

以二氧化碳气体或水作冷却介质时,金刚石收率和性质的实验结果表明:

1) 用比热容高的物质(例如:水, $4.2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)作冷却介质,在生产效率和成本上都比低比热容的介质(例如:二氧化碳气体, $0.8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)好。

2) 用水作冷却介质时,金刚石的收率随装药质量的增加而升高,超过 0.3 kg 时达到恒定值。以二氧化碳气体作冷却介质时,随装药质量的增加,金刚石收率急剧下降。

3) 用水作冷却介质时,得到的金刚石和黑粉的颗粒尺寸,都比用二氧化碳气体时要小,比表面积要大,团聚体的尺寸也比较小。

4) 用水作冷却介质时,得到的金刚石颗粒表面活性比用二氧化碳时高。

5) 用水下爆炸法制备时,也可以得到高的金刚石收率,其效率和成本都大大低于其它的制备方法。

6) 用不同气体作冷却介质,可以影响金刚石的稳定性。例如,用二氧化碳气体作冷却介质得到的金刚石,开始氧化温度为 733 K ,而用氮气作冷却介质制备金刚石,开始氧化温度则只有 703 K ^[6]。

5 纳米金刚石的应用途径及其展望

爆炸制备的金刚石粉与传统方法合成的金刚石粉相比,具有较大的特色,下面就这种金刚石粉的应用前景进行一些展望。

5.1 作为润滑油添加物

据文献[8]报道:添加了这种金刚石的润滑油的润滑性能和减磨性能都有明显提高,已经在发动机上进行了应用试验,取得了良好的结果。我们对此也进行了一些研究^[23,24],发现在石蜡油中添加金刚石粉后,在摩擦过程中磨损量大大降低。文献[25]还指出,添加金刚石粉的润滑油,其静、动摩擦系数的差别明显减少,这对经常开、停的摩擦部件是一个良好的性能。

但是,金刚石粉的比重较大,在用作润滑油添加物时必须解决其长期悬浮或胶态稳定性问题,否则很难在生产中得到实际应用。这也许是影响金刚石粉大量用作润滑油添加物的重要原因。

5.2 作为复合镀层添加物

复合电镀是一种提高镀层硬度和耐磨性能的方法,已得到广泛应用。近年来,有人将这种金刚石粉制成复合镀层,其硬度和耐磨性均有明显提高^[26-28]。我

们也进行了这方面的研究,用电镀^[29]或电刷镀^[30]的方法,制成了含金刚石粉的复合镀镍层,与不含金刚石粉的镀镍层相比,其硬度增加了 50% ,耐磨性能增加更为显著。这种方法有可能在机械制造上得到实际应用。还有人使用类似的方法制成了磁盘或磁头的耐磨保护层,大大提高了使用寿命且不影响磁记录的性能^[31]。

5.3 作为精细研磨材料

据一些文章和专利报道^[32,33],用这种金刚石粉制成的研磨液或研磨块,可以磨出光洁度极高的表面。例如:制作表面光洁度要求极高的 X-射线反射镜^[34]。国内也用含有这种金刚石粉的研磨液对陶瓷滚珠进行了磁流体研磨,得到了粗糙度只有 $0.013 \mu\text{m}$ 的表面^[35]。用这种金刚石粉制成的超细研磨膏可能在机械部件、硬质材料、石料等表面精细抛光上得到实际应用。

5.4 其它应用

用于制造电子成像的感光材料,明显地改进了复印机的性能^[36];用这种金刚石粉做生物抗原载体,制造某些抗体药物,取得了良好结果^[37];将这种金刚石粉制成的悬浮液涂抹在用于化学气相沉积金刚石膜的单晶硅基片上,干燥后的硅片上可以形成金刚石微晶层,在进行化学气相沉积时,可大大加速金刚石膜的生长速度和提高膜的成核密度^[36]。我们也作了上述试验,并取得了良好结果^[39]。还有人试探用这种金刚石粉作为电子场发射材料,据说在性能上优于化学气相沉积金刚石膜,有可能在平面显像装置中得到应用^[40]。

5.5 应用前景展望

正如前面所提,这种金刚石粉是金刚石材料的一个新品种,是一种纳米材料,用以前合成金刚石的方法是无法得到的,因此,可能开拓一些新的应用领域。但目前在这方面的研究和开发工作还很不够。从近年来对各种纳米材料的研究可看出,当物质达到纳米尺寸时,就会有一系列的特殊性质。例如,作为良好导体的金属银,当达到纳米尺寸的颗粒时,竟变成了绝缘体。这些特殊性质正在被广泛研究,相信一定会开发出一系列具有特殊用途的纳米材料。作为纳米尺寸的金刚石颗粒,也应该从纳米材料的特性上进行研究,例如:发光性能、光电性能、半导体性能等,但这方面的研究尚很少。前面所述一些应用领域,大部分还属于金刚石传统应用的范围,还没有涉及到这种金刚石的纳米特性。因此我们期望有更多的部门和科技人员注重这种纳米金刚石的研究和开发工作,以求在不远的将来,为这种价廉、易得的金刚石粉找到新的应用领域。

