

УДК 669.018.26

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Академик С. Т. КИШКИН, А. А. КЛЫПИН

ЭФФЕКТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЛЗУЧЕСТЬ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

За всю историю изучения свойств металлических материалов их поведение под нагрузкой отражало совместное влияние только двух внешних факторов: силового и температурного полей*. Естественно ожидать, что из числа внешних физических факторов не только напряжения и температура могут активно влиять на процесс пластической деформации такой сложной системы, какой является кристаллическая решетка металлов со своими электрическим и магнитным полями. Вполне закономерен вопрос о влиянии внешних магнитных и электрических полей на поведение металлов под нагрузкой. Однако легко поставить эксперимент, чем теоретически предвидеть последствия такого вмешательства.

Такая постановка задачи оправдывается тем, что многие свойства металлов структурно чувствительны и количественно не могут быть «запросто» описаны теорией. Согласно теории, пластичность ион-электронной решетки металлов обусловлена наличием коллективизированных электронов, а механизмом пластической деформации служит то или иное перемещение разного вида дислокаций, обладающих электрическим зарядом и взаимодействующих между собой, а также с включениями и примесными атомами, которые также могут иметь определенный заряд. Такие представления качественно оправдывают попытку открыть эффект влияния магнитного поля, электрического поля и электрического тока на поведение металлов в пластической области, когда под действием внешней нагрузки дислокации вынуждены перемещаться по кристаллической решетке.

О. А. Троицкий и А. Т. Розно⁽¹⁾ открыли явление скачкообразной деформации металлов под действием импульсов электрического тока от 600 до 4800 а продолжительностью 10^{-4} сек., объяснив его влиянием электронов на движение дислокаций. В Японии авторы работы⁽²⁾ показали, что переменное магнитное поле облегчает пластическую деформацию, и связали этот эффект с особенностями ферромагнитных материалов.

Наши многолетние исследования показали, что и магнитное поле, и электрическое поле, и электрический ток могут активно влиять на дислокационный процесс пластической деформации как магнитных, так и немагнитных материалов, выражая собой универсальный закон взаимодействия внешних полей с электромагнитным полем реальной кристаллической решетки в области пластической деформации.

Изучение влияния магнитного и электрического полей на ползучесть производилось на установках, в которых за счет формы нагревателя наведенные магнитные поля были незначительны и их напряженность и направление можно было изменять заранее или в процессе испытания.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии влияния на ползучесть магнитных полей напряженностью около 50 Гс, электрических полей напряженностью менее 10 в/мм и тока, проходящего по образцу, при его плотности 0,15 а/мм². В табл. 1 приводятся средние значения эффектов.

* Не принимая во внимание действие агрессивных сред.

Побочный эффект влияния тока на температуру образца в данных опытах весьма мал — температура повышалась на величину менее одного градуса.

Сравнение кривых ползучести, полученных для одинаковых условий испытания, но без воздействия и с воздействием электротока и внешних полей показывают, что, во-первых, начальный участок кривой ползучести

в случае воздействия характеризуется большей величиной пластической деформации; во-вторых, скорость равномерной деформации при воздействии больше, чем без воздействия; и, наконец, время до разрушения в ряде случаев уменьшается при влиянии указанных факторов. Следует подчеркнуть, что эффекты влияния магнитного и электрического полей особенно сильно проявляются в самом начале их воздействия (рис. 1).

Эффективность электрического и магнитного воздействия зависит от напряженности полей и плотности проходящего тока: с увеличением этих параметров скорость ползучести возрастает. Имеет также значение ориентация полей по отношению к силовому полю.

