

УДК 621.891

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ В ДВУФАЗНЫХ СПЛАВАХ

© 2011 А.А. Федотов, М.Н. Сафонова, Л.М. Варламова

<sup>1</sup> Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск

Поступила в редакцию 21.03.2011

Работа посвящена проблеме разработки и эксплуатации абразивных инструментов – оценке возможности использования методов количественной металлографии и микроскопического анализа для определения структуры композитных материалов с наполнителями из порошков сверхтвердых материалов.

Ключевые слова: *абразивное зерно, политетрафторэтилен (ПТФЭ), содержание фазы, объемная доля фазы, шлифпорошки*

Свойства технических сплавов зависят не только от качественных особенностей микроструктуры, но также и от ее количественных характеристик. Существуют 3 основных метода измерения величин частиц по двумерным сечениям образца: 1) определение относительного содержания фаз; 2) построение распределений по размерам и 3) определение размера зерна. Гензмером [1] было показано наличие связи между механическими свойствами перлитных сталей и межпластиночным расстоянием; он также установил зависимость свойств отпущенных мартенситных сталей от среднего расстояния между карбидными частицами. Признание правильности соотношения Холла-Петча [2], связывающего предел текучести с размером зерна металлов и сплавов, привело к тому, что определение размеров зерна стало существенной частью исследований механических свойств.

Существует много методов описания фракционного состава двухфазных сплавов [3-5]. Наиболее универсальным из них является метод С.А. Салтыкова [3], так как в отличие от всех других методов, опубликованных до настоящего времени, он пригоден для расчета количества и распределения по размерам микрочастиц не только сферической формы, но и выпуклых тел, имеющих любую другую геометрическую форму. Эффективность и правильность получаемых результатов по методу С.А. Салтыкова приведено в работе [6]. Однако условия применимости данного метода требуют определить их форму, доказать ее тождественность для всех частиц в данном сплаве и найти закон распределения случайных сечений частицы установленной формы по величине их площади. Определение

формы частиц в объеме спеченного твердого сплава является сложной и не всегда выполнимой операцией. Так, например, когда частицы исследуемой фазы не имеют четких очертаний граней (наночастицы, расплавленные частицы) весьма сложно определить выпуклую геометрическую форму. Наряду с методами расчета количества и распределения по размерам микрочастиц существует метод точечного анализа, который не требует геометрического моделирования частиц и вывода закона распределения, и который может быть использован для установления объемной доли второй фазы.

**Цель работы:** применение метода точечного анализа для определения объемной доли твердой фазы (алмазных частиц) в объеме композита на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) и исследование их изменения в процессе трения и изнашивания.

**Объекты исследования.** В качестве абразивного материала использовались шлифпорошки из технических природных алмазов: 125/100 мкм, 80/63 мкм, 50/40 мкм. В качестве основы композиционного материала был выбран ПТФЭ – полимер, который обладает необходимыми свойствами, предъявляемыми к связке алмазно-абразивного инструмента [6]. Образцы для испытаний изготавливались из композиций с 40 мас.% содержанием алмазного порошка по технологии холодного прессования при давлении 50 МПа с последующим свободным спеканием при температуре  $375 \pm 5^\circ\text{C}$ .

Триботехнические испытания полученных алмазосодержащих образцов проводили с применением смазочно-охлаждающей жидкости (воды) на машине трения СМЦ-2 при вращательном движении по схеме цилиндр-диск с нагрузкой 100 Н. Продолжительность испытаний составляла 10 мин, скорость вращения вала – 300 об/мин (50-60 м/с). Обрабатываемый материал (контртело)  $52 \times 12 \times 10$  мм представлял собой термообработанную до HRC  $50 \pm 1$  сталь 40X. Испытуемые алмазосодержащие образцы изготавливались в форме цилиндров диаметром 10 мм и высотой 10 мм. До и после триботехнических испытаний

