

## ОСОБЕННОСТИ УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКОГО СПЛАВА WC — Co ПЛОСКИМИ УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ

*А. А. Дерибас, М. А. Могилевский, Э. Ш. Чагелишвили*

*(Новосибирск)*

Согласно представлениям о механизме деформации сплавов с твердыми включениями, частицы могут являться препятствием для развития сдвигов. Деформация самих частиц в твердых сплавах обычно не наблюдается.

В работе [1] было показано, что металлокерамические твердые сплавы упрочняются в результате нагружения ударной волной. В экспериментах использовались различные схемы упрочнения: плоская и косая ударная волна от взрыва различных ВВ и в отдельных случаях — упрочнение цилиндрической ударной волной.

На рис. 1 приведена структура  $W_2C$ , полученного взрывом из смеси порошков W и C. По-видимому, в связи с наличием дефектов двойникового типа микротвердость достигла  $3500 \text{ кг/мм}^2$  (спеченный  $W_2C$  имеет микротвердость  $2700 \text{ кг/мм}^2$ ).

Существенной особенностью микроструктуры частиц карбида вольфрама в сплаве WC — Co после ударного нагружения, обнаруженной в наших экспериментах, является наличие следов, носящих явно закономерный кристаллографический характер. Типичные структуры следов в частицах после травления в свежееизготовленной смеси равных объемов 20%-ных водных растворов железосинеродистого калия и едкого калия, затем в насыщенном растворе хлористого железа представлены



Рис. 1. Следы пластической деформации на поверхности кристалла  $W_2C$ .

на рис. 2 а, б и 3 а, б. (Все травители во время травления подогревались до температуры 40—60° С). Интенсивность ударной волны равнялась 500 кбар и 2 Мбар. Можно отметить на этих фотографиях растравленные следы скольжения, иногда строчечное расположение ямок травления, следы двойникования. Двойникование в карбиде вольфрама никогда ранее не отмечалось.

Поскольку в литературе до сих пор, по-видимому, не определены возможные системы деформирования в карбиде вольфрама, представляет специальный интерес попытаться разобраться в кристаллографических характеристиках наблюдаемой деформации. В нашем случае можно воспользоваться тем, что частицы карбида вольфрама, полученные химическим путем, в результате роста оказываются ограниченными плоскостями, имеющими наименьшие поверхностные энергии. Такими поверхностями в карбиде вольфрама являются плоскости (0001) и  $\{10\bar{1}0\}$ [2]. Некоторые частицы на шлифе имеют вид равностороннего треугольника или прямоугольника. Первые из них имеют, очевидно,

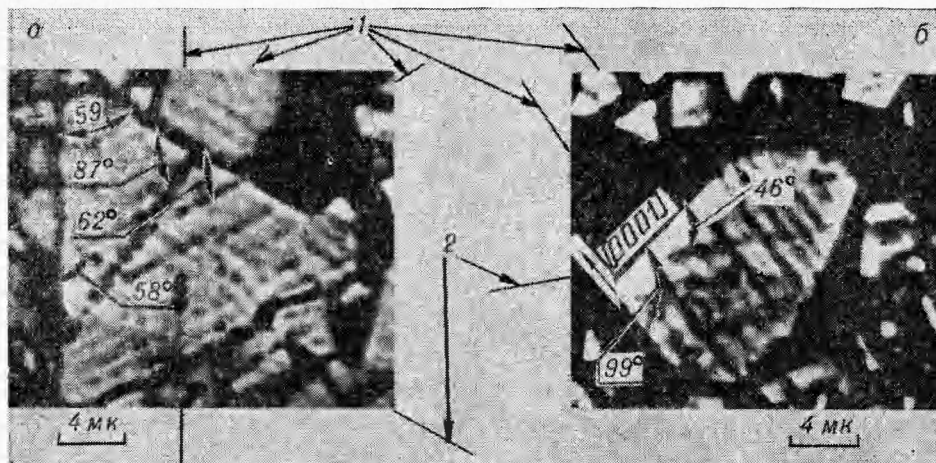


Рис. 2. Структура сплава ВК-15 после нагружения плоской ударной волной с амплитудой до 500 кбар. а) сечение (0001); б) сечение, близкое к  $\{10\bar{1}0\}$ . 1 — следы скольжения  $\langle 1\bar{2}10 \rangle \{10\bar{1}0\}$ ; 2 — следы скольжения  $\bar{2}113$   $\bar{2}112$ .

