

ФОРМИРОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПИРОГРАФИТА РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРЫ

Запорожская государственная инженерная академия

Розглянуто структурні аспекти формування залишкових мікроструктурних деформацій, міцнісних характеристик і коефіцієнтів тертя пірографіту, який має пластинчастий та об'ємний характер. Встановлено залежність межі міцності на вигин пластинчастого та об'ємного пірографіту від рівня залишкових напружень, висоти кристалітів і міжплощинної відстані. Визначено вплив кутів розташування площини ковзання з поверхнею осаждения пірографіту на значення коефіцієнтів тертя

Рассмотрены структурные аспекты формирования остаточных микроструктурных деформаций, прочностных характеристик и коэффициентов трения пирографита, имеющего пластинчатый и объемный характер. Установлена зависимость предела прочности на изгиб пластинчатого и объемного пирографита от уровня остаточных напряжений, высоты кристаллитов и межплоскостного расстояния. Определено влияние углов расположения плоскости скольжения с поверхностью осаждения пирографита на величину коэффициентов трения

Введение. Наиболее устойчивым к внешним условиям эксплуатации можно отнести высокотемпературный пироуглерод-пирографит, полученный осаждением из газовой фазы при температуре 2200...2400 °С. При повышении температуры прочность пирографита в плоскости его осаждения возрастает, достигает максимума при температуре 2800 °С и составляет 320...350 МПа. Модуль упругости пирографита в плоскости осаждения не имеет максимума и незначительно снижается при температурах испытания выше 1500 °С [1].

В работе [2] проведено исследование остаточных термоструктурных напряжений в пластинчатом пирографите и установлена зависимость механических характеристик от остаточных напряжений.

Постановка задачи. Задачей работы является определение триботехнических характеристик пирографита и установление их связи со структурой пластинчатого и объемного пирографита.

Экспериментальная часть. Структуры пластинчатого и объемного пирографита значительно отличаются друг от друга. Пластинчатый пирографит составлен плоскими углеродными слоями, обладающими низкими прочностными характеристиками в перпендикулярном к слоям направлении.

На рис. 1(1) представлен вид пластинчатого пирографита в плоскости осаждения углерода. Конуса роста пирографита имеют сферообразный выход на поверхность осаждения и достаточно малый эффективный диаметр, который составляет 1...3 мм.

Вид пластинчатого пирографита в плоскости, перпендикулярной поверхности осаждения приведен на рис. 1(2). Видны отдельные слои углерода, при этом некоторые из них разделены аморфным углеродом – сажей.

