

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИОННО-СИЛОВОГО ПОВЕДЕНИЯ СПИРАЛЕЙ ИЗ СПЛАВА CuZn18Al7 В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ФОРМЫ

Затульский Г.З., ¹Вьюненко Ю.Н., ²Носковец А.А.

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАНУ, г. Киев, Украина

¹ООО «Оптимикст Лтд», г. Санкт-Петербург, Россия

²ООО «Стелла», г. Санкт-Петербург, Россия

Спирали (рис.1), изготовленные из сплава CuZn18Al7, обладают замечательными деформационными свойствами. Высота спиральной детали может меняться во время нагрева от комнатной температуры до 390К почти на 140% [1, 2]. Однако, разрушение таких спиральных конструкций происходит при сравнительно малых нагрузках. Изготовленные из проволоки диаметром 3 мм образцы разрушались при нагреве под нагрузкой ~30Н. Отдельные спирали выдерживали реализацию эффекта памяти формы при больших нагрузках, до ~45Н.

Несколько иная ситуация наблюдается в условиях монотонного нарастания силового воздействия на образец в процессе формовосстановления с трансформацией кристаллической решетки при нагреве. С целью реализации указанных условий было изготовлено устройство, схема которого приведена на рисунке 2.

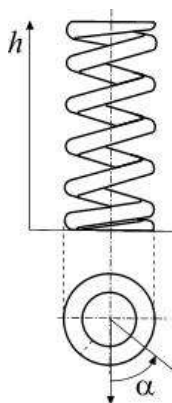


Рисунок 1 – Спираль из сплава CuZnAl

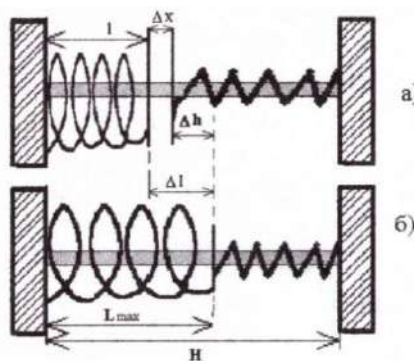


Рисунок 2 – Схема взаимодействия спирали с ЭПФ и упругого контртела в виде спиральной пружины

Спираль из сплава CuZnAl и упругая пружина размещены на одном направляющем стержне между двумя опорными стенками. В низкотемпературном состоянии (рис.2,а) и спираль, и упругая пружина находятся в свободном состоянии. Между ними существует зазор Δx . Во время нагрева в термостате в результате ЭПФ спираль начинает увеличиваться в длине. Первоначально этот процесс идет беспрепятственно. Затем спираль вступает во взаимодействие с пружиной и сжимает ее в условиях нарастающего сопротивления (рис. 2,б). В таблице 1 приведены условия испытания спирали в шести термоциклах.

Предполагали, что сила взаимодействия спирали и пружины будет определена расстоянием между опорными стенками H . Однако, оказалось, что размер спирали в низкотемпературном состоянии зависит от уровня силового взаимодействия с пружиной в высокотемпературном состоянии. Деформации ориентированного превращения, зависящие от этого взаимодействия, заметно изменяли низкотемпературные геометрические параметры спирали. В первом термоцикле силовое взаимодействие в 38Н привело к тому, что длина спирали l в низкотемпературном состоянии увеличилась на 3 мм. Уменьшение H во втором термоцикле привело к возрастанию силы взаимодействия с пружиной в высокотемпературном состоянии до 64Н и последующему уменьшению l на 4 мм. Это привело к уменьшению силового взаимодействия спирали и пружины (58Н) во время третьего нагрева. Но этого оказалось достаточно для сокращения l еще на 1 мм.

Уменьшение H в четвертом термоцикле до 190 мм привело к значительному возрастанию силы взаимодействия в высокотемпературном состоянии (до 73,5Н). На рисунке 3, а показаны температурная зависимость длины спирали (кривая 1) и силы взаимодействия с пружиной (кривая 2) от температуры. На рисунке хорошо видно, что с нарастанием сопротивления пружины замедляется удлинение спирали. Значительные нагрузки в высокотемпературном состоянии стимулировали сокращения низкотемпературной длины спирали еще на 3 мм.

Таблица 1 – Условия испытания спирали в шести термоциклах

Номер термоцикла (длина стержня)	H (мм)	Длина спирали		Изменение длины спирали	Δx , мм	Удлинение спирали, мм	Сжатие пружины, мм	L_{max} , мм	Нагрузка на спираль, Н
		До термоцикла	После термоцикла						
1	200	71	74	+3	28	37	9	108	38
2	195	74	70	-4	20	35	15	109	64
3	195	70	69	-1	24	37,5	13,5	107,5	58
4	190	69	66	-3	19	36	17	106	73,5
5	190	66	(66)	(0)	23	41,5	12,5	101,5	54
6	190	(66)	-	-	23	32,5	9,5	98,5	33

