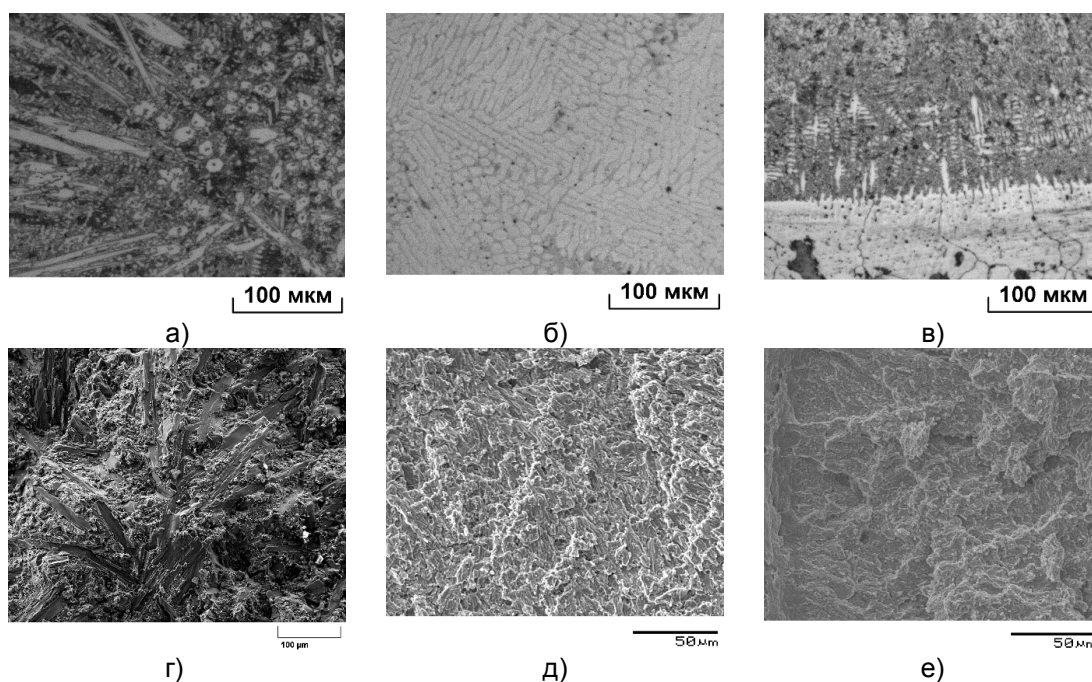


НЕОДНОРОДНЫЕ СТРУКТУРЫ В ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЯХ НА ОСНОВЕ ТВЁРДЫХ СПЛАВОВ И ИХ РАЗРУШЕНИЕ

Ахмедова Т.Ш., Пережогин В.Ю., Соколовская Э.А., Кудря А.В.
НИТУ «МИСус», г. Москва, Россия, E-mail:tanya060592@gmail.com

Прогресс в создании новых твердосплавных материалов на основе железа для сельскохозяйственной техники [1] возможен на основе конструирования структур под заданные свойства с учётом понимания природы их деформации и разрушения. В этой связи были исследованы твердосплавные покрытия толщиной от 2 до 4 мм на основе сплавов типа ПГ-ФБХ-6-2 и ПР-Х30СРНДЮ (далее 1 и 2 соответственно). Их структуру исследовали на оптическом микроскопе Axio Observer D1m Carl Zeiss ($\times 50$ – 1000), изломы – на сканирующем электронном микроскопе VEGA 3 SBH TESCAN.

Структура твердых сплавов была неоднородна (рис.1), по толщине наплавов (от 2 до 4 мм) наблюдалась градиентная структура: износостойкий слой – периферийный (в нем крупные карбиды различной формы: иглы или многогранники); промежуточный (однородная структура, чаще всего дендритная, но встречалась и мелкодисперсная – игольчатая) и переходный – приграничная к металлу основы зона (крупные дендриты в однородной прослойке из смеси твердосплавного порошка и стали). Это нашло свое отражение в строении изломов.



а, г – периферийный слой; б, д – промежуточный слой; в, е – переходный слой
Рисунок 1 – Пример структур при увеличении $\times 200$ (а, б, в) исследуемого твердого сплава 1 и его изломов при увеличении $\times 500$ (г, д, е)

Наблюдаемая взаимосвязь между строением структур и изломами твердых сплавов отражает вклад неоднородности структур в формирование различной способности сплавов сопротивляться преждевременному разрушению. Отсюда, необходимость количественной оценки структур и изломов, в частности, для прогноза риска преждевременного разрушения изделия.

Количественной оценке геометрии изображений структур и изломов, предшествовала их бинаризация – преобразование из 256 оттенков серого в матрицу «1-0», где 1 – объект, 2 – фон, с порогом бинаризации, определённым по перегибу на S-образной кривой [2]; фильтрацию бинаризованных изображений (удаление шумов). Далее измеряли геометрические параметры изображений (площадь, периметр, анизотропия, преимущественная ориентировка на плоскости шлифа, плотность и объемная доля) и проводили их статистическую обработку. В таблице 1 представлены геометрические параметры структур сплавов 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты измерения геометрических параметров структур (белых объектов) твердосплавных покрытий из сплавов 1 и 2

