

**ПРОГНОЗ РИСКА РАЗРУШЕНИЯ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ В УПРОЧНЯЮЩИХ НАПЛАВКАХ ПО МОРФОЛОГИИ ИХ СТРУКТУРЫ**

**Мельниченко А.С., Ахмедова Т.Ш., Соколовская Э.А., Кудря А.В.**  
*НИТУ «МИСис», г. Москва, РФ*  
*tanya060592@gmail.com*

Для прогноза риска преждевременного разрушения наплавки из твердых сплавов при эксплуатации полезны результаты оценки влияния геометрии неоднородных структур на процессы деформации и разрушение [1]. Однако для этого необходимо накопление представительного массива статистических данных результатов измерения структур и поверхности их разрушения с использованием компьютеризованных процедур [2 – 4]. В данной работе подобный подход использовался для определения требований к геометрическому строению структур твердых сплавов, используемых в качестве покрытий на рабочих органах почвообрабатывающих машин, обеспечивающих снижение риска их преждевременного разрушения.

В качестве объектов исследования использовались покрытия порошковых твердых сплавов типа ПГ-ФБХ-6-2, ПР-Х30СРНДЮ, ПР-Х4ГСР и ПГ-ФБХ-2(68%)+WC(30%)+Al(2%), полученных плазменно-дуговым способом, далее сплавы 1, 2, 3 и 4 соответственно. Изображения структур были получены на световом микроскопе Axio Observer D1m Carl Zeiss в диапазоне увеличений:  $\times 50$  –  $\times 1000$ , изломов – сканирующем электронном микроскопе VEGA 3 SBH производства TESCAN.

В норме типичная структура износостойких наплавки представляет собой частицы твердой фазы, например, карбиды, окруженные относительно мягкой матрицей (рис. 1). При случайном распределении частиц одним из вероятных процессов износа наплавки при их силовом контакте с почвой является многократное пластическое деформирование одних и тех же объемов металла абразивными частицами почвы. В этих объемах в результате наклепа, локально достигается предел прочности матрицы, после чего начинается ее разрушение.

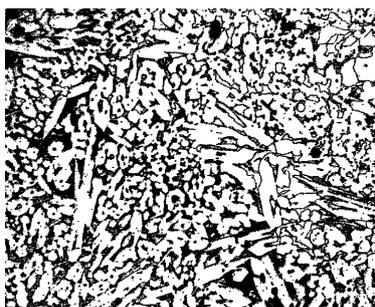


Рисунок 1 - Структура бинаризованного изображения износостойкой наплавки со случайным распределением карбидов (светлые объекты) в относительно мягкой матрице

Увеличение доли карбидной фазы повышает износостойкость, однако при существенном увеличении их количества карбиды могут выкрашиваться из-за разрушения прослоек матрицы, достигших предела прочности. В таком случае сопротивляемость твёрдого сплава разрушению и его износостойкость будут также определяться кооперативным влиянием размеров упрочняющих частиц и межчастичным расстоянием между ними (и характером его распределения).

В работе предложен метод оценки критической степени локальной деформации, после которой начинается разрушение износостойкой наплавки, в зависимости от совместного влияния двух параметров структуры – средней толщины вязких прослоек

между твердыми частицами и коэффициента асимметрии распределения толщин этих прослоек (которые варьировались в пределах от 0,8 до 1,8 мкм и от 2,5 до 3,2 соответственно для сплавов 1 – 4) (табл.).

Таблица - Сводная таблица значений коэффициента асимметрии для распределений значений толщин прослоек в структуре исследуемых твердых сплавов

Сплав	Толщина, мкм		Коэффициент асимметрии
	Средняя	Максимальная	
1	1,8	16	3,2
2	0,8	7	2,6
3	1,5	12	2,5
4	1,2	9	2,7

Первый параметр прямо связан с объемной долей твердой фазы. Коэффициент асимметрии  $g$  равен нулю у симметричного распределения, например, нормального, и чем больше он по абсолютной величине, тем больше отличаются правая и левая (относительно среднего значения параметра структуры) ветви распределения.

В качестве универсального асимметричного распределения вязких прослоек по толщинам было выбрано  $h$  гамма-распределение с плотностью вероятности

$$w_{\gamma}(h) = \frac{\lambda(\lambda h)^{b-1} \exp(-\lambda h)}{\Gamma(b)} \quad (1)$$

где  $\Gamma(b)$  – гамма-функция Эйлера,  $\lambda$  – масштабный фактор

Параметр  $b$  распределения (1) – параметр формы. По мере его увеличения симметрия распределения возрастает (коэффициент асимметрии  $g = 2/\sqrt{b}$  падает) а само распределение стремится к нормальному.

