

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B24D 3/00 (2006.01)

B24D 18/00 (2006.01)



## [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200680044108.4

[43] 公开日 2008年12月3日

[11] 公开号 CN 101316684A

[22] 申请日 2006.8.28

[21] 申请号 200680044108.4

[30] 优先权

[32] 2005.9.30 [33] US [31] 11/240,809

[86] 国际申请 PCT/US2006/033438 2006.8.28

[87] 国际公布 WO2007/040865 英 2007.4.12

[85] 进入国家阶段日期 2008.5.26

[71] 申请人 圣戈本磨料股份有限公司

地址 美国马萨诸塞州

[72] 发明人 X·奥哈克 M·吉瓦纳瑟姆

R·克劳斯 吴勉学

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司

代理人 朱黎明

权利要求书4页 说明书24页 附图1页

[54] 发明名称

具有可渗透结构的磨具

[57] 摘要

一种包含磨粒掺合物和结合组分的固结磨具。所述磨粒掺合物包含丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒和团聚的粗磨粒。本发明还揭示了一种包含丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒和非丝形磨粒团聚体以及结合组分的固结磨具。所述丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒的长度-横截面宽度长宽比大于约1.0。所述团聚粗磨粒包含许多通过粘结材料保持三维形状的磨粒。本发明还揭示了一种制造这样的固结磨具的方法。



1. 一种固结磨具，其包含：
  - 1) 磨粒掺合物，该掺合物包含：
    - i) 长度-横截面宽度的长宽比大于约 1.0 的丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒或其团聚体；
    - ii) 团聚的粗磨粒，其包含许多通过粘结材料保持三维形状的磨粒；
  - 2) 结合剂；和
  - 3) 至少约 35 体积%的孔隙。
2. 如权利要求 1 所述的固结磨具，其特征在于，所述固结磨具具有可透过流动流体的结构。
3. 如权利要求 2 所述的固结磨具，其特征在于，相对于掺合物总重量，所述掺合物包含约 5-90 重量%的丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒。
4. 如权利要求 3 所述的固结磨具，其特征在于，所述丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒的长宽比至少为约 4: 1，并主要包含粒度小于约 2 微米的  $\alpha$  氧化铝晶体。
5. 如权利要求 3 所述的固结磨具，所述的固结磨具包含约为 35-80 体积%的总孔隙。
6. 如权利要求 5 所述的固结磨具，所述的固结磨具的总孔隙中至少约 30 体积%是互连的孔隙。
7. 如权利要求 1 所述的固结磨具，其特征在于，所述团聚的粗磨粒的磨粒包括选自下面的至少一种类型的磨粒：熔融氧化铝、非丝形烧结溶胶-凝胶氧化铝、烧结的铝土矿、共熔氧化铝-氧化锆、烧结的氧化铝-氧化锆、碳化硅、立方氮化硼、金刚石、燧石、石榴石、低价氧化硼、氧氮化铝以及它们的组合。
8. 如权利要求 7 所述的固结磨具，其特征在于，所述团聚的粗磨粒的磨粒包括熔融氧化铝。
9. 如权利要求 1 所述的固结磨具，其特征在于，所述结合组分和粘结材料各自独立地包含选自下面的无机材料：陶瓷材料、玻璃化材料、玻璃化结合组合物以及它们的组合。
10. 如权利要求 9 所述的固结磨具，其特征在于，所述粘结材料是玻璃化的结合组合物，该组合物包含  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{B}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、碱土金属氧化物和碱金属氧化物的煅

烧组合物。

11. 如权利要求 1 所述的固结磨具, 其特征在于, 所述团聚的粗磨粒的尺寸比磨粒的平均颗粒度大约 2 至 20 倍。

12. 如权利要求 11 所述的固结磨具, 其特征在于, 所述团聚的粗磨粒的直径在约 200 至约 3000 微米之间的范围。

13. 如权利要求 1 所述的固结磨具, 其特征在于, 所述结合组分是树脂粘结剂。

14. 如权利要求 3 所述的固结磨具, 其特征在于, 所述磨粒掺合物包含丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒的团聚体, 其中, 所述团聚体包含许多丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒的颗粒和第二粘结材料, 所述许多丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒通过第二粘结材料保持三维形状。

15. 如权利要求 14 所述的固结磨具, 其特征在于, 所述丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒的团聚体进一步包含次级非丝形磨粒, 其中所述次级非丝形磨粒与丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒通过第二粘结材料保持三维形状。

16. 如权利要求 15 所述的固结磨具, 其特征在于, 相对于所述团聚体的总重量, 所述丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒的团聚体包含约 5-95 重量%的丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒。

17. 一种固结磨具, 其包含:

1) 团聚体, 其包含:

i) 长度-横截面宽度长宽比大于约 1.0 的丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒;

ii) 非丝形磨粒;

iii) 粘结材料, 其中非丝形磨粒和丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒通过该粘结材料保持三维形状;

2) 结合剂;

3) 至少约 35 体积%的孔隙。

18. 如权利要求 17 所述的固结磨具, 其特征在于, 所述固结磨具具有可透过流动流体的结构。

19. 如权利要求 18 所述的固结磨具, 其特征在于, 所述非丝形磨粒包含选自下面的至少一种类型的磨粒: 熔融氧化铝、非丝形烧结的溶胶-凝胶氧化铝、烧结的铝土矿、共熔氧化铝-氧化锆、烧结的氧化铝-氧化锆、碳化硅、立方氮化硼、金刚石、燧石、石榴石、低价氧化硼、氧氮化铝以及它们的组合。

20. 如权利要求 18 所述的固结磨具，其特征在于，相对于所述团聚体的总重量，所述团聚体包含约 5-90 重量%的丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒。

21. 如权利要求 20 所述的固结磨具，所述的固结磨具包含约 35-80 体积%的总孔隙。

22. 如权利要求 21 所述的固结磨具，其特征在于，总孔隙中至少约 30 体积%是互连的孔隙。

23. 一种制造固结磨具的方法，其包括：

1) 形成磨料掺合物，该磨料掺合物包含：

i) 长度-横截面宽度长宽比大于约 1.0 的丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒或其团聚体；

ii) 团聚的粗磨粒，其包含许多通过粘结材料保持三维形状的磨粒；

2) 将所述磨料掺合物与一种结合组分合并起来；

3) 将磨料与结合组分的合并掺合物模塑为成形的复合物，该复合物包含至少约 35 体积%的孔隙；

4) 加热该成形的复合物，形成固结磨具。

24. 如权利要求 23 所述的方法，其特征在于，所述固结磨具包含约 35-80 体积%的总孔隙。

25. 如权利要求 24 所述的方法，其特征在于，所述固结磨具所含的总孔隙中至少约 30 体积%是互连的孔隙。

26. 如权利要求 23 所述的方法，其特征在于，所述粘结材料的熔化温度在约 800 °C 至约 1300 °C 之间。

27. 如权利要求 23 所述的方法，其特征在于，所述团聚的粗磨粒是烧结的团聚粗粒。

28. 如权利要求 27 所述的方法，该方法还包括制备烧结的团聚粗粒的步骤：

以受控的进料速率将磨粒和粘结材料输入旋转焙烧窑中；

以受控速度旋转该焙烧窑；

以一定的加热速率将混合物加热到约 80 °C 至约 1300 °C 范围内的温度，所述加热速率由进料速率和窑的旋转速度确定；

回转窑中的所述颗粒和粘结材料，直到该粘结材料附着到颗粒上，并且许多颗粒附聚在一起，形成烧结的团聚粗粒；

从窑中回收烧结的团聚粗粒。

29. 如权利要求 28 所述的方法，其特征在于，将磨粒和粘结材料输入旋转焙烧窑的步骤包含以下两个步骤：将磨粒和粘结材料制成基本均匀的混合物，然后将该混合物输入旋转焙烧窑。

## 具有可渗透结构的磨具

### 背景技术

在许多磨削操作中，磨削工具的孔隙，尤其是具有可渗透性或互连性的孔隙，提高了磨削操作的效率和被磨削工件的质量。具体而言，已经发现互连孔隙的体积百分率或流体可渗透性是决定磨具的磨削性能的重要因素。在磨削过程中，互连孔隙有利于砂轮中磨削废料(磨屑)的清除和冷却流体的通过。另外，互连孔隙允许润滑剂之类的磨削流体到达运动的磨粒与工件表面之间。这些特征对于在深切和现代精密工艺(例如缓进给磨削)中达到高效磨削特别重要，因为在一个深磨削行程中，要在不牺牲工件尺寸精度的前提下除去大量材料。

这种极具开放性和可渗透性结构的磨具的例子包括利用长形或纤维状磨粒的磨具。美国专利第 5738696 和 5738697 号披露了采用长宽比(aspect ratio)至少约为 5:1 的细长形或纤维状磨粒的固结磨具(bonded abrasive)的制造方法。这种采用丝形磨粒的磨具的一个例子是目前可以购自美国马萨诸塞州伍斯特市圣戈班磨料磨具公司(Saint-Gobain Abrasives, Worcester, MA)的商标为 ALTOS™的磨具。