6 结 论

(1) 炸药爆轰法制备的金刚石粉是由尺寸5~10nm的基本颗粒组成,但是,它们经常形成尺寸达到微米和亚微米的团聚体,这是合成金刚石材料的一个新品种。

(2) 这种金刚石表面上含有相当数量的含氧极性功能团,因此属于类金刚石。制备过程和后处理过程对这种金刚石的性质和结构有不同程度的影响。

(3) 这种金刚石粉是由炸药中的碳在爆轰反应区中形成的,在爆轰产物膨胀冷却过程中部分被保存下来,形成具有分形结构的颗粒团聚体,冷却介质对金刚石收率和性质有很大影响。

(4) 已经在复合镀层、润滑油添加物、精细研磨磨料等方面对这种金刚石粉进行了一些应用开发研究,取得了良好的结果。

综上所述,炸药爆轰法制备的金刚石粉是一种很有特色的材料,但是由于其发展历史还不长,还有许多问题需要进一步研究。例如:改进制备工艺条件以提高金刚石收率,制备出具有符合各种应用要求的产品,进一步研究这种金刚石的性质,并进行各种改性(如:掺杂、表面改性等),以便适应和寻找新的应用途径;对这种金刚石颗粒的团聚体进行分散处理,以求得到分散性良好的粉体和悬浮体,可能会找到一些特殊的应用;对于这种金刚石的生成机理及其性质的进一步研究,将有助于上述问题的解决。

参 考 文 献

- [1] Greiner N R, Phillips D S, Johnson J D. Diamonds in detonation soot[J]. Nature, 1988, 333(2): 440~442.
- [2] Лямкин А Е, Петров Е А, Эршов А П, и др. Получение алмазов из взрывчатых веществ[J]. ДАН СССР, 1988, 302(3): 611~613.
- [3] 徐康, 金增寿, 魏发学等. 炸药爆炸法制备超细金刚石粉末[J]. 含能材料, 1993, 1(3): 19~21.
- [4] 徐康, 金增寿, 饶玉山. 纳米金刚石粉制备方法的改进——水下连续爆炸法[J]. 含能材料, 1996, 4(4): 175~181.
- [5] 徐康, 金增寿. 纳米金刚石粉制备方法的改进和解团聚问题的初步探讨[C]. '96中国材料研讨会论文集, 1-2. 北京: 化学工业出版社, 1997. 44~47.
- [6] 徐康, 薛群基. 炸药爆炸法合成的纳米金刚石粉[J]. 化学进展, 1997, 9(2): 201~208.
- [7] Выскубенко В А, Даниленко В В, Лин Э Э, и др. Влияние масштабных факторов на размеры и выход алмазов при детонационном синтезе. Физ. Гор. Взр., 1992, 28(2): 108~109.
- [8] Сакович Г В, Врыляков П М, Губаревич В Д, и др. Получение алмазных кластеров взрывом и их практическое использование [J]. Ж. Всес. Хим. Общ., 1990, 35(5): 600~602.
- [9] Eidelman S, Altshuler A. Synthesis of nanoscale materials using detonation of solid explosives [J]. Nanostructured Materials, 1994, 3: 31~41.
- [10] Мальков И Ю. Образование ультрадисперсной алмазной фазы углерода в условиях детонации гетерогенных смесевых составов [J]. Физ. Гор. Взр., 1991, 27(5): 136~140.
- [11] Volkov K V, Danilenko V V, Elin V L. Synthesis of diamond from the carbon in the detonation products of explosives [J]. Combustion, Explosion and Shock Waves, 1990, 26: 366~368.
- [12] Богданов С В, Мороз Э М, Коробов Ю А. Субструктурные характеристики высокодисперсных алмазов, полученных методом взрыва [J]. Неорганические Материалы, 1995, 31(6): 804~806.
- [13] Mikonochikov A L, Rumjantsev B V. Method for production of ultra dispersed diamond [P]. RU 2 036 835, 1995.
- [14] Ставер А М, Лямкин А Н. Получение ультрадисперсных алмазов из взрывчатых веществ. Во: Ультрадисперсные Материалы, Получение и Свойства. Межузовский Сборник, Красноярский Политехнический Институт, 1990.
- [15] Gubarevich T M, Dolmatov V Yu, Pjaterikov V F et al. Synthetic hydrocarbon diamond-containing material [P]. RU 2 046 094, 1995.
- [16] Чиганова Г А, Чиганов А С, Тушко Ю В. Влияние условий синтеза и очистки на окисляемость ультрадисперсных алмазов [J]. Ж. Прикл. Хим., 1992, 65(11): 2598~2600.
- [17] Верещагин А Л, Петров Е А, Сакович Г В, и др. Синтетический алмазосодержащий материал и способ его получения [P]. PCT Int. Appl. WO 93/13 016, 1993.
- [18] Тцтов В М, Анццчкци В Ф, Мальков И Ю. Синтез ультрадисперсных алмазов в детонационных волнах [J]. Физ. Гор. Взр., 1989, 25(3): 117~126; see also: Combustion, Explosion and Shock Waves, 1990, (3): 372~379.
- [19] Козырев Н В, Голубева Е С. Исследование процесса синтеза ультрадисперсных алмазов из смесей тротила с гексогеном, октогеном и тэном [J]. Физ. Гор. Взр., 1992, 28(5): 119~123.

