(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102858496 B
(45)授权公告日 2016.04.27

(21)申请号 201180020503.X

(22)申请日 2011.04.20

(30)优先权数据
61/328,482 2010.04.27 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2012.10.23

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2011/033188 2011.04.20

(87)PCT国际申请的公布数据
W02011/139562 EN 2011.11.10

(73)专利权人 3M创新有限公司
地址 美国明尼苏达州

(72)发明人 马克·G·施瓦贝尔 迈肯·吉沃特
尼格斯·B·艾德弗里斯

(74)专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理有限公司 11112
代理人 丁业平 金小芳

(51)Int.Cl.
B24D 3/00(2006.01)
B24D 7/02(2006.01)
C09K 3/14(2006.01)
B24D 18/00(2006.01)

(56)对比文件
CN 1126454 A,1996.07.10,
CN 1081948 A,1994.02.16,
CN 1126454 A,1996.07.10,
CN 2757922 Y,2006.02.15,
CN 1537324 A,2004.10.13,
CN 101432099 A,2009.05.13,
CN 1332663 A,2002.01.23,
CN 1882419 A,2006.12.20,
CN 88100534 A,1988.12.07,
CN 1671510 A,2005.09.21,
JP 2008049428 A,2008.03.06,
JP 2006021320 A,2006.01.26,
EP 0318168 A2,1989.05.31,
JP 2007245254 A,2007.09.27,

审查员 郭帅

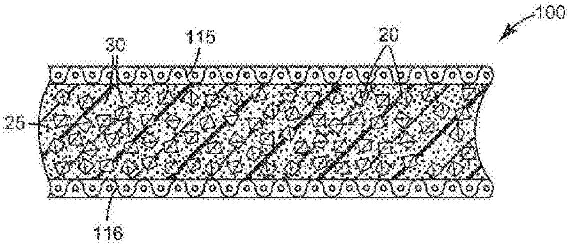
权利要求书2页 说明书20页 附图2页

(54)发明名称

陶瓷成形磨粒及其制备方法以及包含陶瓷成形磨粒的磨具制品

(57)摘要

陶瓷成形磨粒具有由六条公共边接合的四个主侧面。所述四个主侧面中的每一个主侧面均接触所述四个主侧面中的其他三个主侧面。所述六条公共边具有大体相同的长度。本发明公开了制造陶瓷成形磨粒的方法。所述陶瓷成形磨粒用于研磨工件的表面。一种磨具制品包括保持于粘结剂中的所述陶瓷成形磨粒。



CN 102858496 B

1. 一种磨具制品，包括保持于粘结剂中的陶瓷成形磨粒，其中所述陶瓷成形磨粒具有由六条公共边连接的四个主侧面，其中所述四个主侧面中的每一个主侧面均接触所述四个主侧面中的其他三个主侧面，并且其中所述六条公共边具有大体相同的长度。

2. 根据权利要求 1 所述的磨具制品，其中所述四个主侧面中的至少一个主侧面是大体平坦的。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的磨具制品，其中所述四个主侧面中的至少一个主侧面是凹陷的。

4. 根据权利要求 1 所述的磨具制品，其中所述四个主侧面中的所有主侧面均是凹陷的。

5. 根据权利要求 1 所述的磨具制品，其中所述四个主侧面中的至少一个主侧面是凸出的。

6. 根据权利要求 1 所述的磨具制品，其中所述陶瓷成形磨粒并未成形为截棱锥体。

7. 根据权利要求 1 所述的磨具制品，其中所述陶瓷成形磨粒具有四面体对称性。

8. 根据权利要求 1 所述的磨具制品，其中所述陶瓷成形磨粒大体成形为正四面体。

9. 根据权利要求 1 所述的磨具制品，其中所述陶瓷成形磨粒包括溶胶 - 凝胶衍生的氧化铝。

10. 根据权利要求 1 所述的磨具制品，其中所述陶瓷成形磨粒包括 α 氧化铝。

11. 根据权利要求 1 所述的磨具制品，其中所述陶瓷成形磨粒具有涂布于其上的无机颗粒涂层。

12. 根据权利要求 1 所述的磨具制品，其中所述粘结剂包括有机粘结剂。

13. 根据权利要求 1 所述的磨具制品，其中所述磨具制品包括磨削磨石。

14. 根据权利要求 1 所述的磨具制品，其中所述粘结剂包括酚醛树脂。

15. 根据权利要求 1 所述的磨具制品，其中所述粘结剂包括玻璃质粘结剂。

16. 根据权利要求 1 所述的磨具制品，其中所述磨具制品包括粘结磨具轮。

17. 根据权利要求 16 所述的磨具制品，其中所述粘结磨具轮包括磨削轮。

18. 根据权利要求 17 所述的磨具制品，其中所述磨削轮包括中心下凹磨削轮。

19. 根据权利要求 17 所述的磨具制品，其中所述粘结磨具轮包括切割轮。

20. 根据权利要求 16 所述的磨具制品，还包括设置在所述粘结磨具轮的对置主表面上的强化材料。

21. 根据权利要求 16 所述的磨具制品，还包括设置在所述粘结磨具轮的仅一个主表面上的强化材料。

22. 根据权利要求 1 所述的磨具制品，还包括粉碎的磨粒，所述粉碎的磨粒符合磨具行业规定的标称等级。

23. 一种研磨工件的方法，所述方法包括 ：

使权利要求 1 所述的磨具制品的所述陶瓷成形磨粒的至少一部分与工件的表面进行摩擦接触 ；以及

使所述工件或所述磨具制品中的至少一个移动以研磨所述工件的所述表面的至少一部分。

24. 多个陶瓷成形磨粒，其中所述陶瓷成形磨粒具有由六条公共边接合的四个主侧面，

其中所述四个主侧面中的每一个主侧面均接触所述四个主侧面中的其他三个主侧面，其中所述六条公共边具有大体相同的长度，以及其中所述陶瓷成形磨粒符合磨具行业规定的标称等级。

25. 根据权利要求 24 所述的多个陶瓷成形磨粒，其中所述四个主侧面中的至少一个主侧面是大体平坦的。

26. 根据权利要求 24 所述的多个陶瓷成形磨粒，其中所述四个主侧面中的至少一个主侧面是凹陷的。

27. 根据权利要求 24 所述的多个陶瓷成形磨粒，其中四个所述主侧面均是凹陷的。

28. 根据权利要求 24 所述的多个陶瓷成形磨粒，其中四个主侧面中的至少一个主侧面是凸出的。

29. 根据权利要求 24 所述的多个陶瓷成形磨粒，其中所述陶瓷成形磨粒并未成形为截棱锥体。

30. 根据权利要求 24 所述的多个陶瓷成形磨粒，其中所述陶瓷成形磨粒具有四面体对称性。

31. 根据权利要求 24 所述的多个陶瓷成形磨粒，其中所述陶瓷成形磨粒大体成形为正四面体。

32. 根据权利要求 24 所述的多个陶瓷成形磨粒，其中所述陶瓷成形磨粒包括 α 氧化铝。

33. 根据权利要求 24 所述的多个陶瓷成形磨粒，其中所述陶瓷成形磨粒具有涂布于其上的无机颗粒涂层。

34. 一种制备陶瓷成形磨粒的方法，所述方法包括：

将陶瓷前体分散体引入模具腔体中，其中所述腔体具有在公共顶点处相接的三个凹壁；

对所述陶瓷前体分散体进行干燥，并且将其从所述腔体中移除以提供陶瓷成形磨粒前体；

对所述陶瓷成形磨粒前体进行煅烧；以及

对经煅烧的所述陶瓷成形磨粒前体进行烧结以提供所述陶瓷成形磨粒，其中所述陶瓷成形磨粒具有由六条公共边连接的四个主侧面，其中所述四个主侧面中的每一个主侧面均接触所述四个主侧面中的其他三个主侧面，其中所述四个主侧面中的至少三个主侧面是大体平坦的，并且其中所述六条公共边具有大体相同的长度。

35. 根据权利要求 34 所述的方法，其中所述陶瓷成形磨粒包括 α 氧化铝。

陶瓷成形磨粒及其制备方法以及包含陶瓷成形磨粒的磨具制品

技术领域

[0001] 本发明涉及一种粘结磨具制品。

背景技术

[0002] 粘结磨具制品具有通过粘结介质粘结在一起的磨粒。粘结磨具包括例如磨石、磨刀石、磨削轮和切割轮。粘结介质通常是有机树脂，但也可以是陶瓷或玻璃（即玻璃质粘结剂）等无机材料。

发明内容

[0003] 在一方面，本发明提供多个陶瓷成形磨粒，其中所述陶瓷成形磨粒具有由六条公共边接合的四个主侧面，其中所述四个主侧面中的每一个主侧面均接触所述四个主侧面中的其他三个主侧面，以及其中所述六条公共边具有大体相同的长度。

[0004] 在一些实施例中，所述陶瓷成形磨粒符合磨具行业规定的标称等级。在一些实施例中，所述四个主侧面中的至少一个主侧面是大体平坦的。在一些实施例中，所述四个主侧面中的至少一个主侧面是凹陷的。在一些实施例中，所述陶瓷成形磨粒包括 α 氧化铝。在一些实施例中，四个所述主侧面均是凹陷的。在一些实施例中，四个主侧面中的至少一个主侧面是凸出的。在一些实施例中，所述陶瓷成形磨粒并未成形为截棱锥体。在一些实施例中，所述陶瓷成形磨粒具有四面体对称性。在一些实施例中，所述陶瓷成形磨粒大体成形为正四面体。在一些实施例中，所述陶瓷成形磨粒包括溶胶-凝胶衍生的氧化铝。在一些实施例中，所述陶瓷成形磨粒具有涂布于其上的无机颗粒涂层。

[0005] 根据本发明的陶瓷成形磨粒在（例如）制造磨具制品以及用于研磨工件方面较为有用。

[0006] 因此，在另一方面，本发明提供一种研磨工件的方法，所述方法包括：使根据本发明的磨具制品的陶瓷成形磨粒的至少一部分与工件的表面进行摩擦接触；以及移动所述工件或所述磨具制品中的至少一个来研磨所述工件的所述表面的至少一部分。

[0007] 在另一方面，本发明提供一种磨具制品，所述磨具制品包括粘结剂中保留下来的根据本发明的陶瓷成形磨粒。

[0008] 在一些实施例中，所述粘结剂包括有机粘结剂。在一些实施例中，所述磨具制品包括粘结磨具制品。在一些实施例中，所述粘结剂包括酚醛树脂。在一些实施例中，所述粘结剂包括无机粘结剂。在一些实施例中，所述粘结剂包括玻璃质粘结剂。