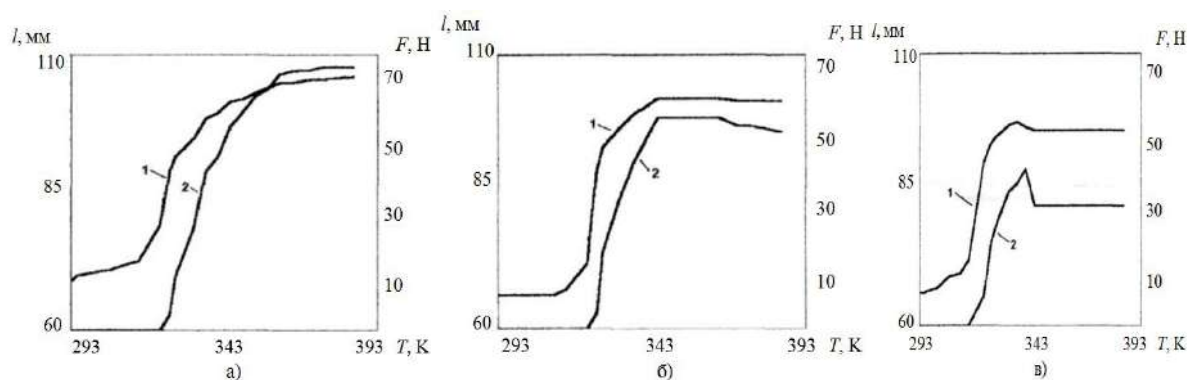


Рисунок 3 – Эволюция деформационно-силовых характеристик CuZnAl-спирали в 4-м (а), 5-м (б) и 6-м (в) термоциклах

В следующем термоцикле изменение размеров спирали началось при температуре 313K (рис. 3,б). Удлинение спирали первоначально с ростом температуры шло немного быстрее по сравнению с 4-м термоциклом. Но, достигнув силы взаимодействия ~32Н, спираль начинает изменяться медленнее. В интервале температур 337-345K прирост длины спирали с ростом температуры совпадает с тем, что происходило в предыдущем цикле.

При дальнейшем повышении температуры изменение размеров спирали останавливается, а после 365K расстояние между крайними витками сократилось. После охлаждения было обнаружено разрушение одного витка спирали, которое, видимо, стало развиваться после достижения температуры 345K. Отметим, что даже в условиях разрушения спираль развивала усилие сжатия до 54Н.

В шестом термоцикле наблюдали за коллективным поведением двух кусков спирали (рис.3, в). Деформационные процессы начались при более низких температурах. При 341K отмечен максимум силы взаимодействия с пружиной (приблизительно 43Н). В этот момент произошло разрушение еще одного витка спирали. Отметим, что претерпевающий разрушение в двух витках силовой элемент развивал усилие в 33Н.

Таким образом, в условиях плавно нарастающего силового воздействия спиральный образец может выдерживать нагрузки, превышающие 70Н. Однако, пока это зафиксировано в единичных случаях.

Многokrатное срабатывание спирального силового элемента возможно при ограниченных нагрузках. На рисунке 4, а показано развитие деформационного процесса во время трансформации кристаллической решетки при нагреве спирали в первом термоцикле при нагрузке 8Н, а на рисунке 4, б показано, как меняются геометрические характеристики в 1109 термоцикле с силовым воздействием ~10Н. Термоциклирование проводили в течение ~20лет с различной интенсивностью (до 12 термоциклов в сутки).

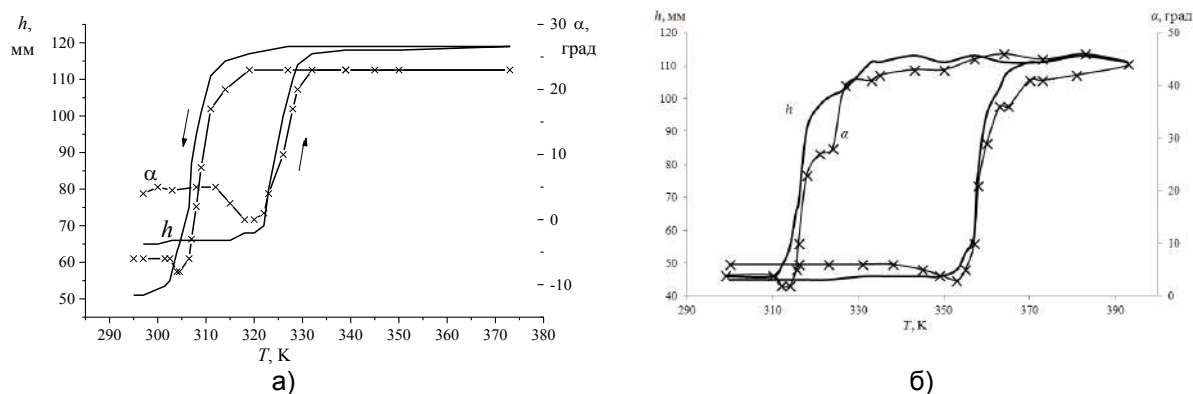


Рисунок 4 – Деформационные процессы в 1 термоцикле при $F=8,0Н$ (а) и во время 1109 нагрева при $F=10,0Н$ (б)

Выводы

Полученные результаты показывают возможность длительного использования механизмов из сплава CuZn18Al7 при ограниченных нагрузках. Деформационные процессы в интервале температур прямого превращения, когда материал находится в состоянии пластичности превращения, зависят от степени силового взаимодействия с контртелом в высокотемпературной фазе. Разрушение спиральных образцов при термоциклировании под нагрузкой, как правило, происходит во время формоизменения, вызванного ЭПФ.

Список литературы:

1. Вьюненко Ю.Н., Затульский Г.З. Деформационное поведение спирали из сплава CuZnAl вблизи температур мартенситных превращений // Сб. материалов XVII Петербургских Чтений по проблемам прочности (10-12 апреля 2007 г., Санкт-Петербург), 2007.– Ч.2.- С.237-240
2. Журбенко П.Н., Затульский Г.З., Носковец А.А., Вьюненко Ю.Н. Особенности деформационного поведения спиралей из сплава CuZn18Al7 в процессе развития эффекта памяти формы // Сб. материалов XXI Петербургских Чтений по проблемам прочности (15-17 апреля 2014 г., Санкт-Петербург), 2014.– С.152-154