



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107075673 B

(45)授权公告日 2019.08.06

(21)申请号 201580047938.1

(22)申请日 2015.09.03

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107075673 A

(43)申请公布日 2017.08.18

(30)优先权数据
14186609.5 2014.09.26 EP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2017.03.07

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2015/070185 2015.09.03

(87)PCT国际申请的公布数据
W02016/045937 EN 2016.03.31

(73)专利权人 瓦尔特公开股份有限公司
地址 德国蒂宾根

(72)发明人 德克·施廷斯 托斯滕·曼斯
萨卡里·鲁皮

(74)专利代理机构 中原信达知识产权代理有限
责任公司 11219
代理人 王潜 郭国清

(51)Int.Cl.
G23C 16/34(2006.01)
G23C 16/36(2006.01)
G23C 28/04(2006.01)

(56)对比文件
CN 104053815 A, 2014.09.17, 说明书第6-36段.
CN 103372764 A, 2013.10.30, 全文.
审查员 钱国庆

权利要求书2页 说明书12页

(54)发明名称

具有在TiAl(C,N)上的MT-CVD TiCN的涂层
切削工具刀片

(57)摘要

一种涂层切削工具,所述涂层切削工具由硬
质合金、金属陶瓷、陶瓷、钢或立方氮化硼的基底
和多层耐磨涂层构成,所述多层耐磨涂层的总涂
层厚度为5~25μm并且包含至少两个通过化学气
相沉积(CVD)或中温化学气相沉积(MT-CVD)而沉
积的耐火涂层,所述至少两个耐火涂层包含沉积
在彼此之上的第一涂层和第二涂层,其中所述第
一涂层由其中 $0.2 \leq u < 1.0, 0 \leq v \leq 0.25$ 且 $0.7 \leq w \leq 1.15$ 的氮化钛铝或碳氮化钛铝 $Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$ 构
成,并且通过CVD在 $800^\circ C \sim 900^\circ C$ 范围内的反应
温度下沉积,所述第二涂层由其中 $0.85 \leq x \leq 1.1$
且 $0.4 \leq y \leq 0.85$ 的碳氮化钛 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 构成,并且
通过MT-CVD在 $600^\circ C \sim 900^\circ C$ 范围的反应温度下
沉积在所述第一涂层之上,其中所述第二
 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层的总纤维织构的特征在于织构系
数 $TC(1\ 1\ 1) > 2$,如下定义所述 $TC(1\ 1\ 1)$:其中

$(h\ k\ 1) = (h\ k\ 1)$ 反射的测量强度, $I_0(h\ k\ 1)$
=根据JCPDF卡号42-1489的标准粉末衍射数据
的标准强度, N =在计算中使用的反射数,其中使
用的 $(h\ k\ 1)$ 反射是: $(1\ 1\ 1)$ 、 $(2\ 0\ 0)$ 、 $(2\ 2\ 0)$

和 $(3\ 1\ 1)$ 。 $TC(111) = \frac{I(111)}{I_0(111)} \left[\frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \frac{I(hkl)}{I_0(hkl)} \right]^{-1}$

CN 107075673 B

1. 一种涂层切削工具,所述涂层切削工具由硬质合金、金属陶瓷、陶瓷、钢或立方氮化硼的基底和多层耐磨涂层构成,所述多层耐磨涂层具有 $5\sim 25\mu\text{m}$ 的总涂层厚度并且包含至少两个通过化学气相沉积(CVD)或中温化学气相沉积(MT-CVD)而沉积的耐火涂层,所述至少两个耐火涂层包含沉积在彼此之上的第一涂层和第二涂层,其中

所述第一涂层由其中 $0.2\leq u\leq 1.0$ 、 $0\leq v\leq 0.25$ 且 $0.7\leq w\leq 1.15$ 的氮化钛铝或碳氮化钛铝 $\text{Ti}_{1-u}\text{Al}_u\text{C}_v\text{N}_w$ 构成,并且通过CVD在 $600^\circ\text{C}\sim 900^\circ\text{C}$ 范围内的反应温度下沉积,