[0009] 在一些实施例中，所述磨具制品包括粘结磨具轮。在一些实施例中，所述粘结磨具轮包括磨削轮（包括，例如，中心下凹磨削轮）或切割轮。在一些实施例中，所述磨具制品还包括设置在所述粘结磨具轮的对置主表面上的强化材料。在一些实施例中，所述磨具制品还包括设置在所述粘结磨具轮的仅一个主表面上的强化材料。在一些实施例中，所述磨具制品还包括粉碎的磨粒（例如，符合磨具行业规定的标称等级）。

[0010] 在另一实施例中，本发明提供一种制备磨粒的方法，所述方法包括：

[0011] 将陶瓷前体分散体引入模具腔体中，其中所述腔体具有在公共顶点处相接的三个凹壁；

[0012] 对所述陶瓷前体分散体进行干燥，并且将其从所述腔体中移出以提供陶瓷成形磨粒前体；

[0013] 对所述陶瓷成形磨粒前体进行煅烧；以及

[0014] 对经煅烧的陶瓷成形磨粒前体进行烧结以提供陶瓷成形磨粒，其中所述陶瓷成形磨粒具有由六条公共边连接的四个主侧面，其中所述四个主侧面中的每一个主侧面均接触所述四个主侧面中的其他三个主侧面，其中所述四个主侧面中的至少三个主侧面是大体平坦的，并且其中所述六条公共边具有大体相同的长度。

[0015] 有利的是，根据本发明的陶瓷成形磨粒具有高度对称性，从而降低所述磨粒沿给定方向取向(例如，由于制造技术)的可能性，因为这种取向可能导致研磨性能不稳定和／或降级。

[0016] 在本文中：

[0017] 关于公共边的术语“大体相同的长度”是指公共边的长度在标称长度的 +/-20% 内；

[0018] 术语“正四面体”是指具有四个等面的四面体；以及

[0019] 关于正四面体的术语“大体成形”是指在撇开微小缺陷(例如，制造期间可能产生的缺陷)的情况下，具有正四面体的形状。

[0020] 上述实施例能够以其任何组合来实施，除非根据本发明的教示，清楚表明此类组合是错误的。

[0021] 本发明的特征和优点将通过考虑详细描述以及所附权利要求书来理解。以下附图和详细描述更具体地举例说明了示例性实施例。

附图说明

[0022] 图 1 是根据本发明的一个实施例的示例性粘结磨具轮 100 的透视图；

[0023] 图 2 是沿线 2-2 截取的图 1 所示粘结磨具轮 100 的横截面侧视图；

[0024] 图 3A 是示例性陶瓷成形磨粒 20a 的示意透视图；

[0025] 图 3B 是示例性陶瓷成形磨粒 20b 的示意透视图；

[0026] 图 3C 是示例性陶瓷成形磨粒 20c 的示意透视图；

[0027] 图 3D 是示例性陶瓷成形磨粒 20d 的示意透视图；以及

[0028] 图 3E 是示例性陶瓷成形磨粒 20e 的示意透视图。

[0029] 尽管上述各图示出了本发明的若干实施例，但如论述中所述，也可以构想出其他实施例。在所有情况下，本发明都是示例性而非限制性地示出本发明。应当理解，本领域的技术人员可以设计出大量其他修改形式和实施例，这些修改形式和实施例也在本发明的原理的范围和精神内。附图可能并未按比例绘制。在所有附图中，相同参考标号可以用来表示相同部件。

具体实施方式

[0030] 现参考图 1 和 2，根据本发明的一个实施例的示例性粘结磨具轮 100 具有中心孔 112，所述中心孔用于将粘结磨具轮 100 附接到(例如)动力驱动工具。粘结磨具轮 100 包括陶瓷成形磨粒 20、可选的常规被粉碎成一定大小的磨具制品 30、以及粘结剂材料 25。可选的第一稀松布 115 和可选的第二稀松布 116 设置在粘结磨具轮 100 的对置主表面上。

[0031] 所述陶瓷成形磨粒具有由六条公共边连接的四个主侧面，其中所述主侧面中的每个主侧面均接触这些主侧面中的其他三个主侧面，并且其中六条公共边具有大体相同的长度。上述说明涵盖具有特征形状的多个实施例。

[0032] 在一个示例性实施例中，如图 3A 中所示，陶瓷成形磨粒定形为正四面体。现参考图 3A，陶瓷成形磨粒 20A 具有由六条公共边（91a、92a、93a、94a、95a、96a）连接的四个主侧面（81a、82a、83a、84a）。所述主侧面中的每个主侧面均在相应的公共边处接触这些主侧面中的其他三个主侧面。例如，主侧面 81a 在公共边 95a 处接触主侧面 82a，主侧面 81a 在公共边 91a 处接触主侧面 84a，并且主侧面 81a 在公共边 94a 处接触主侧面 83a。尽管图 3A 中描绘的是正四面体（即具有六条等边和四个面），但将认识到，其他形状也是允许的。例如，陶瓷成形磨粒可以成形为非正(即不规则)四面体，这些磨粒受限于以下条件：六条公共边具有大体相同的长度(如上文中所定义)。

[0033] 例如，在另一个示例性实施例中，如图 3B 所示，陶瓷成形磨粒被成形为四边形颗粒。现参考图 3B，陶瓷成形磨粒 20B 具有由六条公共边（91b、92b、93b、94b）连接的四个主侧面（81b、82b、83b、84b）。所述主侧面中的每个主侧面均是凹陷的，并且在相应的公共边处接触这些主侧面中的其他三个主侧面。例如，主侧面 81b 在公共边 95b 处接触主侧面 82b，主侧面 81b 在公共边 91b 处接触主侧面 84b，并且主侧面 81b 在公共边 94b 处接触主侧面 83b。尽管图 3B 描绘的是具有四面体对称性(即四条三次对称旋转轴线以及六个对称反射平面)的颗粒，但将认识到，其他形状也是允许的。例如，陶瓷成形磨粒可以具有一个、两个或三个凹面，而剩余一个面是平坦的，该磨粒受限于以下条件：六条公共边具有大体相同的长度。

[0034] 在另一个示例性实施例中，如图 3C 所示，陶瓷成形磨粒被成形为四边形颗粒。现参考图 3C，陶瓷成形磨粒 20C 具有由六条公共边（91c、92c、93c、94c）连接的四个主侧面（81c、82c、83c、84c）。所述主侧面中的每个主侧面均是凸出的，并且在相应的公共边处接触这些主侧面中的其他三个主侧面。例如，主侧面 81c 在公共边 95c 处接触主侧面 82c，主侧面 81c 在公共边 91c 处接触主侧面 84c，并且主侧面 81c 在公共边 94c 处接触主侧面 83c。尽管图 3C 描绘的是具有四面体对称性的颗粒，但将认识到，其他形状也是允许的。例如，陶瓷成形磨粒可以具有一个、两个或三个凸面，而剩余一个面是平坦的或凹陷的，该磨粒受限于以下条件：六条公共边具有大体相同的长度。

[0035] 在另一个示例性实施例中，如图 3D 所示，陶瓷成形磨粒被成形为八边形颗粒，具有四个主侧面以及四个副侧面。现参考图 3D，陶瓷成形磨粒 20D 具有由六条公共边（91d、92d、93d、94d）连接的四个主侧面（81d、82d、83d、84d）。所述主侧面中的每个主侧面均是六边形的，并且在相应的公共边处接触这些主侧面中的其他三个主侧面。例如，主侧面 81d 在公共边 95d 处接触主侧面 82d，主侧面 81d 在公共边 91d 处接触主侧面 84d，并且主侧面 81d 在公共边 94d 处接触主侧面 83d。尽管图 3D 描绘的是具有四面体对称性的颗粒，但将认识到，其他形状也是允许的。例如，陶瓷成形磨粒可以具有一个、两个或三个凸面，而剩余一个

面是平坦的，该磨粒受限于以下条件：六条公共边具有大体相同的长度。

[0036] 当然，在很多情况下，将与图 3A 到 3D 中的理想描绘存在实际偏差。此类陶瓷成形磨粒也包括在内。现参考图 3E，陶瓷成形磨粒 20E 具有由六条公共边（91e、92e、93e、94e）连接的四个主侧面（81e、82e、83e、84e）。所述主侧面中的每个主侧面均在相应的公共边处接触这些主侧面中的其他三个主侧面。例如，主侧面 81e 在公共边 95e 处接触主侧面 82e，主侧面 81e 在公共边 91e 处接触主侧面 84e，并且主侧面 81e 在公共边 94e 处接触主侧面 83e。

[0037] 陶瓷成形磨粒可以采用上述形状元素（例如，凸侧面、凹侧面、不规则侧面以及平坦侧面）的组合。类似地，可以使用具有不同形状或大小的陶瓷成形磨粒的组合。

[0038] 在一些实施例中，可以根据多步骤工艺制备陶瓷成形磨粒。该工艺可以使用任何陶瓷前体分散体材料进行。

[0039] 简而言之，所述方法包括以下步骤：制备可以被转变为对应陶瓷的有晶种或无晶种的陶瓷前体分散体（例如，可以被转变为 α 氧化铝的水软铝石溶胶 - 凝胶）；使用陶瓷前体分散体填充具有成形磨粒的理想外形的一个或多个模具腔体，使陶瓷前体分散体干燥以形成陶瓷成形磨粒前体；将陶瓷成形磨粒前体从模具腔体中移出；对陶瓷成形磨粒前体进行煅烧以形成经煅烧的陶瓷成形磨粒前体，然后对经煅烧的陶瓷成形磨粒前体进行烧结以形成陶瓷成形磨粒。现在，将在含 α - 氧化铝的陶瓷成形磨粒的上下文中对该工艺进行更详细的说明。

[0040] 第一步工序涉及提供可以被转变为陶瓷的有晶种或无晶种的陶瓷前体分散体。陶瓷前体分散体常常包括作为挥发性组分的液体。在一个实施例中，该挥发性组分是水。分散体应当包括足量的液体，以使分散体的粘度足够低，从而能够填充模具腔体并且复制模具表面，但是液体的量不能太多，因为会导致随后将液体从模具腔体中移除的成本过高。在一个实施例中，陶瓷前体分散体包括 2 重量％至 90 重量％的可以被转化为陶瓷的粒子（例如，氧化铝一水合物（水软铝石）的粒子），以及至少 10 重量％，或者 50 重量％至 70 重量％，或者 50 重量％至 60 重量％的挥发性组分（例如，水）。反之，在一些实施例中，陶瓷前体分散体包含 30 重量％至 50 重量％，或者 40 重量％至 50 重量％的固体。

