

**ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛЕЙ 40Х, 40ХНМА
И 20ХНЗА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ
ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ**

В.И.Беляев, В.Н.Ковалевский, П.И.Скоков

Для большинства сталей увеличение скорости деформирования сопровождается повышением прочностных характеристик. На некоторых сплавах, находящихся в метастабильном состоянии, отмечается обратное явление /1/. Объясняется это тем, что при уменьшении времени деформирования образца упрочняющая фаза не успевает выделиться. В процессе нагружения материал подвергается пластическому наклепу, причем в первую очередь деформируется более мягкая составляющая (аустенит, феррит).

При скоростях деформирования, значительно меньших скоростей импульсного нагружения, структура стали оказывает существенное влияние на прочностные характеристики. При импульсном нагружении структурное состояние металла практически мало влияет на сопротивление деформированию /2,3/.

Для выяснения влияния термической обработки при ударном нагружении (v до 8м/сек) легированных конструкционных сталей 40Х, 40ХНМА, 20ХНЗА проводилось динамическое растяжение образцов на специальной установке, в которой в качестве энергоносителя использовался порох.

Процесс деформирования записывался на шлейфовом осциллографе с использованием датчиков сопротивления типа ПБ-10-100.

В таблице I приведен химический состав сталей, подвергнутых растяжению с различной скоростью деформирования.

Пятикратные образцы диаметром 6 мм подвергались следующей термической обработке:

сталь 40Х:	а) закалка 850°; отпуск 500°; б) отжиг 840°;	00;
сталь 40ХНМА:	а) закалка 850°; отпуск 620°; б) отжиг 870°;	00;
сталь 20ХНЗА:	а) закалка 820°; отпуск 500°; б) отжиг 880°.	00.

На рис. 1,2 приведены зависимости прочностных характеристик стали 40X от скорости деформации. Общим для приведенных графиков является повышение прочностных свойств с увеличением скорости деформации.

$\sigma \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$, $S \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$

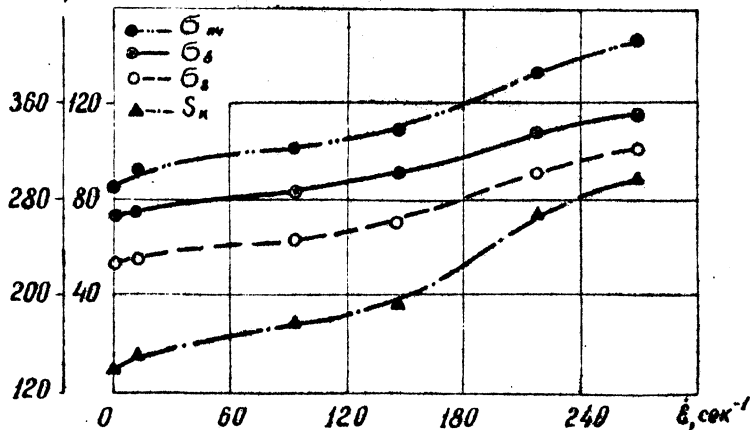


Рис. 1.
Изменение прочностных характеристик ($\sigma_{пл}$, σ_b , σ_s и S) отожженной стали 40X в зависимости от скорости деформации ($\dot{\epsilon}$).

$\sigma \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$, $S \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$

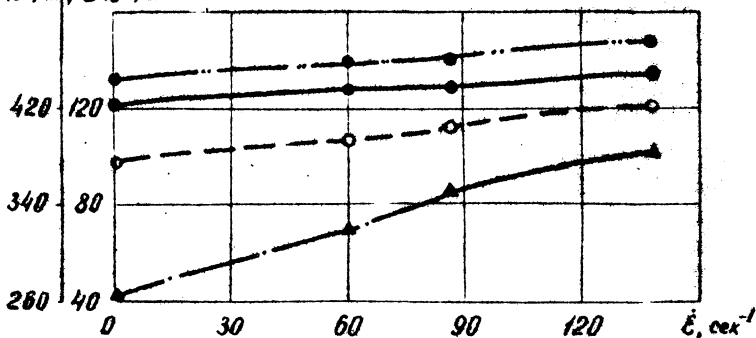


Рис. 2.
Изменение прочностных характеристик ($\sigma_{пл}$, σ_b , σ_s и S) улучшенной стали 40X в зависимости от скорости деформации ($\dot{\epsilon}$). Обозначения те же, что и на рис. 1.

Т а б л и ц а I

Химический состав исследованных сталей

Марка стали	C	Mn	Si	S	P	Ni	Mo	Cu	Cr
40X	0,39	0,67	0,30	0,016	0,010	0,25	-	0,20	0,95
40XНЗА	0,41	0,67	0,30	0,014	0,010	1,54	0,25	0,20	0,96
20XНЗА	0,22	0,55	0,32	0,012	0,010	2,95	-	0,20	0,87

Увеличение скорости деформации до $\dot{\epsilon} = 260$ I/сек приводит у стали 40X (отжиг, рис. 1) к росту временного сопротивления $\sigma_{\dot{\epsilon}}$ на 56%, истинного предела прочности $\sigma_{\text{плч}}$ (отношение максимального усилия к площади сечения образца в данный момент деформации) на 72%, предела текучести $\sigma_{\dot{\epsilon}}$ на 96% по сравнению со значениями этих же величин, полученных при статике.

