

УДК -620.22:539.4:621.791.05

ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОВКИ

Смирнова А. С.¹, Почивалов Ю. И.², Панин В. Е.^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

Одним из главных требований, предъявляемых к конструкционным материалам авиационной техники, является обеспечение высоких значений их усталостной прочности и долговечности. Особую значимость это требование имеет применительно к сварным соединениям. Традиционно для повышения усталостной прочности сварных соединений применяют дополнительные виды механической обработки: обработку дробью, обкатку роликом и другие. Исследования последних лет показали, что одним из наиболее эффективных способов упрочнения является ультразвуковая обработка сварных соединений. Показано, что при такой обработке на поверхности формируется градиентная, сильно деформированная структура. У самой поверхности, в слое толщиной 7-10 мкм, образуется нанокристаллическая структура с размером фрагментов менее 100 нм. Повышенные механические свойства наноструктурированного слоя и его высокая демпфирующая способность обеспечивают повышение напряжения для зарождения трещины в несколько раз.

В настоящей работе исследовано влияние наноструктурирования поверхностных слоев методом ультразвукового пластического деформирования на структуру и механические свойства сварных соединений ВТ18У, ВТ23, ВТ8-1 и титанового сплава ВТ6.

Формирование наноструктурированного слоя было достигнуто за счёт применения методов ультразвуковой механическойковки поверхности [1-5].

Металлографические исследования выполнены на оптическом микроскопе Аxiavert 25 СА. Исследование на микротвёрдость проводили на цифровом микротвёрдомере DM8 с нагрузкой в 25 грамм. Механические испытания выполнены путём растяжения на универсальной испытательной машине Instron-5582. Усталостные испытания плоских образцов проводили на универсальной гидравлической испытательной машине Schenck Sinus.100.40. Фрактографию разрушенных образцов исследовали методом растровой электронной микроскопии на Tesla BS-300.

Выполнены электронно-микроскопические и микродифракционные исследования фольг, приготовленных из обработанных методом ультразвуковой механическойковки образцов. Показано, что в поверхностном слое сварного соединения в результате ультразвуковойковки формируется градиентная, сильнонеравновесная структура с плотностью дефектов, монотонно снижающейся с увеличением расстояния от поверхности вглубь материала. Непосредственно у поверхности в слое толщиной 7-10 мкм обнаружена наноструктура с размером зерна 50-90 нм и высокими внутренними напряжениями. Под слоем наноструктуры до глубины 20-30 мкм наблюдаются полосовые дислокационные структуры. Полосовые структуры переходят в области с высокой плотностью дислокаций, которая уменьшается с увеличением расстояния от поверхности образца, и на глубине 200-250 мкм становится сопоставимой с плотностью дислокаций исходного материала.

Изменённая структура поверхностного слоя и его увеличенная микротвёрдость в результате ультразвуковой механическойковки не оказывают заметного влияния на механические свойства исследованных образцов сварных соединений при испытаниях

на активное растяжение. Исходя из полученных результатов, ультразвуковая механическая ковка повышает предел упругости и условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ сварных соединений, тогда как предел прочности не претерпевает значительных изменений.

Установлено, что усталостная долговечность сварных соединений с наноструктурированным поверхностным слоем увеличивается кратно по сравнению с усталостной долговечностью образцов сварных соединений в состоянии поставки (таблица 1).

Таблица 1. Повышение усталостной долговечности сварных соединений авиационных конструкционных материалов при наноструктурировании поверхностных слоёв

Материал Напряжение, МПа	Число циклов до разрушения		
	В состоянии поставки	С наноструктурированным поверхностным слоем	Коэффициент увеличения ресурса
Сварное соединение ВТ18У, 400 МПа	16600 – 32350	> 150000	> 4,6
Сварное соединение ВТ8-1, 600 МПа	1700-2200	5220-17000	2,5-7,5
Сплав ВТ6, 800 МПа	19295	26500	1,4

Как следует из представленных данных, усталостная долговечность титанового сплава ВТ18У возрастает более, чем в десять раз, сварных соединений титанового сплава ВТ8-1 – более, чем в 2,5-7,5 раз, титановых сплавов ВТ6 – в 1,4 раза.

Библиографический список

1. В. П. Алехин, О. В. Алехин. Физические закономерности деформации поверхностных слоев материалов. – М.: МГИУ, 2011. – 455 с.
2. В. Е. Панин, Е. Н. Каблов, В. С. Плешанов, В. А. Клименов, Ю. Ф. Иванов, Ю. И. Почивалов, В. В. Кибиткин, В. В. Напрюшкин, О. Н. Нехорошков, В. И. Лукин, С. В. Сапожников. Влияние ультразвуковой ударной обработки на структуру и сопротивление усталости сварных соединений высокопрочной стали ВКС-12// Физическая мезомеханика. – 2006. – Т. 9. № 2. – С. 85-96.
3. В. Е. Панин, А. В. Панин. Фундаментальная роль наномасштабного структурного уровня пластической деформации твердых тел // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2006. – №. 12. – С.5-10.
4. В. Е. Панин, В. П. Сергеев, А. В. Панин. Наноструктурирование поверхностных слоев конструкционных материалов и нанесение наноструктурных покрытий. – Томск: Изд-во Том. Политех. Ун-та, 2008. – 286 с.
5. В. Е. Панин, В. П. Сергеев, А. В. Панин, Ю. И. Почивалов. Наноструктурирование поверхностных слоев и нанесение наноструктурных покрытий – эффективный способ упрочнения современных конструкционных и инструментальных материалов // ФММ. – 2007. – Т.104. № 6. – С. 1-11.