[0041] 可用的陶瓷前体分散体的实例包括氧化锆溶胶、氧化钒溶胶、氧化铈溶胶、氧化铝溶胶以及上述项的组合。可用的氧化铝分散体包括（例如）水软铝石分散体以及其他氧化铝水合物分散体。水软铝石可以通过已知的技术来制备或者可以商购获得。市售水软铝石的实例包括均得自沙索尔北美有限公司（Sasol North America，Inc.）的商品名为“DISPERAL”和“DISPAL”的产品，或者得自 BASF 公司的商品名为“HIQ-40”的产品。这些氧化铝一水合物相对较纯；也就是说，除了一水合物之外，他们只包括相对较少的（如果有的话）水合物相，并且具有较高表面积。

[0042] 所得陶瓷成形磨粒的物理特性一般将取决于陶瓷前体分散体中使用的材料类型。如本文所用，“凝胶”是分散在液体中的固体的三维网状结构。

[0043] 陶瓷前体分散体可以包含改性添加剂或者改性添加剂的前体。改性添加剂可以用于增强磨粒的某些所需性质，或者提高后续烧结步骤的效率。改性添加剂或改性添加剂前体可以采用可溶性盐的形式，通常为水溶性盐。它们通常由含金属的化合物构成，并且可以是镁、锌、铁、硅、钴、镍、锆、铪、铬、钇、镨、钐、镱、钕、镧、钆、铈、镝、铒、钛的氧化物的前体，

以及上述项的混合物。能够存在于陶瓷前体分散体中的这些添加剂的特定浓度可以由本领域所属的技术人员进行调整。

[0044] 通常，引入改性添加剂或改性添加剂前体将导致陶瓷前体分散体胶凝。也可以通过以下方式使陶瓷前体分散体胶凝：在一定时期内进行加热，从而通过蒸发来减少分散体中的液体含量。陶瓷前体分散体还可以包含成核剂。适用于本发明的成核剂可以包括 α 氧化铝、α 氧化铁或其前体、二氧化钛和钛酸盐、氧化铬等的细粒，或者会使所述转化成核的任何其它物质。如果使用，那么成核剂的量应当足够使 α 氧化铝的转化得以实现。使 α 氧化铝前体分散体成核的方法在美国专利第 4,744,802 号（Schwabel）中进行了公开。

[0045] 可以将胶溶剂添加到陶瓷前体分散体中，以形成更稳定的水溶胶或胶态陶瓷前体分散体。合适的胶溶剂是单质子酸或酸性化合物，例如，乙酸、盐酸、甲酸和硝酸。也可以使用多质子酸，但是它们可能使陶瓷前体分散体快速胶凝，从而使得难以对其进行处理或难以向其引入附加组分。某些商业来源的水软铝石包含有助于形成稳定陶瓷前体分散体的酸滴定度（例如，所吸收的甲酸或硝酸）。

[0046] 陶瓷前体分散体可以通过任何合适的方法形成；例如，就溶胶－凝胶氧化铝前体而言，将氧化铝一水合物与包含胶溶剂的水简单混合，或者形成添加有胶溶剂的氧化铝一水合物浆液。

[0047] 可以加入去沫剂或其他合适的化学品，以降低混合时形成气泡或夹带空气的可能性。如果需要，可以加入其他化学品，例如，润湿剂、醇类或偶联剂。

[0048] 第二步工序涉及提供一种模具，该模具具有至少一个模具腔体，并且优选地具有形成于模具的至少一个主表面中的多个腔体。在一些实施例中，模具被形成为生产工具，其可以是（例如）束带、片材、连续纤维网、轮转凹辊等涂布辊、安装在涂布辊上的套筒、或者模头。在一个实施例中，所述生产工具包含聚合物材料。适合的聚合物材料的实例包括例如聚酯、聚碳酸酯、聚（醚砜）、聚（甲基丙烯酸甲酯）、聚氨酯、聚氯乙烯、聚烯烃、聚苯乙烯、聚丙烯、聚乙烯或上述项的组合等热塑性材料，或者热固性材料。在一个实施例中，整个工具由聚合物材料或热塑性材料制成。在另一个实施例中，在进行干燥时与陶瓷前体分散体接触的工具的表面（例如，所述多个腔体的表面）包含聚合物材料或热塑性材料，并且该工具的其他部分可以由其他材料制成。举例而言，可将合适的聚合物涂层涂敷到金属工具上，以改变其表面张力特性。

[0049] 聚合物型或热塑性生产工具可以由金属母模复制而成。母模将具有生产工具所需的反向图案。母模可以采用与生产工具相同的方式制成。在一个实施例中，母模由金属（例如，镍）制成，并且经过金刚石车削。在一个实施例中，母模至少部分地通过立体光照型技术形成。可以将聚合物片材与母模一起加热，以便通过将二者按压在一起而对聚合物材料压印出母模图案。还可以将聚合物材料或热塑性材料挤出或浇注到母模上，然后对其进行压制。冷却热塑性材料以使其硬化，从而制得生产工具。如果利用热塑性生产工具，那么应当注意不要产生过多热量，因为这些热量可以使热塑性生产工具变形，从而限制其寿命。关于生产工具或母模的设计和制造的更多信息，可见于美国专利第 5,152,917 号（Pieper 等人）、第 5,435,816 号（Spurgeon 等人）、第 5,672,097 号（Hoopman 等人）、第 5,946,991 号（Hoopman 等人）、第 5,975,987 号（Hoopman 等人）以及第 6,129,540 号（Hoopman 等人）。

[0050] 可以从模具顶部表面或底部表面中的开口进入腔体。在某些情况下，腔体可以延

伸过模具的整个厚度。或者，腔体可以仅延伸过模具厚度的一部分。在一个实施例中，顶部表面大体平行于模具的底部表面，其中模具腔体具有大体均匀的深度。模具的至少一侧，也就是说，形成腔体的那一侧可以在移除挥发性组分的步骤中保持暴露于周围大气环境下。

[0051]　腔体具有特定三维形状，以便制备陶瓷成形磨粒。深度尺寸等于从顶部表面到底部表面上的最低点的垂直距离。给定腔体的深度可以是均匀的，或者可以沿其长度和/或宽度而发生变化。给定模具的腔体可以具有相同形状或者不同形状。

[0052]　第三步工序涉及使用陶瓷前体分散体填充模具中的腔体(例如，通过常规技术进行填充)。在一些实施例中，可使用刀辊涂布机或真空槽模头涂布机。如果需要，那么可以使用脱模剂来帮助将颗粒从模具中移除。典型脱模剂包括油类(例如，花生油或矿物油、鱼油)、有机硅、聚四氟乙烯、硬脂酸锌和石墨。通常，将处于例如水或酒精等液体中的脱模剂(例如，花生油)涂敷在与陶瓷前体分散体接触的生产工具的表面，以便在需要脱模剂时，每单位面积模具上存在约 $0.6mg/cm^2$ ($0.1mg/in^2$) 至约 $20mg/cm^2$ ($3.0mg/in^2$) 之间，或约 $0.6mg/cm^2$ ($0.1mg/in^2$) 至约 $30mg/cm^2$ ($5.0mg/in^2$) 之间的脱模剂。在一些实施例中，模具的顶部表面涂布有陶瓷前体分散体。陶瓷前体分散体可以被抽吸到该顶部表面上。

[0053]　接着，可以使用刮刀或矫直棒将陶瓷前体分散体完全压入模具的腔体中。未进入腔体的陶瓷前体分散体的剩余部分可以从模具的顶部表面移除，并且进行回收利用。在一些实施例中，陶瓷前体分散体的一小部分可以保留在顶部表面上，并且在其他实施例中，顶部表面大体不含分散体。由刮刀或矫直棒施加的压力通常小于 100psi (0.6MPa)、小于 50psi (0.3MPa)，或者甚至小于 10psi (60kPa)。在一些实施例中，陶瓷前体分散体的暴露表面大体不会延伸超过顶部表面。

[0054]　在这些实施例中，需要使用腔体的暴露表面形成陶瓷成形磨粒的平面，这可能需要使腔体装填过满(例如，使用微喷嘴阵列)，并且使陶瓷前体分散体缓慢地干燥。

[0055]　第四步工序涉及移除挥发性组分，以便对分散体进行干燥。有利地，以较快蒸发速率移除挥发性组分。在一些实施例中，通过蒸发来移除挥发性组分是在高于挥发性组分的沸点的温度下进行。干燥温度的上限通常取决于制成模具的材料。就聚丙烯工具而言，温度应当低于该塑料的熔点。在一个实施例中，针对含约 40% 至 50% 之间的固体的水分散体以及聚丙烯模具，干燥温度可以在约 90℃至约 165℃之间，或者在约 105℃至约 150℃之间，或者在约 105℃至约 120℃之间。更高的温度可提高生产速度，但是也可能导致聚丙烯工具的降解，从而限制其作为工具的使用寿命。

[0056]　在干燥期间，陶瓷前体分散体收缩，从而通常导致从腔体壁回缩。例如，如果腔体具有平坦的壁，那么所得陶瓷成形磨粒就可能具有至少三个凹陷的主侧面。目前发现，通过使腔体壁凹陷(由此，腔体体积增加)，就可能获得具有至少三个大体平坦的主侧面的陶瓷成形磨粒。所需凹陷程度一般取决于陶瓷前体分散体的固体含量。

[0057]　第五步工序涉及将所得陶瓷成形磨粒前体从模具腔体中移出。可单独使用以下工艺或者将其与模具结合使用来将陶瓷成形磨粒前体从腔体中移出：重力工艺、振动工艺、超声振动工艺、真空工艺或加压空气工艺。

[0058]　陶瓷成形磨粒前体可以在模具外部进行进一步干燥。如果陶瓷前体分散体在模具中干燥至所需程度，则不需要此额外干燥步骤。然而，在某些情况下，采用此额外干燥步骤来使陶瓷前体分散体停留在模具中的时间最小化可能是经济的。通常，陶瓷成形磨粒前体