Для этой же стали (улучшение, рис. 2) повышение $\dot{\epsilon}$ до 126 I/сек $\sigma_{\dot{\epsilon}}$ возрастает на 34,0%; $\sigma_{\text{плч}}$ - на 35,2%; $\sigma_{\dot{\epsilon}}$ на 50,0%.

Результаты испытаний показали преимущественный рост предела текучести $\sigma_{\dot{\epsilon}}$ по сравнению с истинным пределом прочности $\sigma_{\text{плч}}$ при увеличении скорости растяжения, что наглядно видно по изменению отношения $\sigma_{\dot{\epsilon}}/\sigma_{\text{плч}}$ с ростом скорости деформации для стали 40X в состоянии улучшения: 0,765; 0,780; 0,790; 0,833; 0,855 и в состоянии отжига: 0,605; 0,630; 0,640; 0,670; 0,690.

Истинное сопротивление разрыву $S_{\text{н}}$ возросло в 2,16 раза (отжиг) и 2,3 раза (улучшение).

Истинный предел прочности увеличивается значительнее, чем временное сопротивление, вследствие роста величины равномерного удлинения при высоких скоростях растяжения. Повышение значений относительного равномерного удлинения $\delta_{\text{равн}}$ объясняется увеличением объема металла, вытягиваемого в пластическую деформацию при скоростном нагружении.

Для сталей с ОЦК-решеткой прочностные свойства определяются характером взаимодействия дислокаций с атомами примесей, образующими твердые растворы внедрения. Дислокация удерживается от перемещения упругими "атмосферами" /4/.

Повышение предела текучести при скоростном нагружении обусловлено уменьшением влияния тепловых флуктуаций и ростом сопротивления решетки перемещению дислокаций, т.е. увеличением "напряжения трения решетки". При этом возникает вторичные блокирования

дилокаций за счет реализации нескольких плоскостей скольжения, что ведет к росту сопротивления деформированию и, в первую очередь, предела текучести.

В таблице 2 представлено изменение прочностных характеристик сталей 40ХНМА и 20ХНЗА в состоянии отжига или улучшения с ростом скорости деформации.

Сравнивая картины изменения прочностных свойств сталей с ростом скорости деформации, можно заметить, что в отожженном состоянии более пластичная сталь 40Х интенсивнее повышает прочностные характеристики.

Т а б л и ц а 2

Влияние скорости деформации на прочностные свойства сталей 40ХНМА и 20ХНЗА

Марка стали и вид термообработки	Скорость деформации (1/сек)	σ_s 10^3 н/см^2	σ_b 10^3 н/см^2	$\sigma'_{нч}$ 10^3 н/см^2	S_n 10^3 н/см^2
40ХНМА, отжиг	10^{-2}	71,2	84,5	93,0	153,0
	220	100,0	110,0	144,2	234,2
40ХНМА, улучшение	10^{-2}	83,5	96,8	102,8	210,4
	126	102,6	113,9	128,3	290,0
20ХНЗА, отжиг	10^{-2}	80,4	100,2	104,8	148,0
	120	120,0	134,5	146,1	335,0
20ХНЗА, улучшение	10^{-2}	83,2	101,8	106,2	245,4
	90	114,2	126,5	135,0	396,0

ПРИМЕЧАНИЕ. здесь $\sigma'_{нч}$ — истинный предел прочности, вычисленный как отношение $R_{тmax}$ к площади поперечного сечения образца в данный момент f_p .

Наблюдаемый эффект объясняется изменением характера пластической деформации при статическом и динамическом нагружении. Так, при статических испытаниях деформация протекает, как правило, по мягкой фазе в определенной плоскости скольжения. При динамических испытаниях деформация осуществляется как по мягкой, так и по твердой фазе одновременно, реализуясь в нескольких плоскостях скольжения.

Более пластичная сталь 40Х в состоянии отжига при статическом растяжении имеет минимальные прочностные свойства, так как содержит резко отличающиеся по свойствам мягкую и твердую фазы. С увеличением скорости деформирования нагрузку начинают нести одновре-

менно как мягкая, так и твердая фазы, что вызывает более значительный рост прочностных характеристик, чем в сталях, у которых различие свойств мягкой и твердой фазы не столь существенно.

Л и т е р а т у р а

1. П о г о д и н - А л е к с е е в Г.И. Динамическая прочность и хрупкость металлов. "Машиностроение", М., 1966.
2. В и т м а н Ф.Ф., И в а н о в М.И. Сопротивление разрушению пластичных металлов при импульсном нагружении. ФММ, т.18, 1965.
3. *O'Brien J., Daves R.S. High-Speed Testing v 1
A symposium held at Boston 1958.*
4. И в а н о в В.С. и др. Роль дислокаций в упрочнении металлов. "Наука", М., 1965.