

Б. И. БЕРЕСНЕВ, Ю. Н. РЯБИННИН, Е. Д. МАРТЫНОВ

ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ
НА ТЕКУЧЕСТЬ ЖЕЛЕЗА И ЕГО СПЛАВОВ

(Представлено академиком М. А. Садовским 27 X 1969)

Известно, что гидростатическое давление влияет на механические свойства твердых тел во время их пластической деформации (¹⁻⁴), может быть сильно повышена пластичность, а в некоторых случаях и прочность деформируемых веществ. Для ряда металлических материалов эти улучшенные деформацией под давлением свойства сохраняются не только после снятия давления, но даже и после отжига. В настоящее время широко изучается физическая природа указанных эффектов, а сами они нашли воплощение в ряде новых высокоэффективных технологических процессов.

Следует отметить, что в то время как изучением пластической деформации под давлением исследователи занимались достаточно много, вопрос о непосредственном влиянии одного только гидростатического обжатия на остаточные механические свойства твердых тел (за исключением обжатия порошковых материалов) почти никто не изучал; можно указать только на

Таблица 1

Материал	P, кбар	σ_B , кг/мм ²	σ_T^* , кг/мм ²	δ , %	$F_{в. т.}$ кг	$l_{п. т.}$ мм
Армко-железо, отжиг при 750°	0,001	35,5	26,8—24	26,4	13,5	0,8
	6	35,0	23,4—22,4	28,8	5	0,5
	12	35,0	22,0—19,6	26,0	0	0,4
	18	35,4	20,7—19,6	28,0	0	0,2
Армко-железо, горяче- катанное	0,001	39,3	31,0—28,4	29,2	13	0,9
	6	37,8	30,2—28,2	30,0	10	0,9
	12	39,0	29,6—28,5	28,8	4	0,8
	18	38,3	28,0—27,3	28,0	2	0,8
Сталь АВ-12	0,001	46,5	32,7—34,4	23,0	8,5	0,7
	6	46,2	33,1—31,7	22,2	6,0	0,65
	12	46,2	29,6	24,6	0	0,3
	18	46,5	25,8	25,4	0	0
Сталь 3	0,001	48,2	32,8—31,5	20,8	5	0,4
	6	48,3	32,0—33,1	20,8	0	0,35
	12	48,3	31,5	20,8	0	0,3
	18	48,5	30,6	22	0	0,25
Сталь 45	0,001	69,0	41,2—40,2	13,6	0	0,25
	6	68,8	41	28,4	0	0,20
	12	69,2	41	16,8	5	0,15
	18	69,2	40,8	15,2	2	0,15
Сталь У8	0,001	82,5	41,1	10,4	—	—
	6	83,0	40,7	10,4	—	—
	12	82,5	41	10,4	—	—
	18	82,5	40,1	12,8	—	—

* Верхний и нижний пределы текучести.

работы австралийских ученых (5-7). Ф. П. Буллен с сотрудниками обнаружили, что обжатие при 10 кбар приводит к практически полному исчезновению зуба и площадки текучести у чистого железа и к повышению относительного удлинения при растяжении у хрома до 60% при измерении, проведенном уже при атмосферном давлении.

Полагая, что этот вопрос существен для понимания того, как влияют высокие давления на изменение механических свойств, мы провели опыты по обжатию под гидростатическим давлением многих металлов, различающихся по природе и состоянию. В этой публикации будут изложены результаты влияния гидростатического давления до 18 кбар на текучесть железа и его сплавов.

Работа заключалась в следующем. Из горячекатаных и отожженных (при 750° в течение 2 час.) прутков изготовлялись разрывные образцы с диаметром цилиндрической части 2,5 мм и расчетной длиной 25 мм. Образцы в течение 15 мин. обжимались гидростатическим давлением (в качестве жидкости использовалась смесь глицерина с этиленгликолем), после чего разрывались при атмосферном давлении на стандартной машине. Скорость хода траверсы разрывной машины составляла 5 мм/мин. Время между окончанием обдавливания и испытанием на растяжение не превышало 5—10 мин. Обмеры образцов (с точностью до 0,005 мм) до и после обжатия показали, что гидростатическое давление не вызывало в них заметного изменения геометрии. Образцы, прошедшие указанную обработку, изготовлялись из железа (железо-армко с содержанием углерода 0,07%) и его углеродистых сплавов. В качестве сплавов использовались промышленные стали, отличавшиеся в основном содержанием углерода: сталь АВ-12 (~0,12% углерода), сталь 3 (~0,3% углерода), сталь 45 (~0,45% углерода), сталь У8 (~0,8% углерода).

