

УДК 668.738+661.666.4.

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

А. С. ФИАЛКОВ, Б. Н. СМЕРНОВ, С. М. РАБИНОВИЧ,
У. Ш. ГИЛЯЗОВ, З. Н. АРХИПКИНА

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПОЛОС ДЕФОРМАЦИИ ПРИ НАГРУЖЕНИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПИРОУГЛЕРОДА

(Представлено академиком И. В. Танапаевым 4 VII 1975)

В данной работе изучены деформационные дефекты структуры, которые образуются в пироуглеродных покрытиях при их одноосном сжатии вдоль плоскости осаждения на подложке. Подложка при этом играет роль стенки, повышающей устойчивость к изгибу слоя покрытия. В этих условиях нагружения при достижении определенного уровня напряжений происходит неравномерная деформация образцов с образованием полос деформации, которые формально подобны полосам сброса, изученным на монокристаллах.

Исследованию полос деформации в кристаллах посвящено много работ (¹⁻¹⁰). Установлено, что полосы возникают вследствие неоднородной деформации путем незакономерного поворота решетки в деформированной области. Относительно механизма поворота существуют различные мнения. Некоторые авторы (⁴⁻⁸) полагают, что поворот решетки в полосе деформации — следствие неоднородного распределения скольжения в образце, другие (⁹⁻¹⁰) считают, что переориентация решетки происходит в результате действия в соседних повернутых областях различных систем скольжения.

Описываемые нами дефекты получены на образцах анизотропного высокотемпературного пироуглерода, осажденного на углеграфитовую подложку (¹¹). Нагружение производилось при комнатной температуре. В области дефекта происходит сдвиг одной части образца относительно другой и между сдвинутыми частями возникает полоса деформации.

Образование полос деформации происходит мгновенно после достижения определенного уровня напряжений, сопровождается звуковым эффектом и сбросом напряжений. Ширина полосы составляет от 15 мкм до 1 мм, угол наклона относительно плоскости осаждения изменяется от 35 до 55°, а угол поворота базисных плоскостей от 40 до 90°. Исследование структурных изменений, происходящих с образцов в процессе деформации, производилось на полированных шлифах, поверхность которых подготавливалась путем ионного травления в среде аргона. Образцы просматривались в металлографическом и сканирующем электронном микроскопах. Кроме того, структурные изменения в материале изучались в просвечивающем электронном микроскопе и с помощью рентгеноструктурного анализа по известным методикам (¹¹).

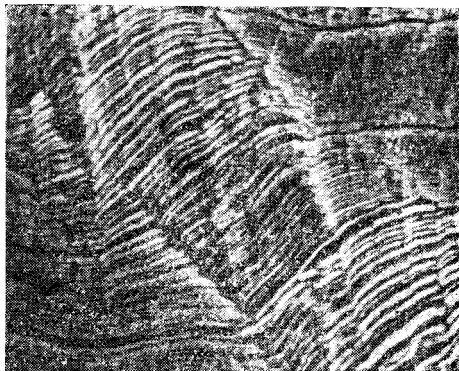


Рис. 1. Полоса деформации в образце из высокотемпературного пироуглерода. Сканирующий электронный микроскоп, 300×

На рис. 1 представлена фотография полосы деформации, полученная в сканирующем электронном микроскопе, на которой отчетливо видно, что образование полосы сопровождается многочисленными расслоениями материала по плоскости базиса. Эти расслоения наблюдаются не только в повернутой области полосы, но и в прилегающих к ней областях образца. Таким образом, расслоение предшествует повороту в процессе деформации, а не является следствием поворота.

Электронно-микроскопические исследования на просвет материала недеформированной части образца и материала из полосы деформации обнаружили существенные различия их структуры. Частицы недеформирован-

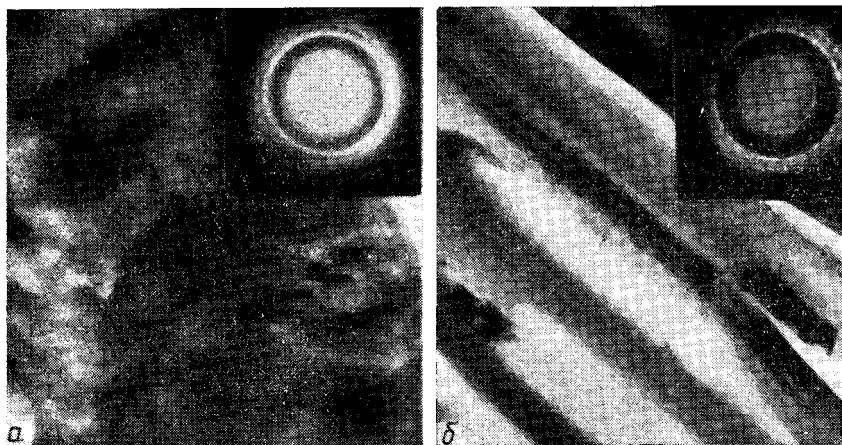


Рис. 2. Электронно-микроскопический снимок материала из недеформированной части образца (а) и из полосы деформации (б). 20 000×