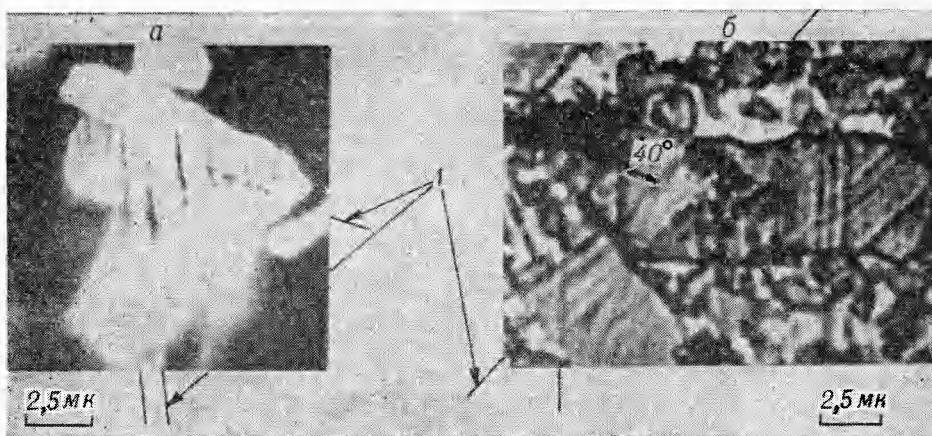


Рис. 3. Структура сплава ВК-8 после нагружения плоской ударной волной. а) с амплитудой до 2 мбар, сечение (0001); б) с амплитудой 500 кбар, сечение  $\{10\bar{1}0\}$ . 1 — система двойникования  $\bar{1}012$   $1011$ .

ориентацию (0001), вторые являются призматическими плоскостями. Из призматических сечений для измерения углов сдвига могут быть использованы лишь плоскости  $\{10\bar{1}0\}$  или  $\{11\bar{2}0\}$ , которые дают при пересечении с некоторыми системами сдвигов следы, параллельные одной из сторон прямоугольника.

Можно предполагать вероятность активации некоторых систем деформации из общих соображений. Так, скольжение легче осуществляется по плотно упакованным плоскостям в направлении максимальной упаковки. Можно указать для данного типа решетки также и ожидаемые системы двойникования с небольшими сдвигами (анализ аналогичен проведенному в [3]). Сводка ожидаемых систем деформации дана в таблице.

Тип деформации	Плоскость сдвига	Направление сдвига	Величина вектора Бюргерса	Единичный сдвиг при двойниковании	Угол следа плоскости сдвига, град		
					$\langle 11\bar{2}0 \rangle$ в сечении (0001)	$[0001]$ в сечении (1010)	$[0001]$ в сечении (1120)
Скольжение	(0001)	$[11\bar{2}0]$	$2,90 \text{ \AA}$	—	—	90	90
	(1010)	$[1\bar{2}10]$	$2,90 \text{ \AA}$	—	60	0	0
	(1011)	$[1\bar{2}10]$	$2,90 \text{ \AA}$	—	60	42	61
	(1122)	$[11\bar{2}3]$	$4,05 \text{ \AA}$	—	30; 90	42; 25	49; 90
Двойникование	(1121)	$[11\bar{2}6]$	$1,34 \text{ \AA}$	0,52	30; 90	45; 28	—
	(1011)	$[\bar{1}012]$	$3,35 \text{ \AA}$	0,9	60	42; 90	61; 43
	(1122)	$[11\bar{2}3]$	$0,28 \text{ \AA}$	0,144	30; 90	42; 25	49; 90

На рис. 2 а, б приведены следы скольжения в сечениях, близких к (0001) и (1010). Для следов скольжения, выявленных после разрезания кристалла на искровой установке и последующей полировки и травления, характерен прерывистый вид. При большом увеличении следы часто представляют ряд ямок травления. Измерения углов следов скольжения со сторонами треугольника  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$  в сечении (0001) и с  $[0001]$  в призматическом сечении и сравнение их с соответствующими углами ожидаемых систем свидетельствуют о скольжении по системам:

$$\langle 1\bar{2}10 \rangle \quad \{10\bar{1}0\} \quad \text{и} \quad \langle 2113 \rangle \quad \{2112\}.$$