Диаграммы растяжения позволяли вычислить предел текучести σ_T , предел прочности σ_B и относительное удлинение δ , а в том случае, когда материал имел площадку или зуб текучести* можно было определить их размеры — длину площадки текучести $l_{п.т}$ и величину зуба текучести $F_{з.т}$. Эти данные для всех изученных материалов, обдавленных при различных давлениях, приведены в табл. 1, а две типичные диаграммы растяжения представлены на рис. 1. Полученные результаты свидетельствуют о том, что предварительное обдавливание образцов гидростатическим давлением сильно влияет на начальную часть диаграммы растяжения, но слабо отражается на полной пластичности изученных материалов (в частности на относительном удлинении δ), а также на пределе прочности σ_B . На рис. 1 показано, насколько сильное воздействие оказывает предварительное обжатие на величину предела текучести, зуба текучести и площадки текучести.

* Наличие зуба и площадки текучести характерно для малоуглеродистых сплавов железа (в нашем случае для сплавов с содержанием углерода менее 0,8%).

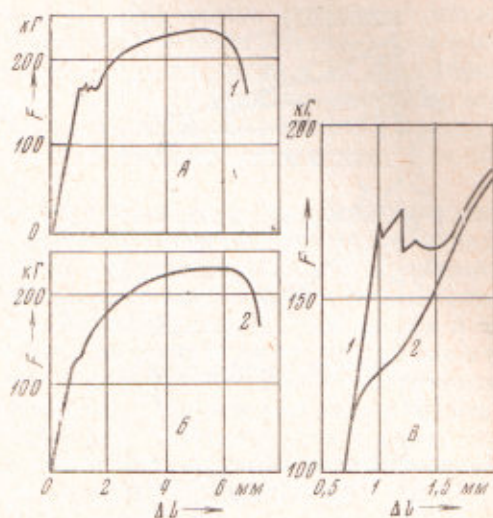


Рис. 1. Диаграммы растяжения стали АВ-12. А — образец не проходил обжатия; Б — образец перед растяжением был обжат гидростатическим давлением 18 кбар; В — совмещенные диаграммы растяжения указанных выше образцов

С увеличением давления обжатия у изученных нами сталей происходит постепенное уменьшение σ_T , $F_{з.т}$ *, $l_{п.т}$ (рис. 2). Величина падения этих характеристик зависит от химического состава сплавов. Эффект обжатия на предел текучести с увеличением содержания углерода уменьшается. Если у отожженного железа-армко после обжатия при 18 кбар он уменьшается с 26,8 до 20,7 кг/мм², то для стали У8 только с 41,1 до 40,1 кг/мм². Давление в 18 кбар достаточно, чтобы практически полностью устранить зуб теку-

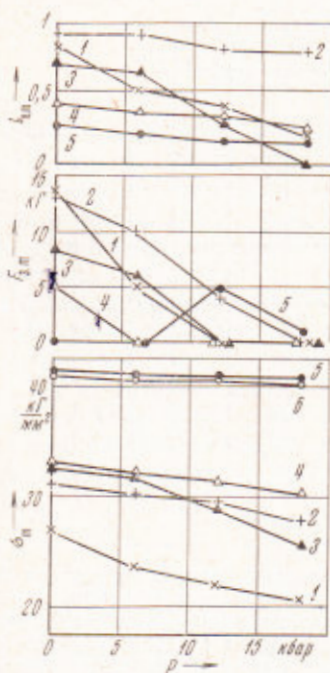


Рис. 2

Рис. 2. Изменение предела текучести σ_T , зуба текучести $F_{з.т}$ и площадки текучести $l_{п.т}$ у образцов, обжатых гидростатическим давлением P . 1 — железо-армко отожженное; 2 — железо-армко в состоянии поставки; 3 — сталь АВ-12; 4 — сталь 3; 5 — сталь 45; 6 — сталь У8

