

Топологические особенности разрушения поверхности тугоплавкого металла – молибдена, представлены на рис. 2а. Образуется волновой рельеф с периодом ~ 10 мкм. В центре кратера формируется «выброс» вещества расплава (характерное увеличение высоты в центральной части кратера). По-видимому, это связано с объемными колебаниями ванны расплава. Как видно из представленной профилограммы кратера (рис. 2б), отличительной особенностью, полученного рельефа, является отсутствие области стабилизации. Развитие волнового рельефа начинается непосредственно на «выбросе» в центральной части кратера. Формируются только две области пространственного развития волнового рельефа – область экспоненциального и нелинейного роста. Отсутствие области стабилизации, по-видимому, связано с колебаниями вершины «выброса». Аналогичная топология наблюдается на поверхности монокристалла вольфрама. Появление подобных волн на поверхности расплава можно объяснить действием силы Марангони (появлением термокапиллярной неустойчивости), возникающей на поверхности неоднородно нагретой жидкости. Сила Марангони зависит от градиента температуры и коэффициента термокапиллярности, который для большинства металлов отрицателен, поэтому перемещение возмущения (волн) происходит в радиальном направлении от центральной части расплава. Это также приводит к росту амплитуды возмущения (волны) в зависимости от расстояния до центра кратера. Таким образом, обнаружены три области пространственного развития волнового рельефа в сплаве Fe-Si, на поверхности тугоплавких металлов присутствуют только две области. Появление волн на поверхности расплава связано с появлением термокапиллярной неустойчивости.

Список литературы

1. Федоров В.А., Кузнецов П.М., Яковлев А.В. Формирование рельефа на поверхности сплава Fe – Si в зоне воздействия лазерного излучения // Физика и химия обработки материалов. – 2013. – №1. – С. 24-28.

МОНОКРИСТАЛЛЫ Cu-Al-Ni С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПРИВОДОВ

Аверкин А.И.¹, Зограф Г.П.¹, Тимашев Р.Б.¹, Малыгин Г.А.¹, Якушев П.Н.¹,
Пульнев С.А.¹, Николаев В.И.^{1,2}

¹ ФТИ им А.Ф. Иоффе, 194021, Санкт-Петербург,

² Университет ИТМО,

AndreyAverkin@mail.ru

Введение

Сплавы с эффектом памяти формы, благодаря своим уникальным функциональным свойствам широко применяются в различных областях техники, медицины и пр. В [1] группой авторов совместно с ЦНИИ РТК были созданы робототехнические устройства с приводами на основе монокристаллов Cu-Al-Ni, разработаны физические и конструкционные принципы их работы. Незаменимые в ряде случаев такие устройства имеют один существенный недостаток - это быстродействие. В работах [2, 3] нами было обнаружено, что восстановление деформации памяти формы (ПФ) в монокристаллах Cu-Al-Ni и Ni-Fe-Ga-Co при обратном мартенситном превращении может протекать по различным механизмам, диапазон скоростей при этом может отличаться до 8 порядков. В данной работе исследован один из факторов, влияющих на кинетику восстановления деформации памяти формы - величина предварительной деформации.

Материал и экспериментальная методика

Цилиндрические образцы монокристаллического сплава Cu–13.6 wt.% Al–4.0 wt.% Ni диаметром 5 mm и высотой 7 mm были закалены от 1220 K в воду и затем отожжены в течении 1 h при температуре 373 K. После этого образцы подвергались деформации сжатия вдоль оси $[100]_{\beta}$ со скоростью 10^{-4} s^{-1} в испытательной машине Instron 1342 при температуре 293 K. Для исследования возврата деформации при обратном мартенситном превращении использовалась установка с лазерным измерителем скорости деформации на основе интерферометра Майкельсона. Для восстановления деформации образцы нагревались с со скоростью 2 K/min, при этом скорость деформации фиксировалась как функция времени и температуры. Подобные зависимости исследовались для образцов, деформированных до различных значений предварительной деформации.

