

金刚石与 CBN 陶瓷结合剂磨具

陶瓷结合剂金刚石与 CBN 磨具是利用金刚石或 CBN 作为磨料（统称超硬磨料），用刚玉、碳化硅等作为辅助磨料，与玻料（含 B₂O₃、Na₂O、Al₂O₃ 和 SiO₂ 等的玻璃）、非玻料（黏土、长石等）、着色剂（Fe₂O₃、Cr₂O₃ 等）、临时黏结剂（水玻璃、糊精、液体树脂等）混合，经过成型、烧结、修整等制造工艺制成的具有一定形状的能适应不同磨削要求的磨加工工具。

1 瓷结合剂金刚石与 CBN 磨具的特点和用途

陶瓷结合剂金刚石磨具的化学稳定性好、耐热性好、弹性变形小、硬度高、脆性大。其磨削加工特点中的自锐性、耐磨性、磨削效率等介于树脂结合剂金刚石磨具和金属结合剂金刚石磨具之间，磨耗和形状保持性比树脂磨具好，锋利度和效率比金属磨具好，不易造成磨削堵塞和工件烧伤。陶瓷结合剂金刚石磨具主要用于硬质合金、碳化钛等工具材料的磨削加工，以及硬质陶瓷、金刚石聚晶、天然单晶等硬脆的非金属材料加工。在加工这些材料时，其使用寿命、磨削效率、锋利度等使用性能都比树脂结合剂金刚石磨具和金属结合剂金刚石磨具优越。陶瓷结合剂 CBN 磨具对各种不锈钢与其它软钢的磨削达到非常理想的效果，适合在自动机床上大批量生产的工件（微型轴承、空压机、曲轴、凸轮轴、高精度螺纹等）的精磨和终磨。也适用于要求砂轮具有良好的棱角保持性的复杂型面工件（插齿刀、拉刀、高精度齿轮、靠模、冲头等）的磨削，和对大型精密工件（机床导轨、高精度丝杠等）的精磨和终磨。对耐热钢、钛合金钢、含钨钼高速钢，钒合金钢、钴合金钢、难加工耐热钢工件的磨削加工也有很好的效果。在研磨和切削铁质材料时，不会出现粘屑现象。

但是，陶瓷结合剂金刚石磨具也有下述缺点：第一，陶瓷结合剂脆性大、抗冲击韧性和抗疲劳强度差，磨具使用中容易产生碎裂；第二，普通陶瓷结合剂耐火度高（1300℃左右），金刚石和 CBN 磨料容易受到破坏，所以要用特制的低熔陶瓷结合剂，其耐火度在 550~950℃之间；第三，制造工艺和设备比较复杂；第四，从废品中回收超硬磨料困难。

现在在国内外陶瓷结合剂金刚石与 CBN 磨具的研制有了很大的发展并逐渐得到了广泛使用。陶瓷结合剂由于其刚性、多孔性等优点，磨削时能自身容屑和排屑，磨削温度低，从而使工件表面洁净。与树脂结合剂金刚石与 CBN 砂轮相比，陶瓷结合剂金刚石与 CBN 砂轮在磨削时磨削力特别是法向力比较低，因而工件可获得极好的尺寸公差和表面粗糙度。同时陶瓷结合剂金刚石与 CBN 砂轮容易修整，修整时可以装在磨床上进行，修整效率高，费用低。用修整笔法对陶瓷结合剂金刚石与 CBN 砂轮进行修锐时，其修整效率很高，特别是用单颗粒金刚石修整笔时，其效率如同对绿碳化硅砂轮进行修锐。

2 陶瓷结合剂金刚石与 CBN 磨具的原材料概述

陶瓷结合剂金刚石与 CBN 磨具所用原材料包括金刚石与 CBN 磨料、结合剂、着色剂、临时黏结剂等。

一、磨料 陶瓷结合剂金刚石与 CBN 磨具所用磨料包括主磨料和辅助磨料

1、主磨料 陶瓷结合剂金刚石与 CBN 磨具所用主磨料是金刚石和 CBN,由于陶瓷的机械强度和黏结强度均优于树脂结合剂,要求金刚石具有一定的强度和耐热性,可以经受较高的烧成温度和较大的磨削力;而 CBN 较金刚石除具有与其接近的性能外还有更高耐热性。因为陶瓷磨具要求磨削锋利,而陶瓷结合剂本身强度不高,脆性大,耐磨能力有限,对金刚石把持力不大,所以也不必要求过高的品级,因为高品质金刚石与 CBN 可能尚未发生作用就会造成脱落。