所述第二涂层由其中 $0.85\leq x\leq 1.1$ 且 $0.4\leq y\leq 0.85$ 的碳氮化钛 $\text{Ti}_x\text{C}_y\text{N}_{1-y}$ 构成,并且通过MT-CVD在 $600^\circ\text{C}\sim 900^\circ\text{C}$ 范围内的反应温度下沉积在所述第一涂层之上,

其中所述第二 $\text{Ti}_x\text{C}_y\text{N}_{1-y}$ 涂层具有柱状晶粒形态并且所述 $\text{Ti}_x\text{C}_y\text{N}_{1-y}$ 涂层的总纤维织构的特征在于织构系数 $\text{TC}(1\ 1\ 1)>2$,如下定义所述 $T(1\ 1\ 1)$:

$$\text{TC}(111) = \frac{I(111)}{I_0(111)} \left[\frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \frac{I(hkl)}{I_0(hkl)} \right]^{-1},$$

其中

$(h\ k\ l) = (h\ k\ l)$ 反射的测量强度

$I_0(h\ k\ l)$ = 根据JCPDF卡号42-1489的标准粉末衍射数据的标准强度

n = 在计算中使用的反射数,其中使用的 $(h\ k\ l)$ 反射是: $(1\ 1\ 1)$ 、 $(2\ 0\ 0)$ 、 $(2\ 2\ 0)$ 和 $(3\ 1\ 1)$ 。

2. 权利要求1的涂层切削工具,其中所述第二 $\text{Ti}_x\text{C}_y\text{N}_{1-y}$ 涂层具有厚度 L 和平均粒径 W ,并且比率 $L/W<8$ 。

3. 前述权利要求中任一项的涂层切削工具,其中所述第二 $\text{Ti}_x\text{C}_y\text{N}_{1-y}$ 涂层的晶粒的平均粒径 $W\geq 0.4\mu\text{m}$ 。

4. 权利要求1或2的涂层切削工具,其中所述第一 $\text{Ti}_{1-u}\text{Al}_u\text{C}_v\text{N}_w$ 涂层具有柱状晶粒形态并且所述第一 $\text{Ti}_{1-u}\text{Al}_u\text{C}_v\text{N}_w$ 涂层的总纤维织构的特征在于,通过X射线衍射(XRD)极图测量或EBSD测量确定,来自 $\{1\ 1\ 1\}$ 晶面的最大衍射强度在与试样基底表面的法线成 $\alpha = \pm 20^\circ$ 的倾斜角内出现。

5. 权利要求1或2的涂层切削工具,其中在所述第二 $\text{Ti}_x\text{C}_y\text{N}_{1-y}$ 涂层中的 $\Sigma 3$ 型晶粒边界的长度小于其中 $N=2n+1$ 、 $1\leq n\leq 28$ 的 ΣN 型晶粒边界总和的总长度的60%,由EBSD测量晶粒边界特征分布。

6. 权利要求5的涂层切削工具,其中所述 ΣN 型晶粒边界是 $\Sigma 3$ -49型晶粒边界。

7. 权利要求1或2的涂层切削工具,其中所述第二 $\text{Ti}_x\text{C}_y\text{N}_{1-y}$ 涂层的总纤维织构的特征在于织构系数 $\text{TC}(1\ 1\ 1)>3.0$ 。

8. 权利要求1或2的涂层切削工具,其中所述第一 $\text{Ti}_{1-u}\text{Al}_u\text{C}_v\text{N}_w$ 涂层的晶体和所述第二 $\text{Ti}_x\text{C}_y\text{N}_{1-y}$ 涂层的晶体具有同构的晶体结构。

9. 权利要求1或2的涂层切削工具,其中所述多层耐磨涂层在所述基底的表面与所述第一 $\text{Ti}_{1-u}\text{Al}_u\text{C}_v\text{N}_w$ 涂层之间包含至少一个另外的耐火层,所述至少一个另外的耐火层选自Ti、Al、Zr、V和Hf中的一种或多种的碳化物、氮化物、碳氮化物、氧碳氮化物和硼碳氮化物或其组合,并且通过化学气相沉积(CVD)或中温化学气相沉积(MT-CVD)而沉积。