- [20] Коломийчук В Н, Мальков И Ю. Исследование синтеза ультрадисперсной алмазной фазы в условиях детонации смесевых составов [J]. Физ. Гор. Взр., 1993, 29(1): 120 ~ 128.
- [21] Саввакин Г И, Трефилов В И. Формирование структуры и свойств ультрадисперсных алмазов при детонации в различных средах конденсированных углеродсодержащих взрывчатых веществ с отрицательным кислородным балансом [J]. ДАН СССР, 1991, 321(1): 99 ~ 103.
- [22] 赵升, 恽寿榕, 陈权等. 马赫反射效应在炸药爆轰合成金刚石中的应用 [J]. 高压物理学报, 1997, 11(2): 110 ~ 116.
- [23] Xu Tao, Zhao Jiazheng, Xu Kang. The Ball-bearing effect of diamond nanoparticles as an oil additive [J]. J. Phys. D: Appl. Phys., 1996, 29: 2932 ~ 2937.
- [24] Xu T., Xu K., Xue Q J et al. Study on the tribological properties of ultradispersed diamond containing soot as an oil additive [J]. Tribology Trans., 1997, 40(1): 178 ~ 182.
- [25] 曲建俊, 罗云霞. 含超细金刚石的石墨粉润滑油摩擦磨损特性研究 [J]. 润滑与密封, 1995(2): 29 ~ 32.
- [26] Makarchenko L V. Electrochemical chromate bath for coating with Cr-based composite containing dispersed colloidal diamond [P]. RU 2 031 982, 1995.
- [27] Guslienko Yu A, Luchka M V, Savvakina G L. Composite electrolytical coatings on the basis of iron group metals [P]. RU 2 026 892, 1995.
- [28] 小林寿政. 含金刚石的复合镀液 [P]. 日本公开特许, 平 8-337883, 1995.
- [29] 阎逢元, 薛群基, 徐康等. 一种新型的减磨耐磨复合电镀层 [J]. 材料研究学报, 1994, 8(6): 573 ~ 576.
- [30] 冶银平, 陈建民, 徐康等. 含纳米金刚石的复合镍刷镀层的摩擦学特征 [J]. 表面技术, 1996, 25(4): 27 ~ 29.
- [31] Lin K, Chang J W, Romakiw L T. Highly wear resistant plated soft magnetic material by particle dispersion [J]. Proc. Electrochem. Soc., 1996, 95-18: 647 ~ 660.
- [32] Komarof V F, Sakovich G V. Synthetic diamond-based polishing suspension for semiconductor [P]. PCT Int. Appl., WO 94/22 970, 1994.
- [33] Maruyama M. Preparation of diamond polishing liquids [P]. 日本公开特许, 平 7 18250, 1995.
- [34] Chkhalo N L, Fedorchenko M V, Krulyakov E P et al. Ultradispersed diamond powders of detonation nature for polishing X-ray mirrors [J]. Nucl. Instr. Methods Phys. Res. A, 1995, 359: 155 ~ 156.
- [35] 金洙吉, 王黎钦, 齐毓林等. 磁流体研磨法研磨陶瓷珠的试验研究 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 1995, 27(3): 130 ~ 134.
- [36] 三岛直志, 深贝俊夫, 河崎佳明. 电子写真感光体 [P]. 日本公开特许, 平 7 28267, 1995.
- [37] Kossovsky N, Gelman A, Hnatyszyn H J et al. Surface-modified diamond nanoparticles as antigen delivery vehicles [J]. Bioconjugate Chem., 1995, 6: 507 ~ 511.
- [38] Makita H, Nishomura K, Jiang N et al. Ultrahigh particle density seeding with nanocrystal diamond particles [J]. Thin Solid Films, 1996, 281-282: 279 ~ 281.
- [39] 邵乐喜, 谢二庆, 徐康等. 纳米粉预处理的 CVD 金刚石薄膜成核与生长研究 [J]. 无机材料学报, 待发表.
- [40] Jin S, Zhu W, Kochanski G. Field-emission devices employing activated diamond particle emitters and their manufacture [P]. EP 725 415, 1996.

Nanoscale Diamond Synthesized by Explosive Detonation

JIN Zeng-shou¹, XU Kang²

(1. Gansu Institute of Chemical Industry, Lanzhou 730020, China)

(2. Laboratory of Solid Lubrication, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Preparation methods and properties of nanoscale diamond synthesized by explosive detonation and the influences of different preparation and aftertreatment conditions on the results and properties are reviewed. Some known and future applications of this kind of diamond powders are also discussed. It is suggested that, control of preparation conditions could improve the properties of products, which could be suitable to the requirements in different applications.

Key words: application; diamond; explosive detonation; preparation