

Д. С. КАМЕНЕЦКАЯ, И. Б. ПИЛЕЦКАЯ, В. И. ШИРЯЕВ

О ВЛИЯНИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПЛАСТИЧЕСКУЮ ДЕФОРМАЦИЮ ЖЕЛЕЗА

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 18 II 1971)

Известно, что примеси, в первую очередь, внедрения и дислокации концентрируются на границах доменов, затрудняя их перемещение (¹). Экспериментально показано также, что в процессе намагничивания происходит перемещение отдельных дислокаций (²). Сопоставление указанных фактов позволило предположить, что пластическая деформация железа в магнитном поле достаточной напряженности будет облегчена благодаря устранению границ доменов, закрепляющих дислокации и тем тормозящих их движение.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния постоянного магнитного поля на процесс пластической деформации железа (¹⁻⁶). Сопоставлено поведение железа двух степеней чистоты: высокой ($Fe_{в.ч.}$) и технической ($Fe_{т.ч.}$). $Fe_{т.ч.}$ получено плавлением в вакууме карбонильного железа и содержало $\sim 10^{-3}$ вес. % примесей внедрения. $Fe_{в.ч.}$ получено из $Fe_{т.ч.}$ очисткой тремя проходами жидкой зоны в установке для электроннолучевой бестигельной зонной плавки и рафинировкой в водороде в течение 300 часов. $Fe_{в.ч.}$ содержало $\sim 10^{-7}$ вес. % примесей внедрения (³).

Проволочные образцы диаметром 0,8 мм и длиной 25—40 мм испытывались при комнатной температуре при постоянной скорости деформации ($2 \cdot 10^{-4}$ сек⁻¹ на машине «Инстрон») и при постоянной нагрузке. Магнитное поле создавалось электромагнитом с расстоянием между полюсами 10 мм. Напряженность поля регулировалась величиной постоянного тока.

а) Деформация с постоянной скоростью. Испытания на растяжение показали, что при скорости деформации $2 \cdot 10^{-4}$ сек⁻¹ магнитное поле с напряженностью 860 э увеличивает удлинение $Fe_{т.ч.}$ в 1,5—2 раза (табл. 1). Разница в напряжениях, соответствующих данной деформации, в поле и без поля находится в пределах разброса; величина удлинения $Fe_{в.ч.}$ во всех случаях при растяжении в магнитном поле больше, чем без поля, причем это различие значительно превосходит разброс значений этой характеристики. Свойства $Fe_{т.ч.}$ при растяжении в магнитном поле практически не изменились по сравнению с его свойствами вне поля (табл. 1).

б) Деформация при постоянной нагрузке. Свойства образцов, испытанных на ползучесть, при испытании на растяжение обнаруживают большой разброс: $\delta_s = 4,6-5,6$ кГ/мм², $\delta_n = 9,8-10,6-11,1$ кГ/мм²; $\delta = 15-22-27\%$. В связи с этим опыты проводились следующим образом. Каждая проволочка общей длиной ~ 150 мм разрезалась на 5 частей; одна испытывалась на растяжение, две — на ползучесть без поля и две на ползучесть в магнитном поле. Сравнивались образцы, отрезанные от одной проволочки*. Оказалось, что магнитное поле заметно ускоряет процесс ползучести; величина эффекта зависит от степени чистоты железа, нагрузки и напряженности магнитного поля.

* Различия в свойствах связаны с тем, что прутки, очищенные зонным плавлением, по длине имеют различную степень чистоты; проволока, полученная из этих прутков, по длине неоднородна.

Ниже приведены результаты, полученные при деформации железа в магнитном поле напряженностью $H = 860$ э.

Ползучесть $Fe_{в.ч.}$ ускоряется в магнитном поле при нагрузках, превышающих предел текучести, вплоть до нагрузок, близких к пределу прочности (рис. 1а). Этот эффект четко проявлялся на II и III стадиях ползучести.

Во всех случаях наблюдалось ускорение ползучести под действием магнитного поля и в большинстве случаев — увеличение общего удлинения. Так, например, при нагрузке $\sigma = 7,8$ кГ/мм² скорость ползучести на II стадии без магнитного поля $0,9 \cdot 10^{-5}$ сек⁻¹, в магнитном поле $2,3 \cdot 10^{-5}$ сек⁻¹.

