

ОБРАЗОВАНИЕ И СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРНЫХ ПЛЕНОК ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ТРЕНИИ ТИТАНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Петрова А.М., Штерн М.Б.

Институт проблем материаловедения, им. И.Н. Францевича НАН Украины,
ул. Кржижановского, 3, Киев, 03680, Украина,
E-mail: stern@materials.kiev.ua

Введение

Ранее [1, 2] был исследован механизм изнашивания титанового материала Ti – Cr – TiC. Показано, что при изнашивании данного материала на воздухе, при комнатной температуре на поверхности трения образуются наноструктурные пленки, которые выполняют роль твердой смазки. В состав пленки входят оксиды, гидроксиды, нитриды, гидриды хрома, титана. Дополнительное легирование данного материала молибденом позволило существенно повысить прочность, износостойкость титанового материала в области температур 250 – 750⁰C [3].

Результаты и обсуждение

Целью данной работы является исследование влияния молибдена на образование наноструктурной пленки при высокотемпературном трении на воздухе титанового материала Ti – Cr – Mo – TiC.

Исследование проводили на составах Ti, Ti – Cr – TiC, Ti – Cr – Mo – TiC, полученных прессованием и последующим спеканием в вакууме 0,13 Па из смеси порошков электролитического титана фракции – 180 + 40 мкм и Cr₃C₂, Mo фракции – 10 мкм. Пористость спеченных образцов составляла 10 – 12%. В материале Ti – Cr – Mo – TiC технологическими приемами добивались частичного растворения молибдена в титановой основе. Предполагалось, что присутствие молибдена в свободном состоянии обеспечит в более полной мере его участие в формировании оксидных пленок. Как известно, образование триоксида молибдена на воздухе наблюдается начиная с температуры 250⁰C и значительно интенсифицируется при 500⁰C [4].

Проведено исследование износостойкости спеченных материалов Ti, Ti – Cr – TiC, Ti – Cr – Mo – TiC. Испытание на трение проводили по схеме три образца – диск на воздухе при температуре 550⁰C, нагрузке 3,0 МПа, продолжительности испытания 1,0 час, скорости скольжения 1,0 м/с. Диск изготавливали с азотированного титанового сплава ВТ – 14. Площадь сечения образцов

составляла 0,35 см². Износостойкость пары трения оценивали по интенсивности изнашивания образцов и диска, измеряя с точностью 25 мкм/км.

Исследовали структуру поверхности трения и материалов по срезу перпендикулярно поверхности трения титанового материала, а также поверхности образцов, окисленных на воздухе при температуре 550⁰C в течение 1,0 часа. Исследование проводили на рентгеновской установке УРС – 50И в железном излучении.

Структура материала Ti – Cr – Mo – TiC представляет собой титановую основу, легированную хромом и молибденом, в которой равномерно распределены включения карбида титана, а также присутствуют недорастворившиеся включения молибдена .

Испытания на износ показали высокую интенсивность изнашивания пары трения титан – азотированный титан, которая составляет 1360 мкм/км. Однако, заедание пары, как это наблюдается при трении в условиях комнатной температуры, не наблюдается. Износ материала Ti – Cr – TiC в два раза ниже, чем титана, но достаточно высокий и составляет 700 мкм/км. Введение молибдена снизило износ пары трения до 20 мкм/км. Коэффициент трения независимо от состава титанового материала примерно одинаковый и равен 0,23 – 0,26. Визуальное исследование поверхностей трения показало, что образцы из Ti и Ti – Cr – TiC имели задиры на выходе вдоль направления трения, что свидетельствует о значительном пластическом течении поверхностного слоя материалов в зоне трения. На образцах материала, содержащего молибден, задиры не образовывались. Объясняется это влиянием молибдена, который вошел в состав титановой основы с образованием твердого раствора Ti – Cr – Mo. Как отмечалось в работе [2], молибден, при данной температуре испытания 550⁰C, существенно повышает прочность титановой основы материала, в результате чего и снижается пластическая деформация поверхностного слоя при трении.

