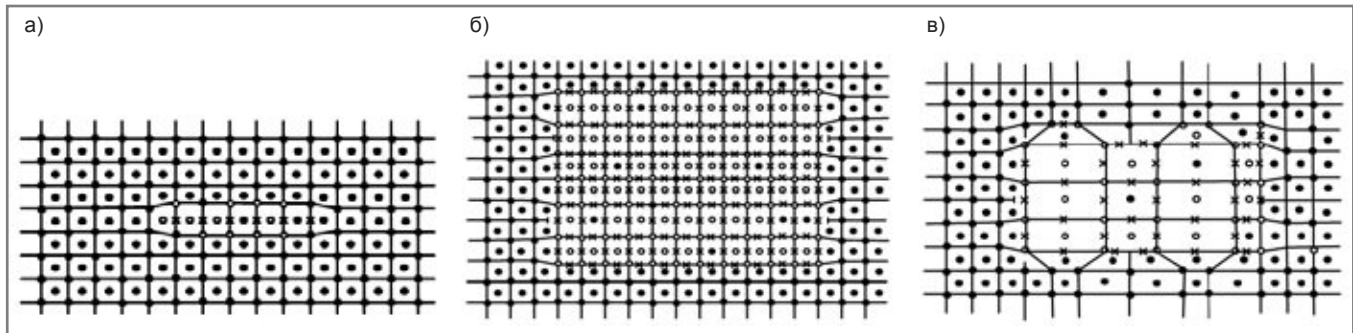


Рис. 1. Схема проекции расположения атомов в решетке азотированной стали 38ХМЮА на плоскость (100)  $\alpha$ -фазы [5]:

- а) – на стадии полной когерентности однослойных (по азоту) зародышей нитрида;
  - б) – на стадии частично когерентных [по плоскости (001)] нитридов;
  - в) – стадия нарушения когерентности по всем плоскостям коагуляции и сфероидизации нитридов;
- - атомы железа, о - атомы легирующих элементов, х - атомы азота.

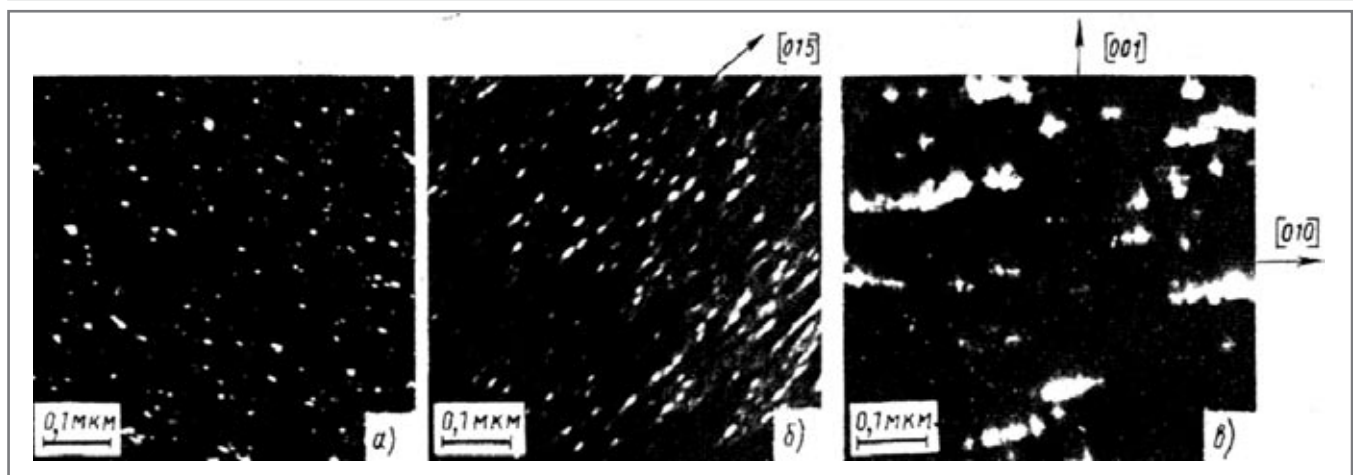


Рис. 2. Электронно-микроскопическая структура азотированной стали 38ХМЮА. Ориентировка [100].