Результаты эксперимента и обсуждение

На рис. 1 приведена диаграмма сжатия образца исследуемого сплава до полной деформации памяти формы. Особенностью данной диаграммы нагружения является длительный участок слабого разупрочнения, на фоне которого отмечаются спады (провалы) напряжения, включая резкие, при деформациях ПФ приближающихся к предельным (для данных образцов максимум $\varepsilon_s \sim 8,8\%$). Такое поведение объясняется перестройкой структуры мартенсита под нагрузкой. Первый спад, при $\varepsilon_s \sim 3\text{--}6\%$, вероятно, связан с раздвоением β'_1 (18R) мартенсита, второй, при деформациях $\sim 8\%$, наиболее резкий, соответствует процессу образования объемных (сравнимых с объемом образца) доменов γ'_1 (2H) мартенсита [3]. Учитывая эти особенности, на диаграмме, можно выделить три области задания деформации: 1 – деформации до первого «провала» на диаграмме $\sigma - \varepsilon$, 2 – до зоны интенсивных скачков (сбросов) напряжения деформирования, 3 – зона скачков напряжения до максимальной деформации памяти формы и начала последующего упругого нагружения.

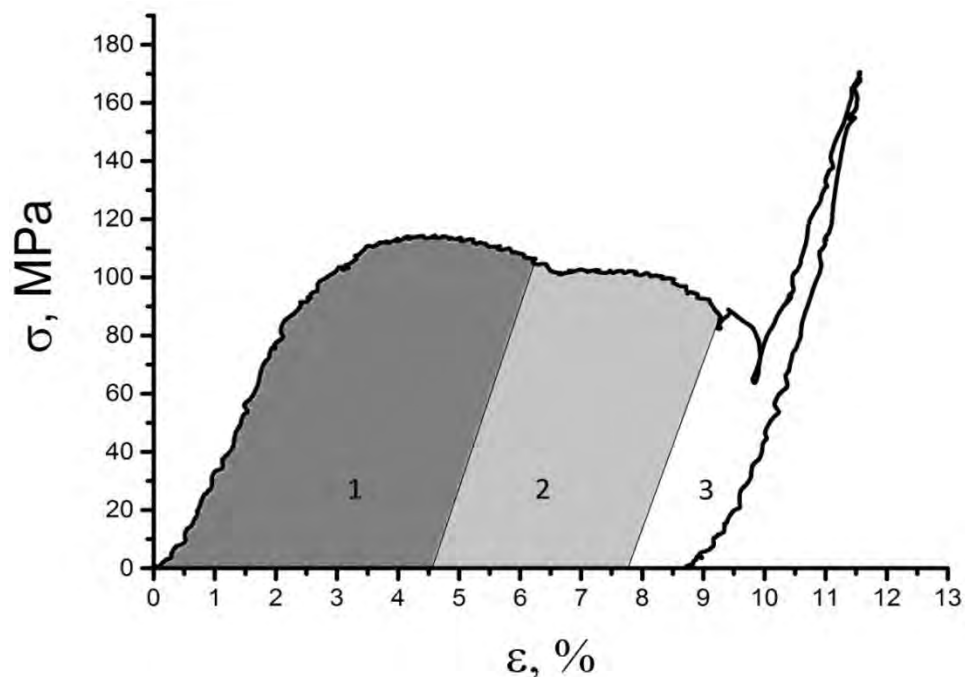


Рис. 1. Три области деформаций на диаграмме сжатия образцов сплава Cu-13.6 wt.% Al-4.0 wt.% Ni с ЭПФ.