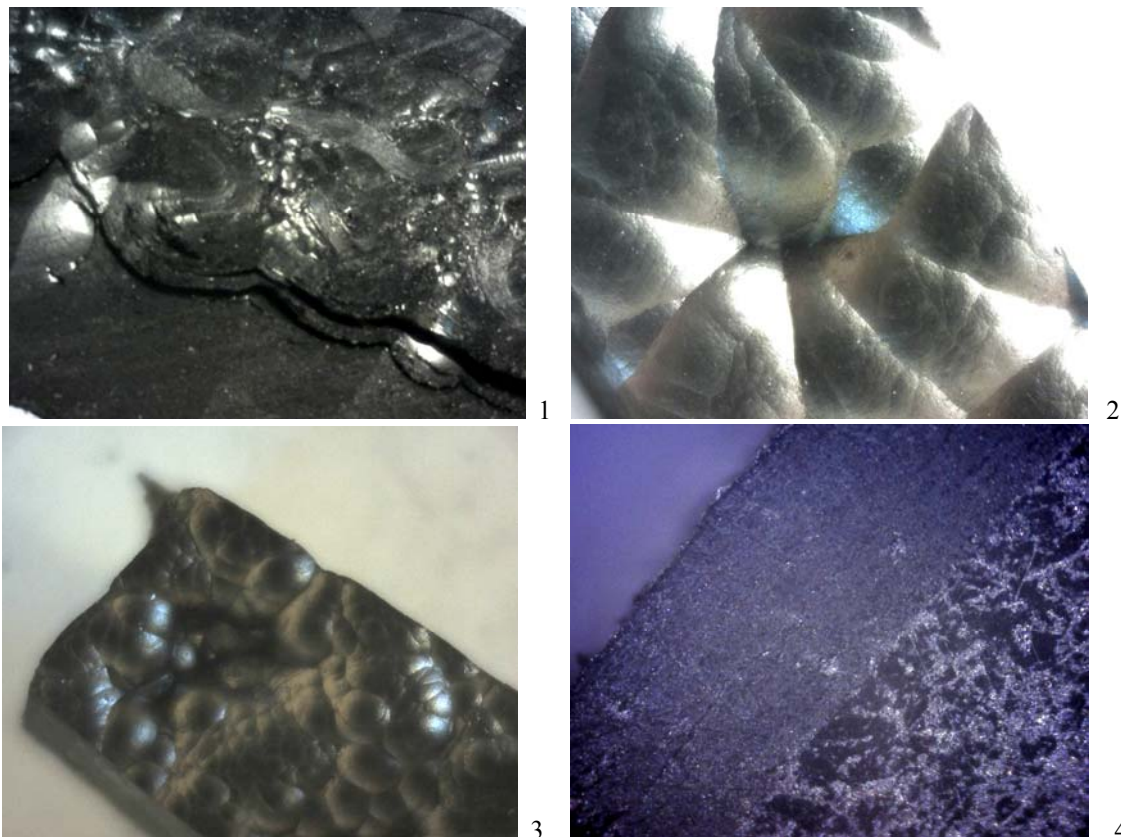


Рисунок 1 – Структура пирографита:

1, 2 - объемный; 3, 4 – пластинчатый;
2, 3 - в плоскости осаждения; 1, 4 - перпендикулярно плоскости осаждения

Объемный пирографит имеет ярко выраженные конуса роста, в которых атомные углеродные плоскости имеют конусообразный вид. Такая структура имеет меньшую степень текстуры и меньшую склонность к растрескиванию.

На рис. 1(3) приведена структура объемного пирографита в плоскости, перпендикулярной к поверхности осаждения. Структура представлена конусами роста, имеющими куполообразные углеродные слои, хаотично расположенные друг относительно друга.

На рис. 1(4) приведен вид объемного пирографита в плоскости осаждения углерода. Выход конусов роста на поверхность осаждения также имеет куполообразный вид, однако их хаотическое пересечение создает вид линейных многоугольных фигур.

Методом рентгеноструктурного анализа определялось межплоскостное расстояние d_{002} , высота кристаллитов L_c и уровень остаточных микроструктурных деформаций $\varepsilon_{ост}$. Предел прочности на изгиб образцов пирографита изучали по стандартной методике на машине FP-100.

В табл. 1 представлена зависимость предела прочности на изгиб σ_u объемного пирографита от высоты кристаллитов L_c . Межплоскостное расстояние составляет $d_{002} = 3,425$.

Таблица 1 – Зависимость предела прочности на изгиб σ_u от высоты кристаллитов L_c для объемного пирографита

$L_c, \text{\AA}$	75	80	85	90	93	95	100	105	110
$\sigma_u, \text{МПа}$	20,0	22,3	23,7	24,3	24,5	24,4	24,1	23,4	21,5

Как следует из данных табл. 1, предел прочности на изгиб имеет ярко выраженный максимум, который составляет 24,5 МПа для высоты кристаллитов $L_c = 93 \text{\AA}$.

На величину прочностных и триботехнических характеристик значительное влияние оказывает уровень остаточных микроструктурных деформаций $\varepsilon_{ост}$. В свою очередь, остаточные микроструктурные деформации $\varepsilon_{ост}$ зависят от высоты кристаллитов L_c , величины межплоскостного расстояния d_{002} и толщины h объемного пирографита.