Рис. 1. Типичные кривые ползучести без воздействия (1) и с воздействием магнитного или электрического полей (2) при их включении в точке *a*

Так, не было замечено влияния поперечного магнитного поля, а пропускание тока поперек рабочей части образца оказало другое влияние, чем совместное влияние поперечного магнитного поля и поперечного тока, когда вдоль образца возникает сила Лоренца, создающая продольное электрическое поле. Воздействие переменных магнитных и электрических полей, а также пропускание переменного тока частотой 50 Гц показало еще большее увеличение скорости равномерной ползучести некоторых мате-

Таблица 1

Скорости ползучести до и после начала воздействия магнитного и электрического полей, а также электрического тока

Металл или сплав	Условия испытаний					Скорость ползучести, %/час		
	T, °C	σ , кг/мм ²	B, Гс	E, в/мм	i , а/мм ²	до воздействия	после воздействия	
							через 5 мин.	через 30 мин.
Кобальт	500	20	—	10	—	0,1	0,96	0,1
	500	20	—	—	0,1	0,06	2,2	0,18
	800	8	50	—	—	0,24	1,0	0,3
	800	8	50 *	—	—	0,24	0,24	2,0
	800	5	—	—	0,1 *	0,18	0,70	0,5
	800	3	50 **	—	0,02 **	0,12	1,2	0,5
Медь	400	6	50	—	—	0,55	1,5	0,55
	400	6	—	—	0,15	0,55	1,8	0,6
	400	4	—	10	—	0,05	0,45	0,06
	400	4	—	10 *	—	0,05	0,30	0,15
Никель	800	3	50	—	—	0,06	0,5	0,5
	800	3	—	—	0,15	0,06	1,5	0,01
Углеродистая сталь	500	20	50	—	—	0,5	1,2	1,2
	500	20	—	—	0,15	0,5	3,6	1,2
Алюминиевый сплав	300	2	50	—	—	0,03	0,15	0,15
	300	2	—	—	0,15	0,03	1,5	0,01
Титан	600	6	50	—	—	0,15	0,5	0,15
	600	6	—	—	0,15	0,05	1,2	0,30

П р и м е ч а н и е. Цифры с одной звездочкой показывают результаты воздействия переменных полей (50 Гц). Цифры с двумя звездочками показывают результаты одновременного воздействия поперечного магнитного поля и электрического тока поперек образца (проявление эффекта Холла)

риалов и более медленное ее затухание, чем при действии постоянных полей.

Предварительное (до приложения нагрузки) воздействие электрическими и магнитными полями на материал не дало ощутимого эффекта ускорения ползучести. Предварительное воздействие на жаропрочный никелевый сплав, находящийся в напряженном состоянии, но в упругой области (при комнатной температуре), не привело к изменению времени до разрушения при дальнейших испытаниях. Перерыв в испытаниях на ползучесть и воздействие электротоком и магнитным полем во время этого перерыва не вызвало в дальнейшем ускорения ползучести.

Таким образом, заметное проявление эффекта электрического и магнитного воздействия происходит лишь при наличии пластической деформации.

Ферромагнитные кобальт и сталь в такой же мере склонны к ускорению ползучести в момент приложения магнитного поля, как диамагнитная медь и парамагнитные титан и алюминиевый сплав. Ускорение ползучести в момент начала воздействия электрического поля (и электрического тока), возможно, связано в какой-то мере с электрострикционным эффектом, а растягивание этого эффекта по времени, вероятно, зависит от перемещения дислокации в решетке металла.

Величина деформации за начальный период, продолжающийся в принятых условиях испытаний до 1,5 час., зависит от уровня силового воздействия и может колебаться от 0,05 до 0,9% и даже выше. Было замечено, что особенно интенсивная деформация протекает при первом воздействии, а каждое последующее создает все меньшую деформацию. Однако выдержка без воздействия внешних полей восстанавливает первоначальную способность к ползучести.

Дальнейшее изучение эффекта воздействия магнитного и электрического полей с распространением его на широкий круг материалов и условий испытания при изучении тонкой структуры позволит установить природу явления и возможности для улучшения свойств и технологичности конструкционных материалов.

Поступило
22 VI 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ О. А. Троицкий, А. Т. Розно, ФТТ, 12, в. 1, 203 (1970). ² S. Hayashi, S. Takahashi, M. Yamamoto, J. Phys. Soc. Japan, 30, 2, 381 (1971).