

Член-корреспондент АН СССР Е. М. САВИЦКИЙ,
Г. С. БУРХАНОВ, И. М. ЗАЛВИН

**ЭФФЕКТ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ
В СПЛАВАХ МАРГАНЕЦ — МЕДЬ**

Сплавы системы марганец — медь характеризуются комплексом особых физических свойств: большая демпфирующая способность, антиферромагнетизм, высокие электросопротивление и твердость и т. д. (1). В настоящей работе описывается еще одно интересное свойство, обнаруженное у сплавов марганец — медь, которое известно как «эффект механической памяти». Этот эффект заключается в том, что материал, принявший определенную форму в результате пластической деформации, при нагреве выше критической температуры восстанавливает исходную форму. Например, проволока, свернутая в спираль, при нагреве вновь выпрямляется. Это уникальное свойство может найти применение для различных технических целей. «Запоминание формы» обнаружено у некоторых полиморфных соединений (NiTi, AuCd, Cu—Al—Ni и др.) и твердых растворов с мартенситным превращением (In—Ti и др.) (2-4). Полная теория, удовлетворительно объясняющая это явление в металлах, сплавах и соединениях, не

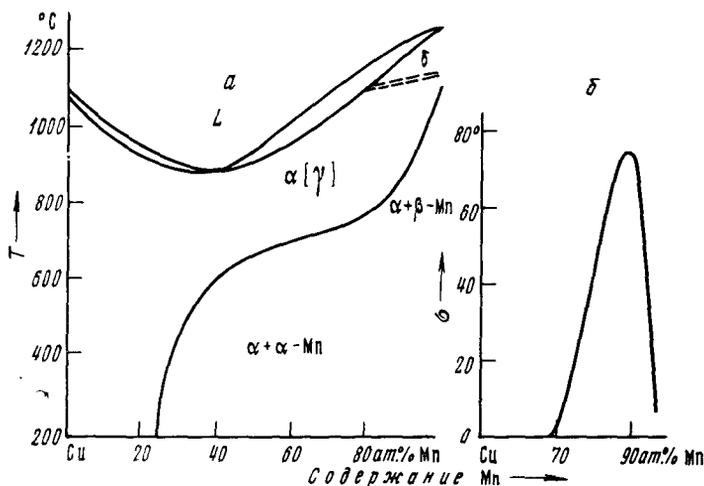


Рис. 1. Диаграмма состояния (а) и изменение эффекта механической памяти (б) в закаленных сплавах марганец — медь в зависимости от состава (σ — угол изгиба при нагреве)

установлена. Предполагается, что эффект связан с мартенситными превращениями в материалах и пластической деформацией в мартенситной структуре путем двойникования.

Индукционной плавкой в атмосфере аргона были приготовлены сплавы марганца с содержанием меди 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 вес.%. Слитки разрезали на пластины, которые прокатывали при 800—900°С до толщины 0,25 мм. Полученную ленту из сплавов разного состава подвергали термической обработке: закалке из области γ -твердого раствора и последующему

отжигу закаленных образцов при 620° в течение 30 час. Исследование эффекта механической памяти проводилось на закаленных и отожженных образцах. Ленту изгибали на угол 90° при комнатной температуре или температуре жидкого азота. При последующем нагреве до критиче-