将在 50℃至 160℃或在 120℃至 150℃的温度下干燥 10 至 480 分钟或 120 至 400 分钟。

[0059] 第六步工序涉及对陶瓷成形磨粒前体进行煅烧。在煅烧期间，基本上所有的挥发性物质都被去除，并且存在于陶瓷前体分散体中的各种组分均转化成金属氧化物。通常，将陶瓷成形磨粒前体加热到 400℃至 800℃的温度，并且将其保持在此温度范围内，直至移除游离水和 90 重量％以上的任何结合的挥发性物质为止。在一个可选的步骤中，可能需要通过注入工艺引入改性添加剂。水溶性盐可通过注入而引入到经煅烧的陶瓷成形磨粒前体的孔中。然后使陶瓷成形磨粒前体再次进行预烧。该可选步骤在美国专利第 5,164,348 号（Wood）中进行了进一步描述。

[0060] 第七步工序涉及使经煅烧的陶瓷成形磨粒前体进行烧结，以形成陶瓷颗粒。进行烧结之前，经煅烧的陶瓷成形磨粒前体并未完全致密化，因此，缺乏用作陶瓷成形磨粒所需的硬度。通过使经煅烧的陶瓷成形磨粒前体加热至 1000℃到 1650℃的温度来进行烧结。为了实现此转化程度而使经煅烧的陶瓷成形磨粒前体暴露于烧结温度下的时间长度取决于多种因素，但通常为 5 秒至 48 小时。

[0061] 在另一个实施例中，烧结步骤的持续时间在 1 分钟到 90 分钟的范围内。烧结之后，陶瓷成形磨粒可以具有 10GPa（吉帕斯卡）、16GPa、18GPa、20GPa 或更大的维氏硬度。

[0062] 可以使用其它步骤来改变所述工艺，所述步骤例如，使材料从煅烧温度快速加热至烧结温度，对陶瓷前体分散体进行离心处理以移除油泥和／或垃圾。此外，如果需要，那么可以通过组合这些工序中的两个或更多个工序来改变该工艺。可以用来改变本发明的工艺的常规工序在美国专利第 4,314,827 号（Leitheiser）中进行了更完整的描述。

[0063] 可以根据（例如）美国专利第 5,213,591 号（Celikkaya 等人）以及美国公开专利申请第 2009/0165394A1 号（Culler 等人）和第 2009/0169816A1 号（Erickson 等人）中描述的方法，使用溶胶－凝胶 α 氧化铝颗粒前体来制备由 α 氧化铝、镁铝尖晶石以及稀土六铝酸盐的晶粒构成的陶瓷成形磨粒。如美国专利第 5,551,963（Larmie）中公开的那样，α 氧化铝磨粒可以包含氧化锆。作为另外一种选择，如美国专利第 6,277,161 号（Castro）公开的那样，α 氧化铝磨粒可以具有微结构或添加剂。关于制备陶瓷成形磨粒的方法的更多信息在共同待审的美国公开专利申请第 2009/0165394A1 号（Culler 等人）中进行了公开。

[0064] 本发明中使用的陶瓷成形磨粒通常可以使用工具（即模具）制成，使用金刚石工具切割，从而提供比其它制造替代方法（例如，压印或冲压等）更高的特征清晰度。通常，工具表面中的腔体具有沿着锋利边缘相接的平面，并且形成正四面体的侧面。所得陶瓷成形磨粒具有对应于工具表面中腔体的形状的相应标称平均形状；然而，进行制造期间可能产生标称平均形状的变型（例如，无规变型），并且表现出这种变型的陶瓷成形磨粒包括在本文所用的陶瓷成形磨粒的定义中。

[0065] 陶瓷成形磨粒可以包括具有各种形状特征的颗粒。例如，陶瓷成形磨粒可以具有凸出的、平坦的、凹陷的或某些其他形状的一个或多个主侧面，以及弯曲的或线性的公共边。另外，陶瓷成形磨粒可以包括不同个体形状的颗粒，但这些颗粒均具有由六条公共边连接的四个侧面。可选地，主侧面可以是平滑的及／或它们可以具有设于其中的腔体或凸起；例如，用以提供额外的锋利边缘。

[0066] 图 3A 到 3E 描绘了根据本发明的成形的陶瓷成形磨粒的各种示例性实施例。

[0067] 在一个示例性实施例中，陶瓷成形磨粒可以成形为正四面体，如图 3A 所示。因此，

陶瓷成形磨粒 20a 具有由六条公共边 91a、92a、93a、94a、95a 和 96a 连接的四个平坦的全等主侧面 81a、82a、83a 和 84a。

[0068] 在另一个示例性实施例中，陶瓷成形磨粒可以如图 3B 所示那样成形。因此，陶瓷成形磨粒 20b 具有由六条公共边 91b、92b、93b、94b、95b 和 96b 连接的四个凹陷的主侧面 81b、82b、83b 和 84b。

[0069] 在另一个示例性实施例中，陶瓷成形磨粒可以如图 3C 所示那样成形。因此，陶瓷成形磨粒 20c 具有由六条公共边 91c、92c、93c、94c、95c 和 96c 连接的四个凸出的主侧面 81c、82c、83c 和 84c。

[0070] 在另一个示例性实施例中，陶瓷成形磨粒可以成形为截角四面体，其中顶点如图 3D 所示。因此，陶瓷成形磨粒 20d 具有由长度大体相同的六条公共边 91d、92d、93d、94d、95d 和 96d 连接的四个平坦的主侧面 81d、82d、83d 和 84d。

[0071] 在另一个示例性实施例中，陶瓷成形磨粒可以大体定形为截角四面体，其中由于制造缺陷，导致一个或多个顶点和 / 或公共边是畸形的，如图 3E 所示。因此，陶瓷成形磨粒 20e 具有由长度大体相同的六条公共边 91e、92e、93e、94e、95e 和 96e 连接的四个主侧面 81e、82e、83e 和 84e。

[0072] 陶瓷成形磨粒上的表面涂层可以用于提高磨具制品中陶瓷成形磨粒与粘结剂材料之间的附着力，或者可以用于帮助陶瓷成形磨粒的静电沉积。在一个实施例中，可以使用美国专利第 5,352,254 号（Celikkaya）中描述的表面涂层，相对于成形磨粒的重量，表面涂层的量为 0.1% 至 2%。这种表面涂层在美国专利第 5,213,591 号（Celikkaya 等人）、第 5,011,508 号（Wald 等人）、第 1,910,444 号（Nicholson）、第 3,041,156 号（Rowse 等人）、第 5,009,675 号（Kunz 等人）、第 5,085,671 号（Martin 等人）、第 4,997,461 号（Markhoff-Matheny 等人）和第 5,042,991 号（Kunz 等人）中有所描述。另外，该表面涂层可以防止成形磨粒封堵。“封堵”这一术语用来描述来自正被研磨的工件的金属颗粒被焊接到陶瓷成形磨粒顶部的现象。发挥上述功能的表面涂层对本领域的技术人员而言是已知的。

[0073] 通常，陶瓷成形磨粒具有相对小的最大颗粒尺寸 ；例如，小于约 5mm、2mm、1mm、5 微米、200 微米、100 微米、50 微米、20 微米或甚至小于 10 微米，但也可以采用其他大小。

[0074] 在一些实施例中，陶瓷成形磨粒（以及可选地，任何额外的常规粉碎的磨粒）根据磨具行业认可并规定的标称等级来调整大小。示例性的磨具行业认可的分级标准包括 ANSI（美国国家标准学会）、FEPA（欧洲磨具制造者联盟）和 JIS（日本工业标准）颁布的标准。此类被行业接受的分级标准包括，例如 :ANSI 4、ANSI 6、ANSI 8、ANSI 16、ANSI 24、ANSI30、ANSI 36、ANSI 40、ANSI 50、ANSI 60、ANSI 80、ANSI 100、ANSI120、ANSI 150、ANSI 180、ANSI 220、ANSI 240、ANSI 280、ANSI320、ANSI 360、ANSI 400 和 ANSI 600 ;FEPA P8、FEPA P12、FEPAP16、FEPA P24、FEPA P30、FEPA P36、FEPA P40、FEPA P50、FEPAP60、FEPA P80、FEPA P100、FEPA P120、FEPA P150、FEPA P180、FEPA P220、FEPA P320、FEPA P400、FEPA P500、FEPA P600、FEPAP800、FEPA P1000 和 FEPA P1200 ；以及 JIS 8、JIS 12、JIS 16、JIS 24、JIS 36、JIS 46、JIS 54、JIS 60、JIS 80、JIS 100、JIS 150、JIS 180、JIS220、JIS 240、JIS 280、JIS 320、JIS 360、JIS 400、JIS 400、JIS 600、JIS800、JIS 1000、JIS 1500、JIS 2500、JIS 4000、JIS 6000、JIS 8000 和 JIS10,000。更常见地，各陶瓷成形磨粒独立地进行大小调整，以符合 ANSI 60 和 80 或者 FEPA P60 和 P80 分级标准。

[0075] 术语“磨具行业认可并规定的标称等级”还包括磨具行业认可并规定的标称筛分等级。例如，规定的标称筛选等级可以使用符合 ASTM E-11-09“Standard Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes（测试用筛布和筛网的标准规范）”的美国标准测试筛网。ASTM E-11-09 阐明了测试筛网的设计和构造需求，所述测试筛网利用安装在框架中的织造筛布为介质，根据指定粒度对材料进行分类。典型标号可以表示为 -18+20，其意指陶瓷成形磨粒通过符合针对 18 目筛网的 ASTM E-11-09 规范的测试筛网，并且保留在符合针对 20 目筛网的 ASTM E-11-09 规范的测试筛网上。在一个实施例中，陶瓷成形磨粒具有一定粒度，使得至少 90% 的颗粒通过 18 目测试筛网，并且可以保留在 20 目、25 目、30 目、35 目、40 目、45 目或 50 目测试筛网上。在多种实施例中，陶瓷成形磨粒可以具有标称筛分等级，包括：-18+20、-20/+25、-25+30、-30+35、-35+40、5-40+45、-45+50、-50+60、-60+70、-70/+80、-80+100、-100+120、-120+140、-140+170、-170+200、-200+230、-230+270、-270+325、-325+400、-400+450、-450+500 或 -500+635。

[0076] 根据本发明的粘结磨具制品（例如，磨削轮、切割轮、磨刀石和磨削磨石）通常通过模制工艺制成。进行模制期间，将粘结剂材料前体，即液体有机物、粉末状无机物或粉末状有机物与磨粒混合。在某些情况下，液体介质（即树脂或溶剂）首先被涂敷到磨粒上以润湿磨粒的外表面，然后将润湿的磨粒与粉末状介质混合。根据本发明的粘结磨具制品可以通过压缩模制、注模、转移模制等方式制成。通过热压或冷压或者本领域技术人员已知的任何合适的方式均可以完成模制。