2、辅助磨料 陶瓷结合剂金刚石与 CBN 磨具所用辅助磨料主要是绿碳化硅和刚玉。在金刚石层中,辅助磨料起辅助磨削作用,还可以提高磨粒率,以改变低浓度磨具在制造工艺上的困难。绿碳化硅因与金刚石的物理机械性能(硬度、密度、导热率、膨胀率)较为接近,是常用为金刚石的辅助磨料;白刚玉常用为 CBN 的辅助磨料。在非加工层中,辅助磨料起结构骨架作用,其辅助磨削作用有限,只要满足烧成后的强度要求即可。

二、结合剂 陶瓷结合剂金刚石与 CBN 磨具所用的结合剂要求能在较低的温度下烧成,其组成包括玻璃和非玻璃料。

玻璃对陶瓷结合剂的性能(烧成温度、膨胀性、抗冲击性、对金刚石的浸润性等)起决定性作用。含硼玻璃熔化温度低,适于做陶瓷结合剂的玻璃料,如硼锌玻璃、硼钡锂玻璃等。组成玻璃体的原料是各组分相应的氧化物或含氧化物的矿物,如硼酐、氧化锌、硅石、氧化钡、锂辉石、锂云母等。

非玻璃料是陶瓷结合剂中非玻璃体的原料,它的作用是调节结合剂的耐火度,并且可以使软化温度区域显著变宽,扩大烧成温度范围。非玻璃料一般选用黏土,黏土具有可塑性、吸水性、收缩性和耐火性等特性。仅有玻璃的结合剂虽然烧成温度低,但熔融温度范围窄、黏度小,加入黏土后,由于黏土中的氧化铝的作用,使结合剂软化温度区域显著变宽。

三、着色剂

为了使金刚石层与非金刚石层或陶瓷基体之间有明显的界线,通常在金刚石层中加入着色剂,起标记作用。常用的着色剂有两种:氧化铁(Fe_2O_3),呈红色;三氧化二铬(Cr_2O_3),呈绿色。使用金属基体时可不用着色剂。

四、临时黏结剂

为了在磨具成型阶段提高坯体强度,在陶瓷结合剂金刚石与 CBN 磨具所用原材料中加入具有较强黏结性的临时黏结剂,如糊精、液体树脂、水玻璃。糊精和液体树脂属有机黏结剂,在烧成时全部被烧掉;水玻璃属无机黏结剂,除起临时黏结作用外,还对结合剂有助熔作用,在烧成时成为磨具组织中的一部分。

3 金刚石与 CBN 磨具的陶瓷结合剂原材料

60~70 年代前苏联伊里奇砂轮厂采用钡玻璃结合剂作超硬磨具的陶瓷结合剂,使用的钡玻璃含 BaO 20%,其中一种配比为:

粘土 30% +长石 30% +硼玻璃 20% +钡玻璃 20%

因其使用矿物原料配制，所以化学成分中除主要的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 B_2O_3 、 BaO 、 K_2O 、 Na_2O 等还有 0.1~1.0% 的 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 TiO_2 等次要成分。国内较早使用陶瓷结合剂制造超硬磨具之一的是北京东城金刚石厂，1976 年制造的陶瓷结合剂人造金刚石砂轮，其陶瓷结合剂的配比为：

$\text{PbO}45\% + \text{ZnO}12.5\% + \text{B}_2\text{O}_3 30\% + \text{SiO}_2 12.5\%$

此结合剂含有大量的 PbO ，因 PbO 含有毒性所以现在很少使用。近些年来对超硬磨具陶瓷结合剂的研究其成分多接近于干福熹先生提出的（见表 3）低热膨胀系数玻璃[3]，它的热膨胀系数接近于超硬磨料的热膨胀系数；超硬磨料的热膨胀系数各种资料的记载略有出入；金刚石的热膨胀系数约为 2.7×10^{-6} ，CBN 的热膨胀系数约为 3.5×10^{-6} 。

计算值

普通陶瓷结合剂的耐火度一般约在 $1000-1400^\circ\text{C}$ 或更高。超硬磨具的陶瓷结合剂耐火度都比较低，人造金

刚石用的陶瓷结合剂耐火度约在 $600-750^\circ\text{C}$ ，CBN 用的陶瓷结合剂的耐火度约 $800-950^\circ\text{C}$ 。相对于刚玉、碳化硅磨料的陶瓷结合剂耐火度大多在 1000°C 以上而称低熔结合剂。

