ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

**Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»,**

**посвященная 90-летию со дня рождения
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН
академика Виктора Евгеньевича Панина**

в рамках

**Международного междисциплинарного симпозиума
«Иерархические материалы: разработка и приложения
для новых технологий и надежных конструкций»**

**5–9 октября 2020 года
Томск, Россия**

Томск
Издательство ТГУ
2020

DOI: 10.17223/9785946219242/292

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ИОННОЕ АЗОТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ С УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

Есипов Р.С., Хусаинов Ю.Г., Николаев А.А.

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа

С развитием науки и техники возникает необходимость в получении конструкционных материалов с повышенными физико-механическими свойствами. В настоящее время в машиностроительной отрасли промышленности растет интерес к конструкционным материалам, которые получены методом интенсивной пластической деформации (ИПД). Металлы и сплавы после ИПД имеют ультрамелкозернистую (УМЗ) структуру с размером зерен от 100 до 500 нм, и показывают высокие значения прочности, по сравнению с крупнозернистыми аналогами [1,2].

Несмотря на высокие физико-механические свойства конструкционных сталей с УМЗ структурой, поверхность деталей, работающих в условиях контактных нагрузок, по-прежнему подвергается интенсивному изнашиванию. Поэтому, с целью повышения эксплуатационных характеристик, такие детали в основном подвергают поверхностной упрочняющей химико-термической обработке – ионному азотированию.

Известно, что эффективное азотирование сталей происходит при температурах в диапазоне 550–600 °С и длительной выдержке (до 36 часов). Однако нагрев сталей, подвергнутых ИПД до температур свыше 450–500 °С, приводит к росту зерен структуры, что в свою очередь приводит к снижению механических свойств материала. Следовательно, для повышения эксплуатационных характеристик и сохранения заданных механических свойств основы материала ионное азотирование сталей с УМЗ структурой необходимо осуществлять в области низких температур (до ~450 °С) [3].

Работа посвящена исследованию влияния низкотемпературного ионного азотирования на структуру и механические свойства поверхностного слоя конструкционных сталей с ультрамелкозернистой структурой.

Для исследований были подготовлены образцы, вырезанные из калиброванных термообработанных прутков диаметром 20 мм конструкционных сталей аустенитного – 12Х18Н10Т, и мартенситного – 13Х11Н2В2МФ-Ш, классов. Термообработкой стали 12Х18Н10Т являлась закалка от 1050 °С, а стали 13Х11Н2В2МФ-Ш – закалка от 1050 °С с последующим отжигом при 800 °С в течение 1 часа. Образцы с УМЗ структурой получали на установке для ИПДК СКРУДЖ-200 при температуре 300 °С, квазистатическом давлении 6 ГПа и количестве оборотов $n = 10$.

Ионное азотирование проводили на модернизированной установке ЭЛУ5М при давлении 150 Па в многокомпонентной атмосфере, содержащей аргон Ar, азот N₂ и водород H₂. Диффузионное насыщение осуществлялось при температурах 450, 500 и 550 °С в течение 6 часов.

Металлографический анализ проводили на оптическом Olympus GX-51 и на просвечивающем электронном JEOL JEM-2100 микроскопах. Микроструктуру модифицированного слоя сталей осуществляли в поперечном сечении с применением растрового электронного микроскопа JEOL JSM-6490 LV при ускоряющем напряжении 10 кВ. Рентгеноструктурный анализ проводили на дифрактометре Rigaku Ultima IV в фильтрованном Cu-K α медном излучении. Измерение микротвердости проводили по методу Виккерса на приборе Struers Duramin -1/-2 при нагрузке 9,8 Н (100 г) и выдержке в течение 10 с. Испытания поверхности образцов на износостойкость проводили по методу «шар по диску» на трибометре Nanovea в режиме сухого трения, в качестве контртела выступал шарик из стали ШХ-15 при нормально направленной к поверхности образца нагрузке 4 Н.

Установлено, что на образцах, прошедших ионное азотирование при температуре 450 °С, глубина упрочненного слоя составляет: для стали 12Х18Н10Т ~70 мкм, а для стали 13Х11Н2В2МФ-Ш ~90 мкм. При этом распределение микротвердости имеет плавный

Секция 7. Тонкие пленки и многослойные покрытия как иерархически организованные структуры

переход к сердцевине. При температуре 500 °С микротвердость стали 12Х18Н10Т снижается, но также имеет плавный характер, а на стали 13Х11Н2В2МФ-Ш микротвердость увеличивается вследствие выделения карбидов из твердого раствора α -Fe, которые выступают в качестве упрочняющей фазы. При температуре 550 °С распределение микротвердости по глубине образцов приобретает вид, соответствующий для сталей с крупнозернистой (КЗ) структурой.

Рентгеноструктурные исследования показали, что низкотемпературное ионное азотирование при температуре 450 °С приводит к формированию на поверхности аустенитной стали 12Х18Н10Т нитридов ϵ -фазы (Fe_{2-3}N), азотистого твердого раствора γ - $\text{Fe}_{[\text{N}]}$ с ГЦК решеткой, легирующего элемента хрома CrN и мартенситной α' -фазы; на поверхности мартенситной стали 13Х11Н2В2МФ – нитридов ϵ -фазы и легирующих элементов Cr, V(N). Поскольку обрабатываемая сталь имеет УМЗ структуру, образующиеся фазы, предположительно, являются мелкодисперсными и выделяются в основном на границах зерен. С увеличением температуры до 500 и 550 °С на стали 12Х18Н10Т наблюдалось увеличение интенсивности пиков ϵ -фазы в 1,5 раз. При этом происходил распад мартенситной фазы и ее фазовое превращение в твердый раствор γ -Fe, о чем свидетельствует уменьшение пиков α' -фазы в 2–3 раза. На стали 13Х11Н2В2МФ-Ш с ростом температуры обработки до 500 и 550 °С увеличивалась интенсивность пиков ϵ -фазы и нитрида хрома CrN в 2–2,5 раза.

Результаты исследования треков износа на оптическом микроскопе показали, что на стали 12Х18Н10Т с УМЗ структурой основным механизмом изнашивания является адгезионный износ, поскольку на поверхности износа наблюдались наплывы и вырывы материала. На стали 13Х11Н2В2МФ-Ш с УМЗ структурой также преимущественным механизмом износа является адгезионный износ. Подробные исследования треков износа на атомном силовом микроскопе образцов, прошедших низкотемпературное ионное азотирование, показали, что основным механизмом изнашивания является абразивный износ, о чем свидетельствует множество микрорезов. Абразивными частицами являются нитриды ϵ -фазы и нитриды легирующих элементов.

1. Андриевский Р.А. Наноматериалы: концепция и современные проблемы // Российский химический журнал. 2002. № 5. С. 50.
2. Валиев Р.З. Создание объемных наноструктурных материалов методами интенсивной пластической деформации для ионновационных применений в технике и медицине // Физика и техника высоких давлений. 2008. № 4. С. 12.
3. Пастух И.М., Здыбель А.С. Характеристики образования нитридов в сталях при азотировании в тлеющем разряде // ОТТОМ – 9: материалы международной конференции. 2008. С. 162.