[0077] 粘结剂材料通常包括玻璃质无机材料（例如，就玻璃化磨具轮而言）、金属、或有机树脂（例如，就树脂粘结磨具轮而言）。

[0078] 玻璃质无机粘结剂可由不同金属氧化物的混合物制成。这些金属氧化物玻璃质粘结剂的实例包括二氧化硅、氧化铝、氧化钙、氧化铁、二氧化钛、氧化镁、氧化钠、氧化钾、氧化锂、锰氧化物、氧化硼、磷氧化物等。玻璃质粘结剂的具体实例（基于重量）包括，例如，47.61% 的 SiO_2、16.65% 的 Al_2O_3、0.38% 的 Fe_2O_3、0.35% 的 TiO_2、1.58% 的 CaO、0.10% 的 MgO、9.63% 的 Na_2O、2.86% 的 K_2O、1.77% 的 Li_2O、19.03% 的 B_2O_3、0.02% 的 MnO_2 和 0.22% 的 P_2O_5；以及 63% 的 SiO_2、12% 的 Al_2O_3、1.2% 的 CaO、6.3% 的 Na_2O、7.5% 的 K_2O 和 10% 的 B_2O_3。玻璃质粘结剂的其他实例（基于摩尔比）包括，例如，3.77% 的 SiO_2、0.58% 的 Al_2O_3、0.01% 的 Fe_2O_3、0.03% 的 TiO_2、0.21% 的 CaO、0.25% 的 MgO、0.47% 的 Na_2O 和 0.07% 的 K_2O。制造玻璃质粘结磨具制品期间，粉末形式的玻璃质粘结剂可以与暂时粘结剂（通常为有机粘结剂）混合。玻璃化粘结剂还可由玻璃料形成，例如，从约 1% 至 100% 之间的玻璃料，但通常是 20% 至 100% 的玻璃料。玻璃料粘结剂中使用的普通材料的一些实例包括长石、硼砂、石英、苏打灰、氧化锌、白垩、三氧化锑、二氧化钛、氟硅化钠、燧石、冰晶石、硼酸以及上述项的组合。这些材料通常作为粉末混合在一起，燃烧以熔合所述混合物，然后冷却熔合的混合物。冷却的混合物被粉碎并筛分至非常细的粉末，以便随后用作玻璃料粘合剂。这些玻璃料粘合剂的成熟温度取决于其化学性质，但是该温度可在约 600℃至约 1800℃之间的任何温度。

[0079] 金属粘结剂的实例包括锡、铜、铝、镍以及上述项的组合。

[0080] 基于粘结磨具制品的总重量，所包括的有机粘结剂材料的量通常为 5 至 30 重量 %，更通常地为 10 至 25 重量 %，并且更通常地为 15 至 24 重量 %。酚醛树脂是最常用的有机粘结剂材料，并且能够以粉末状和液态两种形式进行使用。虽然酚醛树脂被广泛使用，但是使

用其它有机粘结剂材料也在本发明的范围内，所述其它有机粘结剂材料包括，例如，环氧树脂、脲醛树脂、橡胶、紫胶和丙烯酸粘结剂。有机粘结剂材料也可以使用其他粘结剂材料进行改性，以改进或改变其特性。

[0081] 可用的酚醛树脂包括线型酚醛树脂和甲阶酚醛树脂。线型酚醛树脂的特征在于被酸催化并且甲醛与酚的比率小于 1，所述比率通常在 0.5:1 和 0.8:1 之间。甲阶酚醛树脂的特征在于被碱催化并且甲醛与酚的比率大于或等于 1，所述比率通常为从 1:1 至 3:1。线型酚醛树脂和甲阶酚醛树脂可被化学改性(例如，通过与环氧化合物反应)，或它们可以不被改性。适于固化酚醛树脂的示例性酸性催化剂包括硫酸、盐酸、磷酸、草酸和对 - 甲苯璜酸。适于固化酚醛树脂的碱性催化剂包括氢氧化钠、氢氧化钡、氢氧化钾、氢氧化钙、有机胺或碳酸钠。

[0082] 酚醛树脂是公知的，并且可容易地从商业来源获得。市售的线型酚醛树脂的实例包括 :DUREZ 1364，其为一种两步粉末化的酚醛树脂(以商品名 VARCUM (例如，29302) 由德克萨斯州艾迪生的杜雷兹公司(DurezCorporation) 进行销售) ；或者 HEXION AD5534 树脂(由肯塔基州路易斯维尔的瀚森化工公司(Hexion Specialty,Chemicals,Inc.) 进行销售)。在本发明的实践过程中可用的市售的甲阶酚醛树脂的实例包括 :以商品名 VARCUM(例如，29217、29306、29318、29338、29353) 由德克萨斯州艾迪生的杜雷兹公司销售的那些 ；以商品名 AEROFENE (例如，AEROFENE 295) 由佛罗里达州巴托的亚什兰化工公司(Ashland ChemicalCo.) 销售的那些 ；以及以商品名“PHENOLITE”(例如，PHENOLITETD-2207) 由韩国首尔的江南化工有限公司(Kangnam Chemical CompanyLtd.) 销售的那些。

[0083] 有机粘结剂材料前体的固化温度将随着所选材料和轮设计而变化。合适条件的选择在本领域的普通技术人员的能力范围内。针对酚醛粘结剂的示例性条件可以包括 :在室温下，每 4 英寸直径施加约 20 吨 ($224kg/cm^2$)的压力，然后将温度加热至高达约 185℃并持续足够长的时间，以固化有机粘结剂材料前体。

[0084] 在一些实施例中，基于粘结剂材料和磨粒的总重量，粘结磨具制品包括从约 10 重量％至 60 重量％的陶瓷成形磨粒 ；通常 30 重量％至 60 重量％，并且更通常地 40 重量％至 60 重量％的陶瓷成形磨粒。

[0085] 粘结磨具制品还可以包括粉碎的磨粒 (即，不是由于陶瓷成形磨粒的破碎而形成并且对应于磨具行业规定的标称等级的磨粒，或者这些磨粒的组合)。与陶瓷成形磨粒相比，粉碎的磨粒通常具有更细小的一个或多个粒度等级(例如，如果使用多个粒度等级)，但是这并不是必须的。

[0086] 可用的粉碎的磨粒包括以下项的粉碎的磨粒，例如，熔融氧化铝、棕色熔融氧化铝、经过热处理的氧化铝、白色熔融氧化铝、陶瓷氧化铝材料(例如，以商品名‘CUBITRON’由明尼苏达州圣保罗的 3M 公司(3MCompany) 市售的那些)、黑色碳化硅、绿色碳化硅、二硼化钛、碳化硼、碳化钨、碳化钛、金刚石、立方晶型氮化硼、石榴石、熔融氧化铝 - 氧化锆、氮氧化铝、溶胶 - 凝胶衍生的磨粒、氧化铁、铬、二氧化铈、氧化锆、二氧化钛、硅酸盐、氧化锡、二氧化硅(例如，石英、玻璃珠、玻璃泡和玻璃纤维)、硅酸盐(例如，滑石粉、粘土(例如，蒙脱石)、长石、云母、硅酸钙、偏硅酸钙、铝硅酸钠、铝硅酸钙)、燧石和金刚砂。溶胶 - 凝胶衍生的磨粒的实例可见于美国专利第 4,314,827 号(Leitheiser 等人)、第 4,623,364 号(Cottringer 等 人)、第 4,744,802 号 (Schwabel)、第 4,770,671 号(Monroe 等 人) 和

第 4,881,951 号(Monroe 等人)。还设想,磨粒可以包括研磨团聚物,例如,在美国专利第 4,652,275 号(Bloecher 等人)或第 4,799,939 号(Bloecher 等人)中描述的那些等。

[0087] 例如,磨粒可以在整个粘结磨具制品上均匀分布或不均匀分布。例如,如果粘结磨具轮是磨削轮或切割轮,那么所述磨粒可以朝中间区域集中(例如,远离磨削轮或切割轮的外表面放置),或于外边缘,即磨削轮或切割轮的周边集中。在另一变型中,第一磨粒可在所述轮的一侧,而不同的磨粒可在相对侧。然而,通常来说,所有的磨粒彼此均质地分布,这是因为轮的制造较容易,并且切割效果在两类磨粒彼此紧密地布置时得到优化。

[0088] 根据本发明的粘结磨具制品可以包括上述那些之外的额外磨粒,但要受其它组分所要满足的重量范围要求的限制。实例包括熔融氧化铝(包括熔融氧化铝-氧化锆)、棕色氧化铝、蓝色氧化铝、碳化硅(包括绿色碳化硅)、石榴石、金刚石、立方晶氮化硼、碳化硼、氧化铬、二氧化铈和上述项的组合。

[0089] 磨粒可选地通过一种或多种偶联剂进行处理,以增强磨粒对粘结剂的附着力。磨粒可以在它们与粘结剂材料组合之前通过(一种或多种)偶联剂进行处理,或者它们可以通过将偶联剂包括到粘结剂材料中来就地进行表面处理。偶联剂对于研磨行业的技术人员来说是公知的。偶联剂的实例包括有机硅烷偶联剂(例如,γ-氨基丙基三乙氧基硅烷)、钛酸盐和锆酸盐。

[0090] 在一些实施例中,根据本发明的粘结磨具制品包含额外的助磨剂,例如,聚四氟乙烯颗粒、冰晶石、氯化钠、FeS_2(二硫化铁)或 KBF_4等;该助磨剂的量通常为 1 至 25 重量%,更通常地为 10 至 20 重量%,但所述助磨剂要受其它组分所要满足的重量范围要求的限制。添加助磨剂以改进粘结磨具的切割特性(例如,当在没有冷却剂的情况下进行干态使用时),这通常通过降低切割界面的温度来实现。助磨剂可采取助磨剂颗粒的单颗粒或团聚物的形式。精确成形的助磨剂颗粒的实例在美国专利公开第 2002/0026752A1 号(Culler 等人)中提出。

[0091] 粘结剂材料可选地包含一种或多种增塑剂,例如,以商品名 SANTICIZER 154 增塑剂由伊利诺斯州芝加哥的美国尤尼威尔有限公司(UNIVAR USA,Inc.)提供的增塑剂等。

