

пленка  $Ti_2O$ , которая препятствует попаданию токсичного Ni в ткани. Из этих сплавов производят медицинские хирургические инструменты, а также конструкции для коррекции позвоночника, соединения костей, скелетного вытяжения и многое другое. Эти сплавы создают сильные усилия при мартенситно-аустенитном превращении и позволяют добиться более точного и прочного скрепления костей.

В промышленности также применяются сплавы с ЭПФ на основе меди Cu-Al-Ni и Cu-Al-Zn. Эти сплавы значительно дешевле Ti-Ni сплавов, не так чувствительны к химическому составу, им легче придать необходимую форму. Также, по сравнению с Ti-Ni сплавами, сплавы с ЭПФ на основе меди имеют очень хорошую механическую обрабатываемость и свойства при повышенной и пониженной температурах. Сплавы с ЭПФ на основе меди имеют диапазон структурного превращения от  $-200$  до  $+200^{\circ}C$ , что позволяет использовать их при температурах выше  $100^{\circ}C$  (у Ti-Ni сплавов диапазон структурного превращения от  $-200$  до  $+100^{\circ}C$ ). Однако не смотря на перечисленные выше преимущества, сплавы с ЭПФ на основе меди не так перспективны для применения в промышленности, как Ti-Ni сплавы, из-за ряда существенных недостатков: низкая коррозионная стойкость; восстанавливаемая деформация не превышает 3- 4%(у Ti-Ni сплавов 7%); низкая прочность; производимая работа при деформации 1 Дж/г(у Ti-Ni сплавов 4 Дж/г), а следовательно невысокая прочность и надежность соединения. Сплавы с ЭПФ на основе меди нельзя применять в медицине, так как они имеют низкую износостойкость и обладают плохой биосовместимостью с тканями организма. При введении их в организм они изнашиваются и происходит разрушение тканей вследствие отравления тяжелыми металлами.

Технология производства сплавов с ЭПФ трудоемкая и дорогостоящая. Например, никелид титана требует комбинированного способа плавки: вначале плавка производится в вакуумной гарнисажной печи, после чего полученный электрод вторично переплавляют в электродуговой вакуумной печи. Обработка давлением производится при температуре не выше  $700-900^{\circ}C$  во избежание газонасыщения. Для "запоминания" формы необходимо заневоливание (жесткое фиксирование по всем степеням свободы) с последующим нагревом в вакууме до  $650-700^{\circ}C$ .

Не смотря на высокую стоимость, сложность производства и ряд недостатков, сплавы с ЭПФ незаменимы при изготовлении уникальных конструкций, инструментов в медицине, а также в космостроении и при ремонтных работах в открытом космосе.

УДК 531:539.311:621.891

#### **Анализ топографии проявления сдвигового механизма разрушения в поверхностном слое покрытия**

Студент гр.430661 Солдатова Ю.С.  
Научный руководитель – Нечаев Л.М.  
Тульский государственный университет  
г.Тула

Целью работы явилось изучение разрушения, которое часто наблюдалось в объемах диффузионных зон, где присутствует высокая плотность нитридных и карбонитридных частиц. Последние способствуют локализации микродеформаций и зарождению очагов микроразрушений на ранних стадиях циклического воздействия. Механизмы зарождения микротрещин вблизи включений зависят от уровня пограничных микродеформаций, которые определяются размерами частиц и действующими напряжениями.

При повышении температуры в процессе циклического нагружения концентрационные полосы растут медленнее, так как в этом случае они "окружаются"

полем напряжений, в котором деформационная часть энергии цикла уменьшается в противовес увеличению термического вклада. В ходе пластического деформирования у включений, происходит коалесценция близко расположенных плоскостей при их непосредственном слиянии или в результате распространения трещины между ними. Аномально крупные частицы, имеющие размер более 5 мкм, разрушаются непосредственно скалыванием и, таким образом, инициируют последующее разрушение примыкающих объемов зерен.

С другой стороны показано, что малые твердые включения в диффузионных зонах могут играть и позитивную роль в процессах трещинообразования как на стадии формирования предтрещинных "белых" полос, так и непосредственно на этапах зарождения и распространения трещин. В первой схеме, при условии, что размер нитрида или карбонитрида незначительно отличается от поперечного сечения стержневых предтрещинных полос, возможно искривление траектории распространяющейся микроскопической трещины. Дальнодействие подобных "встречных" концентрационных полей составляет от 1,5 до 2-х средних размеров дисперсных включений. При определенной и высокой плотности частиц возможно протекание процессов ветвления трещин или их торможение в магистральном направлении.

Анализ топографии проявления сдвигового механизма разрушения путем формирования "стержневых" полос с аморфизированной структурой показал, что микротрещины формируются на глубине диффузионных зон 20...50 мкм, на которой наблюдаются наименьшие объемы дисперсных частиц и, наоборот, наиболее протяженные поля  $\alpha$ -фазы.

В слабогетерогенных объемах поверхностного нитрированного слоя может образовываться составная магистральная трещина. Трещинные ступеньки объединяются между собой стержневыми трещинами. При соответствующих условиях каскадная микротрещина сможет иметь предпочтительное развитие и трансформироваться в магистральную.

В сильногетерогенных сечениях диффузионных зон, где превалирующим механизмом разрушения является гетерогенное расслоение, возможна картина многоочаговой повреждаемости гетерогенных объемов с последующим формированием одной магистральной трещины. Составными элементами подобного разрушения являются: микротрещины отрыва, зарождающие в концентрационных полях крупных частиц нитридов или карбонитридов, и последующее их слияние.

УДК 531:539.311:621.891

### **Кристаллизационные особенности наплавочных кремнесодержащих материалов**

Студент гр.420691 Фролов А.С.  
Научный руководитель – Фомичева Н.Б.  
Тульский государственный университет  
г.Тула

Целью настоящей работы является изучение структурных особенностей наплавочных железо-хром-никелевых материалов, дополнительно легированных кремнием. Технология проведения процесса плазменной наплавки отличается от традиционного метода получения упроченных мартенситно-стареющих сталей. Более высокая скорость охлаждения при образовании наплавочных слоев, а также различный теплоотвод при нанесении наплавочных материалов на основу способствуют созданию метастабильного, неравновесного состояния, отличающегося от литых сталей структурой, фазовым составом и свойствами.