

УДК 669.71:539.374

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ ЛИСТОВЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ НА ИХ ДЕФОРМАЦИЮ РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ОДНООСНОМ И ДВУХОСНОМ НАГРУЖЕНИИ

В. М. Косенков

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, 54018 Николаев, Украина
E-mail: v.m.kosenkov@gmail.com

Экспериментально исследовано влияние скорости деформирования листовых высокопрочных сталей марок DP780, DP980, ВН240 на увеличение их пластичности при одноосном и двухосном растяжении. Скорости деформирования сталей изменялись в диапазоне от 10^{-4} до $17 \cdot 10^3$ с $^{-1}$.

Ключевые слова: скорость деформации, деформация, разрушение, напряженно-деформированное состояние, листовые высокопрочные стали.

DOI: 10.15372/PMTF20180424

Введение. Современные листовые высокопрочные стали марок DP780, DP980, ВН240 имеют низкую пластичность, что затрудняет процесс изготовления из них деталей [1]. Увеличить пластичность можно путем деформирования металлов с большой скоростью [2, 3].

Целью настоящей работы является исследование зависимости деформации разрушения ε_{cr} от скорости деформации $\dot{\varepsilon}$ при одноосном и двухосном нагружении.

Постановка задачи и методика ее решения. Для исследования влияния скорости деформации $\dot{\varepsilon}$ на деформацию разрушения ε_{cr} высокопрочных листовых сталей использовались образцы из сталей марок DP980 и DP780 толщиной $\delta = 1,35$ мм, а также из стали марки ВН240 толщиной $\delta = 0,65$ мм.

Одноосное растяжение образцов со скоростью $\dot{\varepsilon} = 2 \cdot 10^{-4} \div 4 \cdot 10^{-4}$ с $^{-1}$ выполнялось на разрывной машине FP 10/1 HECKERT, а со скоростью $\dot{\varepsilon} = 0,05 \div 0,30$ с $^{-1}$ — с помощью гидравлического пресса П6324 и специальной оснастки. Двухосное растяжение пластин осуществлялось в соответствии с методом [4] с эквивалентной скоростью $\dot{\varepsilon}^* = 0,5 \div 2,0$ с $^{-1}$, при этом с помощью контрольной сетки определялась деформация разрушения ε_{cr}^* , эквивалентная деформации при одноосном растяжении материала.

Одноосное растяжение образцов со скоростью $\dot{\varepsilon} = 300 \div 3200$ с $^{-1}$ выполнялось в соответствии с методом Кольского с использованием разрезного стержня Гопкинсона [5] и “прямой” схемы растяжения образцов [6] при прохождении по стержням первичных волн сжатия. Двухосное растяжение пластин высокопрочных сталей со скоростью $\dot{\varepsilon}^* = 3000 \div 17\,000$ с $^{-1}$ осуществлялось путем воздействия волн давления, генерируемых электрическим разрядом в воде в соответствии с [7].

