

лучение прочных гранул с низкой насыщающей способностью, что, вероятно, связано с низкой газопроницаемостью пластификатора.

Наилучшие результаты получены при использовании парафина: пластичные гранулы — достаточной прочности с высокой насыщающей способностью.

УДК 620.178.7:669.14

Г.М. ЖДАНОВИЧ, А.А. ХМЕЛЕВ

О ВЗАИМОСВЯЗИ ПЛАСТИЧНОСТИ И УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ МАЛОУГЛЕРОДИСТЫХ И НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

В данной работе предложен метод теоретической оценки ударной вязкости стали в зависимости от ее пластичности и температуры испытания.

Известны диаграммы хрупковязкого состояния малоуглеродистых сталей при ударном изгибе [1]. На рис. 1 такие диаграммы приведены для стали 20 и стали 10Г2С1. Диаграммы построены в координатных осях пластичность—ударная вязкость. Пластичность определялась по формуле

$$\delta = \delta_s - \epsilon_{\text{пр}} \quad (1)$$

где δ_s — относительное удлинение стали в состоянии поставки; $\epsilon_{\text{пр}}$ — предварительная пластическая деформация.

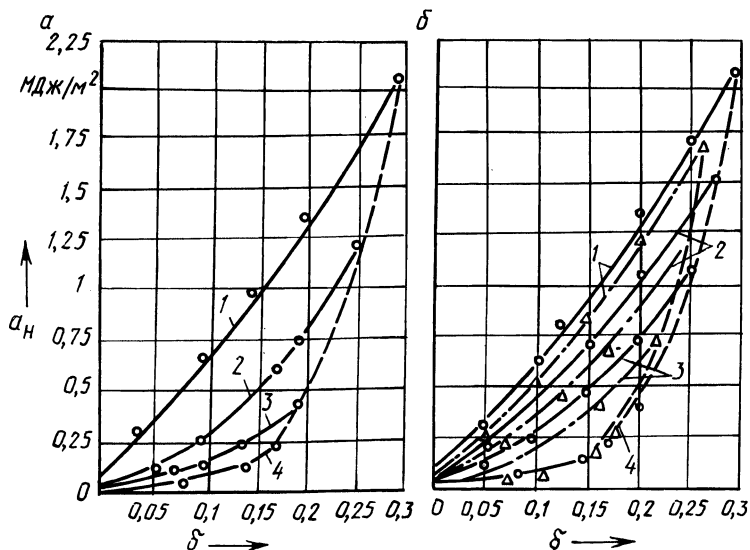


Рис. 1. Диаграммы хрупковязкого состояния сталей:

a — сталь 20; *b* — сталь 10Г2С1; 1...4 — температура испытания соответственно +20 °С, -20, -40, -60 °С; — — — — KCU, — · — — — — KCV, · · · · — — — — — снижение удлинений вязкости и пластичности стали в состоянии поставки при снижении температуры

Заготовки для образцов предварительно подвергали растяжению при температуре +20 °С до получения относительной деформации 5, 10 и 15 % и до начала образования шейки. Испытания на ударный изгиб проводились при температурах от +20 °С до -60 °С. Снижение ударной вязкости и пластичности стали в состоянии поставки только при снижении температуры характеризуется штриховой кривой (рис. 1, б). Аналогичная зависимость для предварительно деформированных сталей при температурах испытания +20 °С, -20, -40 и -60 °С характеризуется кривыми 1...4. Приведенные диаграммы идентичны, с той лишь разницей, что диаграммы для сталей с меньшей ударной вязкостью в состоянии поставки занимают только часть площади аналогичных диаграмм сталей с большей ударной вязкостью. Эта закономерность сохраняется и для случаев изменения ударной вязкости, вызванного изменением формы надреза концентратора. Последняя зависимость приведена на рис. 1, б, где показано уменьшение ударной вязкости стали 10Г2С1 при замене концентратора U-образного вида на V-образный путем совмещения двух диаграмм для образцов типа I и II (ГОСТ 9454-78).