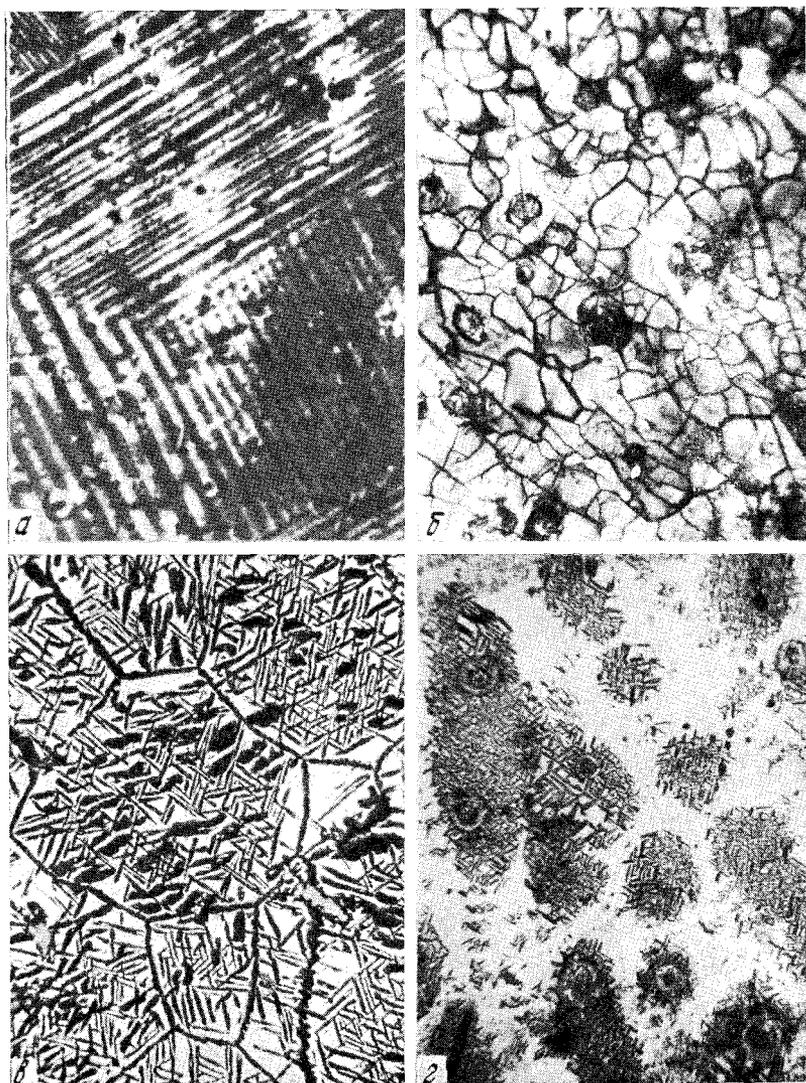


Рис. 2. Микроструктура сплавов Mn — 10% Cu и Mn — 35% Cu после закалки и отжига. *а* — Mn — 10% Cu, закалка с 950° C (мартенситная фаза), *б* — Mn — 35% Cu, закалка с 900° C (γ -твердый раствор), *в* — Mn — 10% Cu, отжиг при 620° C, $t = 30$ час. (α -Mn + γ -твердый раствор), *г* — Mn — 35% Cu отжиг при 620° C, $t = 30$ час. (α -Mn + γ -твердый раствор); 200 \times

ской температуры наблюдалось восстановление формы ленты. Степень восстановления характеризовалась углом изгиба.

Опыты показали, что степень восстановления формы зависит от состава, структуры сплавов и температуры пластической деформации. Закалка и низкая температура деформации (-196°) способствовали максимальному проявлению эффекта. На лентах, полученных горячей прокаткой без последующей термообработки, восстановление формы наблюдалось

в меньшей степени; на отожженных лентах возврата формы вообще не было.

Зависимость степени восстановления формы ленты (по углу изгиба σ) от состава для закаленных образцов, деформированных при -196° , приведена на рис. 1. В результате закалки сплавов марганец — медь из области γ -твердого раствора образуется метастабильная мартенситная фаза с гранцентрированной тетрагональной решеткой (рис. 2). Ее количество в структуре определяется содержанием меди, которая, как следует из диаграммы состояния, стабилизирует высокотемпературную фазу с г.ц.к.-решеткой. Максимальное количество метастабильной фазы (практически 100%) соответствует содержанию меди 10%. Этому составу после закалки отвечает максимальное проявление эффекта механической памяти.

С дальнейшим увеличением содержания меди количество фазы на основе меди в закаленных сплавах возрастает, а количество мартенситной фазы уменьшается. В соответствии с таким изменением структуры уменьшается и эффект механической памяти. У чистого марганца эффект также уменьшается вследствие уменьшения содержания мартенситной фазы: γ -фаза практически полностью переходит в низкотемпературную α -фазу. В отожженных сплавах с двухфазной структурой (α -Mn + γ -твердый раствор), где мартенситная фаза отсутствует, эффект памяти не наблюдается.

Таким образом, эффект механической памяти в сплавах марганец — медь связан с мартенситным превращением. Мартенситная метастабильная фаза в сплавах марганец — медь характеризуется наличием легкоподвижных упругих двойников. Движение границ двойников под действием небольших напряжений приводит к макроскопической деформации без видимых следов скольжения.

Нагрев выше температуры обратного перехода мартенситной фазы приводит к уничтожению двойниковой структуры и восстановлению формы образцов. Исследование температурной зависимости степени восстановления формы ленты сплава Mn — 10% Cu показало, что наибольшее восстановление формы происходит при нагреве в температурном интервале $100-170^\circ$, где сильно уменьшается тетрагональность решетки мартенситной фазы при ее превращении в фазу с кубической решеткой.

Институт металлургии им. А. А. Байкова
Академии наук СССР
Москва

Поступило
22 XII 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Е. М. Савицкий, Влияние температуры на механические свойства металлов и сплавов, Изд. АН СССР, 1957. ² F. E. Wang, W. I. Buehler, S. I. Pickart, J. Appl. Phys., 36, 10, 3232 (1965). ³ K. Otsuka, K. Shimizu, Scripta Metallurgica, 4, 6, 469 (1970). ⁴ A. Nagasawa, J. Phys. Soc. Japan, 30, 4, 1200 (1971).