Двойники представляют сечения плоскостью наблюдения двойниковой линзы, на снимках отличаются от следов скольжения тем, что являются сплошными линиями, при большом увеличении имеющими заметную ширину. На рис. 3 а, б приведены наблюдения двойникования в базисном и призматическом сечении. Измерения углов свидетельствуют о двойниковании по системе

$$\langle 10\bar{1}2 \rangle \quad \{10\bar{1}1\}.$$

В связи с относительно небольшим числом благоприятно ориентированных зерен с активно развитыми сдвигами из наших экспериментов нельзя сделать вывод об отсутствии сдвигов по другим системам.

Увеличение давления приводит к изменению механизма деформации. В зернах карбида вольфрама, нагруженного ударной волной с давлением до 2 Мбар, наблюдается высокая плотность микродвойников (рис. 3, а).

Таким образом, изучение деформированных взрывом образцов показывает появление в карбиде вольфрама дислокационного скольжения:

и двойникования. Кроме того, в экспериментах наблюдалось заметное дробление зерен. Оба эти фактора должны приводить к упрочнению сплава. Для разделения эффектов был проведен следующий эксперимент: образцы из металлокерамического сплава ВК15 (исходная микротвердость 1200—1300 кг/мм<sup>2</sup>), упрочненные взрывом до 1800—2000 кг/мм<sup>2</sup>, отжигались в вакууме при температуре 1200°С в течение трех часов. После отжига следы скольжения и двойникования не наблюдались. Микротвердость отожженного образца снижалась до 1600—1700 кг/мм<sup>2</sup>. Сохранение повышенной микротвердости можно объяснить дроблением зерен карбида вольфрама, зависящим от интенсивности ударной волны. В самом деле, при упрочнении в цилиндрической ампуле, в режиме трехволновой конфигурации, в центральной зоне образуется расплав вследствие прохождения маховой волны. Сравнивая (рис. 4, а, б) структуру сплава в двух зонах, образовавшихся после прохождения цилиндрической волны, можно убедиться в том, что в зоне расплава