Металлографическое исследование обнаруживает образование на поверхности трения белых пленок, характер разрушения которых отражает разупрочнение поверхностного слоя. Разрушение пленки дорожками наблюдается при значительной пластической деформации (Ti, Ti – Cr – TiC). При отсутствии пластического течения пленка разрушается в виде пятен (Ti – Cr – Mo – TiC) и существенно снижается ее повреждаемость. Фазовый состав пленки на поверхности трения и окисленной поверхности материала отличается. На поверхности образцов, окисленных на воздухе, образовывались простые оксиды, нитриды титана, хрома, молибдена, а на поверхности трения, кроме простых, присутствовали оксиды сложного состава, гидроксиды. Пленка на поверхности трения титана состояла из оксидов TiO₂ (рутил), Ti₃O₅, Ti₉O₁₇, нитрида TiN₂, которые и обеспечивали скольжение трущейся пары без заедания, но с катастрофическим износом. В отличие от трения при комнатной температуре, высокотемпературное трение титана обеспечивало более интенсивное окисление и последующее восстановление разрушившихся оксидных пленок. Основной составляющей пленки материала Ti – Cr – TiC, имеющего ниже, но достаточно высокий износ, является, как и в случае чистого титана, оксид TiO₂ (рутил). В состав пленки входили также оксиды хрома Cr₅O₁₂, CrO₂ и соединение типа шпинели Cr₃Ti₃O, присутствие которых способствовало снижению износа материала Ti – Cr – TiC, по сравнению с титаном. На поверхности трения образца Ti – Cr – Mo – TiC оксид TiO₂ отсутствует, а образовавшаяся пленка содержит следующие соединения (в порядке снижения интенсивности линий на рентгенограмме): Mo₅O₈(OH)₈, Mo₅O₇(OH)₈, Mo₉O₂₆, Cr₃O₄, Mo₂N, Cr₃Ti₃O. В количественном отношении преобладали гидроксиды и оксиды молибдена. Титан в незначительной степени участвовал в формировании износостойкой пленки, содержащей, в основном, продукты окисления легирующих элементов молибдена и хрома и

входил лишь в состав сложного соединения типа шпинели Cr₃Ti₃O. Хрупкий оксид TiO₂ служил основной составляющей пленки на поверхности образца Ti – Cr – Mo – TiC, окисленного на воздухе, но не содержался в пленке, образующейся при трении этого материала. Снижение степени участия титана и повышение активности легирующих элементов в формировании пленок при трении сопровождается снижением интенсивности изнашивания титанового материала, а следовательно улучшением смазочных и защитных свойств, образующихся пленок.

Выводы

Присутствие молибдена в титановом материале Ti – Cr – Mo – TiC способствует образованию при трении на воздухе в условиях высоких температур прочных, обладающих высокими смазочными и защитными свойствами пленок, содержащих, в основном, гидроксиды и оксиды молибдена.

Литература

1. Petrova A.M., Polotai V.V. Effect of the chromium contents on the tribotechnical characteristics of titanium – chromium alloys, Powder Metallurgy, 1987, № 5. 51 – 56.
2. Petrova A.M., Shtern M.B. The influence of Nanostructural oxide films on wear – resistance of titanium materials, Proctding of the NATO Advanced Research Workhop on Using Carbon Nanomaterials in Clean – Energy Hydrogen Systems, 2008, p. 851 – 856.
3. Петрова А.М., Штерн М.Б. Исследование влияния молибдена на жаропрочность титанового сплава Ti – Cr – Mo – TiC // Материалы и покрытия в экстремальных условиях: исследование, применение, экологически чистые технологии производства и утилизации изделий // Международная конференция. Жуковка – Крым – Украина. – 2008, с. 245.
4. Бенар Ж. Окисление металлов. – М.: Химия, 1969. – 448 с.