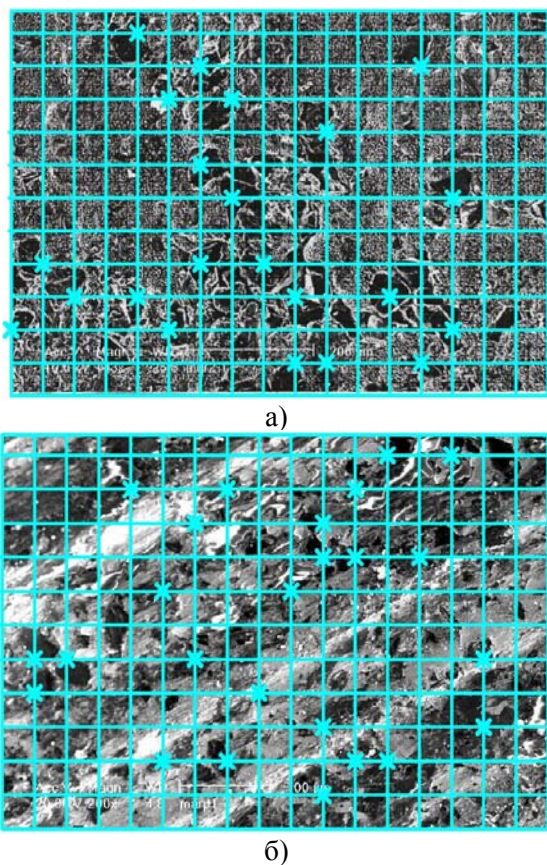
*Андрей Андреевич Федотов, заведующий лабораторией сопротивления материалов. E-mail: fedot\_andrey@mail.ru*

*Сафонова Мария Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов. E-mail: marisafon\_2006@mail.ru*

*Варламова Лира Мефодьевна, старший преподаватель кафедры сопротивления материалов. E-mail: varlatovaim@mail.ru*

поверхности трения композиционных материалов изучались с помощью растровой электронной микроскопии в режиме вторичных электронов на приборе XL-50 (Phillips).

**Метод точечного анализа.** Этот метод количественного анализа основан на том, что доля беспорядочно нанесенных на микрофотографию точек, попадающих на изображения исследуемой фазы, равна объемной доле (или доле площади) этой фазы. Для того, чтобы этот принцип выполнялся, точки должны наноситься на микрофотографию хаотически. Объемная доля фазы  $\alpha$  дается долей точек, которые попали на участки, занятые исследуемой фазой. На практике обычно неудобно иметь дело с беспорядочным набором точек и можно использовать упорядоченную систему точек. На рис. 1. показано применение метода точечного анализа для определения объемной доли твердой фазы (алмазных частиц) в объеме композита на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) и исследование их изменения в процессе трения и изнашивания. При этом предполагается, что микроструктурные составляющие распределены хаотически. Это предположение в основном выполняется для большинства обычных микроструктур, однако о нем необходимо помнить в тех случаях, когда наблюдается совершенно регулярное расположение структурных составляющих.



**Рис. 1.** Поверхности трения композиционных материалов ПТФЭ – шлифпорошки из природных алмазов 50/40 мкм: а) до трения; б) после

Весьма важно, чтобы расстояние между узловыми точками в прямоугольной сетке было большим по сравнению с размерами изучаемых структурных составляющих. Если это расстояние очень мало, то условие хаотического расположения составляющих не выполняется, и, следовательно, ошибка определения объемной доли фазы может значительно возрасти и стать больше ожидаемой величины. В этом случае вычисление объемной доли фазы будет сильно зависеть от расположения системы точек по отношению к отдельным частицам второй фазы. Таким образом, объемная доля  $p_\alpha$  фазы  $\alpha$  определяется из выражения

$$p_\alpha = n_\alpha / n, \quad (1)$$

где  $n_\alpha$  – число точек, попавших на участки фазы  $\alpha$ , и  $n$  – общее число точек, нанесенных на изображение микроструктуры.

Среднеквадратичное отклонение объемной доли в зависимости от числа используемых при анализе точек:

$$\sigma_{p_\alpha} = [p_\alpha (1 - p_\alpha) / n]^{1/2}. \quad (2)$$

Это выражение справедливо также для случая анализа микроструктур, содержащих больше двух фаз. Результаты определения объемной доли твердой фазы (частиц алмаза) на полимерной связке из политетрафторэтилена (ПТФЭ) представлены в таблице 1.

