

05.1; 05.3

© 1993

О СВЕРХЗВУКОВОМ РАСПРОСТРАНЕНИИ ФРОНТОВ  
МАРТЕНСИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ, ИНИЦИИРОВАННЫХ  
УДАРНЫМ НАГРУЖЕНИЕМЮ.И. М е ш е р я к о в, М.П. К а ш е н к о,  
В.Б. В а с и л ь к о в, С.А. А т р о ш е н к о

Представление о  $\gamma$ - $\alpha$  мартенситном превращении (МП) в сплавах железа с углеродом как об управляемом волнами кооперативном процессе [1] приводит к выводу о сверхзвуковой (по отношению к продольным волнам) скорости  $C$  роста мартенсита, в частности, для атермического мартенсита с габитусными плоскостями (плоскими границами раздела фаз) типа  $(259)\gamma - (3\ 10\ 15)\alpha$ . Согласно [1, 2], скорость  $C$  должна удовлетворять соотношению  $C \geq \sqrt{2} C_{\Delta}$ , где  $C_{\Delta}$  — скорость продольных волн в направлении  $\Delta$  — оси симметрии 4-порядка ( $C_{\Delta}^2 = C_{44} \rho^{-1}$ , где  $\rho$  — плотность, а  $C_{44}$  — соответствующий упругий модуль  $\gamma$ -фазы).

Экспериментальная проверка подобного предсказания теории играет принципиальную роль для понимания физической природы мартенситного превращения в твердых телах. Среди небольшого числа работ, посвященных измерению скорости роста  $\alpha$ -мартенсита, лишь методика [3] связана с прямым измерением. В [3] обнаружено существенное превращение скорости прохождения волны детонации через сталь в условиях протекания атермического мартенситного превращения (6500 м/с) над скоростью 4800 м/с в его отсутствие, причем высокая скорость ассоциировалась со скоростью роста мартенсита. К сожалению, методика [3] позволяла наблюдать лишь факт прихода первой наиболее быстрой волны, тогда как в случае формирования волновых фронтов при мартенситном превращении, инициированном внешним ударным воздействием, следует ожидать нескольких фронтов, опережающих упругий предвестник (УП) и пластический фронт (ПФ). Методика [4] измерения скорости движения свободной поверхности образца, параллельной поверхности ударного воздействия, обладает высокой разрешающей способностью и позволяет с высокой точностью измерять скорости прохождения продольных волн. Эта методика основана на использовании интерферометра, лазерный луч которого сфокусирован до диаметра 100–120 мкм. Этот размер соответствует так называемому суперструктурному масштабному уровню динамического деформирования, занимающему промежуточное положение между мезоуровнем (0.5–5 мкм) и макроуровнем [5]. Таким образом, профиль скорости соответствует истории движения отдельного суперструктурного элемента. Как

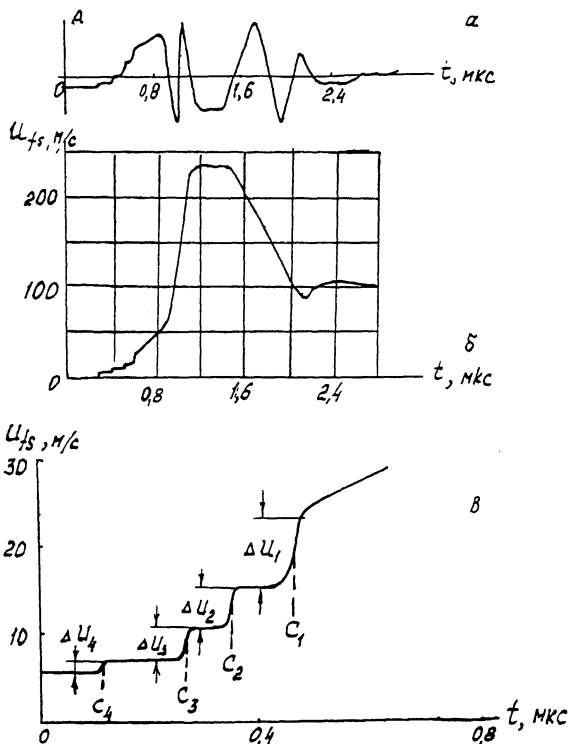


Рис. 1. Интерферограмма (а), профиль скорости свободной поверхности мишени (б) и ступеньки мартенситных фронтов на временном профиле импульса нагрузки.

Т а б л и ц а

$C_i$ , мс	$C_1$ 6000	$C_2$ 6342	$C_3$ 6839	$C_4$ 7652
$\Delta\sigma_i$ , МПа	$\Delta\sigma_1$ 158	$\Delta\sigma_2$ 94	$\Delta\sigma_3$ 63	$\Delta\sigma_4$ 37
$C_i$ - скорость мартенситных фронтов, $\Delta\sigma_i$ - приращения напряжения, соответствующие мартенситным фронтам.				

видно из интерферограммы (рис. 1, а), на начальном этапе это движение осуществляется ступеньчатым образом, что не удается зарегистрировать при использовании обычных макроскопических датчиков в силу стохастического характера движения суперструктурных элементов и усреднения датчиком этого движения.