ALTOS™磨具采用平均长宽比约为 7.5:1 的烧结溶胶-凝胶氧化铝陶瓷颗粒(马萨诸塞州伍斯特市圣戈班公司)，如 Norton® TG2 或 TGX 磨料(以下称“TG2”)，其为丝形磨粒。ALTOS™磨具是具有高孔隙率和高渗透性的磨具，其具有高的金属去除速率、改进的保形性和较长的砂轮寿命，并能极大地降低导致冶金损伤的风险[例如，参见诺顿公司技术服务简报(Norton Company Technical Service Bulletin)，2002 年 6 月，“ALTOS 高性能氧化铝陶瓷砂轮”(ALTOS High Performance Ceramic Aluminum Oxide Grinding Wheels)]。基于纤维-纤维堆积理论，ALTOS™磨具采用仅含丝形磨粒，如 TG2 颗粒的磨粒，以便获得最大的结构开放性(例如，参见美国专利第 5738696 和 5738697 号，其全文内容通过参考结合于本文)。一般认为，将 TG2 颗粒与显著量的其他非丝形颗粒，如球形颗粒掺合起来，要么会降低其结构开放性，要么会损害金属工件的表面精整度。尽管 TG2 颗粒非常耐用，但对于某些应用来说，其脆性不够；而且相对于多数块形或球形颗粒，TG2 颗粒的制造成本更高。

因此，需要开发一种脆性更好、成本效率更高的磨具，其性能特征类似于采用丝形磨粒的磨具如 ALTOS™磨具的性能。

### 发明内容

现在已经发现，与用 100% 的丝形溶胶—凝胶氧化铝磨粒或团聚的粗磨粒制造的磨具相比，用丝形溶胶—凝胶氧化铝磨粒或其团聚体与团聚的粗磨粒的掺合物制造的固结磨具可具有改进的性能。例如，申请人发现，采用 TG2 或 TG2 团聚体与团聚的氧化铝磨粒的粗磨粒的固结磨具具有高孔性和可渗透性的结构，在许多磨削应用中表现出优异的性能，而且不会损害表面精整质量。基于此发现，本发明披露了一种磨具和这种磨具的制造方法，所述磨具包含丝形溶胶—凝胶氧化铝磨粒或其团聚体与团聚的粗磨粒的掺合物。本发明还披露了一种磨具和这种磨具的制造方法，所述磨具包含丝形溶胶—凝胶氧化铝磨粒的团聚体。

在一种实施方式中，本发明涉及一种固结磨具，其包含磨粒掺合物、粘结组分和至少约 35 体积%孔隙率。所述磨粒掺合物包含丝形溶胶—凝胶氧化铝磨粒或其团聚体与团聚的粗磨粒。所述丝形溶胶—凝胶氧化铝磨粒的长度—横截面宽度—长宽比之比大于约 1.0。团聚的粗磨粒包含许多磨粒，它们借助粘结材料保持三维形状。

在另一种实施方式中，本发明涉及一种固结磨具，其包含团聚体、粘结组分和至少约 35 体积%孔隙，所述团聚体包含丝形溶胶—凝胶氧化铝磨粒、非丝形磨粒和粘结材料。所述非丝形磨粒和丝形溶胶—凝胶磨粒借助粘结材料保持三维形状。

本发明还包含制造固结磨具的方法。在所述方法中，形成磨粒掺合物，所述掺合物包含上述丝形溶胶—凝胶氧化铝磨粒或其团聚体和团聚的粗磨粒。然后将磨粒掺合物与粘结组分合并。将所述磨粒与粘结组分的合并掺合物模塑为成形的复合物，该复合物包含至少约 35 体积%的孔隙率。对由磨粒与粘结组分的掺合物形成的所述成形复合物进行加热，形成所述固结磨具。

本发明可实现所需性能，而不会损害所得产品的表面精整质量或结构开放性。采用丝形溶胶—凝胶氧化铝磨粒或其团聚体与团聚的粗磨粒的掺合物形成的磨具可在同一结构中形成纤维—纤维网状结构，并同时形成非纤维的网状结构，如伪球面—球面的网状结构。本发明的磨具如砂轮具有对流体的流动具有高透过性的

多孔结构，还具有出色的磨削性能和高金属去除速率。通过调整磨粒掺合物含量，可以根据磨削应用来调节本发明磨具的性能，以使脆性或韧性达到最大，或者平衡这两种性能。本发明磨具的高渗透性同高金属去除速率结合起来是特别有利的，它可最大程度减少磨削区产生的热量，因而使砂轮寿命更长，并降低了造成冶金损伤的风险。

#### 附图说明

该图是用于本发明固结磨具的团聚体的扫描电子显微(SEM)图片，所述团聚体包含 75%Norton® TG2 磨料和 25%Norton® 38A 磨粒。

#### 具体实施方式

通过下面结合附图对本发明优选实施方式的更具体的描述，本发明的上述及其他目标、特征和优点将变得显而易见。

本发明的固结磨具具有极为开放的可渗透结构，该结构中具有互连的孔隙。所述固结磨具具有至少约 35 体积%，优选约 35 体积%至约 80 体积%的孔隙率(基于磨具体积)。在优选实施方式中，总孔隙中至少约 30 体积%是互连的孔隙。因此，本发明的固结磨具具有高互连的孔隙率，特别适用于深切和现代精密工艺，如缓进给磨削。本文中，术语“互连的孔隙”是指磨具中由粘结的磨粒的颗粒之间的空隙组成的孔隙，这些空隙对流体流动是开放的。互连孔隙的存在一般可通过测定磨具对空气流或水在受控条件下的可渗透性加以证实，如美国专利第 5738696 和 5738697 号中所披露的测试方法那样，其全文内容通过参考结合于本文。

本文中，所用术语“丝形”磨粒是指丝形陶瓷磨粒，沿其长度方向具有大致一致的横截面，其中长度大于横截面的最大尺寸。最大横截面尺寸可高达约 2 毫米，优选小于约 1 毫米，更优选小于约 0.5 毫米。丝形磨粒可以是直的、弯曲的或扭曲的，这样长度是沿粒体而不必是沿直线测量的。较佳的是，用于本发明的丝形磨粒是弯曲的或扭曲的。

用于本发明的丝形磨粒的长宽比大于 1.0，优选至少 2:1，最优选至少约 4:1，例如至少约 7:1，在约 5:1 和约 25:1 之间的范围内。本文中，术语“长宽比”或“长度—横截面宽度—长宽比”是指沿主尺寸或较长尺寸方向的长度与颗粒沿垂直于主尺寸方向的任意尺寸的最大伸展幅度之比。如果横截面不是圆形的，例如呈多



边形，就利用垂直于长度方向的最长尺寸确定长宽比。

本文中，术语“团聚的粗磨粒”或“团聚的磨粒”是指包含磨粒和粘结材料的三维粗粒，所述粗粒具有至少 35 体积%的孔隙率。除非写明丝形颗粒构成粗粒中的全部或部分的颗粒，团聚的粗磨粒由长宽比为约 1.0 的块形或球形磨粒组成。团聚的粗磨粒的例子可参见美国专利第 6679758 B2 号所述的团聚体。本发明的固结磨具由包含为松散形式或团聚形式的丝形磨粒与团聚的粗磨粒的颗粒掺合物制成，团聚的粗磨粒包含长宽比为约 1.0 的块形或球形磨粒。或者，本发明的磨具由包含长宽比为约 1.0 的块形或球形磨粒的团聚的丝形磨粒的粗磨粒制成。这些磨具中的每一种均可在颗粒掺合物中任选包含一种或多种呈松散形式的次级磨粒。

在一种实施方式中，所述掺合物包含丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒和团聚的粗磨粒。在这些实施方式中，所述掺合物包含约 5-90 重量%、优选约 25-90 重量%、更优选约 45-80 重量%的丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒(基于掺合物的总重量)。所述掺合物还包含约 5-90 重量%、优选约 25-90 重量%、更优选 45-80 重量%的团聚的粗磨粒。所述掺合物任选包含最多约 50 重量%、优选约 25 重量%的次级磨粒，该次级磨粒既不是丝形颗粒也不是团聚的颗粒。丝形颗粒、团聚的颗粒和任选次级磨粒的选用量之和为本发明的磨具中所用颗粒掺合物总重的 100%。适合任选与丝形颗粒和团聚的颗粒掺合的次级磨粒将在后面描述。

在另一种实施方式中，所述掺合物包含丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒的团聚体和团聚的粗磨粒。该丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒的团聚体包含丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒的许多颗粒和第二粘结材料。所述第二粘结材料使丝形溶胶-凝胶磨粒保持三维形状。

丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒的团聚体还任选包含次级磨粒。所述第二粘结材料使所述次级磨粒和丝形磨粒保持三维形状。所述次级磨粒可包含一种或多种本领域已知用于磨具的磨粒，如氧化铝颗粒(包括熔融氧化铝、非丝形烧结的溶胶-凝胶氧化铝、烧结的矾土等)、碳化硅、氧化铝-氧化锆、氧氮化铝(aluminoxynitride)、氧化铈、低价氧化硼(boron suboxide)、石榴石、燧石、金刚石(包括天然和合成氧化铝)、立方氮化硼(CBN)及其组合。除非采用烧结的溶胶-凝胶氧化铝，所述次级磨粒可取任意形状，包括丝类形状。所述次级磨粒优选为非丝形磨粒。