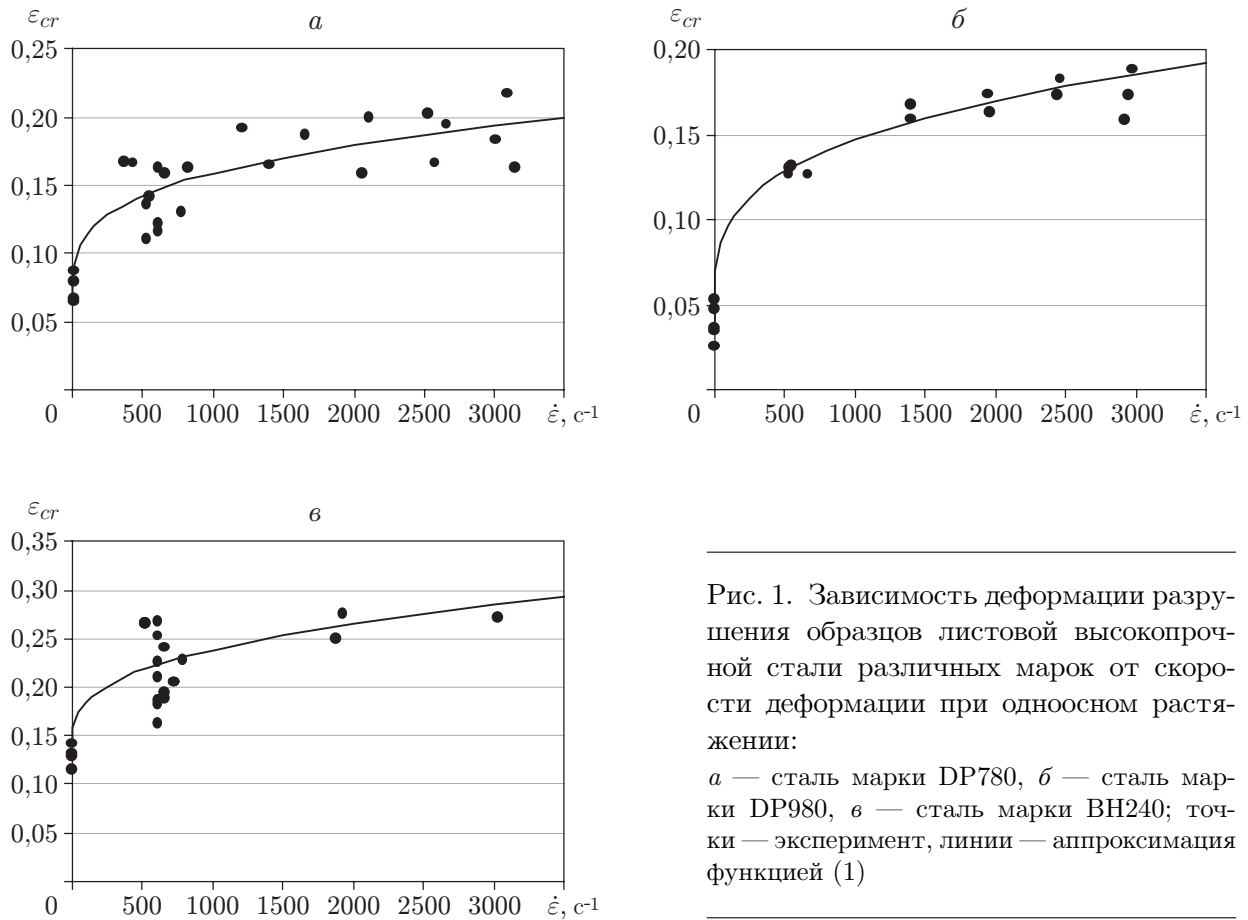


Рис. 1. Зависимость деформации разрушения образцов листовой высокопрочной стали различных марок от скорости деформации при одноосном растяжении:
a — сталь марки DP780, *б* — сталь марки DP980, *в* — сталь марки ВН240; точки — эксперимент, линии — аппроксимация функцией (1)

Результаты исследования. На рис. 1, 2 точками показаны экспериментальные зависимости деформации разрушения от скорости деформации $\varepsilon_{cr}(\dot{\varepsilon})$ и $\varepsilon_{cr}^*(\dot{\varepsilon}^*)$, полученные при растяжении образцов, сплошной линией — аппроксимация функцией

$$\varepsilon_{cr} = a + b\dot{\varepsilon}^c. \quad (1)$$

В (1) a , b , c — параметры аппроксимации, которые имеют следующие значения: для стали марки DP780 $a = 0,07$, $b = 0,0112$, $c = 0,3$ при одноосном растяжении, $a = 0,35$, $b = 0,012$, $c = 0,3$ при двухосном растяжении; для стали марки DP980 $a = 0,04$, $b = 0,0155$, $c = 0,28$ при одноосном растяжении; для стали марки ВН240 $a = 0,14$, $b = 0,0088$, $c = 0,35$ при одноосном растяжении.