10. 权利要求1或2的涂层切削工具,其中所述第一涂层由氮化钛铝或碳氮化钛铝 Ti_{1-}

$uAl_uC_vN_w$ 构成,其中 $0.6 \leq u \leq 1.0$ 、 $0 \leq v \leq 0.1$ 且 $0.7 \leq w \leq 1.15$ 。

具有在TiAl(C,N)上的MT-CVD TiCN的涂层切削工具刀片

发明领域

[0001] 本发明涉及一种包含多层耐磨涂层的涂层切削工具,所述多层耐磨涂层包含至少一个氮化钛铝或碳氮化钛铝的涂层和至少一个碳氮化钛的涂层,所述涂层切削工具具有增强的耐间断切削磨损性,特别是增强的抗热裂纹性。

[0002] 发明背景

[0003] 用于切屑形成金属机械加工的切削工具由通常涂布有改进切削性能和耐磨损性的单层或多层硬质涂层的硬质合金、金属陶瓷、陶瓷、钢或立方氮化硼的基底主体构成。所述硬质涂层由多晶单金属或多金属硬质相组成。单金属硬质相的实例是TiN、TiC、TiCN和Al₂O₃。多金属硬质相的实例是TiAlN和TiAlCN。硬质相涂层通过CVD或PVD法被沉积在基底上。

[0004] 通过CVD或PVD法沉积的多晶硬质相涂层能够以也称为纤维织构的强的优先晶体取向生长。在改进涂层切削工具的切削性能和耐磨损性的近期发展中,CVD和PVD涂层已经以不同的优先晶体取向即纤维织构生长,所述晶体取向中的每个可能由于涂层材料的各向异性特性而在不同的切削操作中产生有利的性能。一个实例是高度{001}织构化的 α -Al₂O₃涂层在晶面{001}优先与基底表面平行取向的情况下在车削操作中的使用。

[0005] US 7,767,320公开了一种通过CVD沉积并且包含其中 $0.75 < x < 0.93$ 的面心立方(fcc)Ti_{1-x}Al_xN层的硬质涂层及其制造方法。

[0006] US 8,257,841公开了通过CVD沉积的硬质涂层,所述硬质涂层包含直接沉积在基底表面上的TiN、TiCN或TiC层,随后是具有相梯度的粘附层和随后的TiAlN层。所述TiAlN层具有晶体{200}面优先与基底表面平行取向的纤维织构。

[0007] WO 2009/112116公开了TiAlN、TiAlC或TiAlCN的硬质涂层,所述硬质涂层具有高的Al含量和面心立方(fcc)晶格并通过CVD沉积在TiCN或Al₂O₃层的上面。没有公开所述涂层是否具有优先晶体取向。WO 2009/11217公开了包含增加层硬度的其中Me=Zr或Hf的(Ti,Me)Al(C,N)层的硬质涂层。WO 2009112115 A1教导了具有硬质涂层的主体,所述硬质涂层在TiAlN、TiAlC或TiAlCN层之上包括外部Al₂O₃层。

[0008] 增加切削工具的耐磨损性的最常用的CVD涂层是通过中温CVD(MT-CVD)而沉积的 α -Al₂O₃涂层和TiCN涂层。

[0009] Bartsch等通过在 $\geq 1000^\circ\text{C}$ 的沉积温度下使用芳族烃作为前体而获得晶面{111}优先与基底表面平行取向的TiC涂层。在铸铁车削中,与晶面{100}优先与基底表面平行取向的TiC涂层相比,这些涂层提供更优异的耐磨损性(K.Bartsch等,Advances in Inorganic Films and Coatings(无机膜和涂层的进展)(1995),11-18)。

[0010] 对于TiCN涂层,已知的是,与高温CVD(HT-CVD)法相反,利用通过中温CVD(MT-CVD)法生产的涂层能够实现良好的耐磨损性,特别是抗侧面磨损性。MT-CVD法在675~950°C的温度范围内实施,并利用腈化合物,最通常的是乙腈,从而制造具有柱状微结构的所谓的MT-TiCN涂层,所述柱状微结构被认为用于金属切削是有利的。据报道,MT-TiCN涂层具有不同的结晶纤维织构。