Регрессионное уравнение, определяющее уровень остаточных микроструктурных деформаций, представляется в виде квадратичного полинома:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{i \text{ нд}} = & 1,7615 + 0,0013 L_c + 0,3300 d_{002} - 0,0666 h + 0,516 \cdot 10^{-5} L_c^2 - \\ & - 0,1360 d_{002}^2 + 0,711 \cdot 10^{-3} h^2 - 0,0014 L_c \cdot d_{002} + \\ & + 0,52 \cdot 10^{-4} L_c \cdot h + 0,0081 d_{002} \cdot h, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\varepsilon_{ост}$ – остаточная микроструктурная деформация, %.

Влияние остаточных микроструктурных деформаций $\varepsilon_{ост}$ на предел прочности на изгиб σ_u для объемного пирографита имеет линейный характер (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние остаточных деформаций $\varepsilon_{ост}$ на предел прочности объемного пирографита при изгибе σ_u

$\varepsilon_{ост}, \%$	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75
$\sigma_u, \text{МПа}$	10,5	14,5	18,1	21,1	25,5	29,2

Исследование триботехнических характеристик пирографита в условиях сухого трения проводили по схеме «диск-колодка».

Диск, диаметром 50 мм, был выполнен из серого чугуна. Образцы в виде колодки размерами $x \times x$ мм были изготовлены с учетом анизотропии обоих видов пирографита. Направление плоскости трения по отношению к поверхности осаждения составляло 0, 45 и 90 угловых градусов.

Испытания проводили на машине трения СМТ – 1М по стандартной методике. Коэффициенты трения определяли по измеренному моменту трения при заданной нагрузке на образец.

Коэффициенты трения объемного и пластинчатого графита представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Коэффициенты трения объемного и пластинчатого пирографита

Вид образца пирографита	Удельное давление, МПа	Направление плоскости трения		
		0°	45°	90°
Объемный	0,55	0,070	0,075	0,217
	0,80	0,192	0,200	0,500
	1,50	0,150	0,180	0,400
Пластинчатый	0,55	0,070	0,080	0,270
	0,80	0,192	0,225	0,360
	1,50	0,120	0,210	0,296

Из анализа данных табл. 3 следует, что с увеличением удельного давления величина коэффициента трения изменяется существенно нелинейно. Наибольшее значение коэффициента трения соответствует удельному давлению 0,80 МПа. Увеличение удельного давления до 1,50 МПа обуславливает снижение коэффициента трения на 21...37 % в плоскости осаждения, на 6...10 % под углом 45° и 0,18...0,20 % под углом 90°.

Максимальное значение коэффициента трения соответствует плоскости скольжения, которая направлена перпендикулярно поверхности осаждения. В этом направлении пирографит не имеет самосмазывающей способности, которая обусловлена сдвигом базовых углеродных плоскостей друг относительно друга.

Для плоскостей скольжения, расположенных под углом 45 градусов, появляется возможность для сдвига отдельных базовых углеродных поверхностей. В работе [2] показано, что межплоскостная прочность в пирографите практически сопоставима с уровнем остаточных напряжений. Появление силы трения, направленной параллельно или под небольшим углом к базовым углеродным слоям, создает условия их отрыва по отдельным микроучасткам. Это обуславливает появления явления самосмазывания и снижения коэффициента трения практически в 2,0...2,5 раза.

В случае совпадения плоскостей скольжения с поверхностью осаждения пирографита реализуется механизм самосмазывания и коэффициент трения имеет минимальное значение.

Заключение. Экспериментальным путем определены микроструктурные параметры и коэффициенты трения для пластинчатого и объемного видов пирографита. Установлено, что коэффициенты трения нелинейно зависят от величины удельного давления, значительно возрастают с увеличением угла расположения плоскости скольжения по отношению к поверхности осаждения пирографита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свойства конструкционных материалов на основе углерода [Текст] : справочник ; под ред. В. М. Соседова. – М. : Машиностроение, 1975. – 335 с. – Библиогр. : с. 332-334.
2. Скачков, В. А. Исследование остаточного напряженного состояния в пластинчатом пирографите [Текст] / В. А. Скачков, В. И. Иванов, А. В. Карпенко // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании. Технические науки : сб. научн. трудов. – Одесса : ИМФ Украины, 2008. – Т. 4. – С. 43-45.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2012
р.

Рецензент, проф. С.А. Воденніков