

УДК 666.233

А. В. Ножкина¹, д-р техн. наук,
А. И. Лаптев², **А. А. Ермолаев**², кандидаты технических наук

¹ОАО "Научно-исследовательский институт природных, синтетических алмазов и инструмента" (ВНИИАЛМАЗ), г. Москва, Россия

²Московский государственный институт стали и сплавов (МИСиС), Россия

СИНТЕЗ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПЛАВОВ-КАТАЛИЗАТОРОВ СИСТЕМЫ Ni–Cr–X (Mo, Ti, Ta)

Influence of mechanical properties of alloys-catalysts on mechanical properties of synthetic polycrystalline composite diamond materials is studied. It is established, that increase of durability of an alloy-catalyst leads to increase of durability of a metal sheaf and durability of a diamond composite material. The established dependence is observed at preservation of plasticity of a sheaf.

Поликристаллические алмазы, получаемые синтезом из углеродистых материалов в присутствии сплавов-катализаторов, представляют собой алмазные композиционные материалы [1], в которых алмазные кристаллиты составляют алмазный каркас [2], а металлическая фаза представлена внутрикристаллитными и межкристаллитными включениями, состав которых определяется составом применяемых сплавов-катализаторов [3]. Алмазная фаза и металлические включения, играющие роль связки, существенно влияют на свойства алмазного композита. Влияние условий синтеза и свойств исходного графита на морфологию алмазных кристаллитов описано в [4–5]. Показано, что повышение давления синтеза и применение искусственных графитов с высокой степенью кристаллографического совершенства приводят к измельчению алмазных кристаллитов и повышению качественных показателей композита в целом. Влияние адгезионных характеристик расплава катализатора на свойства алмазного композита носит более сложный характер [6].

Цель настоящей работы – изучить влияние состава сплава-катализатора на механические свойства алмазного поликристаллического композиционного материала.

Синтез поликристаллических алмазов с применением легированных сплавов-катализаторов системы Ni–Cr, изготовленных методами порошковой металлургии, проводили при давлении 8 ГПа в течение 12 с. Температура синтеза зависела от состава сплава-катализатора. После синтеза поликристаллы дробили и выделяли фракции 630/500 и 400/315 для проведения прочностных испытаний по ГОСТ 9206-80. Результаты изучения прочности алмазов АРК4 фракций 630/500 и 400/315, синтезированных с применением катализаторов системы никель-хром, показаны на рис. 1, а синтезированных с применением катализаторов системы 20Cr–80Ni– Mo(Ti, Ta) – на рис. 2.

Повышение содержания хрома в катализаторе на основе никеля (рис.1) приводит к понижению прочности поликристалла, наиболее резко при содержании хрома более 10 и 30 %. В соответствии с диаграммой состояния системы Ni–Cr–C, приведенной в [7], первой области (> 10 % Cr) соответствует появление карбидов хрома, второй (> 30 % Cr) – α -фазы (раствора никеля в хrome).

Прежде чем приступить к обсуждению результатов влияния титана, тантала и молибдена на прочность поликристаллов, рассмотрим имеющиеся в литературе данные о влиянии указанных элементов на механические свойства никельхромовых сплавов.

Свойствам никельхромовых сплавов уделяется большое внимание. Это объясняется тем, что эти сплавы применяются в качестве жаростойких и жаропрочных материалов. Одной из задач по улучшению их свойств является повышение прочности никелевой матрицы. Проанализировав возможные механизмы упрочнения матрицы при образовании твердого

раствора [8, 9], приходим к выводу, что при легировании матрицы с гранцентрированной кубической структурой (в частности, никеля) наибольший эффект по упрочнению наблюдается при введении элементов, образующих растворы замещения. Образование растворов внедрения сопровождается плавным упрочнением. Примером может служить раствор углерода в никеле. Зарубежные исследователи Н. Мотт и Ф. Набарро [10] пришли к выводу, что упрочнение твердого раствора объясняется внутренними напряжениями, вызванными внедрением атомов растворенных элементов в упругую матрицу. Согласно их модели предел текучести для разбавленного твердого раствора зависит от разницы параметров решетки чистой матрицы и растворенного элемента. Введение центров искажения решетки отразится на существующих между атомами силовых полях. При этом атомы растворителя и растворенного элемента смещаются от средних положений в решетке, в результате чего образуются постоянные линейные статические искажения. Влияние атомного диаметра легирующего элемента на упрочнение матрицы описано в [8].