所述丝形磨粒团聚体中的丝形磨粒的用量，以团聚体总重量为基准，通常在

约 15—95 重量%的范围内，优选约 35—80 重量%的范围内，更优选约 45—75 重量%的范围内。

丝形磨粒的团聚体中次级磨粒的用量，以团聚体总重量为基准，通常在约 5—85 重量%的范围内，优选约 5—65 重量%的范围内，更优选约 10—55 重量%的范围内。对丝形颗粒和团聚的颗粒的掺合物的情况，可在团聚的丝形颗粒中加入任选的次级磨粒，形成本发明的磨具中所用的总颗粒掺合物。同样，最多约 50 重量%、优选约 25 重量%的任选次级磨粒可与丝形颗粒的团聚体掺合，形成磨具中所用的总颗粒掺合物。

丝形溶胶—凝胶氧化铝磨粒包含烧结的溶胶—凝胶氧化铝的多晶。丝形溶胶—凝胶氧化铝磨粒中可包含加晶种或未加晶种的溶胶—凝胶氧化铝。较佳的，磨粒掺合物中采用加晶种的丝形溶胶—凝胶氧化铝磨粒。在一种优选的实施方式中，烧结的溶胶—凝胶氧化铝磨粒主要包含  $\alpha$  氧化铝晶体，其尺寸小于约 2 微米，更优选不大于约 1—2 微米，甚至更优选小于约 0.4 微米。

溶胶—凝胶氧化铝磨粒可用本领域已知的方法制备(例如，参见美国专利 4623364、4314827、4744802、4898597、4543107、4770671、4881951、5011508、5213591、5383945、5395407 和 6083622，其内容通过参考结合于本文)。例如，它们通常这样制备：形成还包含不同量的一种或多种氧化物改性剂(例如  $\text{MgO}$ 、 $\text{ZrO}_2$  或稀土金属氧化物)或晶种/成核材料(例如  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  或铬氧化物)的水合氧化铝凝胶，然后干燥并烧结该凝胶(例如，参见美国专利第 4623364 号)。

丝形溶胶—凝胶氧化铝磨粒一般可通过多种方法获得，如将水合氧化铝溶胶或凝胶挤出或喷丝成连续的丝形颗粒，干燥所得丝形颗粒，将丝形颗粒切成或断开成所需长度，然后在优选不超过约 1500°C 的温度下煅烧丝形颗粒。制备所述颗粒的优选方法见述于美国专利第 5244477、5194072 和 5372620 号。对于直径在约 0.254 毫米与约 1.0 毫米之间的水合氧化铝的溶胶或凝胶，最有用的方法是挤出，挤出物干燥和煅烧之后，其直径大致分别等价于用于 100 颗粒度( grit)至 24 颗粒度磨料的网孔的直径。对于煅烧后直径小于约 100 微米的丝形颗粒，最有用的方法是喷丝。

最适合挤出的凝胶通常具有约 30—68%的固含量。最佳固含量随挤出丝的直径变化。例如，如果丝形磨粒在煅烧后的直径大致等于用于 50 颗粒度碎磨粒的网

孔的直径，固含量优选约为 60%。如果丝形溶胶—凝胶氧化铝磨粒是通过喷丝形成的，宜向形成凝胶的溶胶中加入约 1%—5% 的非玻璃成形用(non-glass-forming) 喷丝助剂，如聚环氧乙烷，以便为凝胶提供所需的粘性和弹性，形成丝形磨粒。在焙烧或煅烧过程中，喷丝磨粒中的喷丝助剂会被烧掉。

当在磨粒掺合物中采用加晶种的丝形溶胶—凝胶氧化铝磨粒时，在将水合氧化铝的溶胶或凝胶挤出或喷丝成连续丝形颗粒的过程中，优选加入有效量的亚微米晶种材料，以促使凝胶中的水合氧化铝快速转化为非常细的  $\alpha$  氧化铝晶体。晶种材料的例子如上所述。

通过将凝胶从具有颗粒截面所需形状的模具中挤出，可产生各种所需形状的挤出凝胶颗粒。例如，这些形状可以是方形、菱形、椭圆形、管形或星形。不过，所述截面一般是圆形。优选将初始形成的连续丝形颗粒断开或切成目标磨削用途所需的最长维度方向上的尺寸。丝形凝胶颗粒根据需要成形之后，如果需要，再对其切割或压碎并干燥之后，通过受控煅烧将其转化为最终的磨粒形状。一般地，煅烧步骤的温度在约 1200℃ 至约 1350℃ 之间。煅烧时间通常在约 5 分钟至 1 小时之间。然而，其他温度和时间也可采用。对于大于约 0.25 毫米的颗粒，优选在约 400—600℃ 对干燥的材料预焙烧约几小时至约 10 分钟，以除去残余的挥发物和结合水，锥形组分可能会在煅烧过程中造成颗粒破裂。特别是由加晶种的凝胶形成的颗粒，过度烧结会导致较大颗粒快速吸附其周围多数较小的颗粒，因此降低了产品微米结构尺度的均匀性。

用于本发明中磨粒掺合物的团聚的粗磨粒是三维粗粒，其包含许多磨粒和粘结材料。团聚的粗磨粒的平均尺寸比磨粒的平均颗粒度大约 2—20 倍。团聚的粗磨粒的平均直径优选在约 200-3000 微米之间。团聚的粗磨粒的松堆积密度(loose packing density)(LPD)通常是，例如，120 颗粒度(106 微米)的颗粒约为 1.6 克/立方厘米，60 颗粒度(250 微米)的颗粒约为 1.2 克/立方厘米，孔隙率约为 30—88 体积%。由 TG2 颗粒制成的团聚的丝形粗磨粒的松堆积密度约为 1.0 克/立方厘米。对于多数颗粒，团聚的磨粒的松堆积密度约为相同颗粒在松弛、未团聚颗粒形式下测得的松堆积密度的 0.4 倍。团聚的粗磨粒的最小压碎强度值优选约为 0.2 兆帕。

团聚的粗磨粒可包含一种或多种已知适用于磨具的磨粒，如氧化铝颗粒，包括熔融氧化铝、非丝形溶胶—凝胶烧结氧化铝、烧结铝土矿等；碳化硅；氧化铝—氧化锆，包括共熔氧化铝—氧化锆和烧结氧化铝—氧化锆；氧氮化铝；低价氧

化硼；石榴石；燧石；金刚石，包括天然和合成金刚石；立方氮化硼(CBN)；以及它们的组合。合适的磨粒的其他例子包括未加晶种的烧结溶胶-凝胶氧化铝磨粒，其包含微晶 $\alpha$ 氧化铝和至少一种氧化物改性剂，如稀土金属氧化物(例如， $\text{CeO}_2$ 、 $\text{Dy}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Er}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Eu}_2\text{O}_3$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Nd}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Pr}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Sm}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Yb}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Gd}_2\text{O}_3$ )、碱金属氧化物(例如， $\text{Li}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 和 $\text{K}_2\text{O}$ )、碱土金属氧化物(例如， $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{SrO}$ 和 $\text{BaO}$ )和过渡金属氧化物(例如， $\text{HfO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{NiO}$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZnO}$ 和 $\text{ZrO}_2$ )(例如，参见美国专利第 5779743、4314827、4770671、4881951、5429647 和 5551963，其全文内容通过参考结合于本文)。未加晶种的烧结溶胶-凝胶氧化铝磨粒的具体例子包括稀土铝酸盐，可由式  $\text{LnMAl}_{11}\text{O}_{19}$  表示，其中 Ln 是三价金属离子，如 La、Nd、Ce、Pr、Sm、Gd 或 Eu，M 是二价金属阳离子，如 Mg、Mn、Ni、Zn、Fe 或 Co(例如，参见美国专利第 5779743 号)。这种稀土铝酸盐通常具有六方晶体结构，有时称为磁性铝酸盐晶体结构。团聚的粗磨粒的许多例子可见于美国专利第 6679758 B2 号和美国专利申请公开第 2003/0194954 号，其全文内容通过参考结合于本文。

任意尺寸或形状的磨粒均可采用。优选，这样选择用于磨粒掺合物的团聚的粗磨粒的尺寸，使得砂轮孔隙率和可渗透性的损失最小。适用于团聚的粗磨粒的粒度范围为从常规磨料颗粒度(例如大于约 60 至最大约 7000 微米)到微磨料颗粒度(例如约 0.5 至约 60 微米)，以及这些尺寸的组合。对于指定的磨削操作，可能需要团聚的磨粒的颗粒度小于平常为这种磨削操作选择的磨粒(非团聚磨粒)的颗粒度。例如，可用 80 颗粒度(180 微米)团聚磨料代替 54 颗粒度(300 微米)磨料，用 100 颗粒度(125 微米)团聚磨料代替 60 颗粒度(250 微米)磨料，用 120 颗粒度(106 微米)团聚磨料代替 80 颗粒度(180 微米)磨料。