[0092] 根据本发明的粘结磨具制品可以包含例如填料粒子等附加组分,但要受其它组分所要满足的重量范围要求的限制。可以添加填料粒子来占据空间和/或提供多孔性。多孔性使得粘结磨具制品能够以剥落的方式使用,或者磨损磨粒以暴露出新的或崭新的磨粒。

[0093] 根据本发明的粘结磨具制品具有任何范围的多孔性;例如,从约 1 体积%至 50 体积%,通常地为 1 体积%至 40 体积%。填料的实例包括气泡和小珠(例如,玻璃、陶瓷(氧化铝)、粘土、聚合物、金属)、软木、石膏、大理石、石灰岩、燧石、硅石、硅酸铝以及上述项的组合。

[0094] 根据本发明的粘结磨具制品可以根据任何合适的方法制备。在一种合适的方法中,陶瓷成形磨粒在与可固化甲阶酚醛混合之前涂布有偶联剂。通常,对偶联剂的量进行选择,以使其以 0.1 至 0.3 份/每 50 至 84 份磨粒的量存在,但也可以使用在该范围之外的量。向所得混合物中添加液态树脂,以及可固化线型酚醛树脂和冰晶石。所述混合物在室温下被压入模具中(例如,以每 4 英寸直径施加 20 吨的压力($224kg/cm^2$))。随后,通过在最高约 185℃的温度下加热足够的时间以使可固化性酚醛树脂固化,从而使模制的轮固化。

[0095] 例如,根据本发明的粘结磨具制品可用作(例如)磨削轮和切割轮。

[0096] 磨削轮的厚度通常为0.5cm到100cm,更通常地为1cm到10cm,并且其直径通常在约1cm和100cm之间,更通常地在约10cm和100cm之间,但也可以使用其他尺寸。例如,粘结磨具制品可以采用直径通常在10和15cm之间的杯形轮的形式,或者可以采用直径最多100cm的荒磨轮形式,或者也可以采用直径最多约25cm的中心下凹磨削轮的形式。可以使用可选的中心孔来将切割轮附接至动力驱动的工具。如果存在的话,中心孔通常直径为0.5cm至2.5cm,但也可以使用其它尺寸。可选的中心孔可以是经过强化的;例如,通过金属凸缘强化。作为另外一种选择,可以将机械紧固件沿轴向固定至切割轮的一个表面。实例包括螺杆。

[0097] 切割轮的厚度通常为0.80毫米(mm)至16mm,更通常为1mm至8mm,并且其直径通常在2.5cm至100cm(40英寸)之间,更通常地在约7cm至13cm之间,但也可以使用其它尺寸。可以使用可选的中心孔来将切割轮附接至动力驱动的工具。如果存在的话,中心孔通常直径为0.5cm至2.5cm,但也可以使用其它尺寸。可选的中心孔可以是经过强化的;例如,通过金属凸缘强化。作为另外一种选择,可以将机械紧固件沿轴向固定至切割轮的一个表面。实例包括螺杆、螺母、Tinnerman螺母和卡口固定杆。

[0098] 可选地,根据本发明的粘结磨具制品还可以包括用于强化粘结磨具制品的稀松布;例如,所述稀松布设置在粘结磨具制品的一个或两个主表面上,或者设置在粘结磨具制品内。稀松布的实例包括织造布或针织布。稀松布中的纤维可以由玻璃纤维(例如,玻璃丝(fiberglass))、有机纤维(例如,聚酰胺、聚酯或聚酰亚胺)制成。在某些情况下,可能期望在粘结介质中包括强化短纤维,以使纤维均匀地分散在整个粘结磨具制品上。

[0099] 根据本发明的粘结磨具制品可用于(例如)研磨工件。例如,它们可以形成为磨削轮或切割轮,所述磨削轮或切割轮具有良好的磨削特性,同时保持相对低的工作温度,从而可以避免对工件造成热损坏。

[0100] 粘结磨具磨削轮可以在任何直角磨削工具上使用,所述直角磨削工具例如,可从南卡罗来纳州莱克星顿的英格索兰公司(Ingersoll-Rand)、赛奥克斯(Sioux)、密尔沃基(Milwaukee)、库柏动力工具公司(CooperPower Tool)购得的那些。所述工具可以是电动的或气动的,其速度通常从约1000至50000RPM。

[0101] 在使用时,粘结磨具轮可用于干磨或湿磨。进行湿磨期间,粘结磨具轮与水、油性润滑剂或水性润滑剂结合使用。根据本发明的粘结磨具轮可尤其可用于各种工件材料上,所述工件材料例如为碳钢薄板或棒料以及更奇特的金属(例如,不锈钢或钛)或较软的黑色金属(例如,软钢、低合金钢或铸铁)等。

[0102] 通过以下非限制性实例进一步说明本发明的目的和优点,但这些实例中所述的具体材料及其用量,以及其他条件和细节不应视为对本发明进行不当限定。

[0103] 实例

[0104] 除非另外指明,否则在实例和说明书的其余部分中的所有份数、百分比、比率等都是以重量计。在实例的表中,“NA”表示不适用。

[0105] 实例中使用的材料

[0106] 表1

[0107]

缩写	说明

[0108]

SAPn	成形磨粒，如表 2 所述
AP1	等级 36，表面改性的陶瓷氧化铝磨粒，作为 CUBITRON 324AV 从明尼苏达州圣保罗的 3M 公司获得
AP2	ANSI 等级 60，CX 氧化铝磨粒，从纽约州尼亚加拉瀑布城的华盛顿米尔斯电矿产公司（Washington Mills Electro Minerals）获得
AP3	等级 80，溶胶-凝胶衍生的陶瓷氧化铝磨粒，作为 CUBITRON 321 从明尼苏达州圣保罗的 3M 公司获得
AP4	等级 50，溶胶-凝胶衍生的陶瓷氧化铝磨粒，作为 CUBITRON 324AV 从明尼苏达州圣保罗的 3M 公司获得
CRY	合成冰晶石（Na_3AlF_6），作为 RTN CRYOLITE 从德克萨斯州休斯顿的 TR 国际贸易公司（TR International Trading Co.）获得
PR1	是作为 VARCUM 29353 购自德克萨斯州艾迪生的 Durez 公司的一步液体酚醛树脂
PR2	是作为 VARCUM 29302 购自 Durez 公司的二步粉末状酚醛树脂
SM	4-英寸（10cm）直径的玻璃纤维稀松布圆盘，作为 3321 从马萨诸塞州什鲁斯伯里的工业聚合物&化工公司（Industrial Polymers Chemicals）获得

[0109] <u>用于制备陶瓷成形磨粒 SAP1 到 SAP3 的模具的说明</u>

[0110] 用于制备 SAP1 到 SAP3 颗粒的模具由快速原型制作装置生成，该装置称作 PERFACTORY SXGA+W/ERM 小型多透镜立体光照型（MINI MULTILENS STEREOLITHOGRAPHY）装置，由德国格拉德贝克的想象科技有限公司（envisionTEC GmbH）制造。此种想象科技机器配置有投影透镜，这种透镜的焦距为 60mm。用于构建这些模具的树脂是想象科技 R5。对于 SAP1，正四面体腔体的边缘长度是 3mm。对于 SAP3，正四面体腔体的边缘长度是 2mm。对于 SAP2，正四面体腔体的边缘长度是 3mm，其中侧面具有居中于每个腔体侧面的 0.14mm 的鼓包（即，位于三个腔体壁的每一个上并且导致磨粒的相应面上产生凹陷）。

[0111] <u>用于制备陶瓷成形磨粒 SAP4 到 SAP5 的模具的说明</u>

[0112] 用于制备 SAP4 颗粒的模具是具有密集的等边三角形开口（侧边长度（节距）=0.9429mm）的正四面体腔体阵列。每个正四面体腔体具有 0.8171mm 的深度和 77.5 度的斜度角。开口之间的着陆区域具有 0.0508mm 的宽度。

[0113] 用于制备颗粒 SAP5 的模具是具有密集的等边三角形开口（侧边长度（节距）=1.5918mm）的正四面体腔体阵列。每个正四面体腔体具有 1.3571mm 的深度和 77.5 度的斜度角。开口之间的着陆区域具有 0.1016mm 的宽度。

[0114] <u>用于制备比较用陶瓷成形磨粒 SAPA 到 SAPC 的模具的说明</u>：

[0115] 模具具有密集的三角形腔体，该三角形腔体的所有三条侧边长度相等（即腔体具有截角三棱锥形状）。用于制备 SAPA 和 SAPB 的模具腔体的侧边长度为 2.79mm（110 密耳）。对于 SAPA 和 SAPB，模具被制造成使得模具腔体具有从腔体底部表面凸起的平行脊，这些脊以 90 度角度与三角形的一条边相交。这些平行脊的间距为 0.277mm（10.9 密耳），并且这些脊的横截面为三角形，该三角形的高度为 0.0127mm（0.5 密耳），在顶点处每一条脊的边之间的角度为 45 度。对于 SAPA，侧壁深度为 0.91mm（36 密耳）。对于 SAPB，模具被制造成

使得模具腔体具有突出到模具腔体底面中的平行脊，这些脊以 90 度角度与三角形的一条边相交。这些平行的脊的间距为 0.10mm（3.9 密耳），并且这些脊的横截面为三角形，该三角形的高度为 0.0032mm（0.126 密耳）、在顶点处每一条脊的边之间的角度为 45 度。对于 SAPB，侧壁深度为 0.46mm（18 密耳）。

[0116] SAPC：用于制备 SAPC 的模具腔体的侧边长度为 1.66mm（65 密耳）。侧壁深度为 0.80mm（31 密耳）。模具腔体具有从底部凸起的平行脊，这些脊以 90 度角度与三角形的一条边相交。这些平行的脊的间距为 0.150mm（5.9 密耳），并且这些脊的横截面为三角形，该三角形的高度为 0.0127mm（0.5 密耳），在顶点处每一条脊的边之间的角度为 30 度。

[0117] 对于 SAPA 到 SAPC，倾角（即形成于模具腔体的底部与每个侧壁之间的二面角）为 98 度。

[0118] 用于测量曲率半径的技术

[0119] 根据以下方法确定所有样品的曲率半径：沿着连接陶瓷成形磨粒的基部和顶部的侧边，陶瓷成形磨粒的曲率半径为 50 微米或以下。从顶部表面和底面之间截取的抛光横截面测量曲率半径，例如使用可得自加拿大魁北克省隆格伊的克莱梅克斯技术公司（Clemex Technologies, Inc.）的 CLEMEX VISION PE 图像分析程序，其与倒置的光学显微镜进行接口，或者利用其他合适的图像分析软件 / 设备。成形磨粒的每个点的曲率半径是通过当（例如，以 100 倍放大率）在横截面中看时在每个点的顶端限定三个点来确定。第一点位于顶端曲线的起点处，这里是直边至曲线的起点的过渡，第二点位于顶端的顶点，而第三点位于从弯曲的顶端变回直边的过渡处。然后图像分析软件将绘制由这三个点（曲线的起点、中点、和终点）限定的弧，并计算曲率半径。测定至少 30 个顶点的曲率半径，并计算它们的平均值以确定平均顶端半径。