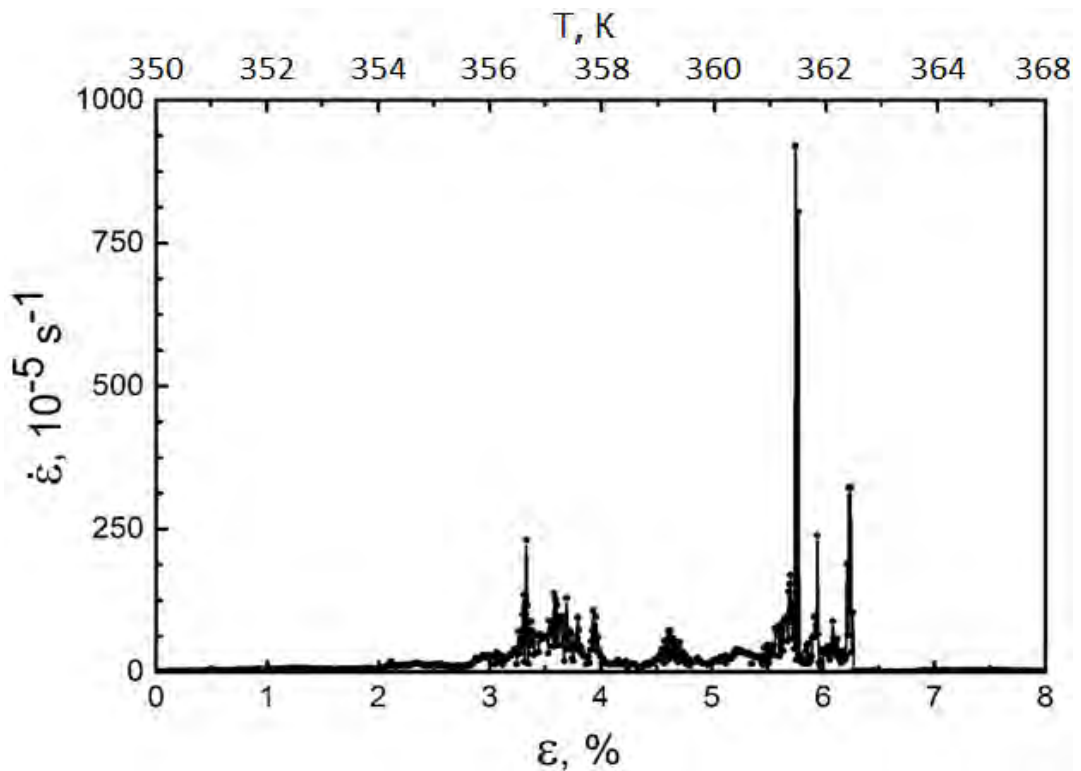


Рис. 2. Зависимость скорости восстановления деформации ПФ от величины возвращенной деформации ПФ и температуры для области 2, $\varepsilon_0 = 6.3\%$.

Результаты измерения скорости восстановления деформации выявили, что для области 1 восстановление протекает в диапазоне температур от 312 К до 346 К и происходит плавно со скоростями, не превышающими $2 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$. В области 2 процесс восстановления формы происходит в целом со столь же небольшими скоростями, но появляются отдельные скачки деформации, т.е. кратковременное возрастание скорости восстановления ПФ. При этом вероятно, объемной доли метастабильной фазы γ_1' мартенсита ответственной за скачки деформации в кристалле еще недостаточно.

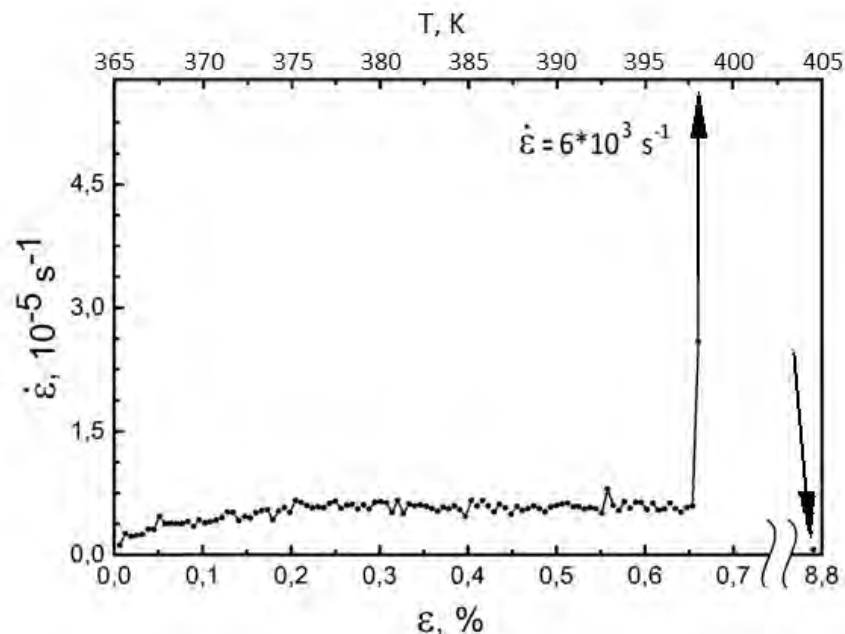


Рис. 3. Зависимость скорости восстановления деформации ПФ от величины возвращенной деформации ПФ и температуры для случая взведения, соответствующего области 3 на рис. 1