典型磨粒的优选团聚尺寸范围为平均直径约 200 至约 3000 微米，更优选约 350 至约 2000 微米，最优选约 425 至约 1000 微米。对于微磨粒，优选的团聚体尺寸为平均直径约 5 至约 180 微米，更优选约 20 至约 150 微米，最优选约 70 至约 120 微米。

在用于本发明的团聚的粗磨粒中，磨粒一般占团聚体的约 10 体积%至约 95 体积%。磨粒优选占团聚体的约 35 体积%至约 95 体积%，更优选占约 48 体积%至约 85 体积%。团聚体的其余部分包含粘结材料和孔。

对于团聚的粗磨粒，用于本发明的丝形溶胶-凝胶磨粒的团聚体是三维粗粒，

其包含许多丝形溶胶-凝胶磨粒和第二粘结材料。丝形溶胶-凝胶磨粒的团聚体还优选包含上述次级磨粒。在一个具体实例中，次级磨粒是非丝形的。在一种实施方式中，包含许多丝形溶胶-凝胶磨粒的颗粒和次级磨粒的丝形溶胶-凝胶磨粒的团聚体可与团聚的粗磨粒一起用于磨粒掺合物。在另一种实施方式中，包含许多丝形溶胶-凝胶磨粒的颗粒和次级磨粒的丝形溶胶-凝胶磨粒团聚体可在不与团聚的粗磨粒掺合的情况下用于本发明的磨具。丝形溶胶-凝胶磨粒的团聚体的典型特征见上面对团聚的粗磨粒的讨论。

通过对丝形颗粒和非丝形颗粒掺合物的粒度进行不同选择，可以调节包含团聚颗粒的磨具的磨削性能。例如，在较高材料清除率(MRR)下操作的磨削操作所用工具，可用包含 46 颗粒度(355 微米)方形或块形氧化铝颗粒和 80 颗粒度(180 微米)TG2 颗粒的颗粒团聚体制备。以类似的方式，经调整用于高 MRR 操作的磨具可包含 46 颗粒度方形或块形氧化铝颗粒与 80 颗粒度松散的非团聚 TG2 颗粒掺合而成的团聚体。在另一个实例中，对于需要控制精细的表面精整度而且不能在工件表面留下擦痕的磨削操作，其所用工具可用包含 120 颗粒度(106 微米)方形或块形氧化铝颗粒和 80 颗粒度(180 微米)TG2 颗粒的颗粒团聚体制造。在另一种实施方式中，经调整用于精细表面质量磨削或抛光操作的工具可包含 120 颗粒度(106 微米)方形或块形氧化铝颗粒与 80 颗粒度松散的非团聚 TG2 颗粒掺合而成的团聚体。

通常用于本领域的固结磨具的任意结合(粘结)材料均可用作团聚的粗磨粒的粘结材料(以下称“第一粘结材料”)和丝形溶胶-凝胶磨粒团聚体的第二粘结材料。第一和第二粘结材料优选各自独立包含无机材料，如陶瓷材料、玻璃化材料、玻璃化结合组合物及其组合，更优选在玻璃化固结磨具中用作结合体系的那种陶瓷和玻璃化材料。这些玻璃化结合材料可以是磨成粉末的烧前玻璃(pre-fired glass)(玻璃料)，或诸如粘土、长石、石灰、硼砂和苏打之类的各种原料的混合物，或者烧结合料和原料的组合。这种材料在约 500 至约 1400℃ 的温度范围内熔合形成液态玻璃相，湿润磨粒表面，冷却后产生连接柱，由此将磨粒保持在复合结构之内。适用于团聚体的粘结材料的例子可见于例如美国专利第 6679758 B2 和美国专利申请公开第 2003/0194954 号。优选的粘结材料的特征在于它在约 1180℃ 的粘度约为 345 至 55300 泊，熔点约为 800 至约 1300℃。

在一种优选实施方式中，第一和第二粘结材料各自独立为烧结的结合组合物，

其包含煅烧的氧化物组合物，所述组合物包含  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{B}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、碱土金属氧化物和碱金属氧化物。煅烧的氧化物组合物的一个例子包含 71 重量%的  $\text{SiO}_2$  和  $\text{B}_2\text{O}_3$ ，14 重量%的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ，低于 0.5 重量%的碱土金属氧化物和 13 重量%的碱金属氧化物。

第一和第二粘结材料也可为陶瓷材料，包括氧化硅、碱金属、碱土金属、混合的碱金属与碱土金属的硅酸盐、硅酸铝、硅酸锆、水合硅酸盐、铝酸盐、氧化物、氮化物、氧氮化物、碳化物、氧碳化物和它们的组合及衍生物。一般地，陶瓷材料与玻璃材料或烧结材料的不同之处在于，陶瓷材料包含晶体结构。有些玻璃相可能与晶体结构并存，特别是在处于非精制状态的陶瓷材料中。本发明可采用处于原始状态的陶瓷材料，如粘土、水泥和矿物。适用于本发明的具体陶瓷材料的例子包括：氧化硅、硅酸钠、多铝红柱石及其他硅铝酸盐、氧化锆—多铝红柱石、铝酸镁、硅酸镁、硅酸锆、长石和其他碱金属硅铝酸盐(alkali-alumino-silicate)、尖晶石、铝酸钙、铝酸镁及其他碱金属铝酸盐、氧化锆、用氧化钇稳定的氧化锆、氧化镁、氧化钙、氧化铈、氧化钛或者其他稀土添加剂、滑石、氧化铁、氧化铝、勃姆石、氧化硼、氧化铈、氧氮化铝、氮化硼、氮化硅、石墨和这些陶瓷材料的组合。

一般地，第一和第二粘结材料各自独立地以粉末形式使用，任选将其加入液体载体，确保粘结材料与磨粒在制造团聚体的过程中形成均匀混合物。

优选在粉化粘结材料的组分中加入有机粘结剂分散体，用作模塑或加工的助剂。这些粘结剂可包含：糊精、淀粉、动物蛋白胶和其他类型的胶；液体组分，如水、溶剂、粘度或 pH 改性剂；混合助剂。使用有机粘结剂可提高团聚体的均匀性，尤其是颗粒上的粘结材料分散体的均匀性，还能提高预焙烧的或生坯团聚体的结构质量以及包含团聚体的煅烧磨具的质量。因为有机粘结剂在煅烧团聚体的过程中被烧掉，它们没有变成制成的团聚体或制成的磨具的一部分。需要时，可向混合物中加入无机增粘剂，以提高粘结剂对磨粒的粘附性，从而提高混合质量。在制备团聚体时，可在采用或不采用有机粘结剂的情况下使用无机粘增剂。

尽管在本发明的团聚体中优选使用高温熔合的粘结材料，但所述粘结材料也可包含其他无机粘结剂、有机粘结剂、有机结合材料、金属结合材料及其组合。优选使用的粘结材料是在磨具工业中用作有机固结磨料、涂覆磨料、金属固结磨料等的结合剂。

团聚体中粘结材料的含量约为 0.5 体积%至约 15 体积%，更优选约 1 体积%至约 10 体积%，最优选约 2 体积%至约 8 体积%。

在制造磨具并用它进行磨削所需的团聚体机械强度限度内，只要技术许可，团聚体中的优选体积%孔隙率可尽可能高。孔隙率可为约 30 体积%至约 88 体积%，优选约 40 体积%至约 80 体积%，最优选约 50 体积%至约 75 体积%。所述团聚体内的一部分孔隙(例如，最多约 75 体积%)优选以互连孔隙形式存在，或者是对流动的流体，包括液体(例如磨削冷却剂和碎屑)和空气具有可透性的孔隙。

团聚体的密度可以多种方式表示。团聚体的堆积密度可表示为 LPD。团聚体的相对密度可表示为初始相对密度的百分数，或者团聚体与用来制造团聚体的组分的相对密度比，要考虑团聚体中互连孔隙的体积。

表示为百分数的初始平均相对密度可以通过以下方式计算：用 LPD 除以假定孔隙率为 0 的团聚体的理论密度。所述理论密度可根据混合物体积规则(volumetric rule)，由包含在团聚体中的粘结材料和磨粒的重量百分数和比重计算。对于用于发明的团聚体，最大相对百分密度为约 50 体积%，优选的最大相对百分密度为约 30 体积%。

相对密度可通过流体置换体积技术测定，因而包含互连孔隙，排除了封闭孔隙。相对密度是用流体置换法测定的团聚体体积与用于制造团聚体的材料的体积之比。用来制造团聚体的材料的体积是表观体积的量度，所述表观体积基于制造团聚体时所用磨粒和粘结材料的量和堆积密度。在一种优选实施方式中，团聚体的最大相对密度优选为约 0.7，更优选最大相对密度为约 0.5。