[0120] 测量颗粒长度的技术

[0121] 使用从加利福尼亚州托兰斯的 www.BigC.com 商购的“AM413ZTDINO-LITE PRO”数字显微镜来测量最终颗粒的尺寸。将每个批次的五个颗粒平放，并且以 100 倍放大率拍摄图像。利用数码相机的内置计算机软件测量每个颗粒的所有三个侧面的长度。计算这 15 个长度测量结果的平均值以及标准偏差。

[0122] 用于测量 SAP1 到 SAP5 磨粒的颗粒厚度的技术

[0123] 颗粒厚度是根据正四面体的几何特性通过所测量的颗粒长度进行计算。

[0124] 用于测量 SAPA 到 SAPC 磨粒的颗粒厚度的技术

[0125] 使用从加利福尼亚州托兰斯的 www.BigC.com 商购的“AM413ZTDINO-LITE PRO”数字显微镜来测量磨粒的尺寸。通过将每种类型的五个颗粒侧立摆放（平坦侧面垂直于台面），并且以 100 倍放大率拍摄颗粒侧面的图像来确定平均颗粒厚度。使用所提供的软件的光标来针对每个侧面测量中心和靠近每个边缘处的颗粒厚度。随后将颗粒垂直于台面旋转 120 度，并分别进行第二侧面和第三侧面的三个高度测量。因此，测量每个样品的 9 个颗粒厚度，5 个颗粒总共 45 个测量结果。计算平均值和标准偏差。

[0126] 磨削测试（总切割，10 个周期）

[0127] 用于测试的实例轮安装在往复式磨削轮上。预称重的测试工件是 1018 钢的 400mm×50mm×7mm 试样块，并且安装成由磨削轮以相对于工件的水平顶面为 15 度的角进行接合。工件被安装成是该工件站立在 400mm×7mm 侧面上。启动磨削机，从而使磨削轮以

6000RPM旋转。以58N的力将旋转的磨削轮压抵在测试工件上，同时以6英寸/秒(15.24cm/秒)的速率横越工件的长度。测试周期为1.0分钟。在第一、第五和第10周期之后，称量测试工件的重量。在10个一分钟磨削周期之后，确定被移除的工件的总重量并将其记录为总切割量，10个周期。

[0128] 切割测试

[0129] 在从意大利马尔纳泰的戴维德马特尼尼SPA公司(Davide MaterniniSPA)获得的型号为PTA 100/230的马特尼尼(Maternini)切割测试机上对切割轮进行测试，该切割测试机配有230V 4英寸博世(Bosch)研磨模具GWS 6-100(标称rpm为10,000)。切割测试机在以下参数下使用：测试程序100-SS-R；切割电流：3.5A；系数kp=15、系数kd=30。工件为16mm的实心不锈钢棒。在切割轮到达90mm直径之前，记录平均切割时间和切割数二者。

[0130] 掺杂有REO的陶瓷成形磨粒(SAP1到SAP5和SAPA到SAPC)的制备

[0131] 使用以下配方制备水软铝石溶胶-凝胶样品：通过使含水(2400份)和70%水基硝酸(72份)的溶液进行高剪切混合11分钟，对以商品名“DISPERAL”购自沙索尔北美有限公司的氧化铝一水合物粉末(1600份)进行分散。在涂布之前，使所得溶胶-凝胶老化至少1小时。溶胶-凝胶被迫进入具有上文所记录尺寸的三角形模具腔体的生产工具中。

[0132] 用油灰刀迫使溶胶-凝胶进入腔体中，以使得生产工具的开口被完全填满。使用脱模剂，即含1%花生油的甲醇溶液涂布生产工具，其中约0.5mg/in^2 (0.08mg/cm^2)的花生油被涂布到生产工具上。通过将生产工具的薄片置于空气对流烘箱中在45℃下持续5分钟来去除过量的甲醇。所述经溶胶-凝胶涂布的生产工具被置于空气对流烘箱中在45℃下持续至少45分钟，以进行干燥。使陶瓷成形磨粒前体通过超声变幅杆上方，从而将其从生产工具中移出。对陶瓷成形磨粒前体以约650℃进行煅烧。经煅烧的陶瓷成形磨粒前体通过可选稀土氧化物(REO)溶液进行绝缘浸渍，所述溶液含有1.4%的MgO、1.7%的Y_2O_3、5.7%的La_2O_3以及0.07%的CoO。在70克REO溶液中，通过在开口烧杯中搅动来分散1.4克的从宾夕法尼亚州匹兹堡的安迈铝业公司(Almatis)购得的HYDRAL COAT 5粉末(约0.5微米平均粒度)。然后，用71.4g的REO溶液中的HYDRAL COAT 5粉末分散体对约100g的经煅烧的陶瓷成形磨粒前体进行绝缘浸渍。进行绝缘浸渍的、经煅烧的陶瓷成形磨粒前体随后以650℃进行再次煅烧，然后以约1400℃烧结至最终硬度。煅烧和烧结二者均利用旋转管状炉进行。所得组合物为含有1重量%的MgO、1.2重量%的Y_2O_3、4重量%的La_2O_3和0.05重量%的CoO以及微量的TiO_2、SiO_2和CaO的氧化铝组合物。所得磨粒尺寸记录在表2(如下)中。

[0133]

表 2

粒子	形状	近似目尺寸	平均颗粒长度，mm，（标准偏差）	平均颗粒厚度，mm，（标准偏差）	平均颗粒纵横比，长度/厚度	磨粒侧边的平均曲率半径，微米，（标准偏差）	模具腔体尺寸
SAP1	等边正四面体	18	1.2（0.044）	1.06（0.04）	1.13	38（23）	边缘为 3mm 的正四面体
SAP2	具有凹面的等边正四面体	18	1.39（0.116）	1.06（0.12）	1.13	25.98（18.59）	具有凹面、边缘为 3mm 的正四面体
SAP3	等边正四面体	20	0.897（0.0381）	0.78（0.04）	1.15	41.62（17.65）	边缘为 2mm 的正四面体
SAP4	等边正四面体	30	0.474（0.0201）	0.410（0.02）	1.15	17.07（2.84）	边缘为 0.99mm 的正四面体
SAP5	等边正四面体	25	0.794（0.0337）	0.687（0.03）	1.15	18.31（5.80）	边缘为 1.67mm 的正四面体
SAPA	截角正三棱锥	18	1.383（0.063）	0.31（0.08）	4.5	13.71（9.1477）	2.79mm 长度×0.91mm 深度，98°倾角
SAPB	截角正三棱锥	18	1.447（0.044）	0.164（0.033）	8.8	22.74（13.29）	2.79mm 长度×0.46mm 深度，98°倾角
SAPC	正截头三棱锥	20	0.765（0.064）	0.258（0.058）	3	8.01（3.8513）	1.72mm 长度×0.02mm 深度，98°倾角

[0134]　实例 1 到 3 和比较例 A 到 C

[0135]　实例 1 到 3 以及比较例 A 到 C 的磨削轮被构造成能展示出将各种几何形状的颗粒

并入 4 英寸(105mm)的磨削轮中的效果。

[0136] 在实例 1 中,径向分层的强化轮被构造成具有径向内部(所述轮的半径的 80%,包含传统的粘结磨具组合物)和由测试组合物形成的周边带(轮的 20%)。由具有创造性或比较性的组合物形成的周边带(例如,“轮胎”)沿每个轮的周边具有 1.0cm 的厚度。

[0137] 实例 1 的内部 80% 组合物是通过组合(基于最终磨削轮重量)44 份数的 AP1、3.8 份数的 AP2 以及 2.48 份数的 AP3 制成。添加 4.4 份数的 PR1 并进行搅拌,随后添加 13.88 份数的 PR2 和 12 份数的 CRY。外部(周边)20% 带由 5.5 份数的 SAP1、5.5 份数的 AP1、0.95 份数的 AP2 和 0.62 份数的 AP3 制成。添加 1.1 份数的 PR1 并进行搅拌,随后添加 3.47 份数的 PR2 和 3 份数的 CRY。径向分层的混合物夹在直径为 105mm 的模头中的 SM 层之间,并且被按压到单个腔体中,以 20 吨 /12.27 英寸 ^{2} ($230kg/cm^2$)的压力进行按压。随后将磨削轮置于由涂布有 TEFLON 的片材隔开的金属板之间,并放入固化烘箱中。在约 40 小时的固化周期之后(区段 1 :设定点 174 ℉(78.8℃),快速升温 4 分钟,浸泡 7 小时 ;区段 2 :设定点 225 ℉(107℃),快速升温 4 小时 20 分钟,浸泡 3 小时 ;区段 3 :设定点 365 ℉(185℃),快速升温 3 小时 15 分钟,浸泡 18 小时 ;区段 4 :设定点 80 ℉(26.6℃),快速降温 4 小时 27 分钟,浸泡 5 分钟),使用金刚石钻头钻出 7/8 英寸(22.2mm)的中心孔,并且磨削轮适用 98mm 的直径。

[0138] 实例 2 到 3 和比较例 A 到 C 与实例 1 相同地制成,不同之处在于组合物经过调整,如表 3 所示。

[0139] <u>比较例 D</u>

[0140] 比较例 D 是与实例 1 相同地制成的轮,不同之处在于组合物在整个轮中是均匀的,如以下表 3 所示。比较例 D 的磨削轮仅包含粉碎的磨粒。

[0141]