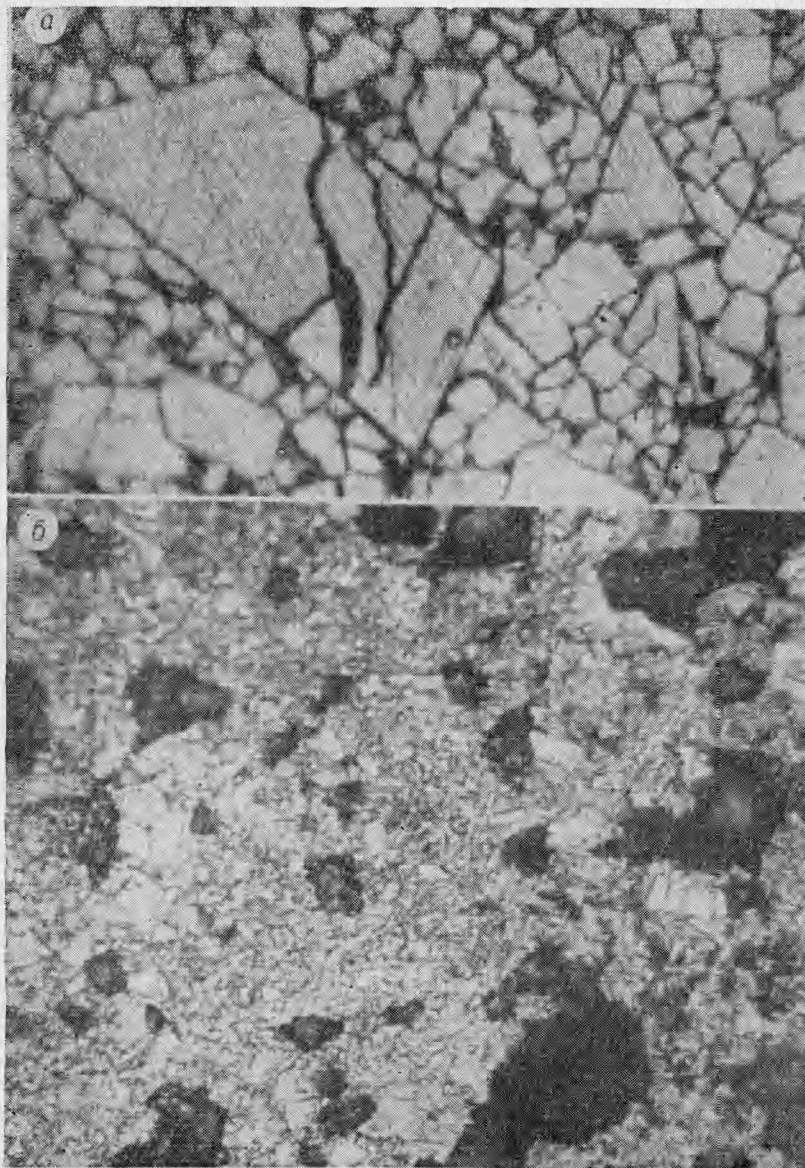


Рис. 4. Дробление кристаллов карбида вольфрама.

достигается максимальная величина дробления кристаллов карбида вольфрама. Во-вторых, как известно, в зоне действия маховской волны ее интенсивность максимальная.

Сравнивая микротвердости в первой и во-второй зонах, можно убедиться, что в зоне расплава микротвердость увеличивается примерно в два раза по сравнению с исходной, а в первой зоне она возрастает в полтора раза.

Таким образом, исследование особенностей структуры зерен карбида вольфрама в упрочненном взрывом сплаве WC—C<sub>0</sub> позволяет для металлокерамических сплавов предложить новую модель упрочнения, состоящую в дроблении твердой фазы и увеличении плотности дефектов кристаллической решетки (точечных, дислокаций, двойников, следов фазовых превращений) как в матрице, так и в твердой фазе.

*Поступила в редакцию  
3/IV 1973*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Э. Ш. Чагелишвили. ФГВ, 1971, 7, 2.
2. P. Pleu, W. Z. Rix. Z. Metallkunde, 1954, 25, 778.
3. М. В. Классен-Неклюдова. Механическое двойникование кристаллов. М., Изд-во АН СССР, 1960.
4. Э. Ш. Чагелишвили. Канд. дисс. Новосибирск, 1972.

УДК 536.46

### О КОНВЕКТИВНОМ МЕХАНИЗМЕ ГАШЕНИЯ ПЛАМЕНИ НА БУНЗЕНОВСКОЙ ГОРЕЛКЕ

*В. С. Бабкин*

*(Новосибирск)*

Как известно, область устойчивости пламени на бунзеновской горелке ограничена условиями критической скорости потока свежего газа. При высоких скоростях наблюдается явление срыва пламени с края горелки, при низких — явление проскока пламени во внутрь горелки. По мере обеднения или обогащения смеси в атмосфере инертного газа область между отрывом и проскоком сужается. Однако неясно, насколько границы, образующие эту область, могут продолжаться в направлении к концентрационным пределам и смыкаются ли они. Концепция стабилизации пламени, основанная на критическом градиенте скорости, не дает ответа на эти вопросы.

Рассмотрим некоторые особенности пламени в сильно разбавленных смесях. Вместо обычного конуса фронт пламени имеет куполообразную или почти плоскую форму, так что площадь поверхности пламени близка к сечению горелки [1]. Наиболее разбавленные смеси (вблизи пределов воспламенения), в которых еще возможна стабилизация пламени, дают за некоторыми исключениями приблизительно постоянные скорости около 10 см/с, тогда как в стехиометрических смесях скорости отличаются на 1—2 порядка [2]. Более низкие предельные скорости пламени могут быть получены на горелке плоского пламени со стабилизирующей сеткой, которая, как полагают, уменьшает действие конвективных факторов [3].

В опытах по изучению околопредельных явлений в сферическом сосуде [4] показано, что вблизи концентрационных пределов существу-