磨粒的团聚体可通过多种技术形成很多种尺寸和形状。这些技术可在煅烧颗粒与粘结材料的初始(“生坯”)阶段的混合物之前、当中或之后使用。煅烧、焙烧或烧结是指加热混合物的步骤，用以使粘结材料熔化和流动，从而将粘结材料粘附到颗粒上，将颗粒固定为团聚形式。本领域已知的用来使颗粒混合物发生团聚的方法均可用于制备磨粒团聚体。例如，可采用美国专利第 6679758 B2 号和美国专利申请公开第 2003/0194954 号披露的方法，其全文内容通过参考结合于本文。

在一种优选的实施方式中，用以下步骤制备磨粒的团聚体，如烧结的团聚的粗磨粒：1)将磨粒和粘结材料以受控进料速率装入旋转焙烧窑；2)以受控速度旋转该窑；3)加热混合物，加热速率根据进料速率和将窑加热到约 80°C 至约 1300°C 范围内的某个温度的速度确定；4)反转窑中的颗粒和粘结材料，直到粘结材料附着到

颗粒上，并使许多颗粒粘附在一起，形成烧结的团聚的粗粒；4)从窑中回收烧结的团聚的粗粒。烧结的团聚的粗粒的松堆积密度优选等于或小于约 1.6 克/立方厘米。

在本发明用来制备团聚体的工艺的一个实例中，在煅烧之前将颗粒和粘结材料的初始混合物团聚起来，产生机械强度较弱的结构，称为“生坯团聚体”或“烧前团聚体”。在此实例中，可利用许多不同技术，例如在盘式造粒机中，将磨粒和粘结材料团聚以生坯状态，然后将其送入旋转式焙烧炉中烧结。可以连续或间歇方式将生坯团聚体置于托盘或托架上，在不进行回转的情况下于炉子中进行煅烧。

可将磨粒送入流化床，然后用包含粘结材料的液体湿润，使粘结材料附着到颗粒上，筛选团聚体粒度，然后在炉子或焙烧装置中煅烧。

盘式造粒可以以下方式进行操作：将颗粒加入混合碗，将包含粘结材料(如水或有机粘结剂和水)的液体组分定量加到颗粒上，通过搅拌使颗粒团聚在一起。可将粘结材料、任选含有有机粘结剂的液态分散体喷涂到颗粒上，然后将经涂覆的颗粒混合，形成团聚体。

可利用低压挤出装置将颗粒与粘结剂的糊料挤成一定尺寸和形状，然后干燥形成团聚体。糊料可由粘结材料和颗粒与有机粘结剂溶液制成，然后挤成所需形状的颗粒，如丝形颗粒，所用装置和方法见美国专利第 4393021 号，其全文内容通过参考结合于本文。

在一种干式造粒工艺中，可对由包埋在粘结材料分散体或糊料中的磨粒制成的片体或块体进行干燥，然后用辊筒压实机将颗粒与粘结材料的复合物压碎。

在制备生坯或前体团聚体的另一种方法中，粘结材料与颗粒的混合物可加入模塑设备，然后模塑混合物，形成精确的形状和尺寸，例如用美国专利第 6217413 B1 所披露的方式，其全文内容通过参考结合于本文。

在本发明用来制备团聚体的工艺的另一个实例中，将颗粒与粘结材料(任选加入有机粘结剂)的简单混合物，优选基本上均匀的混合物送入旋转式焙烧装置(例如，参见美国专利第 6679758 号)。混合物在预定转速下以预定倾斜度回转，并对其加热。当粘结材料混合物受热、熔化、流动并附着到颗粒上时，就形成团聚体。在受控的速率和进料体积以及加热条件下，同时进行煅烧和团聚步骤。在设定进料速率时，通常使流体大致占据旋转式焙烧装置中焙烧管(即窑部分)体积的 8-12%。选择该装置中的最高温度，要使液态粘结材料的粘度至少约为 1000 泊。



这可避免粘结材料过多地流到焙烧管表面上，同时避免粘结材料从磨粒表面损失。对团聚体进行团聚和煅烧的团聚过程可以在单个步骤中进行，也可分两个独立步骤进行，优选单步进行。

合适的旋转式焙烧机械可购自纽约州布法罗市的哈珀国际公司(Harper International, Buffalo, NY)，或者购自阿尔斯通能源公司(ALSTOM Power Inc.)、应用测试系统公司以及其他设备制造商。所用装置可任选配有电子、过程控制和检测设备，还可配有冷却系统/各种类型的进料装置和其他任选设备。

当通过低温(例如约 80-500℃)固化粘结材料来团聚磨粒时，可采用配有旋转干燥机的旋转窑装置。旋转干燥机向管的出料端提供热空气，加热磨粒混合物，从而固化粘结材料，将其粘结到颗粒上，因此，当从该装置中收集磨粒时，磨粒得以团聚。本说明书中，术语“旋转式焙烧窑”的例子就是这种旋转干燥设备。

在本发明用来制备团聚体的方法的第三个实例中，将磨粒、粘结材料和有机粘结剂体系的混合物直接送入炉子而无须预团聚，并进行加热。将混合物加热到足够高的温度，使粘结材料熔化、流动并附着到颗粒上，然后冷却，制成复合物。对该复合物进行破碎并筛分，制得烧结的团聚体。

在第四个实例中，团聚体在制成磨具之前不进行烧结，而是用结合材料对“生坯”团聚体进行模塑，形成磨具体，对该磨具体进行煅烧，形成磨具。在实施此方法的一种优选方式中，用高粘度(当熔化成液体时)的玻璃化粘结材料来团聚处于生坯状态的颗粒。该生坯团聚体在炉子中干燥，然后与第二玻璃化(优选低粘度)的结合组合物混合，模塑成生坯磨具的形式。此生坯磨具在一定温度下煅烧，所述温度能有效熔合该高粘度玻璃化粘结材料，但能避免该材料流动。所选煅烧温度足够高，能将粘结材料组合物熔合到玻璃，从而使颗粒团聚，并使结合组合物流动，将团聚体结合，形成磨具。在实施此方法时，选用具有不同粘度的材料和具有不同熔合或熔化温度的材料不是关键问题。在此技术中，可利用本领域已知的粘结材料和连接材料的其他组合，由处于生坯状态的团聚体制备磨具。

本发明的固结磨具一般包括任意类型的常规磨具。这种常规磨具的例子包括磨轮、切割轮和镗磨石，其包含一种结合组分和上述磨粒掺合物或丝形溶胶-凝胶磨粒的团聚体。制备固结磨具的合适方法见述于美国专利第 5129919、5738696 和 5738697 号，其全文内容通过参考结合于此。

通常用于研磨制品中的任意连接材料均可用于本发明。结合材料和磨料的用

量通常在以下范围内变化：结合材料占磨具体积的约 3-25 体积%，磨粒占磨具体积的约 10-70 体积%。磨粒掺合物在固结磨具中的含量优选占磨具体积的约 10—60 体积%，更优选约 20—52 体积%。另外，不与团聚的粗磨粒掺合的情况下使用丝形溶胶—凝胶磨粒团聚体时，丝形溶胶—凝胶磨粒团聚体在固结磨具中的含量占磨具的约 10—60 体积%，更优选约 20—52 体积%。连接材料的优选用量随磨具中所用结合材料的类型变化。

在一种实施方式中，本发明的磨具可用树脂粘结剂结合。合适的树脂粘结剂包括酚醛树脂、脲甲醛树脂、蜜胺—甲醛树脂、聚氨酯树脂、丙烯酸酯树脂、聚酯树脂、氨基塑料树脂、环氧树脂及其组合。合适的树脂粘结剂和这种粘结剂的制造技术的例子可参见(例如)美国专利第 6251149、6015338、5976204、5827337 和 3323885 号，其全文内容通过参考结合于本文。一般地，磨具组合物中树脂粘结剂的含量约为 3—48 体积%。可任选进一步向树脂粘结剂中加入添加剂，如纤维、磨削助剂、润滑剂、湿润剂、表面活性剂、颜料、染料、抗静电剂(例如碳黑、氧化钒、石墨等)、偶联剂(例如硅烷、钛酸盐、锆铝酸盐等)、增塑剂、悬浮剂等。添加剂的典型用量约占磨具的 0—70 体积%。

在另一实施方式中，磨具的结合组分包含一种无机材料，其选自陶瓷材料、玻璃化材料、玻璃化的结合组合物以及它们的组合。合适的结合剂的例子可见于美国专利第 4543107、4898597、5203886、5025723、5401284、5095665、5711774、5863308 和 5094672 号，其全文内容通过参考结合于本文。例如，适用于本发明的玻璃质结合剂包括用于熔融氧化铝或溶胶—凝胶氧化铝磨粒的常规玻璃质结合剂。这种结合剂见述于美国专利第 5203886、5401284 和 5536283 号。这些玻璃质结合剂可在较低温度，如约 850—1200℃下煅烧。适用于本发明的其他玻璃质结合剂可在低于约 875℃的温度下煅烧。这些结合剂的例子见述于美国专利第 5863308 号。较佳的，本发明采用可在约 850℃至约 1200℃之间的温度范围内煅烧的玻璃质结合剂。在一个具体例子中，玻璃质结合剂是碱金属硼铝硅酸盐(alika boro alumina silicate)(例如，参见美国专利第 5203886、5025723 和 5711774 号)。