Так как ПТФЭ – полимер, обладающий низкой адгезионной активностью по отношению к алмазу, связь между ним и алмазными зернами в КАМ будет, в основном, осуществляться за счет сил физико-механического характера. Поэтому при разработке КАМ на основе ПТФЭ, в первую очередь, было исследовано влияние зернистости шлифпорошков на плотность и твердость получаемых композиций. Плотность алмазосодержащих композиций определяли методом гидростатического взвешивания по ГОСТ 15139-69 в дистиллированной воде при 20-22°C. Измерения твердости КАМ проводили на стационарном твердомере фирмы Хескерт по ГОСТ 4670-77. Измеренные значения физико-механических характеристик приведены в таблице 2. Наивысшие показатели плотности и твердости в исследованном диапазоне зернистостей достигаются при использовании шлифпорошка зернистости 80/63 мкм.

**Выводы:** РЭМ-фотографии поверхностей трения исследованных композиционных материалов приведены на рис. 1. При трении зерна мелкодисперсных шлифпорошков имеют тенденцию погружаться в материал связующего (рис. 1, б), в результате чего происходит процесс зашлифовки алмазных зерен, чем объясняются результаты расчета определения объемной доли твердой фазы (алмазных частиц 50/40). Метод

точечного анализа, который не требует геометрического моделирования частиц и вывода закона распределения, который используется для установления объемной доли второй фазы, может

быть применен как косвенный экспресс метод для определения структуры композитных материалов с наполнителями из порошков сверхтвердых материалов.

**Таблица 1.** Определения объемной доли твердой фазы (алмазных частиц) в объеме композита на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ)

Образец	$n$	$n_{\alpha}$	$p_{\alpha}$	$\sigma_{p_{\alpha}}$
	общее число точек	число точек попавших на участки фазы $\alpha$	объемная доля фазы $\alpha$	среднеквадратическое отклонение объемной доли
КАМ с 50/40 до испытаний	45	26	0,52778	0,073628288
КАМ с 50/40 после испытаний	73	19	0,260274	0,051355787
КАМ с 80/63 до испытаний	67	27	0,402985	0,059923845
КАМ с 80/63 после испытаний	49	21	0,428571	0,070695951
КАМ с 125/100 до испытаний	59	15	0,294237	0,056688367
КАМ с 125/100 после испытаний	36	8	0,21223	0,069289952

**Таблица 2.** Значения физико-механических характеристик алмазосодержащих композиций на основе ПТФЭ

Материал	Твёрдость, HRB	Плотность, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>
ПТФЭ	3-4	2,16
ПТФЭ - III	4,0-5,0	2,26
ПТФЭ - IIII	7,0-8,0	2,42
ПТФЭ - IIIII	6,0-7,0	2,31

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Gensamer, M., Pearsall E.B., Pellini W.S., Low J.R. Trans. ASM, 1942. V. 30. P. 983.

2. Petch, N.J. Iron Steel inst. (London). 1953. V. 25. P. 174.  
 3. Салтыков, С.Л. Стереометрическая металлография. – М.: Металлургия, 1976. 271 с.  
 4. Бублик, В.Т. Сборник задач и упражнений по курсу «Методы исследования и структуры»: Учеб. Пособие для вузов / В.Т. Бублик, А.Н. Дубровина. – М.: Высшая школа, 1988. 192 с.  
 5. Чернявский, К.С. Стереология в металловедении. – М.: Металлургия, 1977. 279 с.  
 6. Сафонова, М.Н. Расчетно-экспериментальный метод определения количества активных зерен в абразивном композиционном материале / М.Н. Сафонова, А.С. Сыромятникова, Е.Ю. Шиц // Трение и износ. 2007. №5. С. 471-476.

**DEFINITION OF SOLID PHASE RELATIVE MAINTENANCE IN TWO-PHASE ALLOYS**

© 2011 A.A. Fedotov, M.N. Safonova, L.M. Varlamova

<sup>1</sup> Northeast Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk

Work is devoted to problem of working out and operation of abrasive tools – an estimation the possibility of use the methods of quantitative metallography and microscopic analysis for definition the structure of composite materials with fillers from powders of superhard materials.

Key words: *abrasive grain, phase maintenance, phase volume fraction, abrasive powders*

Andrey Fedotov, Chief of the Materials Resistance Laboratory.

E-mail: fedot\_andrey@mail.ru

Mariya Safonova, Candidate of Technical Sciences, Associate

Professor at the Materials Resistance Department. E-mail:

marisafon\_2006@mail.ru

Lira Varlamova, Senior Teacher at the Materials Resistance

Department. E-mail: varlamovaim@mail.ru