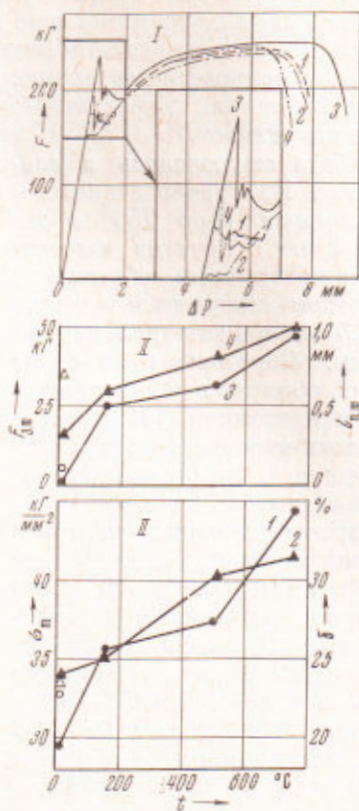


Рис. 3

Рис. 3. Восстановление механических свойств стали АВ-12 при отжиге (отжиг проводился 30 мин.) после обжатия гидростатическим давлением 10 кбар. I — диаграммы растяжения: 1 — до обжатия; 2 — после обжатия; 3 — после обжатия и отжига при температуре 750°; 4 — после обжатия, пластической деформации и отжига при температуре 750°. II — зависимость предела текучести σ_T (1), относительного удлинения δ (2), зуба текучести $F_{з.т}$ (3), площадки текучести $l_{п.т}$ (4) от температуры отжига t . Белыми значками отмечены величины характеристик исходного материала (до обжатия)

чести. Однако это состояние быстрее наступает для сплавов, имеющих первоначально меньшее значение $F_{з.т}$. Эффект давления на механические характеристики, по-видимому, сильно зависит и от состояния обдавливаемого материала. Так образцы, изготовленные из горячекатаных прутков армко-железа, менее чувствительны к действию давления, чем аналогичные образцы, изготовленные из отожженного металла.

В данной работе изучается также вопрос о восстановлении механических свойств стали АВ-12 при отжиге образцов после обжатия гидростатическим давлением 10 кбар (см. рис. 3). Из рис. 3 видно, как при повыше-

* Исключение составляет сталь 45, не имеющая до обжатия ярко выраженного зуба текучести.

нии температуры отжига возрастали механические характеристики, уменьшенные предварительным обдавливанием. Интересно, что σ_T , δ , $F_{з.т}$, $l_{п.т}$ становятся по величине намного больше значений этих характеристик у исходного необжатого давлением материала. Так, предел текучести стали АВ-12, обжатой давлением 10 кбар и отожженной при температуре 750°, составляют 44,5 кг/мм² против 32,7 кг/мм² у исходного металла, относительное удлинение δ соответственно 31,5 и 23%, величина зуба текучести $F_{з.т}$ 37 кг против 8,5 кг. Мы имели возможность сравнить столь значительное увеличение механических характеристик обжатой давлением и отожженной стали с аналогичными характеристиками для продеформированного под давлением и затем отожженного материала. При этом оказалось, что предварительная деформация под давлением также повышает механические характеристики в последующем отожженном металле, но в значительно меньшей степени. Так, например, при давлении в 10 кбар образец из стали АВ-12 был продеформирован на $\delta = 17\%$ и отожжен после этого при температуре 750° (рис. 3, 1, 4). После указанной обработки предел текучести σ_T составлял 37,5 кг/мм², относительное удлинение $\delta = 26\%$, $F_{з.т} = 35$ кг.

В настоящее время нет экспериментальных работ, вскрывающих физическую природу описанных выше эффектов влияния обжатия под давлением на механические свойства. Однако, исходя из общих представлений, можно указать на некоторые причины, могущие быть ответственными за указанное воздействие. Приведенные выше результаты, так же как и данные работ (5-7), свидетельствуют о сильном воздействии высокого давления на зуб текучести низкоуглеродистых сплавов железа. Известно, что резкий зуб текучести у этих материалов в обычных условиях обусловлен закреплением дислокаций растворенными атомами. Поэтому исчезновение зуба текучести у обдавленных металлов может быть вызвано разблокированием закрепленных дислокаций. Одной из причин, обуславливающих разблокирование дислокаций, как это было предположено Булленом (5-7), может быть, являются деформации на микропорах и частицах включений, происходящие в процессе гидростатического обжатия. Поэтому, может быть, при более высоких давлениях обдавливания раньше достигается состояние текучести. В некоторых случаях освобожденные давлением дислокации могут, по-видимому, действовать как новые источники размножения дислокаций.

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Академии наук СССР
Москва

Поступило
13 X 1969

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П. В. Бриджмен, Исследования больших пластических деформаций и разрыва, ИЛ, 1955. ² Б. И. Береснев, Л. Ф. Верещагин и др., Некоторые вопросы больших пластических деформаций металлов при высоких давлениях, Изд. АН СССР, 1960. ³ H. L. I. D. Pugh, Bulleid Memorial Lectures, University of Nottingham, 1965. ⁴ Б. И. Береснев, Е. Д. Мартынов и др., Пластичность и прочность твердых тел при высоких давлениях, «Наука», 1969. ⁵ F. Bullen, F. Henderson et al., Phil. Mag., 9, № 98, 285 (1964). ⁶ F. Bullen, F. Henderson et al., Phil. Mag., 9, № 101, 803 (1964). ⁷ F. Besagh, F. Bullen, Phil. Mag., 12, № 115, 41 (1965).