ного материала имеют характерную для пироуглерода слоистую структуру без каких-либо морфологических особенностей (рис. 2а). В частицах материала из полосы деформации наблюдается характерная для рекристаллизованных материалов блочная структура, а также большое количество микрополос с повернутой плоскостью базиса (рис. 2б). Полосы ориентированы в одном направлении, а их ширина составляет 0,2—0,5 мкм. Наблюдаемые морфологические изменения связаны с упорядочением кристаллической структуры, что подтверждается микродифракционными исследованиями. На дифракционных картинах, полученных с частиц недеформированного материала, наблюдаются размытые линии (10) и (11). Для материала из полосы деформации характерно появление модулированных (100) и (101), (110) и (112) линий, состоящих из точечных рефлексов. Кроме того, на микроэлектронограммах, снятых с участков частиц, имеющих микрополосы, появляются рефлекс в виде дуг от базисных плоскостей, подтверждающие, что микрополосы представляют собой области материала с повернутой относительно остальной частицы плоскостью базиса. Таким образом в микромасштабе повторяется картина, характерная для микрополосы.

Рентгеноструктурный анализ материала из недеформированной части образца и из полосы деформации также обнаружил значительные структурные изменения, происходящие при деформации. Значения d_{002} недеформированного материала составляли 3,410 Å, а степень графитации, определяемая как отношение интенсивностей линий (112) и (110) равнялась 0,34. В полосе деформации значения d_{002} уменьшились до 3,370 Å, а степень графитации увеличилась до 0,83.

Результаты исследований показывают, что несмотря на формальное сходство между полосами деформации (сброса) в монокристаллах и опи-

санными деформационными дефектами в пироуглероде, механизм их образования имеет мало общего. Образование полос в пироуглероде происходит путем сложной деформации, основную часть которой составляет деформация сдвига, приводящая к смещению одной части образца относительно другой и сбросу напряжений.

Большие деформации сдвига приводят к нарушению сплошности и расслоению образца в полосе деформации по плоскости базиса на пластинки толщиной 1—5 мкм. Внутри каждой пластинки также наблюдаются сдвиговые деформации, сопровождающиеся образованием микрополос. Эти деформации не вызывают нарушений сплошности в плоскости базиса и осуществляются, по-видимому, за счет скольжения базисных дислокаций. Перемещение углеродных слоев по дислокационному механизму под действием сдвиговых напряжений приводит к упорядочению структуры, которое обычно имеет место при графитации в процессе высокотемпературной обработки. Отсутствие структурных изменений в недеформированной части образца показывает, что упорядочение структуры происходит не просто под действием напряжений, а только тогда, когда имеет место сдвиговая деформация в плоскости базиса.

В литературе имеются противоречивые данные по вопросу о влиянии напряжений на графитацию (¹², ¹³). Специальными опытами было показано (¹⁴), что графитация улучшается не простым присутствием внешнего напряжения, а пластической деформацией. В цитированных работах образцы нагружались при температуре выше 2000° С.

Приведенные в настоящей работе результаты показывают, что существенное упорядочение структуры углеродистых материалов в результате сдвиговых деформаций возможно при комнатной температуре.

Ессесюзный научно-исследовательский
институт электроугольных изделий
г. Электроугли, Московской обл.

Поступило
11 VI 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ O. Lehman, Zs. Kristallogr., В. 10. 321 (1885). ² O. Mügge, Neues Jahrb. Mineral., В. 1, 71 (1898). ³ Н. А. Бриллиантов, И. В. Обреимов, ЖЭТФ, т. 5, в. 3—4 (1935); ЖЭТФ, т. 7, в. 8, 878 (1937). ⁴ J. Gilman, T. Read, J. Metals, В. 5, 1, 49 (1953). ⁵ А. Б. Земцов, М. В. Классен-Неклюдова, А. А. Урусовская, ДАН, т. 91, 4, 813 (1953). ⁶ А. В. Степанов, Изв. АН СССР, сер. физ., № 4—5, 797 (1937). ⁷ А. В. Степанов, А. В. Донской, ЖТФ, в. 24, 2 (1954). ⁸ М. А. Классен-Неклюдова, М. А. Чернышова, Г. Е. Томиловский, Кристаллография, 10 (1960). ⁹ Е. В. Колонцова, И. В. Телегина, Г. М. Плавник, Кристаллография, т. 4, 13 (1956). ¹⁰ Е. В. Колонцова, И. В. Телегина, ДАН, т. 116, № 4, 605 (1957). ¹¹ А. С. Филков, А. И. Бавер и др., ЖСХ, т. 6, № 1, 66 (1965). ¹² D. B. Fischbach, Tech. Report 32—532, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Calif., 1965. ¹³ D. B. Fischbach, Techn. Rep. 32—1237, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Calif., 1968. ¹⁴ D. B. Fischbach, J. chim. phys. et phys.-chim., Numero Special, April, 1969, p. 121.