Сплав	Параметр геометрии структуры	Слой		
		периферийный	промежуточный	переходный
1	Объемная доля белых объектов, %	44,7	31,8	54,4
	Средняя площадь белых объектов, мкм ²	17,6 ± 0,43	9,0 ± 0,11	9,6 ± 0,18
	Плотность, шт/мкм ²	0,03	0,04	0,06
	Анизотропия белых объектов	1,8 ± 0,003	1,8 ± 0,002	1,9 ± 0,002
	Средний периметр белых объектов, мкм	15,8 ± 0,29	11,4 ± 0,10	10,9 ± 0,15
	Преимущественная ориентировка, град	-90 – -45	45 – 90	45 – 90
2	Объемная доля белых объектов, %	54,4	64,0	55,0
	Средняя площадь белых объектов, мкм ²	4,5 ± 2,8	21,4 ± 18,7	9,3 ± 4,8
	Плотность, шт/мкм ²	0,12	0,02	0,05
	Анизотропия	1,7 ± 0,02	1,7 ± 0,04	1,8 ± 0,03
	Средний периметр белых объектов, мкм	4,5 ± 1,57	12,0 ± 6,6	8,2 ± 1,5
	Преимущественная ориентировка, град	-90 – -45	-90 – -45	-90 – -45

Измерение геометрических параметров существенно для сопоставления строения структур различных сплавов, оценки влияния технологических изменений на их морфологию микроструктур, уточнения механизмов деформации и разрушения разнородных структур [3,4].

Различие в морфологии структур нашло свое отражение в строении изломов не только при качественном анализе, но и при количественных оценках. Разрушение такого рода материалов (уровень твердости превышал 54 HRC) может быть преимущественно хрупким. В изломах всех исследуемых наплавов отсутствовали макропризнаки пластической деформации. На микроуровне строение изломов как правило отличалось от классического хрупкого разрушения, где характерной элементарной площадкой разрушения является фасетка. В нашем случае это были отдельные плоские фрагменты, отвечающие упрочняющей фазе (или её отпечатку на относительно вязкой матрице твёрдого сплава), отличающиеся либо вытянутостью, либо огранкой. Очевидно, также, что при использовании порошка дисперсностью 0,1–0,6 мм в рамках технологии плазменного нанесения покрытий [1], неизбежно появление в процессе разрушения наплавки элементарных актов (событий), определяемых масштабом фракционности порошка. Фактически разрушение таких покрытий можно рассматривать как разрушение относительно взятой среды с упрочняющими составляющими структуры различной морфологии и свойствами (карбиды, дендриты и др.).

В изломах (при помощи компьютеризированных процедур) были выделены фрагменты квазивязкой составляющей (так называемые «мосты») – результат слияния перемычек между хрупкими очагами трещины, как фактор повышающий сопротивляемость разрушению твердых сплавов (рис.2).

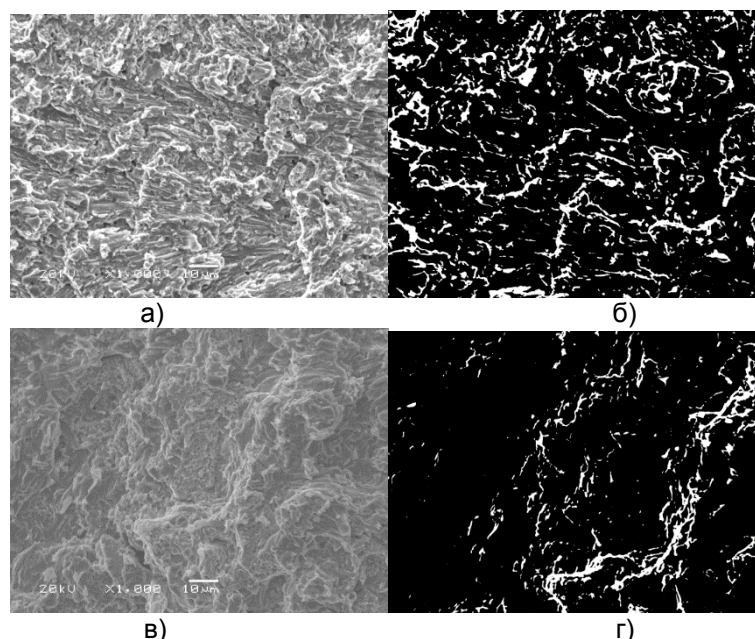


Рисунок 2 – Типичные изображения изломов сплава 1 и 2 (а, в) и выделенные на них квазивязкие участки – «мосты» (б, г) соответственно

Различие в объемной доле «мостов» характеризует уровень сопротивляемости разрушению серийных сплавов (табл. 2).

Таблица 2 – Соотношение доли перемычек в изломах («мостов») твёрдых сплавов 1 и 2

Сплав	Объемная доля, занимаемая «мостами» в изломе, %
1	16,1
2	6,9

Таким образом, полученные результаты в целом выявили ряд закономерностей в строении структур и изломов твердых сплавов, влияние неоднородности геометрии структурных составляющих и их конфигурации на деформацию и разрушение. Это важно для определения требований к геометрии исследуемых структур (размеров упрочняющих частиц, с учётом их природы, особенностей их размещения в объеме наплавки, масштабов толщин прослоек матрицы между ними) с целью повышения сопротивляемости твёрдых сплавов деформации и снижению риска их преждевременного разрушения в конструкции.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Соглашения № 14.578.21.0129 о предоставлении субсидии для финансового обеспечения (возмещения) затрат, связанных с выполнением ПНИЭР по теме: «Разработка импортозамещающих твердых сплавов с повышенными износными и технологическими характеристиками для упрочнения быстроизнашиваемых деталей сельхозмашин, эксплуатирующихся в абразивной среде». Уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI57815X0129.

Список литературы:

1. Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. М.: Колос. 1993. -195 с.
2. Соколовская Э.А. // Вопросы материаловедения. -2013. -№ 4 (76). -С. 143-153.
3. Штремель М.А. Прочность сплавов. Часть II. Деформация М.: МИСиС. 1997. – 527 с.
4. Разрушение. В 2 кн. Кн. 2. Разрушение структур: моногр./ М.А. Штремель. – М.: Изд. Дом МИСиС. 2015. – 976 с.