С уменьшением толщины прослойки напряжение течения и разрушающее напряжение возрастают, а пластичность снижается. В процессе деформации прослойки подвергаются наклепу и связанному с ним деформационному упрочнению [5,6]. Разрушение прослойки толщиной  $h$  наступает, когда в результате деформационного упрочнения напряжение течения прослойки достигает предела прочности и дальнейшая пластическая деформация прослойки становится невозможной:

$$\sqrt{\varepsilon} = \frac{1}{B} \left[ (\sigma_{B0} - \sigma_{T0}) - \frac{k_T - k_B}{\sqrt{h}} \right] \quad (2)$$

где  $\sigma_{B0}$  – предел прочности массивного образца,  $\sigma_{T0}$  – предел текучести массивного образца,  $k_T$  – коэффициент Холла-Петча для напряжения течения,  $k_B$  – коэффициент Холла - Петча для разрушающего напряжения,  $B$  – коэффициент деформационного упрочнения

Установлено (рис. 2), что критическая деформация, возрастает по мере увеличения средней толщины прослоек. При разных коэффициентах асимметрии зависимости ведут себя подобно.

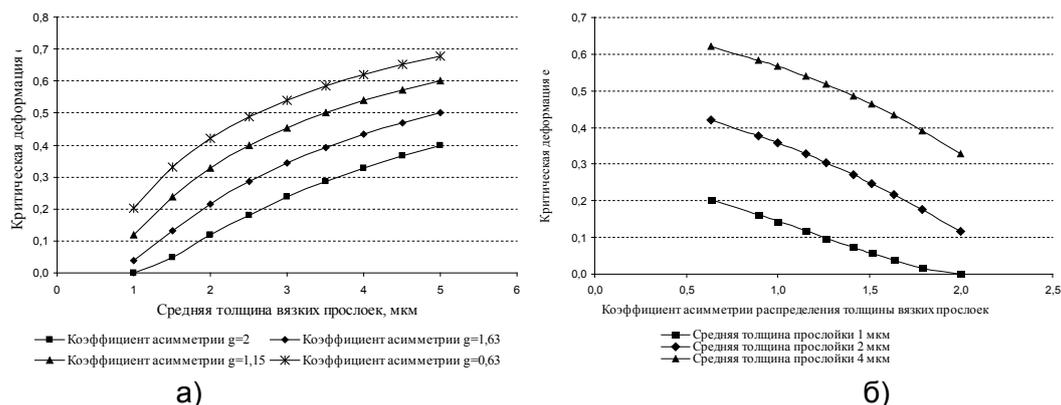


Рисунок 2 - Зависимость критической деформации от средней толщины вязких прослоек  $\bar{h}$  (а) и от коэффициента асимметрии распределения вязких прослоек (б)

Проведенные оценки кооперативного влияния разнородных структур на разрушение и износостойкость показали, что критическим фактором, инициирующим разрушение и выкрашивание поверхности наплавки (износостойкость) является максимальный размер упрочняющих частиц (карбиды более 150 мкм), а также кластеры дисперсных частиц поперечником от 50 – 70 мкм и выше (при толщине вязкой прослойки 10 – 15 мкм и ниже). Дальнейшее развитие разрушения и износа определяется уровнем дисперсности и однородности основной массы упрочняющих частиц и структурных составляющих (дендриты, зерна, эвтектика различной природы), соотношением средних значений толщин прослоек и величины коэффициента асимметрии кривой распределения толщин прослоек. Риск преждевременного разрушения наплавки определяется также масштабом градиента структур по толщине покрытия.

#### Список используемых источников

1. Разрушение. В 2 кн. Кн. 2. Разрушение структур: моногр. / М.А. Штремель – М.: Изд. Дом МИСиС. 2015. 976 с.
2. Соколовская Э.А. // Вопросы материаловедения. 2013, № 4. С. 143.
3. Кудря А.В., Соколовская Э.А., Пережогин В.Ю., Ахмедова Т.Ш., Васильев С.Г. // Металлург. 2016. №12. С.77.
4. Крупин Ю.Б., Сухова В.Г. Компьютерная металлография. М.: Изд. Дом МИСиС, 2009. 88 с.
5. Штремель М.А. Прочность сплавов. Ч. II. Деформация. М.: МИСиС, 1997. 527 с.
6. Штремель М.А., Кузько Е.И., Пантелеев Г.В. // Деформация и разрушение материалов. 2005. №5. С.1.