Зависимости $\varepsilon_{cr}(\dot{\varepsilon})$ характеризуют увеличение пластичности исследованных материалов при увеличении скорости деформации $\dot{\varepsilon}$. Наибольшее влияние скорости деформации $\dot{\varepsilon}$ на деформацию ε_{cr} наблюдается при относительно малых скоростях $\dot{\varepsilon} = 10^{-4} \div 4 \cdot 10^2 \text{ c}^{-1}$. При значениях скорости $\dot{\varepsilon} = 4 \cdot 10^2 \div 3 \cdot 10^3 \text{ c}^{-1}$ (режим высокоскоростного деформирования) увеличение пластичности материала замедляется с увеличением $\dot{\varepsilon}$. В случае одноосного растяжения со скоростью $\dot{\varepsilon} = 3000 \text{ c}^{-1}$ деформация ε_{cr} стали марки DP780 увеличивается в 2,3 раза, марки DP980 — в 2,9 раза, марки ВН240 — в 1,9 раза.

Из рис. 2 следует, что при двухосном растяжении стали марки DP780 зависимость $\varepsilon_{cr}^*(\dot{\varepsilon}^*)$ аналогична зависимости при ее одноосном растяжении, однако при деформировании со скоростью $\dot{\varepsilon}^* = 3000 \text{ c}^{-1}$ эквивалентная деформация ε_{cr}^* увеличивается в 1,35 раза, а не в 2,3 раза, как при одноосном растяжении. Даже при увеличении эквивалентной

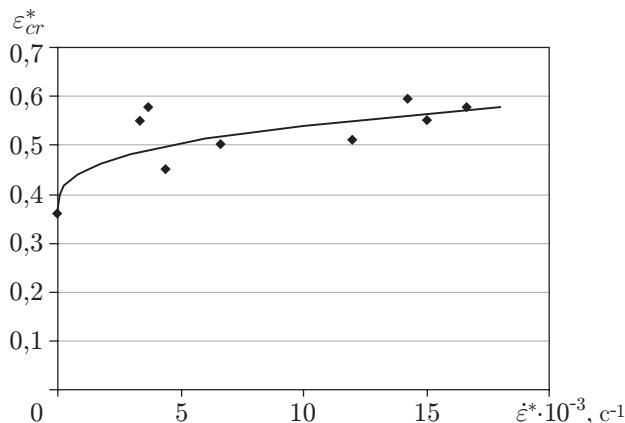


Рис. 2. Зависимость эквивалентной деформации разрушения образцов листовой высокопрочной стали марки DP780 от эквивалентной скорости деформации при двухосном растяжении:

точки — эксперимент, линии — аппроксимация функцией (1)

скорости деформации $\dot{\epsilon}^*$ до $17\,000\ c^{-1}$ эквивалентная деформация ϵ_{cr}^* увеличивается лишь в 1,6 раза.

Заключение. Увеличение скорости деформации листовых высокопрочных сталей марок DP780, DP980, ВН240 приводит к существенному увеличению их деформации разрушения. На величину деформации разрушения сталей этих марок влияет также способ нагружения материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Golovashchenko S. F., Bessonov N. M., Plinich A. M. Two-step method of forming complex shapes from sheet metal // J. Materials Process. Technol. 2011. V. 211, N 5. P. 875–885.
2. Косенков В. М. Влияние способа деформирования листовых алюминиевых сплавов на увеличение пластических деформаций // Письма о материалах. 2014. Т. 4, № 1. С. 18–21.
3. Ващенко А. П. Экспериментальные методы и механические свойства конструкционных материалов при высокоскоростной деформации ($10^2 \dots 10^5\ c^{-1}$) и температурах $77 \dots 773\ K$ // Пробл. прочности. 2002. № 3. С. 55–61.
4. Косенков В. М. Использование круглых мембран для определения механического КПД электрического разряда в воде // Электрон. обраб. материалов. 2014. Т. 50, № 2. С. 81–90.
5. Брагов А. М., Ломунов А. К. Использование метода Кольского для динамических испытаний конструкционных материалов // Прикл. пробл. прочности и пластичности: Всесоюз. межвуз. сб. Нижегор. ун-та. 1995. № 51. С. 127–137.
6. Косенков В. М. Зависимость пластических свойств металлов от плотности энергии, поглощенной в процессе деформирования // Письма о материалах. 2015. Т. 5, № 4. С. 404–408.
7. Косенков В. М., Кузьменко В. Г. Метод измерения прогиба пластины в процессе электрогидравлического деформирования // Электрон. обраб. материалов. 2016. Т. 52, № 5. С. 95–101.

Поступила в редакцию 11/1 2018 г.,
в окончательном варианте — 16/II 2018 г.