[0011] Larsson和Ruppi (Thin Solid Films (薄固体膜) 402 (2002) 203-210) 对通过高温CVD (HT-CVD) 沉积的显示具有等轴晶粒的微结构的未织构化的TiCN涂层与具有柱状结构的{211}织构化的MT-TiCN涂层的金属切削性能进行了比较。MT-TiCN涂层具有更好的耐崩裂性,但比 HT-TiCN涂层具有更低的耐凹坑磨损 (crater wear) 性。

[0012] US 6,756,111公开了具有外部MT-TiCN层的多层涂层,所述外部 MT-TiCN层具有{110}、{311}、{331}或{21}纤维织构中的任一种。

[0013] US 8,012,535公开了在将诸如苯的单环烃添加到气相,从而得到具有{221}、{331}或{110}纤维织构的涂层的条件下,在880~970°C的温度范围内获得的MT-TiCN涂层。

[0014] US 7,348,051公开了具有优先晶体取向的MT-TiCN涂层,其中如通过EBSD确定的,晶面{112}优先与基底表面平行取向或与基底表面的偏差小于10度。

[0015] EP 2 604 720 A1公开了一种具有柱状细粒化MT-TiCN涂层的工具,所述涂层具有0.05 μm ~0.4 μm 的平均晶粒宽度和0.50~0.65的碳含量(C/(C+N))。柱状MT-TiCN层具有{311}纤维织构组分相当大的强的{211}纤维织构,并且其包括孪晶柱状晶粒 (grain)。

[0016] 在TiCN CVD涂层中形成孪晶是众所周知的现象。使用重合位点晶格 (CSL) 形式,能够将孪晶描述为 $\Sigma 3$ 晶粒边界 (grain boundary),并且在TiCN CVD涂层中形成高孪晶与 ΣN 型晶粒边界之和的 $\Sigma 3$ 晶粒边界的相对高的长度相关。

[0017] EP 1 626 105 A1公开了厚度在3 μm ~20 μm 之间的TiCN层,与在常规涂层中发现的 $\leq 30\%$ 的 $\Sigma 3$ 晶粒边界相比,所述TiCN层具有在60%~80%的范围内的如由 $\Sigma 3$ 对其中 $N=2n+1, 1 \leq n \leq 14$ 的 ΣN 的晶格点之比所限定的 $\Sigma 3$ 晶粒边界的相对高的长度。

[0018] EP 1 897 970公开了一种涂层切削工具,其包括碳含量(C/(C+N))为0.7~0.9且平行于表面的平均粒度(晶粒宽度)为0.05 μm ~0.5 μm 的柱状TiCN层。归属于{422}晶面的XRD峰具有0.40°~0.60°的半宽度,并且优选为具有最高强度的峰。

[0019] WO 2012/126030公开了具有多层涂层的主体,所述多层涂层包括沉积在具有细长晶体的TiCN层上的 $\text{Al}_x\text{Ti}_{1-x}\text{N}$ 层。所述 $\text{Al}_x\text{Ti}_{1-x}\text{N}$ 层的大部分具有立方晶体结构,然而,其包括高达至30摩尔%的六方相AlN。与PVD $\text{Al}_x\text{Ti}_{1-x}\text{N}$ 涂层相比,所述涂层体系被描述为显示增强的耐磨损性。

[0020] 通常,对于铸铁和钢的铣削,使用CVD涂布的硬质合金品级比 PVD涂布的品级是更优选的,特别是对于使用高切削速度的应用如此。

[0021] 典型的CVD涂布的铣削工具具有多层涂层,所述多层涂层包括直接在基底表面上的薄TiN粘合层,内部的MT-TiCN层和作为主耐磨损层的最外 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 层。虽然CVD涂布的切削工具在高切削速度下提供良好的耐磨损性,但是对在间歇切削中发生的热-机械冲击的抗性受到限制。因此,铣削工具的典型磨损机制是分别在主切削刃上出现热裂纹或梳状裂纹。

[0022] 发明目的

[0023] 本发明的目的是提供一种涂层切削工具,所述切削工具相比于现有技术具有增强的耐间歇切削磨损性,特别是增强的抗热裂纹性。

发明内容

[0024] 本发明提供了一种涂层切削工具,所述涂层切削工具由硬质合金、金属陶瓷、陶瓷、钢或立方氮化硼的基底和多层耐磨涂层构成,所述多层耐磨涂层具有5~25 μm 的总涂层