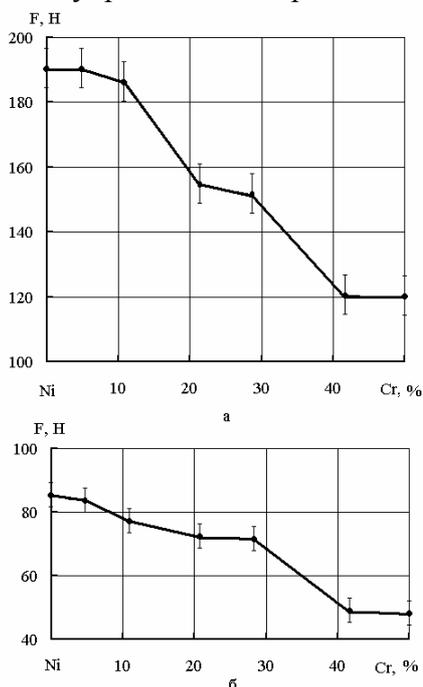


Рис. 1. Зависимости прочности поликристаллических алмазов фракций: 630/500 (а) и 400/315 (б) содержания хрома в сплаве-катализаторе на основе никеля

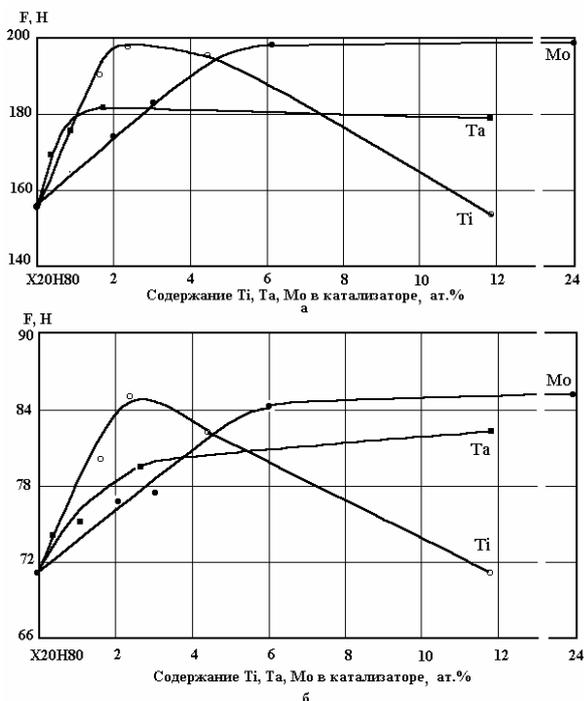


Рис. 2. Влияние Зависимости прочности поликристаллических алмазов фракций 630/500 (а) и 400/315 (б) от содержания молибдена, титана и тантала в сплаве-катализаторе

На основании экспериментального материала по влиянию легирующих элементов на период решетки никелевой матрицы и ее прочностные свойства была установлена зависимость между периодом решетки сложного раствора на основе никеля и его прочностью, причем эта зависимость носит линейный характер и хорошо аппроксимируется уравнением вида [8]

$$\varepsilon = p + s \cdot a,$$

где: ε – удельная прочность γ -раствора; p, s – коэффициенты; a – период решетки γ -раствора.