磨具组合物中玻璃质连接剂的含量通常小于约 28 体积%，如在约 3 体积%至约 25 体积%之间；约 4 体积%至约 20 体积%之间；以及约 5 体积%至约 18.5 体积%。

任选地，磨具的结合组分和粘结材料，包括第一和第二粘结材料，可包括相

同类型的结合组合物，如玻璃化的结合组合物，其包含  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{B}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、碱土金属氧化物和碱金属氧化物的煅烧氧化物的组合物。

利用丝形溶胶-凝胶磨粒与团聚的磨粒，或者与丝形溶胶-凝胶磨粒团聚体(与团聚的粗磨粒掺合或不掺合)的组合，可生产具有高孔性和渗透性结构的固结磨具。然而，可在本发明的砂轮中任选引入常规造孔介质，如空心玻璃珠、实心玻璃珠、空心树脂珠、实心树脂珠、泡沫玻璃颗粒、发泡氧化铝(bubbled alumina)等，以此为产品级别和结构提供更宽的变化范围。

以磨具体积为基准，本发明的固结磨具优选包含约 0.1 体积%至约 80 体积%的孔隙率。它们更优选包含约 35 体积%至约 80 体积%，它们甚至更优选包含约 40 体积%至约 68 体积%的孔隙率。

当采用树脂结合剂时，在一定温度，例如约  $60^\circ\text{C}$  至约  $300^\circ\text{C}$  的范围内固化磨粒与树脂结合组分的合并掺合物，由此制备树脂型磨具。当采用玻璃质结合剂时，磨粒与玻璃质结合组分的合并组合物在一定温度，例如约  $600\text{-}1350^\circ\text{C}$  的范围内进行煅烧，由此制备玻璃化的磨具。

当采用玻璃质结合剂时，玻璃化磨具通常利用本领域技术人员公知的方法煅烧。煅烧条件主要由实际使用的结合剂和磨料决定。煅烧可在惰性气氛或空气中进行。在一些实施方式中，该合并的组分在环境空气气氛中煅烧。本说明书中所用词语“环境空气气氛”是指取自周围环境并且未加处理的空气。

可利用本领域公知的方法进行模塑和压制过程，以形成磨具，如砂轮、磨石等。例如，美国专利第 6609963 号介绍了这样一种合适的方法，其全文内容通过参考结合于本文。

一般地，所述组分通过机械掺合的方法合并。如本领域所公知的，可以加入其他成分，例如有机粘结剂。各组分可依次合并，也可在一步骤中合并。任选对所得混合物进行筛分，除去在掺合过程中可能形成的团聚体。

将所得混合物置于合适的模具中压制。通常用成形柱塞盖住(cap off)混合物。在一个实例中，将合并组分模塑和压制成与砂轮边缘相适应的形状。压制过程可利用任何合适的方式完成，如冷压或热压，如专利第 6609963 号所述。优选采用不会压碎空心体的模塑和压制方法。

优选冷压，其通常包含在室温下施加足够的初始压力，将模具组装件保持在一起。

当采用热压时，在煅烧之前和煅烧过程中施加压力。或者，从炉子中取出制品之后对模具组装件施加压力，这称作“热冲制(hot coining)”。

在一些采用空心体的实施方式中，模塑和压制之后，优选至少有 90 重量%的空心体保持不变。

从模具中取出磨具制品并在空气中冷却。在后一步骤中，可根据标准做法对经煅烧的磨具进行修边和精整，并在使用前进行速度测试。

本发明的磨具适用于磨削所有类型的金属，如各种钢，包括不锈钢、铸钢和硬化工具钢；铸铁，例如延性铁、可锻铸铁、球墨铁、冷硬铸铁和球铁(modular iron)；类似于铬、钛和铝这样的金属。本发明的磨具在与工件有较大接触面积的磨削应用，如缓进给磨削、齿轮磨削和表面磨削中特别有效，尤其是当采用难磨的热敏材料如镍基合金时。

下面通过实施例进一步描述本发明，它们不对本发明构成限制。

## 实施例

### 实施例 1 用两种团聚原料的掺合物制备砂轮

为实验砂轮制备丝形溶胶-凝胶磨粒的团聚体与团聚的粗磨粒的各种组合，见表 1。本文中，“TG2”表示加晶种的丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒的一个例子，购自美国马萨诸塞州伍斯特市圣戈班磨料磨具公司(Saint-Gobain Abrasives, Worcester, MA)。购自同一公司的 Norton<sup>®</sup> 38A 熔融氧化铝磨粒用作团聚粗磨粒(以下称“38A”)。

利用不同比例的 TG2 颗粒和 38A 颗粒团聚体配制一组实验砂轮。这种含有丝形溶胶-凝胶氧化铝磨粒或其团聚体和团聚的粗磨粒的掺合物的砂轮在下文称作“团聚的颗粒-TG2”型砂轮。制备四种团聚的颗粒-TG2 砂轮(20)-(23)，其总共含 10 重量%、30 重量%、50 重量%和 75 重量%的 TG2 并相应含 90 重量%、70 重量%、50 重量%和 25 重量%的 38A。这些砂轮由以下两种团聚原料制备：

1)75 重量% TG2(长宽比为 8:1)和 25 重量% 38A[粒度为 120 目粒度(38A-120)]在 3 重量%粘结材料 C 中的团聚体，见述于美国专利第 6679758 B2 号中的表 2[煅烧组合物包含 71 重量%的玻璃成形剂( $\text{SiO}_2+\text{B}_2\text{O}_3$ )；14 重量%的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ；<0.5 重量%的碱土金属 RO(CaO、MgO)；13 重量%的碱金属  $\text{R}_2\text{O}$ ( $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Li}_2\text{O}$ )，比重为 2.42 克/立方厘米，1180℃的粘度为 345 泊]；

2)粒度为 60 目(38A-60)的 38A 在 3 重量%的粘结材料 C 中的团聚体。

原料 1)包含一种团聚体,其包含 75 重量%的粒度为 80 目的 TG2 和 25 重量%的粒度为 120 目(38A-120)的熔融氧化铝 38A。原料 2)包含一种团聚体,其包含粒度为 60 颗粒度(38A-60)的熔融氧化铝 38A 颗粒。对于每种原料,采用 3 重量%的粘结材料 C 作为粘结材料。团聚体 1)和 2)是按照美国专利第 6679758 B2 号中实施例 5 所述的方法在旋转窑中制备的,不同之处是窑在 1150°C 下工作。附图显示了团聚体 1)的扫描电子显微(SEM)图片,该团聚体包含 75 重量%的 TG2 和 25 重量%的 38A-120 的掺合物,它们在 3 重量%的粘结材料 C 中团聚。如图所示,细小颗粒度的 38A-120 获得了对丝形 TG2 颗粒的良好覆盖。

改变团聚体 1)和 2)的掺合比,结果得到了本发明的四种不同的磨粒掺合物,总结于表 1。

表 1 用于磨具的磨粒掺合物(20)-(30)

样品 编号	TG2/(TG2+38 A)重量%	(75 重量%TG2+25 重量%38A-120) +3 重量%粘结材料 C	38A-60 +3 重量%粘结材料 C
(23)	10	13	87
(22)	30	40	60
(21)	50	67	33
(20)	75	100	0

将磨粒和团聚体与粘结材料 C 相混合,将混合物模塑成砂轮,并在 950°C 煅烧模制砂轮,就得到最终尺寸为 20"x 1" x 8"(50.8 厘米 x 2.5 厘米 x 20.3 厘米)的砂轮。对穿过-12/+盘的团聚体(美国标准筛网尺寸;保留小于 12 目的团聚体)加以利用。

作为对照,利用美国专利第 6679758 B2 号的实施例 7 中所述的方法,采用 100%常规 38A-120[样品(24)]团聚体作为磨料制备砂轮。

其他标准砂轮(27)和(28)分别采用含 100%38A-120 的非团聚体和 100%38A-60 的非团聚体的磨料,而标准砂轮(25)和(26)分别采用含 100%TG2-80 的非团聚体和 TG2-120 的非团聚体的磨料。这些标准砂轮是购自马萨诸塞州伍斯特市圣戈班磨料磨具公司(Saint-Gobain Abrasives, Worcester, MA)的商业产品,在表 2 中标出了它们各自的商业砂轮牌号。在下文中,采用诸如团聚体 38A 之类的常规团聚体的砂轮称作“团聚颗粒的对照砂轮”。类似地,采用 TG2 颗粒之类的常规丝形溶胶-凝胶磨粒的砂轮在下文中称作“TG2 砂轮”。

## 实施例 2

### 实施例 1 中砂轮的机械性质

#### A. 弹性模量(Emod)

涉及 Emod 的所有数据均利用 Grindosonic 机测定，具体方法见述于 J. Peters 的“砂轮的声音测试”(Sonic Testing of Grinding Wheels)，机械工具设计与研究进展(Advances in Machine Tool Design and Research)，培格曼(Pergamon)出版社，1968。