一、低熔结合剂的原材料

制造陶瓷结合剂金刚石和 CBN 磨具使用的 $600-950^\circ\text{C}$ 的低熔、低热膨胀系数玻璃质结合剂（研究金刚石磨具和 CBN 磨具使用的低熔陶瓷结合剂相互之间有很大连带关系）可以用矿物原料，也可以用化工原料，或者矿物原料和化工原料混合使用配制，常用的原料大致分述如下[9、10]：

(1) 粘土 主要成分为高岭土，高岭土的化学式为： $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，分子量 258.1，
化学组成： $\text{Al}_2\text{O}_3 39.5\% + \text{SiO}_2 46.53\% + \text{H}_2\text{O} 13.97\%$ 。

高岭土主要向结合剂中引入 SiO_2 和 Al_2O_3 的成分， SiO_2 在结合剂中形成基体， Al_2O_3 可提高结合剂的热稳定性、化学稳定性和强度。粘土可以扩大结合剂的烧成范围，但过多引入增加 Al_2O_3 和 SiO_2 含量，使结合剂的耐火度增高。

(2) 长石 结合剂中使用的长石主要用以引入 K_2O 、 Na_2O 、 Al_2O_3 和 SiO_2 ，钾长石呈淡粉红色，块状，分子式 $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ，分子量 556.5，但钾长石中一般都掺杂一定量的钠长石，所以也可以用钠长石。钾长石的化学成分要求：

$\text{SiO}_2 62-66\% + \text{Al}_2\text{O}_3 18-22.5\% + \text{K}_2\text{O} > 10\% + \text{Na}_2\text{O} < 4\%$

(3) 石英 白色或乳白色，块状，化学成分为 SiO_2 ，分子量 60.10，比重 2.23-2.65 之间。 SiO_2 含量要求 $\text{SiO}_2 > 98\%$ ，石英中带有少量杂质并不影响使用。石英引入 SiO_2 调整结合剂成分，以满足结合剂化学成分与性能的要求。

(4) 滑石 滑石的基本成分是含水硅酸镁，比重 2.7-2.8，矿物实验式为： $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，
理论组成： $\text{MgO} 31.7\% + \text{SiO}_2 63.5\% + \text{H}_2\text{O} 4.8\%$ 。

结合剂中加入滑石，引入 MgO 和 SiO_2 ，滑石在结合剂中的使用要求： $\text{SiO}_2 55-63\%$ ， $\text{MgO} 26-33\%$ 。

滑石可以提高结合剂的机械强度，增加结合剂脆性。

(5) 萤石 萤石化学式 CaF_2 ,分子量 78.1,比重 3.01-3.25,理论组成: Ca 51.3%,F 48.7%.

结合剂中加入萤石，引入氟化钙，对结合剂有催熔作用，可以提高结合剂机械强度，使用的萤石要求: Ca 46-51%,F 44.5-48.5%.

(6) 冰晶石 冰晶石是一种天然结晶矿物，化学名称氟铝酸钠，分子式 Na_3AlF_6 ,分子量 210,比重 2.99.

冰晶石的引入会显著降低结合剂的耐火度，但也会使结合剂的热稳定性和弹性有所降低。工业用冰晶石要求主成分含量 $\text{Na}_3\text{AlF}_6 > 96\%$.

(7) 方解石 白色晶体，分子式 CaCO_3 ,分子量 100.1,比重 2.6-2.8,含 CaO 56%,方解石向结合剂中引入 CaO,能降低结合剂的耐火度，使用的方解石要求 $\text{CaCO}_3 > 95\%$.

以上是结合剂常用的矿物成分，使用矿物成分能降低结合剂制造的成本，但是全部使用矿物成分很难满足结合剂对低耐火度和不同性能的要求，不能给出适合的化学成分，所以在低熔结合剂中即使使用矿物成分配制也经常还要补充一些化工原料，常用的有十余种。

(8) 硼砂 亦称四硼酸钠，结晶硼砂是一种白色颗粒，分子式 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$,分子量 381.24,比重 1.69-1.72,400℃左右脱水，878℃熔融。硼砂在结合剂中引入 B_2O_3 和 Na_2O , B_2O_3 能提高结合剂的弹性和化学稳定性，与 SiO_2 、 Al_2O_3 等混熔形成低共熔物，降低结合剂耐火度。在结合剂中 B_2O_3 的加入量以 20%左右为宜。