厚度并且包括至少两个通过化学气相沉积 (CVD) 或中温化学气相沉积 (MT-CVD) 沉积的耐火涂层,所述至少两个耐火涂层包括沉积在彼此上面的第一涂层和第二涂层,其中

[0025] 所述第一涂层由其中 $0.2 \leq u \leq 1.0$, $0 \leq v \leq 0.25$ 且 $0.7 \leq w \leq 1.15$ 的氮化钛铝或碳氮化钛铝 $Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$ 构成,并且通过CVD在 $600^\circ\text{C} \sim 900^\circ\text{C}$ 范围内的反应温度下沉积,

[0026] 所述第二涂层由其中 $0.85 \leq x \leq 1.1$ 且 $0.4 \leq y \leq 0.85$ 的碳氮化钛 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 构成,并且通过MT-CVD在 $600^\circ\text{C} \sim 900^\circ\text{C}$ 范围内的反应温度下沉积在所述第一涂层上面,

[0027] 其中所述第二 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层具有柱状晶粒形态并且所述 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层的总纤维织构的特征在于织构系数 $TC(111) > 2$,如下定义 $T(111)$:

$$[0028] \quad TC(111) = \frac{I(111)}{I_0(111)} \left[\frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \frac{I(hkl)}{I_0(hkl)} \right]^{-1},$$

[0029] 其中

[0030] $(h \ k \ l) = (h \ k \ l)$ 反射的测量强度

[0031] $I_0(h \ k \ l) =$ 根据JCPDF卡号42-1489的标准粉末衍射数据的标准强度

[0032] $n =$ 在计算中使用的反射数,由此使用的 $(h \ k \ l)$ 反射是: $(1 \ 1 \ 1)$ 、 $(2 \ 0 \ 0)$ 、 $(2 \ 2 \ 0)$ 和 $(3 \ 1 \ 1)$ 。

[0033] 令人惊讶地发现,与现有技术相比,本发明的涂层切削工具表现出增强的耐间歇切削磨损性,特别是增强的耐热裂纹性。如本文中使用的术语“切削工具”包括可更换的切削工具刀片,可转位切削工具刀片,以及实心的切削工具。

[0034] 本发明结合了新型多层耐磨涂层结构,所述涂层结构包含氮化钛铝或碳氮化钛铝 $Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$ 的第一CVD涂层,随后是碳氮化钛 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 的第二MT-CVD涂层,所述第二MT-CVD涂层具有第二 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 层的具体优选的纤维织构,其中发现几何等价晶面 $\{111\}$ 优先平行于基底取向,在本文中表示为织构系数 $TC(1 \ 1 \ 1)$ 。

[0035] 根据本发明的最优选的实施方式,第一涂层和第二涂层紧邻着沉积在彼此上面,即不存在任何中间层。然而,本发明的范围还应包括包含存在于第一涂层与第二涂层之间的薄同晶 (isomorphous) 中间层的那些实施方式,条件是层序列的外延 (epitaxy) 和其余性质基本上不因这种中间层而改变。作为实例,中间层可以是 $5 \sim 30\text{nm}$ 的薄TiN或TiC层。

[0036] 在现有技术中,包含氮化钛铝或碳氮化钛铝的涂层以及碳氮化钛的涂层两者的CVD涂层是已知的,尽管其中这种涂层彼此直接接触的这种组合不是很常见的。然而,现有技术仅公开了具有碳氮化钛涂层和随后的氮化钛铝或碳氮化钛铝涂层的涂层序列。由于氮化钛铝或碳氮化钛铝涂层已知比碳氮化钛涂层具有更好的抗氧化性,所以认为具有含铝层作为外层的涂层序列是有利的。在现有技术中未公开根据本发明的相反涂层顺序,本发明的涂层序列是氮化钛铝或碳氮化钛铝的CVD涂层和随后的碳氮化钛的MT-CVD涂层。并且,除了本发明的第二 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 层之外,大多数现有技术的碳氮化钛涂层分别具有优选的生长取向或纤维织构。因此,现有技术中未公开并且非常令人惊讶的是,与由 $TC(1 \ 1 \ 1)$ 表示的第二 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 层的优选生长取向组合的这种涂层序列会具有关于耐间歇切削磨损性的优越特性和增强的耐热裂纹性。