团聚的颗粒—TG2 砂轮(20)–(23)的物理性质列于下表 2，并与标准团聚的颗粒的砂轮(24)、标准 TG2 砂轮(25)和(26)以及常规标准砂轮(27)和(28)作了比较。如表 2 所示，标准 TG2 砂轮(25)和(26)的弹性模量与标准 38A—60 砂轮(28)类似。标准 TG2 砂轮(26)的弹性模量数值在所有测试砂轮中最高。团聚的颗粒的砂轮(24)与 TG2 砂轮(25)和(26)相比，非常出人意料，其弹性模量的降低最多约 40%。有趣的是，团聚颗粒—TG2 砂轮(20)–(23)的弹性模量比 TG2 砂轮(25)和(26)低 37%至 42%。值得注意的是，团聚的颗粒—TG2 砂轮(20)–(23)的弹性模量没有随 TG2/38A 之比显著变化，依然接近于团聚的颗粒的砂轮(24)的弹性模量。

表 2 实施例中砂轮的特性

砂轮 (砂轮中磨料掺合物的重量%)	砂轮组成 体积%				煅烧后 密度 克/厘米 <sup>3</sup>	弹性 模量 (吉帕)	断裂 模量 (兆帕)	硬度 (喷沙) <sup>c</sup>
	团聚体	磨粒	连接剂 <sup>b</sup>	孔隙				
对比砂轮(25) TG2-80 E13 VCF3 <sup>a</sup>	N/A	38	6.4	55.6	1.67	23.5	23	1.61
对比砂轮(26) TG2-120 E13 VCF3 <sup>a</sup>	N/A	36.2	8.2	55.6	1.66	24.2	21.0	1.46
(20)75%TG2	38	36.2	8.2	55.6	1.63	14.5	14.6	2.81
(21)50%TG2	38	36.2	8.2	55.6	1.64	13.8	16.5	2.32
(22)30%TG2	38	36.2	8.2	55.6	1.64	14.3	17.9	2.32
(23)10%TG2	38	36.2	8.2	55.6	1.64	15.2	21.2	2.81
对比砂轮(27) 38A-120 E13 VCF3 <sup>a</sup>	N/A	36.2	8.2	55.6	1.67	15.9	28	2.90
对比砂轮(24) 100%38A120	38	36.2	8.2	55.6	1.64	14.9	24.6	2.84
对比砂轮(28) 38A60-K75LCNN <sup>a</sup>	N/A	38.4	7.7	53.9	1.75	23.5	N/A	1.35

<sup>a</sup> 对比砂轮是购自圣戈班磨料磨具有限公司(诺顿公司)的商业产品，表中标出了各个砂轮的字母数字牌号。

<sup>b</sup> 采用团聚体的砂轮中结合剂的体积%数值包括用在颗粒上制备团聚体的玻璃粘结材料的体积%+砂轮结合剂的体积%。

°喷沙值表明实验砂轮比非团聚颗粒的对比砂轮 25、26 和 28 更软。

## B. 断裂模量(MOR)

在样品棒上测量了实施例 1 中样品(20)–(27)的断裂模量,采用 Instron<sup>®</sup>型 MTS 1125 机械测量机,其带有四点弯曲夹,支点跨度 3”,负荷跨度 1”,施加负荷的速率为 0.050”/分钟(十字头速度)。测量时,对样品施力,直到其断裂,记录断裂时的力。结果汇总在上面表 2 中。从表 2 可以看出,团聚的颗粒砂轮(24)的特征是断裂模量通常十分类似于标准产品(25)、(26)和(27)。一般地,可以看到团聚颗粒 TG2 产品(20)–(23)的断裂模量低于这些产品的断裂模量(见表 2)。虽然除团聚的颗粒 TG2 砂轮(23)外,团聚的颗粒 TG2 砂轮(20)–(22)的 MOR 数据相对低于标准砂轮(25)、(26)和(27)的 MOR 值,但它们相对高于采用 38A–60 团聚体的常规团聚颗粒砂轮的 MOR 测定值 13–16 兆帕(见 WO03/086703 中的表 6–2)。因此,团聚的颗粒 TG2 砂轮(20)–(23)的 MOR 数据仍足以为磨削操作提供充分的机械强度,如下面实施例 3 所述。

团聚的颗粒 TG2 砂轮(20)–(23)的断裂模量之所以下降,可能是由于这些团聚的颗粒 TG2 砂轮比根据其组成所预期的要软。表 2 中显示煅烧后密度下降,据信是因为没有收缩。这种密度的下降也表明,相对于含有相同体积%组成但没有团聚颗粒(即颗粒、连接剂和孔的体积%加起来为 100%)的比较砂轮,团聚颗粒 TG2 砂轮在热处理过程中能抵抗收缩。团聚颗粒 TG2 砂轮的这种特征显示了其在砂轮制造和精整操作中的显著潜在的益处。

本发明的团聚颗粒 TG2 砂轮在不牺牲机械强度(断裂模量)的情况下获得了相对较低的刚度(e-模量),这是非常独特和出人意料的。

## C. 速度测试/爆裂(brust)速度

机械强度性质一般决定着一种复合物是否可用作磨削操作中的固结磨具。对于玻璃化砂轮,采用一种关系将复合物测试棒的机械强度(断裂模量)与导致同一复合物失效的旋转拉伸应力联系起来。结果,利用在测试棒上测定的断裂模量,可快速而准确地估测用和测试棒相同的配方、通过相同方法制备的砂轮的爆裂速度。

爆裂速度可根据 ANSI 标准 B7.1–1988(1995)中所述标准化测试方法直接测定。

常规缓进给磨削操作通常以 6500sfpm(33 米/秒)的速度操作砂轮,最大操作速度约为 8500sfpm(43.2 米/秒)。所有团聚的颗粒 TG2 砂轮(20)–(23)的爆裂测定值对于缓进给磨削操作来说都是充分可接受的。

### 实施例 3

#### 实施例 1 中砂轮的磨削性能

在缓进给磨削操作中测试了实施例 1 中团聚颗粒 TG2 砂轮(20-23), 并与建议用于缓进给磨削操作的商业砂轮(25)、(26)和(27)作比较。团聚颗粒砂轮(24)(实验室样品)和购自马萨诸塞州伍斯特市圣戈班磨料磨具公司的商业团聚的砂轮(29)也作为对照砂轮进行了测试。

缓进给磨削是一种弱力磨削(接触表面大)应用,通常用于材料清除量大、对烧伤敏感的材料。以下三种主要产品特性可使砂轮的缓进给磨削更好: 1)低磨削功率; 2)低烧伤敏感性; 3)低精磨补偿(dress compensation)。降低磨削功率可使磨削在较高的去除速率进行。降低烧伤敏感性也可使磨削以较高的去除速率进行。在保持高去除速率和无烧伤的情况下降低精磨补偿可延长砂轮寿命。

用于缓进给磨削测试的所有砂轮均具有相同的尺寸,即 20 x 1 x 8", 用 Hauni-Blohm Profimat 410 进行测试。进行楔式磨削(wedge grinding)测试,工件安装在机器滑轨上,并相对于滑轨倾斜一个小角度(0.05°)。这种设置可在磨削的整个过程中增加切削深度,提高材料去除速率,增加磨屑厚度。在这些磨削过程中,切削深度的持续增加使得块体长度[8 英寸(20.3 厘米)]上的材料去除速率(MRR)持续增加。因此,在单次磨削中可以收集一定条件范围内的磨削数据。通过电子测量以及主轴功率和磨削力的记录,可进一步帮助评价砂轮在楔式测试中的性能。对不可接受的结果,如磨削烧伤或砂轮破裂的产生条件[金属去除速率(MRR)、磨屑厚度等]进行精确测定,有助于表征砂轮的性能和对产品性能定级。

楔式缓进给磨削测试的标准磨削条件:

- 1)机器: Hauni-Blohm Profimat 410
- 2)模式: 楔式缓进给磨削
- 3)砂轮速度: 5500 表面英尺/分钟(28 米/秒)
- 4)移动台速度: 在 5 至 17.5 英寸/分钟(12.7-44.4 厘米/分钟)之间变化
- 5)冷却剂: Master Chemical Trim E210 200, 含去离子井水, 浓度为 10%, 72



加仑 / 分钟(272 升 / 分钟)

6)工件材料: Inconel 718(42HRc)

7)精磨模式: 旋转金刚石, 连续

8)精磨补偿: 10、20 或 60 微英寸/转(0.25、0.5 或 1.5 微米/转)

9)速度比: +0.8

槽式(slot)缓进给磨削测试的标准磨削条件:

1)机器: Hauni-Blohm Profimat 410

2)模式: 槽式缓进给磨削

3)砂轮速度: 5500 表面英尺/分钟(28 米/秒)

4)移动台速度: 在 5 至 17.5 英寸/分钟(12.7-44.4 厘米/分钟)之间变化

5)冷却剂: 马斯达化学公司(Master Chemical)的 Trim E210 200, 含去离子井水, 浓度为 10%, 72 加仑 / 分钟(272 升 / 分钟)

6)工件材料: Inconel 718(42HRc)