Таким образом, упрочнение твердого раствора определяется в основном изменением геометрического параметра кристаллической решетки основы сплава и прочностные свойства достигают максимальных значений при максимально возможном периоде решетки. Влияние титана, тантала и молибдена в сплаве X20H80 на период решетки никелевой матрицы описано в [11]. Из результатов изменения периода решетки a (рис. 3) следует, что максимальное упрочнение сплава X20H80 происходит при введении до 2 ат. % тантала, до 3–6 ат.

% титана, до 6 ат. % молибдена. Указанные концентрации тантала, титана и молибдена соответствуют их предельной растворимости в сплаве X20H80.

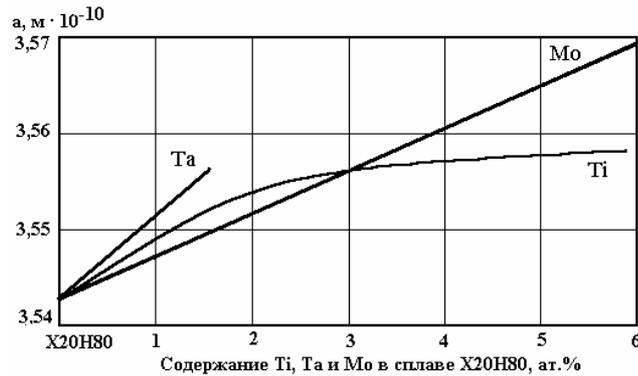


Рис. 3. Зависимости периода решетки твердого раствора на основе никеля от содержания молибдена, титана и тантала в сплаве X20H80 [11]

В настоящей работе приведены результаты изучения влияния титана, тантала и молибдена в катализаторе на основе никеля на период решетки твердого раствора на основе никеля (γ), присутствующего в поликристалле. Для расчета a γ -раствора на основе никеля в качестве эталона использовали алмаз. Период решетки алмаза принимали $a = 3,567 \cdot 10^{-10}$ м [12]. Результаты исследования показаны на рис. 4. При сопоставлении данных о влиянии титана, тантала и молибдена в сплаве X20H80 на период решетки a γ -раствора на основе никеля и γ -раствора на основе никеля, содержащегося в поликристалле, видно хорошее их соответствие. Следовательно, введение титана, тантала и молибдена в сплав X20H80 должно приводить к упрочнению металлической связи поликристаллов.

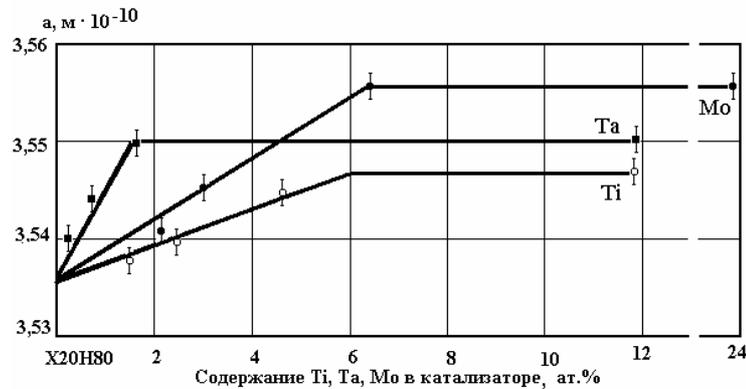


Рис. 4. Зависимости периода решетки твердого раствора на основе никеля, присутствующего в поликристаллическом алмазе, от содержания молибдена, титана и тантала в сплаве-катализаторе на основе сплава X20H80

Сравнивая данные рис. 2 и 4, видим, что прочность поликристалла повышается при таком содержании легирующего металла, при котором увеличивается решетка γ -раствора, а следовательно, прочность никелевой матрицы. Если содержание легирующего металла в сплаве-катализаторе превышает количество, соответствующее его предельной растворимости в сплаве X20H80, прочность поликристалла не повышается, а если легирующим металлом является титан, прочность снижается. Введение титана в количестве, превышающем его растворимость в γ -растворе, приводит к образованию η -фазы (интерметаллида Ni_3Ti с гексагональной плотноупакованной решеткой), которая выделяется по границам зерен или кристаллизуется в пластинчатой форме. Выделение η -фазы негативно влияет на механические свойства сплава [8]. Следовательно, введение более 6–7 ат. % титана в сплав X20H80 приво-

дит к выделению η -фазы (растворимость титана в сплаве X20N80 составляет 2 % (2,4 ат. %) при 300К и 6 % (7,5 ат. %) при температуре 1500 К [13]), снижению механических свойств, и, как следствие, прочности поликристалла.