Так как пластическая составляющая общей работы разрушения пропорциональна объему пластически деформированного образца [1], работа разрушения

$$A = V_0 \frac{\sigma^2}{2E} + a_v V_{пл} , \quad (2)$$

где V_0 , $V_{пл}$ — объем образца на участке между опорами копра и его пластически деформированной части после испытания, м³; σ — предел упругости стали, приближающийся к пределу ее прочности по мере деформирования образца до начала образования шейки, МПа; E — модуль Юнга; a_v — удельная работа пластического деформирования, МДж/м³.

Табл. 1. Механические свойства исследованных сталей

Марка стали, толщина листа или диаметр прутка	Предел прочности σ_B , МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Относительное удлинение δ_5	Удельная работа пластического деформирования a_v , МДж/м ³	Показатель степени n в уравнении (3)
10Г2С1, $\delta = 12$	524	331	0,30	259,5	1,24
Спиль 20, $\delta = 56$	441	223	0,26	231,5	1,27
10Г2С1, $\delta = 14$	519	389	0,29	193,7	1,24
10Г2С1, $\delta = 12$	507	351	0,27	148,5	1,19
10Г3сп5, $\delta = 16$	425	284	0,29	140,6	1,16
09Г2, $\delta = 16$	573	384	0,26	116,0	1,20
10Г3сп5, $\delta = 12$	458	270	0,31	126,1	1,20
10Г3сп5, $\delta = 14$	431	264	0,30	119,7	1,20
10Г3сп5, $\delta = 14$	433	246	0,25	119,2	1,25
10Г3сп5, $\delta = 12$	431	365	0,25	95,3	1,23
10Г3сп6, $\delta = 14$	424	251	0,29	95,4	1,28
10Г3сп5, $\delta = 6$	410	270	0,26	188,0	1,35
09Г2, $\delta = 6$	511	337	0,30	215,0	1,53

Первое слагаемое в уравнении (2) представляет упругую составляющую общей работы разрушения.

Значение $V_{пл}$ на всех образцах определяли методом делительных сеток с ценой деления 0,5 мм. Было испытано 13 образцов из малоуглеродистых и низколегированных сталей различных плавок толщиной от 8 до 20 мм, для всех определены значения $v = V_{пл}/V_0$ и a_v и построены диаграммы, аналогичные приведенным на рис. 1. Подтверждается [1], что a_v является величиной постоянной для каждой конкретной плавки во всем диапазоне температур исследования и пластичности. Относительное значение пластически деформированного объема может быть определено по текущему значению пластичности δ :

$$v = \delta^n, \quad (3)$$

где $v = V_{пл}/V_0$.

Механические свойства исследованных сталей приведены в табл. 1.

Из уравнения (2) с учетом (3) получаем значение пластической составляющей общей работы разрушения:

$$A_{пл} = V_0 a_v \delta^n,$$

откуда

$$n = \frac{\lg \frac{A_{пл}}{V_0} - \lg a_v}{\lg \delta}.$$

При температуре +20 °С значение n для стали каждой плавки постоянно (табл. 1). При ее снижении

$$n_t = n + C \Delta t,$$

где C — коэффициент, для исследованных сталей $C = 0,008$; Δt — снижение температуры (ниже +20 °С).

В итоге работа ударного разрушения образца при заданной температуре

$$A = V_0 \left(\frac{\sigma^2}{2E} + a_v \delta^{n+C\Delta t} \right).$$

Экспериментальная проверка достоверности полученных формул выполнена по результатам испытаний на ударную вязкость 55 образцов из малоуглеродистых и низколегированных сталей различных плавок. Среднее относительное отклонение значений работы разрушения, определенных теоретически, от экспериментальных составило 5,4 %.

Поскольку a_v является константой для каждой стали конкретной плавки и не зависит от формы надреза образца, следует нормировать этот показатель. а не ударную вязкость. Это позволит расчетным путем оценивать переход сталей в хрупкое состояние. Отпадет необходимость экспериментального определения ударной вязкости после деформационного старения стали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жданович Г.М., Хмелев А.А. О диаграмме хрупковязкого состояния малоуглеродистых сталей при ударном изгибе // Проблемы прочности. — 1981. — № 1. — С.85 89