Темнопольные изображения в рефлексе [002] нитрида:

- а – азотирование при низких температурах; б, в – азотирование при высоких температурах



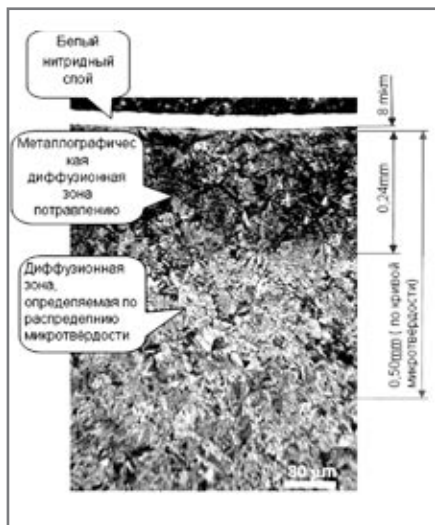


Рис.3. Результаты микроструктурного анализа азотированного слоя деталей из стали 38X2MЮА (при увеличении 300 раз)



Рис.4. Результаты микроструктурного анализа азотированного слоя деталей из стали 38X2MЮА. Нитридный слой не травится, т.е. в микроскоп видна белая полоса, которую измеряют на микроскопе

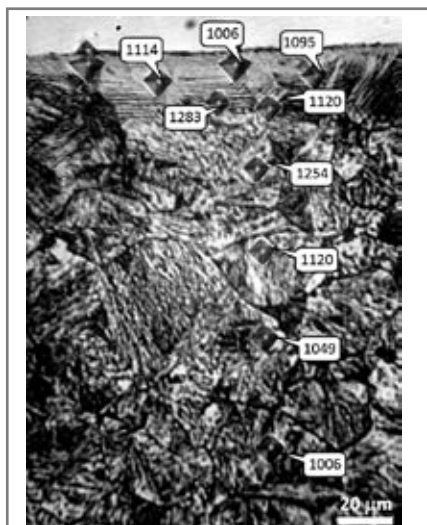


Рис. 5. Проверка твердости азотированных образцов стали 38X2MЮА

4. Герасимов С.А., Жихарев А.В., Березина Е.В., Зубарев Г.И., Пряничников В.А. Новые идеи о механизме образования структуры азотированных сталей. Металловедение и термическая обработка металлов. 2004, №1, с.13-17.
5. М.В. Песин, Е.Д. Мокроносов. Технологические особенности упрочнения деталей скважинных штанговых насосов. Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от

- нано- до макроуровня. В 2ч.4.2: материалы 12-й Международной научно-практической конференции 13-16 апреля 2010 г./ Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербург гос. политехн. ун-т, науч.-произв. «Фирма Плазмацентр». – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010г.
6. М.В. Песин, Е.Д. Мокроносов. Скважинное оборудование для ОРЭ: разработка, внедрение, сервис, особенности изготовления СШН. Инженерная практика Производственно-технический журнал – официальное издание Семинаров

- Экспертного совета по механизированной добычи нефти, изд. Energy Press и РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, посвященных совершенствованию производства и технологий в области разработки нефтегазовых месторождений и добычи нефти и газа. – №1(2).2010г.
7. Песин М.В., Мокроносов Е.Д. Триботехническое упрочнение высоконагруженных поверхностей деталей и создание на этой основе производства изделий нефтегазового назначения./ Журнал «Экспозиция. Нефть. Газ» №9/2010 стр.8-9.

14-16 декабря 2010  
ВЫСТАВКИ

**ОБОРУДОВАНИЕ – НЕФТЬ.  
ГАЗ. ХИМИЯ.  
БИОХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ВЫСТАВКА – КОНФЕРЕНЦИЯ  
ЭКО – ПЕРЕРАБОТКА  
И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ  
ПРОМЫШЛЕННОГО  
ПРОИЗВОДСТВА**



**Волгоград  
ДворецСпорта  
профсоюзов**



ТЕРРИТОРИЯ  
НЕФТЕГАЗ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
**ПРОФЕССИОНАЛ**  
www.nau.gaspb.ru, Санкт-Петербург

Информационная поддержка:  
НЕФТЬ ГАЗОВАЯ  
ВЕРТИКАЛЬ  
**Нефть.Газ.  
НОВАЦИИ**  
научно-технический журнал

Волгоградский Выставочный Центр "Регион"  
400007, Волгоград, а/я 3400  
тел/факс: (8442) 23-28-99, 26-61-70, 24-26-02, 26-51-86  
e-mail: vzregion@yandex.ru www.vzr.ru

