

аустенита стали 4Х4ВМФС при правильно проведенных режимах горячей обработки давлением и термической обработки соответствует 9-10 баллу (ГОСТ 5950-73).

Структура перлита в исследуемой стали соответствует 10 баллу (ГОСТ 5950-73). Микроструктура стали представляет грубый пластинчатый перлит с выделениями по границам зерен игольчатых включений феррита (видманштетта), что также указывает на перегрев стали. В нормальной отожженной стали 4Х4ВМФС структура -зернистый перлит балл 3-7.

На поверхности поковки металлографически (ГОСТ 1763-68) выявлена зона частичного обезуглероживания со следами пережога толщиной до 2.5 мм.

Выявленные в процессе анализа вышеперечисленные дефекты стали 4Х4ВМФС приводят к повышенной хрупкости изделия, изготовленных из данной стали:

1) Из-за повышенной плотности и размеров неметаллических включений : в центральной части поковки балл 5, допустимый 1...2.

2) Перегрева стали : балл зерна аустенита 4...5, допустимый 9...10.

3) Структура стали 4Х4ВМФС перед термической обработкой должна иметь структуру – перлит зернистый балл 4...6. В исследуемой стали грубопластинчатый перлит – балл 10 с игольчатыми выделениями феррита по границам зерен.

4) Повышенная глубина обезуглероженного слоя (до 2.5 мм) со следами пережога.

Выводы: Все вышеперечисленные дефекты обусловлены:

1. Длительным нагревом заготовки под горячую ОМД и отсутствием защитной атмосферы в печи.

2. Отсутствием отжига и неправильным режимомковки.

3. Неправильным выбором размеров заготовки для получения поковки.

4. Высокой загрязненностью стали неметаллическими включениями металлургического характера.

УДК 669.018.44

Иновационные технологии в производстве и применении жаропрочных сплавов на основе никеля

Студент гр.104217 Григорчик А.Н.

Научный руководитель – Пучков Э.П.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью настоящей работы является усиление внимания к проблеме жаропрочности никелевых сплавов и защиты от высокотемпературной газовой коррозии и эрозии лопаток ротора турбины газотурбинного двигателя.

Разработка конструкционных жаропрочных сплавов на никелевой основе, работающих при температурах до 1100⁰С и отличающихся пониженной плотностью, является актуальной задачей для авиационных двигателей. Дальнейшее повышение жаропрочности сплавов осуществляется путём увеличения содержания тугоплавких элементов, что в свою очередь увеличивает стоимость, плотность и следовательно, нагрузки на ротор. Всё выше перечисленное приводит к увеличению массы двигателя, уменьшению тяги и снижению срока службы.

При создании новых литейных материалов особое внимание привлекает интерметаллид Ni₃Al. Этот интерметаллид является упрочняющей фазой, выделяющейся при старении никелевых сплавов. Интерметаллидное соединение Ni₃Al обладает высокой температурой плавления 1385⁰С, пониженной плотностью 7530 кг/м³, а также его особенностью является повышенный предел текучести. Высоким

сопротивление окислению при температурах 1200...1250⁰С обладает соединение Ni₃Al, в котором часть атомов никеля и алюминия замещены хромом, титаном, молибденом и вольфрамом. Небольшие добавки кобальта (4...5% масс.) повышают жидкотекучесть при литье в вакууме и уменьшают склонность к образованию трещин. Исследования сплава на основе алюминидов никеля показали, что жаропрочность до 1100⁰С повышается в зависимости от макроструктуры и технологии получения заготовок в следующей последовательности: деформирование – деформирование с рекристаллизацией – поликристаллическое литьё – столбчатое литьё – монокристаллическое литьё с кристаллографической ориентацией <111> с отклонением от направления роста <10⁰. Для повышения термостойкости и коррозионной стойкости на лопатки из сплава ВКНА-4 наносится алитированное покрытие. Использование сплава в монокристаллическом варианте позволило повысить рабочую температуру на входе в турбину на 100⁰С и срок службы в 1,5..2 раза.