(9) 硼玻璃 硼砂与长石以 50:50 左右混合，在 900℃以上熔融，冷却、粉碎、过筛成粉状，称硼砂玻璃，简称硼玻璃，这也是一种常用的含硼材料。也有混入其他材料制成硼铅玻璃和硼硅玻璃使用的。

(10) 硼酸 在结合剂中引入 B_2O_3 时不希望过多地引入 Na_2O 含量，可以使用硼酸引入 B_2O_3 ,硼酸分子式 H_3BO_3 ,分子量 61.8,含有 B_2O_3 56%,比重 1.435.工业硼酸要求 $\text{H}_3\text{BO}_3 > 98.5\%$.

(11) 氧化锌 白色粉末，分子式 ZnO ,分子量 81.4,比重 5.6,工业品要求 $\text{ZnO} > 98\%$. ZnO 在结合剂中是较好的助熔剂，能提高制品的热稳定性。

(12) 硝酸钾 分子式 KNO_3 ,分子量 101, K_2O 含量 46.6%,比重 2.1,850℃分解出 K_2O , K_2O 能显著降低结合剂耐火度，降低结合剂表面张力。使用 KNO_3 引入 K_2O ,因 KNO_3 分解时放出氧，所以还有氧化剂的作用。工业用硝酸钾要求含量 $\text{KNO}_3 > 98\%$.

(13) 碳酸钠 白色粉末，分子式 Na_2CO_3 ,分子量 106,熔点 852℃， Na_2O 含量 58.5%,放置空气中易吸潮结块， Na_2O 在结合剂中的作用略同于 K_2O .

(14) 碳酸钡 分子式 BaCO_3 ,分子量 197.3,比重 4.43,高温时能分解出 BaO , BaO 含量 77.7%, BaO 在结合剂中能部分代替 PbO 和 B_2O_3 的作用，其热稳定性优于 PbO ,且能降低结合剂耐火度，提高结合剂强度。 BaO 在结合剂中的用量在 6-15%之间。

(15) 碳酸锂 白色粉末, 分子式 Li_2CO_3 , 分子量 73.88, 比重 2.11, 熔点 618°C , 含 Li_2O 40.44%. Li_2O 能提高结合剂抗冲击强度。工业用碳酸锂要求 $\text{Li}_2\text{CO}_3 > 98\%$ 。

(16) 钛白粉 分子式 TiO_2 , 分子量 79.9, 比重在 4 左右, TiO_2 能提高结合剂的物理化学性能, 因其耐火度较高, 用量不可过大, 约 3% 左右为宜。工业钛白粉要求 $\text{TiO}_2 > 98.5\%$ 。

(17) 氧化铜 黑色粉末, 分子式 CuO , 分子量 79.5, 比重 6.4, CuO 能降低结合剂耐火度并有着色作用。工业品要求 $\text{CuO} > 98\%$ 。

(18) 氧化铁: 红色粉末, 分子式 Fe_2O_3 , 分子量 159.7, 比重 5.0-5.25. Fe_2O_3 能降低结合剂耐火度, 提高结合剂韧性, 工业品称铁红, 要求 $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 98\%$ 。

(19) 铅丹 红色粉末, 有毒, 化学式 Pb_3O_4 , 分子量 685.6, 比重 9.1, 510°C 分解出 PbO 熔入结合剂中, PbO 能提高结合剂的机械强度, Pb_3O_4 并有氧化剂的作用。 Pb_3O_4 中含有 PbO 97.7%. 工业用铅丹要求 $\text{Pb}_3\text{O}_4 > 99\%$ 。

(20) 碳酸锶 青白色粉末, 分子式 SrCO_3 , 分子量 147.62, SrCO_3 中含 SrO 70.2%, 无毒的 SrO 是代替 PbO 的理想成分, 当有 Al_2O_3 和 CaF_2 存在时, SrO 的助熔作用甚至强于 PbO 。

(21) 高锰酸钾 分子式 KMnO_4 , 分子量 158, 比重 2.7, 含 MnO_2 55%, 用高锰酸钾引入 MnO_2 能降低结合剂表面张力, 提高结合剂对金属的浸润能力。

除以上介绍的 20 几种原料外, 有的还引入 P_2O_5 、 Co_2O_3 、 Cr_2O_3 、 ZrO_2 、 SnO_2 以及稀土元素的氧化物 CeO_2 等, 根据具体需要加入各种成分研制结合剂。