表 3

实例		磨粒，重量份数（pbw）									PR1，pbw	PR2，pbw	CRY，pbw	总切割量，10个周期，克
		SAP1	SAP2	SAP3	SAPA	SAPB	SAPC	AP1	AP2	AP3				
1	外部	5.5						5.5	0.95	0.62	1.1	3.47	3	415.49
	内部							44	3.8	2.48	4.4	13.88	12	不适用
2	外部		5.5					5.5	0.95	0.62	1.1	3.47	3	487.59
	内部							44	3.8	2.48	4.4	13.88	12	不适用
3	外部			5.5				5.5	0.95	0.62	1.1	3.47	3	437.59
	内部							44	3.8	2.48	4.4	13.88	12	不适用
比较例 A	外部				5.5			5.5	0.95	0.62	1.1	3.47	3	261.34
	内部							44	3.8	2.48	4.4	13.88	12	不适用
比较例 B	外部					5.5		5.5	0.95	0.62	1.1	3.47	3	173.48
	内部							44	3.8	2.48	4.4	13.88	12	不适用
比较例 C	外部						5.5	5.5	0.95	0.62	1.1	3.47	3	325.33
	内部							44	3.8	2.48	4.4	13.88	12	不适用
比较例 D								55	4.76	3.14	5.5	17.25	15.1	168.3

[0142] 实例 4 到 5 以及比较例 E

[0143] 实例 4 到 5 以及比较例 E 的切割轮被构造成能展示出将各种几何形状的颗粒并入 4 英寸（105mm）的切割轮中的效果。

[0144]　对于实例 4，将 5.5 份的 AP1、5.5 份的 SAP4、0.95 份的 AP2 和 0.62 份的 AP3 与 1.1 份的 PR1 混合。同时，将 3.47 份的 PR2、3.0 份的 CRY 混合在一起。将干粉末混合物缓慢地添加至树脂和磨粒的湿混合物中。将作为 3321 从马萨诸塞州什鲁斯伯里的工业聚合物 & 化工公司获得的 4 英寸（105mm）直径的玻璃纤维稀松布（SM）放入液压机的模具中。将 20g 的矿物 / 树脂混合物放入液压机的模具中，置于稀松布上方。将第二稀松布置于混合组合物的上方，并在 20 吨 /12.27 英寸 ^{2}（230kg/cm^2）的压力下按压在单腔体模具中。随后将切割轮置于由涂布有 TEFLON 的片材隔开的金属板之间，并放入固化烘箱中。在约 40 小时的固化周期之后（区段 1：设定点 174 ℉（78.8℃），快速升温 4 分钟，浸泡 7 小时；区段 2：设定点 225 ℉（107℃），快速升温 4 小时 20 分钟，浸泡 3 小时；区段 3：设定点 365 ℉（185℃），快速升温 3 小时 15 分钟，浸泡 18 小时；区段 4：设定点 80 ℉（26.6℃），快速降温 4 小时 27 分钟，浸泡 5 分钟），所得切割轮的尺寸为 104.03-104.76mm×1.34-1.63mm×9.5mm。

[0145]　根据切割测试，对切割轮进行测试。结果记录于表 4 中。

[0146]　实例 5 以及比较例 E 与实例 4 相同地制备，不同之处在于组合物发生变化，如表 4 所示。

[0147]　针对每次切割的平均时间以及在轮被消耗之前所实现的切割数的对比测试结果在表 4 中示出。

[0148]

表 4

实例	磨粒，pbw						PR1，pbw	PR2，pbw	CRY，pbw	切割时间，秒	切割数
	AP1	AP2	AP3	AP4	SAP4	SAP5					
4	5.5	0.95	0.62		5.5		1.1	3.47	3.0	9.8	21
5	5.5	0.95	0.62			5.5	1.1	3.47	3.0	8.77	31
比较例 E	5.5	0.95	0.62	5.5			1.1	3.47	3.0	9.16	12.5

[0149]　本文所提及的所有专利和出版物据此全文以引用方式并入本文。除非另外指明，否则本文给出的所有实例均被认为是非限制性的。在不脱离本发明的范围和精神的条件下，本领域的技术人员可对本发明进行各种修改和更改，并且应当理解，本发明不应不当地受限于本文所述的示例性实施例。

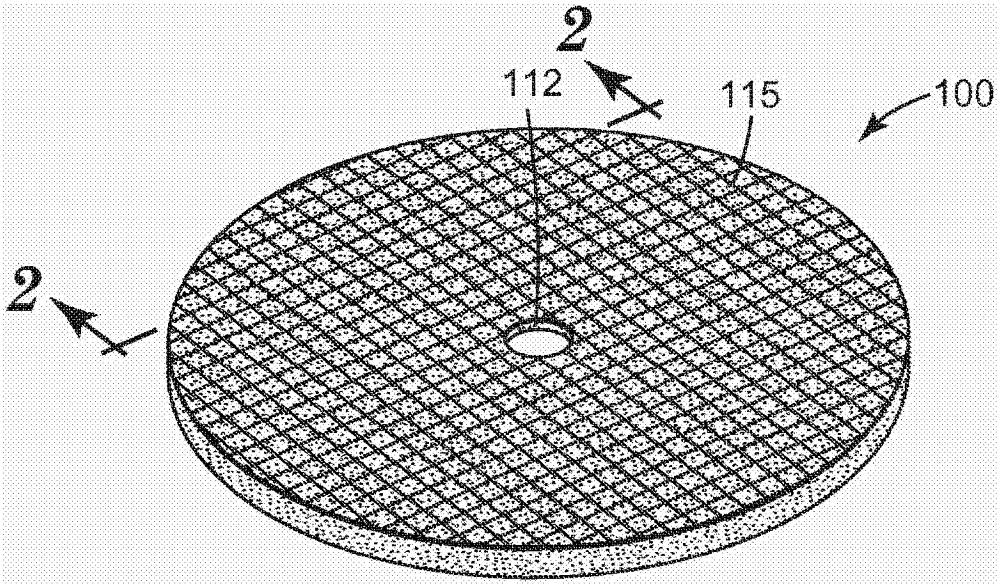


图 1

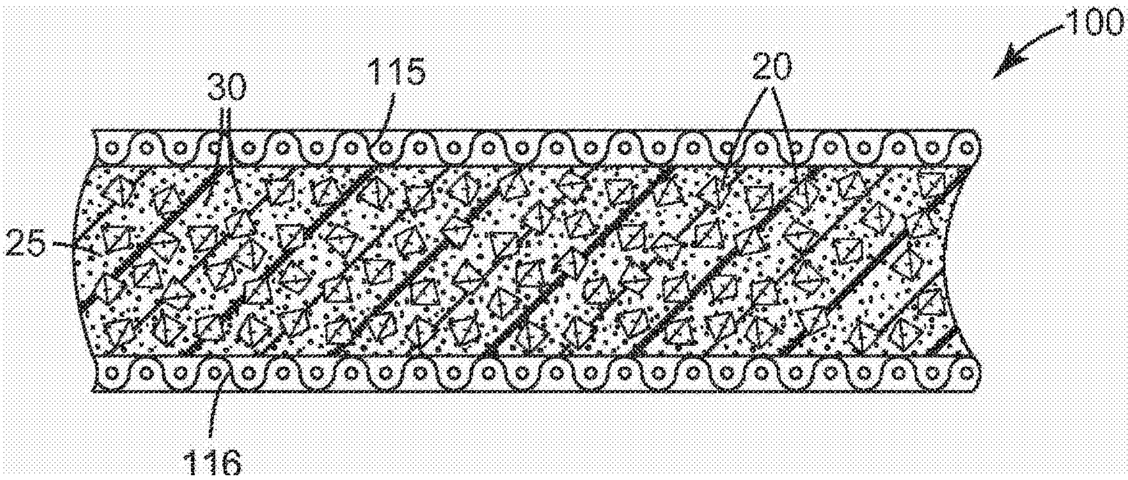


图 2

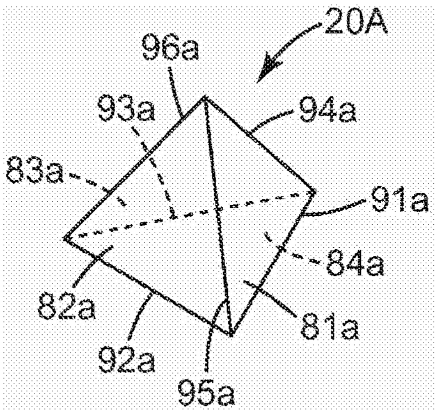


图 3A

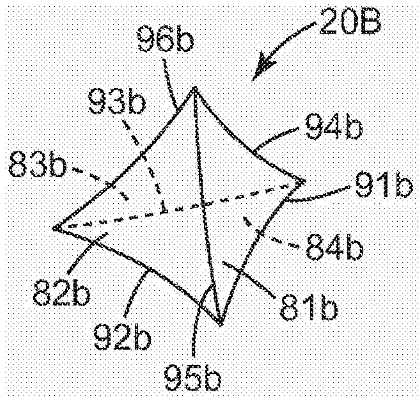


图 3B

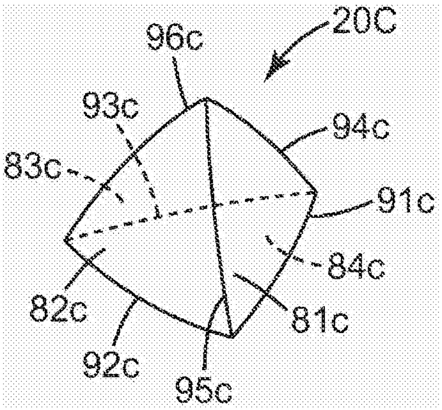


图 3C

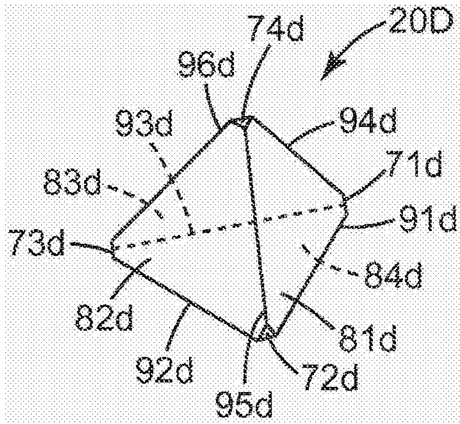


图 3D

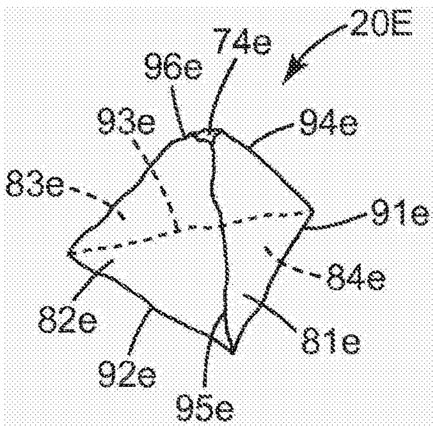


图 3E