

9. Мышковец, В.Н. Лазерная сварка тонкостенных изделий из коррозионно-стойких сталей / В.Н. Мышковец, А.В. Максименко, С.Н. Юркевич // Научно-технический и производственный журнал «Заготовительные производства в машиностроении». – 2003. – № 11. – С.17–18.

10. Лазерная установка с оптоволоконной приставкой и процессы сварки изделий из нержавеющей стали / А.В. Мышковец [и др.] // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2003. – Т. 8, № 4. – С. 84–87.

**Д.Г. Пилипцов, А.В. Рогачев, Н.Н. Федосенко,
А.С. Руденков, Чжоу Бин**

**УО «Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины», Беларусь**

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ МЕТАЛЛА НА ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ ЛЕГИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ

Спектроскопия комбинационного рассеивания – один из наиболее широко применяемых методов для неразрушающего анализа углеродных покрытий. Данный метод позволяет охарактеризовать кристаллические и аморфные группы атомов в материалах на основе углерода [1–3].

В КР-спектрах различных аллотропных модификаций углерода, таких как алмаз, графит, фуллерены, нанотрубки и алмазоподобные покрытия (АПП), наблюдаются большие различия.

АПП состоят из аморфного углерода с областями, состоящими из углерода с электронными конфигурациями sp^2 и sp^3 . Их механические и оптические свойства зависят не только от содержания sp^3 , но и от числа и размера групп с sp^2 связанных атомов углерода. Характерные рамановские спектры могут использоваться для изучения структуры атомов углерода.

При возбуждении АПП излучением видимого диапазона в КР-спектре проявляются два пика при 1560 см^{-1} называемый G пик и при 1360 см^{-1} D пик. Эти два основных пика зависят от атомов углерода, находящихся в sp^2 конфигурации. G пик отражает валентные колебания всех sp^2 связанных атомов углерода из углеродного кольца или длинной цепочки, в то время D пик возникает из колебаний sp^2 связанных атомов углерода углеродного кольца. Смещение G пика

может служить индикатором числа sp^3 -связей, т. е. сдвиг G пика к нижним волновым числам указывает на возрастание содержания sp^3 связей. Шродер [1,2] изучал КР-спектры смеси порошков алмаза и графита в фиксированном процентном соотношении, он установил, что число sp^3 связей возрастает при увеличении интегральных интенсивностей отношения I_D/I_G , а G пика убывает, в тоже время число цепочечных структур возрастает [1,3].

В таблице 1 приведены результаты математической обработки экспериментальных данных по Гауссу. Показано, что на КР-спектрах всех образцов наблюдаются характерные спектральные особенности D и G пиков, присущие для всех структур АПП.

Таблица 1 – Результаты математической обработки КР спектров

№	Концентрация легирующих элементов, %		Центр I_D пика $[cm^{-1}]$	Область интегрирования	Центр I_G пика $[cm^{-1}]$	Область интегрирования	I_D/I_G
	Cu	Ti					
1	0	0	1360	275083,4	1548	504191,8	0,55
2	3,6	0	1397	473049,3	1549	551153,5	0,86
3	4,22	0	1367	584929,6	1556	823975,4	0,71
4	6,70	0	1383	374590,2	1570	366384,9	1,02
5	15,0	0	1392	70382,7	1568	51478,9	1,37
6	1,56	43,60	1393	124027,0	1572	72336,8	1,71
7	3,84	41,62	1390	432739,3	1565	260701,1	1,65
8	4,89	40,11	1368	452653,3	1568	179939,4	2,52

Положение D и G пиков определяется природой легирующего элемента и его концентрацией.

Из данных, приведенных на рисунке 1, видно, что происходит характерное смещение G пика к нижним волновым числам для легированных медью композиционных АПП (образцы 2–5). Отношение I_D/I_G существенно уменьшается с возрастанием содержания Cu, что показывает на уменьшение числа sp^3 связей для легированных медью АПП, что подтверждает способность меди стимулировать процесс графитизации в процессе роста углеродного покрытия.

При бинарном легировании титаном и медью положение G пика изменяется с 1549 см^{-1} до 1572 см^{-1} , при этом соотношение I_D/I_G существенно возрастает с 0,71 до 2,52. Это указывает на то, что число

sp^3 связей при бинарном легировании АПП снижается, а число sp^2 связей возрастает. Легирование титаном и медью стимулирует увеличение степени разупорядоченности sp^2 связей.

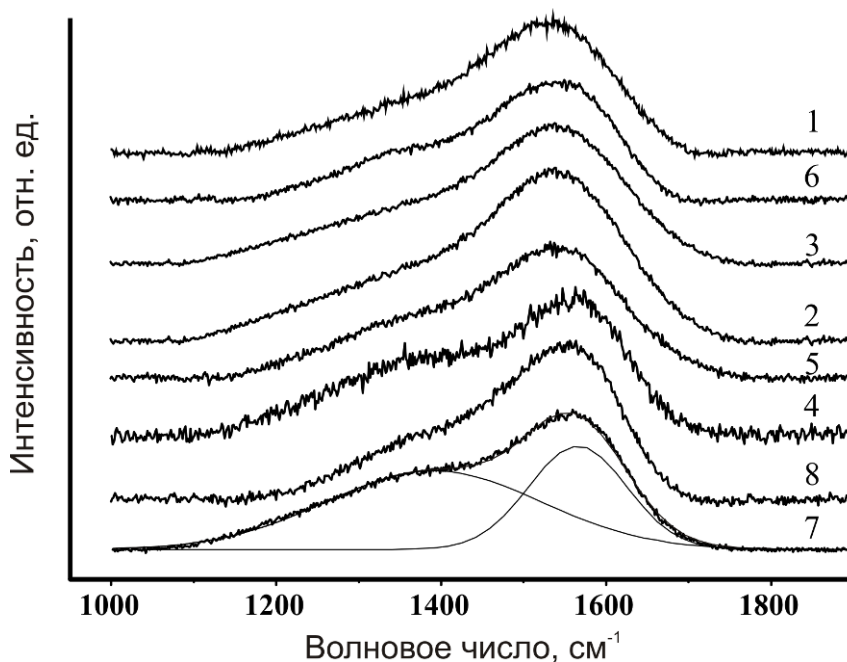


Рисунок 1 – Рамановские спектры одно- и двухкомпонентно легированных Ti и Cu АПП (нумерация образцов та же, что и в таблице 1)

Такое поведение отношения I_D/I_G характеризует уменьшение степени упорядоченности атомов углерода и отдельных углеродных кластеров в аморфной углеродной основе вследствие формирования твердого карбида титана, что подтверждается данными работы [4].

Литература

1. Erdemir, A. Superlubricity / A. Erdemir, J.R. Martin. – Amsterdam: Elsevier Science, 2007. – 512 p.
2. Robertson, J. Diamond-like amorphous carbon / J Robertson // Material Science and Engineering: Elsevier Science. – 2002. – Vol. R, № 37. – P. 129–281.
3. Ahn, H.S. Application of phase contrast imaging atomic force microscopy to tribofilms on DLC coatings / H.S. Ahn, S.A. Chizhik, A.M. Dubravin, V.P. Kazachenko, A.N. Popov // Wear. – 2001. – № 249. – P. 617–625.
4. Рогачев, А.В. Механические свойства и структура композиционных углеродных покрытий / А.В. Рогачев, А.Н. Попов, В.П. Казаченко, С.С. Сидорский // Материалы, технологии, инструмент. – 2001. – Т. 5, № 2. – С.77–80.