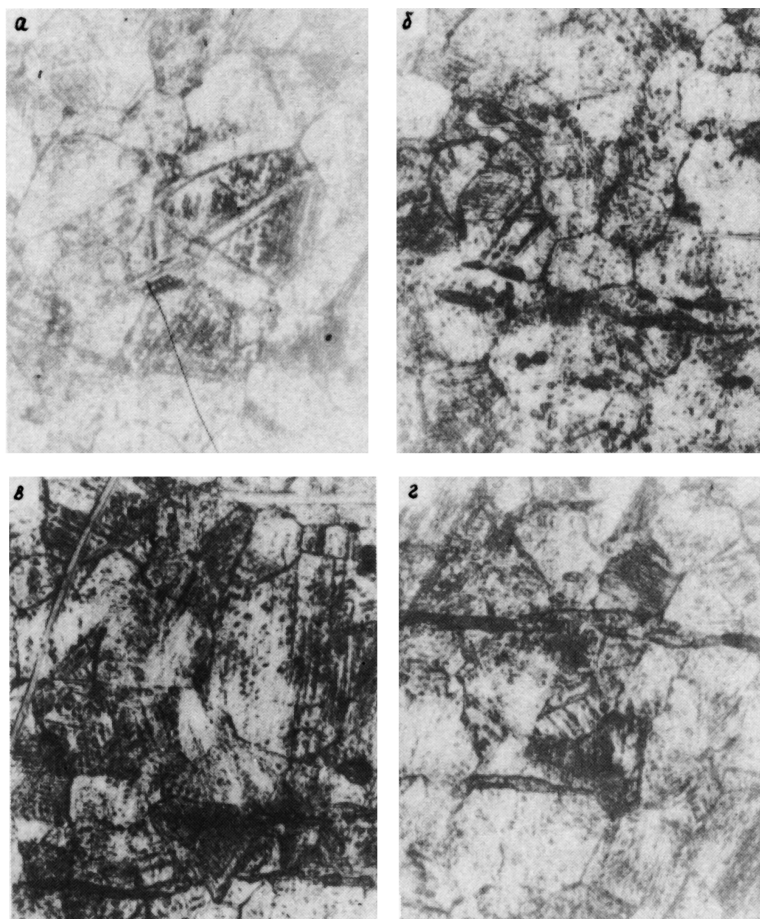


Рис. 2. Структура стали 12X18H10T после ударного нагружения,  $\times 500$ .

Измерения по этой методике, проведенные на серии образцов, показали, что в случае сталей, не испытывающих МП, наблюдаются лишь УП и ПФ, в то время как для образцов, испытывавших  $\gamma'-\alpha$  МП, имеется несколько (до пяти) фронтов волн, предшествующих УП.

Данные для 10 мм мишени нержавеющей стали 12X18H10T, нагруженной при скорости ударника 350 м/с, приведены на рис. 1 и в таблице. Появление мартенсита мы связываем со ступеньками на временном профиле волны по той причине, что подобные ступеньки не наблюдаются при испытаниях других материалов, где мартенситное превращение отсутствует. В настоящих опытах проверяли наличие мартенсита до и после ударного нагружения как магнитным

методом, так и с использованием просвечивающей электронной микроскопии. Оба метода показывают присутствие мартенсита только после ударного нагружения, причем центрами его зарождения служат дефекты упаковки.

Поскольку образец в нашем эксперименте, как и в [3], являлся поликристаллическим, обработка данных велась на основе соотношений теории упругости микронеоднородных сред (см. например, [6]). При расчетах брались значения плотности и упругих констант ( $K, E, \mu$ ), типичные для нержавеющей стали. Поскольку значение  $C_{11} \ll$  для исследуемого материала неизвестно, близость этих констант с эффективными модулями упругости для  $Ni$  [6] позволяет использовать для оценки  $C$  известное для  $Ni$  значение  $C_{11}$ . Это дает значение  $C_A = 5600$  м/с, и соответственно  $C_L \geq 7920$  м/с. Сравнение с данными таблицы указывает на близость найденной оценки к максимальной наблюдаемой скорости  $C_L = 7652$  м/с. Этот факт свидетельствует о том, что среди 24 возможных вариантов ориентировок мартенситных кристаллов в каждом из зерен аустенита инициируются варианты с направлениями скоростей роста, близкими к нормали поверхности мишени. На рис. 2 дается фотография продольного сечения образца после ударного воздействия. Видны мартенситные иглы с ориентациями, близкими к нормальям границ образца, что согласуется с высказанным предположением. Полученные результаты согласуются с выводами волновой теории роста мартенсита и результатами эксперимента [3], существенно дополняя их. Дальнейшее уточнение измерений скорости роста мартенсита в рамках данной методики как и интерпретацию всех фронтов мартенситной реакции на основе конкретных цепочек (ансамблей) мартенситных кристаллов целесообразно вести при использовании монокристаллов.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] К а ш е н к о М.П., В е р е ш а г и н В.П. // ФММ. 1985. Т. 60. В. 5. С. 855-863.
- [2] К а ш е н к о М.П. // ФММ. 1984. Т. 58. В. 5. С. 862-869.
- [3] Л о к ш и н Ф.Л. // Металлургия, 1958. № 2. С. 205-208.
- [4] М е ш е р я к о в Ю.И., Д и в а к о в А.К., К у д р я ш о в В.Г. // ФГВ. 1988. № 2. С. 126-134.
- [5] В л а д и м и р о в В.И. Коллективные эффекты в ансамблях дефектов. В кн.: „Вопросы теории дефектов в кристаллах“. Л.: Наука, 1987. С. 43-57.
- [6] Ш е р м е р г о р Т.Д. Теория упругости микронеоднородных сред. М.: Наука, 1977. 399 с.

Поступило в Редакцию  
16 декабря 1992 г.