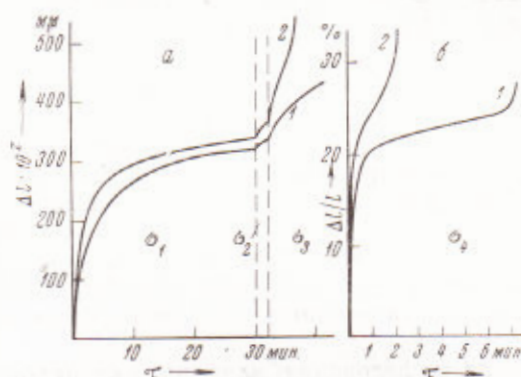


Рис. 1. Кривые ползучести железа высокой степени чистоты (а) и технической чистоты (б): 1 — без поля, 2 — в магнитном поле $H = 860$ э. $\sigma_1 = 7,83$ кГ/мм²; $\sigma_2 = 8,49$ кГ/мм²; $\sigma_3 = 9,15$ кГ/мм²; $\sigma_4 = 29,6$ кГ/мм².

При указанной нагрузке образцы чистого железа разрушались в магнитном поле через 25—100 мин., без поля — больше чем через 600 мин. Увеличение нагрузки приводит к увеличению действия поля на пластическую деформацию (рис. 1а).

Ползучесть $Fe_{т.ч.}$ ускоряется в магнитном поле только при нагрузках, близких к пределу прочности этого сорта железа. Это согласуется с результатами опытов на растяжение $Fe_{т.ч.}$, согласно которым магнитное поле почти не влияет на удлинение, так как сказывается лишь к концу деформации

Таблица 1

Механические свойства железа (средние величины)

Чистота железа	σ_S , кГ/мм ²		σ_B , кГ/мм ²		δ , %	
	без поля	в поле	без поля	в поле	без поля	в поле
Техническая	14	14,7	30	30	30,5	31,2
Высокая	4,6	5,8	17,6	18,7	$14,1 \pm 1,5$	$23,6 \pm 3$

непосредственно перед разрушением. При $\sigma = 22$ кГ/мм² действие поля не обнаружено, деформация очень быстро затухает. При $\sigma = 29,66$ кГ/мм² ($\sigma_B = 30$ кГ/мм², табл. 1) установлено ускоряющее действие магнитного поля на ползучесть $Fe_{т.ч.}$ на всех стадиях ползучести; время до разрушения сокращается примерно в два раза (рис. 1б).

Таким образом, ферромагнетизм приводит к ряду эффектов, связанных с взаимодействием дислокаций с магнитными доменами. Некоторые из этих эффектов описаны в литературе (^{1, 2, 4, 5}).

В настоящей работе показано, что наложение постоянного магнитного поля приводит к ускорению деформации железа при постоянной нагрузке и увеличению удлинения при постоянной скорости деформации. Это эффект может быть объяснен тем, что магнитное поле достаточной напряженности практически устраняет границы доменов, служащие местом скопления и закрепления дислокации. Эффект выражен ярче в $Fe_{в.ч.}$ в связи с тем, что в таком железе примеси не блокируют дислокации, поэтому роль границ до-

менов более существенна. В Fe_{74} блокирующее действие атомов примеси, по-видимому, перекрывает действие границ доменов и лишь при очень больших нагрузках, близких к пределу прочности, обнаруживается влияние магнитного поля на процесс пластической деформации.

Авторы выражают благодарность И. Л. Аптекарю за ценные советы при проведении работы.

Центральный научно-исследовательский
институт черной металлургии
им. И. П. Бардина
Москва

Поступило
11 II 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. С. Каменецкая, И. Б. Пилецкая, В. И. Ширяев, ДАН, 190, № 6, 1333 (1970). ² Л. М. Дедух, В. И. Никитенко, Изв. АН СССР, сер. физ., 34, № 6, 1235 (1970). ³ Л. А. Чеботкевич, А. А. Урусовская и др., ФТТ, 9, 1093 (1967). ⁴ В. Я. Кравченко, Письма ЖЭТФ, 12, в. 11, 551 (1970). ⁵ S. Hayashi, S. Takahashi, M. Yamamoto, J. Phys. Soc. Japan, 25, № 3, 910 (1968).