[0037] 在本发明的涂层切削工具的一种优选实施方式中,第二 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层具有厚度 L 和平均粒径 (grain diameter) W , 并且比率 $L/W < 8$, 优选 $L/W < 5$ 。

[0038] 令人惊讶地发现,如果第二 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层的层厚度对平均粒径之比 L/W 小于8,则与具有现有技术的层厚度对平均粒径之比更高的 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层的涂层相比,在切削中、特别是在铣削操作中的耐磨损性显著地提高。根据本发明的低 L/W 比是通过将如在下面的实施例中给出的用于MT-TiCN的典型生长条件直接应用于第一 $Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$ 涂层上而获得的。令人惊讶地,第二 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层中晶粒边界的生长方向相对于常规涂层发生改变,导致晶粒变宽并从而形成具有较小 L/W 比的晶粒。将相同的生长条件应用于根据现有技术的涂布方案,导致更严格地朝向表面法线的晶粒边界生长方向,并由此得到 L/W 比 >8 的较窄的柱状晶粒。

[0039] 在本发明的涂层切削工具的另一个优选实施方式中,第二 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层的晶粒具有 $\geq 0.4\mu m$ 、优选 $\geq 0.7\mu m$ 、更优选 $\geq 1.1\mu m$ 的平均粒径 W 。

[0040] 令人惊奇地发现,如果第二 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层的晶粒的平均粒径 W 为 $0.4\mu m$ 以上,则与现有技术的具有粒径较小的晶粒的 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层相比,在切削中、特别是在铣削操作中的耐磨损性显著提高。这种令人惊讶的效果可能与相比于现有技术涂层在根据本发明的 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层中发现的每单位面积更小的晶粒边界数有关。显然,在 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层中,由于机械弱化和/或元素从工件材料到涂层中的扩散,使得在切削操作期间在晶粒边界处开始磨损和断裂。在大于 $3.5\mu m$ 的第二 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层厚度下,根据本发明的涂布方法产生 $\geq 0.7\mu m$ 的粒径。观察到,较慢的沉积速率有利于生长具有 $\geq 1.1\mu m$ 的平均直径的更宽晶粒,发现其在金属切削中具有好得多的性质。

[0041] 在本发明的涂层切削工具的另一个优选实施方式中,第一 $Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$ 涂层具有柱状晶粒形态并且第一 $Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$ 涂层的总纤维织构的特征在于,通过X射线衍射(XRD)极图测量或EBSD测量确定,来自 $\{111\}$ 晶面的最大衍射强度在与试样基底表面的法线成 $\alpha = \pm 20^\circ$ 、优选 $\alpha = \pm 10^\circ$ 、更优选 $\alpha = \pm 5^\circ$ 、还更优选 $\alpha = \pm 1^\circ$ 的倾斜角内出现。

[0042] 在第一 $Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$ 涂层的来自 $\{111\}$ 晶面的最大衍射强度与试样基底表面的法线的倾斜角大于 20° 时,发现第二 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层具有较不明显的柱状微观结构,和 $\Sigma 3$ 边界的量相对高的不利的晶粒边界取向。此外,与具有其它织构的 $Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$ 涂层相比,通过CVD沉积的具有 $\{111\}$ 晶体织构的 $Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$ 涂层表现出卓越的耐磨损性。考虑到第一 $Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$ 涂层的磨损性质对切削工具的整体性能的贡献,因此如果来自 $\{111\}$ 晶面的最大衍射强度发生在与表面的法线大于 20° 的倾斜角内则耐磨损性不足,在 $\alpha = \pm 20^\circ$ 的倾斜角内耐磨损性良好,在 $\alpha = \pm 10^\circ$ 的倾斜角内耐磨损性优异,在 $\alpha = \pm 5^\circ$ 的倾斜角内耐磨损性更优异,在 $\alpha = \pm 1^\circ$ 的倾斜角内耐磨损性最佳。