В области 3 большая часть деформации ПФ восстанавливается практически мгновенно (за время порядка десятых микросекунды) и лишь небольшая часть деформации ($\sim 0.65\%$) со скоростями менее $2 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$. Наличие такого плавного участка свидетельствует о том, что даже при максимальных деформациях ПФ в образцах наряду с γ_1' фазой остается доля β_1' мартенсита.

По представленным данным сделана нижняя оценка доли объемной метастабильной фазы необходимой для проявления взрывоподобного восстановления деформации памяти формы. Для этого достаточно наличия ее в объеме образца $\sim 2.5 \cdot 10^{-3}\%$.

Список литературы

1. С.А. Пульнев, В.И. Николаев, А.А. Прядко, А.В. Рогов, А.В. Чикиряка, С.П. Никаноров // Известия РАН. Серия Физическая, 2009, том 73, Н. 10, С. 1482-1485
2. В.И. Николаев, П.Н. Якушев, Г.А. Малыгин, С.А. Пульнев // Письма в ЖТФ, 2010. Т. 36. В. 19. С. 83–90
3. В.И. Николаев, П.Н. Якушев, Г.А. Малыгин, А.И. Аверкин, А.В. Чикиряка, С.А. Пульнев // Письма в ЖТФ, 2014, том 40, В. 3. С. 57–63

СМАЗОЧНОЕ ДЕЙСТВИЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ХОЛЕСТЕРИНА ПРИ ТРЕНИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Ермаков С.Ф.¹, Мышкин Н.К.¹, Рыбаков А.А.²

¹ *Институт механики металлополимерных систем НАН Беларуси, Гомель, Республика Беларусь;*

erm-s@yandex.ru

² *ОАО «Завод горного воска», г.п. Свислочь, Республика Беларусь*

Разработка новых эффективных смазочных материалов (СМ) является одним из путей повышения долговечности узлов трения и снижения энергоемкости современной техники [1]. Опыт показывает, что важную роль при этом играют жидкокристаллические соединения холестерина (ЖКСХ). Действительно, согласно работам [1–2], добавки в СМ ЖКСХ, склонных к планарной ориентации на опорных поверхностях, обуславливают снижение трения смазанных поверхностей твердых тел и повышение нагрузочной способности трибосопряжений. Можно предположить, что данный эффект достигается вследствие реализации в зоне трения мезоморфного состояния СМ, для которого характерно упорядоченное ориентированное расположение молекул как мезогенной добавки, так и смазочной среды и эффективность смазочного действия при таких условиях будет зависеть от содержания ЖКСХ в СМ.

С целью подтверждения этого предположения триботехнические испытания осуществляли на машине трения СМТ-1, по схеме “вал — частичный вкладыш”. Тела пары трения изготавливали из стали 45: шероховатость поверхности $R_a = 0,64 \div 0,35$ мкм (вал) и $1,40 \div 1,50$ мкм (вкладыш). В качестве смазочной среды использовали вазелиновое масло (ВМ, ГОСТ 3164—72), в которое вводили ЖКСХ, имеющее жидкокристаллическую фазу при комнатной температуре и сохраняющее ее до $345\text{--}359 \text{ К}$ (ТУ-6-09-06-1065-82). Концентрацию ЖКСХ в ВМ варьировали от 0,5 до 100 мас.%. Исследование СМ проводили при скорости скольжения $v = 0,5 \text{ м/с}$ и нагрузке $p = 3,5 \text{ МПа}$.

Время, через которое наступает установившийся режим трения в паре, определяли путем нахождения точки перегиба на экспериментальных временных зависимостях коэф-