7)精磨模式: 旋转金刚石, 连续

8)精磨补偿: 15 微英寸/转

9)速度比: +0.8

工件烧伤、表面粗糙或转角变形都表明砂轮失效。没有记录砂轮磨损情况, 因为这是连续精磨磨削测试。记录了砂轮失效时的材料去除速率(最大 MRR)。

A. 团聚的颗粒 TG2 砂轮在 20 微英寸/转的精磨速率下的楔式磨削

在 20 微英寸/转的精磨速率和 0.01 英寸的初始切楔(cut wedge)深度下, 被测的砂轮(20)-(27)的最大磨削速率(MRR)和比磨削能汇总在表 3 中。失效之前, 标准团聚颗粒砂轮(24)的材料去除速率比 TG2 砂轮(25)(图 4)低 53%。采用了 10 重量%和 30 重量% TG2 的团聚颗粒 TG2 砂轮(22)和(23)的 MRR 同标准团聚颗粒砂轮(24)相近。采用了 50 重量% TG2 的团聚颗粒 TG2 砂轮(21)的最大去除速率同 TG2 砂轮(25)和(26)非常相近[分别比 TG2 砂轮(25)和(26)低约 12%和约 6%]。非常令人吃惊的是, 采用了 75 重量% TG2 的团聚颗粒 TG2 砂轮(20)在被测试砂轮中表现出最高的 MRR 值, 比 TG2 砂轮(25)高 27%。因此, 团聚颗粒 TG2 砂轮的 MRR 数据表明, 团聚颗粒与 TG2 技术结合具有显著的益处。

这些结果表明, 团聚颗粒与 TG2 技术的某些结合可使砂轮的磨削性能优于

TG2 技术的磨削性能。本发明的团聚颗粒 TG2 砂轮相对于 TG2 砂轮的出人意料的优异性能使本发明成为一项突破性技术，它将团聚颗粒与 TG2 技术结合了起来。

表 3

在 20 微英寸/转的精磨速率和 0.01 英寸的初始切楔深度条件下的磨削测试结果

	砂轮组成 体积 %				最大 MRR <sup>a</sup> 毫米 <sup>3</sup> /秒/毫米	比磨削能 焦耳/毫米	相对于 TG2 的 MRR 改进 (%)	失效模式
	团聚体	磨粒	连接剂 <sup>b</sup>	孔隙				
对比砂轮 (25)* TG2-80 E13 VCF3	N/A	38	6.4	55.6	12.2	29.9	N/A	烧伤
对比砂轮 (26)* TG2-120 E13 VCF3	N/A	36.2	8.2	55.6	10.1	33.15	N/A	烧伤
(20) 75% TG2	38	36.2	8.2	55.6	15.45	26.1	27	烧伤
(21) 50% TG2	38	36.2	8.2	55.6	10.7	29.4	-12	烧伤
(22) 30% TG2	38	36.2	8.2	55.6	6.5	38.1	-47	烧伤
(23) 10% TG2	38	36.2	8.2	55.6	5.83	-	-48	烧伤
对比砂轮 (27) 38A-120 E13 VCF3*	N/A	36.2	8.2	55.6	5.8	48.1	-53	烧伤
对比砂轮 (24) 100% 38A120	38	36.2	8.2	55.6	5.8	46.95	-53	烧伤

\*比较的对照砂轮是购自圣戈班磨料磨具有限公司(诺顿公司)的商业产品。

<sup>a</sup>精磨速率=20 微英寸/转；砂轮速度=5500sfpm；初始切楔深度=0.01 英寸。

<sup>b</sup>采用团聚体的砂轮中结合剂的体积 % 数值包括用在颗粒上制备团聚体的玻璃粘结材料的体积 % + 砂轮结合剂的体积 %。

## B. 团聚颗粒 TG2 砂轮与常规 TG2 砂轮的比较

初始切楔深度不同于实施例 3 中第 A 部分的团聚颗粒 TG2 砂轮的 MRR 数据与标准 TG2 砂轮(25)的 MRR 数据作了比较(见表 4)。表 4 中的 MRR 数据是在初始切楔深度为 0.05 英寸的情况下得到的。如表 4 所示，即便在此不同的条件下，团聚颗粒 TG2 砂轮(20)在所有被测试砂轮中仍然表现出最高的 MRR 值，比 TG2 砂轮(25)高 43.8%。

表 4

在 20 微英寸/转的精磨速率和 0.05 英寸的初始切楔深度条件下的磨削测试结果

砂轮	砂轮组成 体积%				最大 MRR <sup>a</sup> 毫米 <sup>3</sup> /秒/毫米	比磨削能 焦耳/毫米	相对于 TG2 的 MRR 改进 (%)	失效 模式
	团聚体	磨粒	连接剂 <sup>b</sup>	孔隙				
对比砂轮 (25)* TG2-80 E13 VCF3	N/A	38	6.4	55.6	12.8	56.3	N/A	烧伤
(20) 75% TG2	38	36.2	8.2	55.6	18.4	42.3	+43.8	烧伤
(21) 50% TG2	38	36.2	8.2	55.6	10.6	52.2	-18	烧伤
对比砂轮 (28)* 38A60-K75LCNN	N/A	38.4	7.7	53.9	8.1	55.1	-37	烧伤
对比砂轮 (29)* 100% 38A60	38	36.4	10.7	52.9	10.2	46.5	-20	烧伤

\*比较对照砂轮是购自圣戈班磨料磨具有限公司(诺顿公司)的商业产品。

<sup>a</sup>精磨速率=20 微英寸/转；砂轮速度=5500sfpm；初始切楔深度=0.05 英寸。

<sup>b</sup>采用团聚体的砂轮中结合剂的体积%数值包括用在颗粒上制备团聚体的玻璃  
 粘结材料的体积%+砂轮结合剂的体积%。

### C. 精磨速率对材料去除速率的影响

针对 TG2、团聚颗粒 TG2 和标准 38A 产品，另行检验了精磨速率对材料去除速率的影响。表 5 所示磨削测试数据是在三种精磨补偿速率，即 10、20 和 60 微英寸/转下测定。

标准 38A 砂轮(27)的最大去除速率的特征是，它与精磨速率呈对数变化关系。与之形成对照的是，TG2 砂轮(25)的材料去除速率可稳定增加，使得该砂轮可用于高生产率应用。表 5 中的数据显示，随着 TG2 含量的变化，团聚颗粒 TG2 砂轮(20)-(23)的 MRR 从接近于标准 38A 砂轮(27)变化到接近于 TG2 砂轮(25)。特别地，团聚颗粒 TG2 砂轮(20)和(21)的特征是，其 MRR 随精磨速率线性增加，这表明这些砂轮的性质类似于 TG2 砂轮(25)。注意，在 10 微英寸/转这样非常低的精磨速率下，团聚颗粒 TG2 砂轮(20)的 MRR 值比 TG2 砂轮(25)高 58%。同样要注意，在不同的精磨速率下，尤其是在 10 微英寸/转和 20 微英寸/转下，团聚颗粒 TG2 砂轮(21)的 MRR 数据非常接近于 TG2 砂轮(25)。这些结果表明，当减小补偿速率，例如在 5 微英寸/转与 10 微英寸/转之间时，本发明的团聚颗粒 TG2 砂轮的磨削效率高  
 于常规 TG2 砂轮。

表 5  
不同精磨速率下的磨削测试结果

砂轮	砂轮组成 体积%			10 微英寸 / 转下 最大 MRR <sup>a</sup> 毫米 <sup>3</sup> /秒/ 毫米	相对于 TG2 的改进%	20 微英寸 / 转下 最大 MRR <sup>a</sup> 毫米 <sup>3</sup> /秒/ 毫米	相对于 TG2 的改进%	60 微英寸 / 转下 最大 MRR <sup>a</sup> 毫米 <sup>3</sup> /秒/ 毫米	相对于 TG2 的改进%
	团聚体	磨粒	连接剂 <sup>b</sup>						
对比砂轮 (25)* TG2-80 E13 VCF3	N/A	38	6.4	55.6	N/A	12.2	N/A	15.4	N/A
(20) 75% TG2	38	36.2	8.2	55.6	58	15.5	27	25.1	过度磨损
(21) 50% TG2	38	36.2	8.2	55.6	-6	10.7	-12	31	角磨损
(22) 30% TG2	38	36.2	8.2	55.6	-27	6.5	-47	N/A	N/A
(23) 10% TG2	38	36.2	8.2	55.6	N/A	5.8	-52	N/A	N/A
对比砂轮 (27) 38A-120 E13 VCF3 <sup>a</sup>	N/A	36.2	8.2	55.6	-37	5.8	-53	7.7	-50

\* 对比砂轮是购自圣戈班磨料磨具有限公司(诺顿公司)的商业产品。

<sup>a</sup> 精磨速率=20 微英寸/转；砂轮速度=550sfpm；初始切楔深度=0.05 英寸。

<sup>b</sup> 采用团聚体的砂轮中结合剂的体积%数值包括用在颗粒上制备团聚体的玻璃粘结材料的体积%+砂轮结合剂的体积

%。

### 等效实施方式

虽然已经结合优选实施方式具体展示和描述了本发明，但本领域的技术人员应当理解，在不背离所附权利要求书限定的本发明范围的情况下，可以在形式和细节上作出许多改变。



图 1