В результате изучения влияния механических свойств используемого сплава-катализатора на механические свойства синтезируемых поликристаллических алмазов установлено, что повышение прочности сплава-катализатора приводит к повышению прочности металлической связки и алмазного композиционного материала. Установленная зависимость соблюдается при сохранении пластичности связки, охрупчивание которой при образовании большого количества карбидов или интерметаллидов приводит к снижению прочности алмазного композиционного материала.

Литература

1. Ножкина А. В., Лаптев А. И., Ермолаев А. А. Влияние условий получения поликристаллических алмазов «карбонадо» на их прочностные свойства //Сверхтвердые матер. – 2002. – № 5. – С. 36 – 40.
2. Ермолаев А. А., Лаптев А. И., Поляков В. П. Влияние состава сплава-катализатора на механизм синтеза и состав фаз поликристаллического алмаза «карбонадо» //Изв. ВУЗов. Цвет. мет. – 2000. – № 2. – С. 62–65.
3. Синтез поликристаллических алмазов «карбонадо» из пирографита. / А. В. Елютин, А. И. Лаптев, А. В Манухин. и др. // Докл. РАН. – 2001. – 378, № 6. – С. 1– 6.
4. Применение графитов различных марок для синтеза поликристаллических алмазов «карбонадо» / А. И. Лаптев, А. В Манухин., Д. С. Санников и др. // Изв. ВУЗов. Цвет. мет. – 2002. – № 1. – С. 41– 44.
5. Лаптев А. И. Роль адгезионных характеристик сплавов-катализаторов в процессе образования поликристаллических алмазов «карбонадо» // Сверхтвердые матер.: Сб. науч. тр. под рук. А. В. Елютина. – М.: Изд-во МГИСиС, 2001. – С. 90–104.
6. Ермолаев А. А., Лаптев А. И., Санников Д. С. Синтез алмазных поликристаллов карбонадо в системе никель–хром–углерод / /Изв. ВУЗов. Цвет. мет. – 2000. – № 4. – С. 43 – 46.
7. Von Werner Koter, Sigrid Kaberman. Das Dreistoffsystem Nickel-Chrom-Kohlenstoff //Archiv fur das Eisenhunenwesen. – 1955. – V. 26, № 10. – P. 627–630.
8. Симс У., Хагель В. Жаропрочные сплавы. – М.: Металлургия, 1976. – 568 с.
9. Флейшер Р., Хиббард У. Упрочнение при образовании твердого раствора // Структура и механические свойства твердого раствора. – М.: Металлургия, 1967. – С. 85–111.
10. Mott N. F., Nabarro F. R. N. Report of the Conferense on Stregth of solids //Physical Society. 1948. –P. 1-11.
11. Conpand D. R., Hall C. W., Mc. Gill I. R. Platinum-Enriched Superalloys // Platinum Metals Review. – 1982. – V. 26, N 4. – P. 146 – 157.
12. Курдюмов А. В, Пилянкевич А. Н. Фазовые превращения в углероде и нитриде бора. – К.: Наук. думка, 1979. – 186 с.
13. Корнилов И. И., Космодемьянский В. В. Соотношение между составом, температурой и жаропрочностью. II. Сплавы тройной системы никель–хром–титан // Изв. АН СССР. – 1955. – № 2. – С. 89 – 97.

Поступила 14.06.09