Лопатки ротора газотурбинных двигателей, изготовленные из никелевых жаропрочных сплавов, обладают недостаточной стойкостью к воздействию агрессивного потока газовой среды. Газовое топливо нередко содержит повышенное количество серы и некоторое количество ванадия, что существенно снижает рабочий ресурс лопаток. Для защиты поверхности на лопатки наносят жаро- и коррозионностойкие покрытия. Применение покрытий позволяет увеличить рабочий ресурс в 3..5 раз. Технология нанесения покрытий должна сохранять структуру и механические свойства сплава. Применяются две группы покрытий – диффузионные и конденсационные. Диффузионные покрытия получают контактным или бесконтактным способами в порошковых смесях или в газовой среде, содержащей насыщающие элементы. Преимуществом диффузионных покрытий является защита от газовой коррозии труднодоступных поверхностей лопаток (полости, щели, отверстия). Конденсационные защитные покрытия получают способами плазменного, вакуумно-плазменного, магнитного или электронно-лучевого напыления из слитков. Слитки представляют собой металлические сплавы для покрытий, например, сплавы систем Ni-Cr-Al (СДП-2), Al-Si (ВСДП-11), Ni-Cr-Al-Ta-W-Hf (СДП-ТВГ) и др. В диффузионных покрытиях содержание алюминия обычно составляет примерно (15...25% масс.). Такое содержание алюминия обеспечивает формирование оксидной пленки, а также достаточную пластичность алюминидов никеля. Толщина покрытий не превышает 0,06 мм, а для некоторых двигателей – 0,04 мм. Одним из важнейших легирующих элементов является хром, он обеспечивает формирование плёнки алюминия при пониженном его содержании и входит в состав защитной плёнки на основе шпинели Ni(Cr,Al)₂O₄. Содержание хрома в высокотемпературных покрытиях находится в пределах от 7 до 20% масс. Также не последнее значение имеет кремний, который способствует повышению жаростойкости при высокотемпературном окислении и солевой коррозии. К вредным примесям относятся кислород, азот, кальций, сера, которые могут накапливаться на поверхности лопаток в процессе эксплуатации. Работоспособность алюминидных покрытий ограничивается температурой 1100⁰С, выше которой происходит разрушение основной фазы NiAl, которая формирует защитную плёнку. При работе длительное время при температурах 1100⁰С и выше применяют конденсационно-диффузионные покрытия, содержащие тугоплавкие элементы (тантал, рений, вольфрам). Тугоплавкие элементы тормозят диффузию атомов на границе со сплавом, и таким образом стабилизируют фазу NiAl.

Никелевые жаропрочные сплавы для лопаток газотурбинных двигателей достигли предела рабочих температур 1100...1150⁰С. Эта температура примерно 80..85% температуры плавления. Каждое новое поколение никелевых жаропрочных сплавов превосходило предыдущее по температурной работоспособности на 30⁰С. Однако значительно возросла плотность и стоимость сплавов из-за легирования

такими элементами как рений и рутений. Направленные эвтектики на никелевой основе, например, эвтектики ВКЛС-20 и ВКЛС-20Р имеют примерно такие же температуры плавления как никелевые жаропрочные сплавы, но обладают повышенной жаропрочностью благодаря комбинированному упрочнению композиционными нитевидными кристаллами монокарбида ниобия NbC и дисперсионному упрочнению матрицы. Направленная кристаллизация таких эвтектик с микроскопическим плоским фронтом роста, который обеспечивает образование ориентированных нитевидных кристаллов вдоль оси изделия, требует чрезвычайно низких скоростей роста (0,3 мм/мин.). Для промышленного производства требуется несколько весьма дорогостоящих установок, выращивающих по одной лопатке. По этой причине, а также из-за низкой температуры плавления (~1400⁰С), никелевые эвтектические сплавы с направленной структурой не рассматриваются как конструкционные сплавы будущего. Однако в ходе всестороннего исследования и использования никелевых эвтектических композитов стало ясно, что замену им стоит искать среди эвтектических сплавов на основе тугоплавких металлов с композиционным упрочнением интерметаллидами. В качестве матрицы могут использоваться элементы: Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W и в качестве упрочнителей – силициды этих элементов.

УДК 669.018.2

Сплавы с эффектом памяти форм

Студент гр.104217 Копытко А.В.
Научный руководитель – Пучков Э.П.
Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Целью настоящей работы является усиление внимания к проблеме разработки, применения и внедрения сплавов с эффектом памяти форм. Разработка сплавов с ЭПФ началась в 60-х годах XX в. с открытия группы металлических материалов, которые неупруго деформируются за счет структурного превращения при обратимом фазовом переходе аустенит-мартенсит.

Сплавы с ЭПФ обладают уникальным свойством - термомеханическая память. Различают сплавы с ЭПФ с односторонней памятью формы и с двухсторонней памятью формы. Эффект односторонней памяти формы заключается в следующем: если деформировать сплав с мартенситной структурой, а затем его нагреть в аустенитную область - он примет первоначальную макроскопическую форму. Эффект двухсторонней памяти формы не требует приложения внешней нагрузки, а циклическое изменение геометрических размеров происходит только за счет фазовых превращений при изменении температуры.

Наиболее перспективными сплавами с ЭПФ являются сплавы Ti-Ni эквиатомного состава, называемые никелидом титана или нитинолом. Эти сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью и биосовместимостью. Эти свойства нашли широкое распространение в промышленности и медицине. В промышленности Ti-Ni сплавы применяются в качестве крепежных элементов, силовых преобразователей, элементов для гашения вибрации и акустического шума. Однако Ti-Ni сплавы дорогостоящие материалы, поэтому во многих сферах промышленности вместо них используют более дешевые, обладающие достаточным комплексом механических свойств для данного изделия или конструкции, сплавы. В медицине эти сплавы, благодаря их биосовместимости с тканями человеческого организма, нашли широкое применение. На поверхности Ti-Ni сплава образуется плотная оксидная