

Современные сплавы с эффектом памяти формы и их применение в машиностроении и медицине

Студент Чернявская Е.С.

Научный руководитель – к.т.н. Ковальчук А.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Сплавы с памятью или с эффектом памяти формы были открыты в первой половине 20 века. Уникальное свойство этих сплавов заключается в том, что при нагревании они принимают свою первоначальную форму, даже если в холодном состоянии они были каким-то образом деформированы. Изучение подобных свойств является актуальным и востребованным направлением в настоящее время.

Эффект памяти формы заключается в том, что деформированный металл может самопроизвольно восстанавливается в исходную форму в результате нагрева или после снятия нагрузки. Простейшим примером, демонстрирующим этот эффект является, например, предварительно пластически деформированная металлическая проволока, которая в результате последующего нагрева до определенной температуры начинает возвращаться в исходную форму. Такие материалы активно применяются в медицине при сложных хирургических вмешательствах, работе с сосудами и сердцем, что позволяет снизить инвазивную нагрузку. В машиностроении такие материалы позволяют конструировать и реализовывать соединения исполнительных частей машин и механизмов, невозможное традиционными методами.

В основе эффекта памяти формы большинства используемых металлов и сплавов лежат термоупругие мартенситные превращения. Мартенситное превращение (МП) происходит только в том случае, если аустенит переохлажден до низких температур, при которых диффузионные процессы становятся невозможными. Данное превращение основывается на изменении типа кристаллической структуры (решетки). Такие переходы не связаны с диффузией или изменением химического состава и являются основой высокотемпературных методов обработки металлов. Мартенситные превращения по направлению протекания разделяются на прямые и обратные. Именно эти превращения проявляются в процессе проявления эффекта памяти формы. Под прямым мартенситными превращениями понимают превращение из высокотемпературной кубической фазы в низкотемпературную объемно-центрированную кубическую фазу. Обратное – из ОЦК фазы превращение в ГЦК. Если же происходит снятие напряжения, то это приводит к незначительному возврату деформации.

Эффект памяти формы возникает по причине того, что внешние слои при пластическом деформировании материала вытягиваются, а внутренние – сжимаются, при этом промежуточный средний слой между ними может остаться неизменным. Термоупругость мартенситного превращения проявляется именно при нагреве. Однако с термоупругостью так же возникает внутреннее напряжение, обусловленное упругими искажениями структуры и нарушением ее периодичности, в результате чего структура стремится вернуться в исходное состояние. Для того чтобы полностью восстановить форму необходимо, чтобы мартенситное превращение являлось кристаллографически обратимым. Такой способ характерен не только для сталей, но и для чистых металлов, полупроводников, цветных сплавов, а также полимеров. Разработка новых составов сплавов с эффектом памяти формы также является актуальной научной задачей для медицины и для машиностроения [3].

К современным сплавам с эффектом памяти формы можно отнести сплавы на основе Ti-Ni и Cu-Al. Эффект памяти формы также наблюдается у сплавов систем: Cu-Zn, Cu-Zn-Al, Cu-Zn-Si, Cu-Zn-Sn, Cu-Al, Cu-Al-Ni, Mn-Cu, Fe-Mn-Si, Ni-Al и других. Исследователи полагают, что эффект памяти формы возможен у любых материалов, которые претерпевают мартенситное превращение [2].

Следует отметить, что обработка сплавов с эффектом памяти формы является сложной задачей. Классическим примером является никелид (или нитинол) – это сплав на основе титана и никеля. Титан в жидком состоянии легко поглощает газы и хорошо взаимодействует со многими веществами, поэтому его выплавка производится в вакууме или атмосфере чистого инертного газа. Нитинол подвергается обработке давлением в интервале температур 700...900 °С. Данный сплав не нагревают до более высоких температур, так как происходит интенсивное окисление и может образовываться хрупкий и пористый (газонасыщенный) слой. Важной операцией обработки является технологическая операция термофиксации – это один из методов предварительной обработки, цель которой заключается в снижении внутренних напряжений. Сложность операции термофиксации заключается в том, что с проявлением эффекта памяти после придания заготовке из никелида титана требуемой формы заготовку начинают деформировать при температуре близкой к комнатной температуре. Благодаря этому достигается стабильное состояние структуры и формы [1].

Нитинол является одним из самых востребованных на сегодняшний день сплавов с эффектом памяти формы. Нитинол часто используют в устройствах и приборах самого разного назначения. Однако применение он нашел не только в машиностроении, но и в медицине. Благодаря такому сплаву были разработаны фильтры для введения в сосуды кровеносной системы, зажимы для защемления слабых вен, стержней для коррекции позвоночника при сколиозе и многие другие. Никелид обладает хорошей прочностью, пластичностью, а также коррозионной стойкостью, что позволило применять данный сплав в черепно-мозговой хирургии, восстановительно спинномозговой хирургии, а также в лечении врожденных и посттравматических патологий позвоночника и лечении переломов тел позвонков. Нитинол играет одну из важных ролей в сердечнососудистой хирургии. Он активно применяется для изготовления клапанов сердца [4].

Нитинол так же активно применяется в робототехнике, добывающей промышленности и в изучении космоса (соединительные муфты; для работы в открытом космосе; спутники Земли). Это определяет интерес к изучению эффекта памяти формы и разработке сплавов, в которых он реализовывается, так как эти сплавы позволяют развивать востребованные направления в медицине, машиностроении, авиационной промышленности, робототехнике и во многих других сферах.

Литература

1. Эффекты памяти формы и их применение в медицине. / В.Э. Гюнтер, В.И. Итин, Л.А. Монасевич, Ю.И. Паскаль и др. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. – 742 с.
2. Функциональные материалы с эффектом памяти формы / Коллеров, Гусев, Гуртовая – Машиностроение, 2019. – 140 с.
3. А.Л. Солнцев «Материаловедение». – М: 1991.
4. Модификация поверхности титановых имплантатов и её влияние на их физико-химические и биомеханические параметры в биологических средах. / В.В. Савич – Медицина 2012.