[0043] 在本发明的涂层切削工具的另一个优选实施方式中,在第二 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层中的 $\Sigma 3$ 型晶粒边界的长度小于其中 $N = 2n + 1, 1 \leq n \leq 28$ 的 ΣN 型晶粒边界(= $\Sigma 3-49$ 型晶粒边界)总和的总长度的60%,优选所述总长度的小于40%,更优选小于所述总长度的30%,所述晶粒边界特征分布是由EBSD测量的。

[0044] 即使在文献中已经描述了 $\Sigma 3$ 晶粒边界的量相对高的 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层显示出优异的耐磨损性,但是这些报道限于具有 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 作为下部涂层和通常氧化铝上部功能层的涂层方案。本发明的发明人此时令人惊讶地发现,在根据本发明的具有 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 作为第二涂层的涂层结构中, $\Sigma 3$ 晶粒边界长度的比例相对低的 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 显示出优异的结果。即使该机理尚未被了解,但本发明人发现,根据本发明制造的涂层具有小于总 $\Sigma 3-49$ 晶粒边界长度的

60%的 $\Sigma 3$ 晶粒边界长度。 $\Sigma 3$ 长度比例高于60%的涂层将显示出差的耐热裂纹性。此外,本发明人发现,具有小于40%的 $\Sigma 3$ 长度比例的涂层表现出优异的磨损行为,并且具有小于30%的 $\Sigma 3$ 长度比例的涂层显示更少的热裂纹。

[0045] 在本发明的涂层切削工具的另一个优选实施方式中,第二 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层的总纤维组织的特征在于组织系数 $TC(111) > 3.0$,优选 $TC(111) > 3.75$ 。

[0046] 在具有 $TC(111) > 3$ 的 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层的情况下,工具在铣削中显示更少的热裂纹,且此外,涂层从切削刃的剥落也更少。当 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层具有 > 3.75 的更高的组织系数 $TC(111)$ 时,观察到更少的剥落和热裂纹。

[0047] 在本发明的涂层切削工具的另一个优选实施方式中,第一 $Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$ 涂层的晶体和第二 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层的晶体具有同构的(isomorphic)晶体结构,优选面心立方(fcc)晶体结构。

[0048] 与第二 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层生长在具有非同构结构的第一层上的涂层相比,例如包含六方晶系AlN的 $Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$ 复合涂层,在两个涂层中都具有同构fcc晶体结构的涂层表现出更好的第二涂层在第一涂层上的粘附力。

[0049] 在本发明的涂层切削工具的另一个优选实施方式中,所述多层耐磨涂层包括在基底表面与第一 $Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$ 涂层之间的至少一个另外的耐火层,这种至少一个另外的耐火层选自Ti、Al、Zr、V和Hf中的一种或多种的碳化物、氮化物、碳氮化物、氧碳氮化物和硼碳氮化物或其组合,并且通过化学气相沉积(CVD)或中温化学气相沉积(MT-CVD)而沉积,优选地,所述至少一个另外的耐火层包括TiN层或由TiN层构成。

[0050] 特别优选的是,将厚度为约 $0.3 \sim 1.5 \mu m$ 的CVD TiN粘附层直接施加到基底表面上,随后施加第一 $Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$ 涂层和第二 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层。

[0051] 在本发明的涂层切削工具的另一个优选实施方式中,第一涂层由氮化钛铝或碳氮化钛铝 $Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$ 构成,其中 $0.6 \leq u \leq 1.0$, $0 \leq v \leq 0.1$ 且 $0.7 \leq w \leq 1.15$,优选 $0.8 \leq u \leq 1.0$, $0 \leq v \leq 0.05$ 且 $0.7 \leq w \leq 1.15$ 。

[0052] 已经发现,在铝含量 $u \geq 0.6$ 时,得到第二 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层的更显著的(111)优先取向。优选 $v > 0$ 的碳氮化钛铝涂层在复合结构中以纯的无定形态含有碳,或者更优选含有作为fcc- $Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$ 的成分的碳。在 $v > 0.1$ 的碳含量下,存在碳形成为石墨的风险,这导致涂层的机械削弱,并且在 $y > 0.05$ 的碳含量下,碳可能不会完全并入到fcc- $Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$ 中,但涂层可具有包括无定形碳的复合结构,这可导致涂层的韧性特性降低。

[0053] 定义和方法

[0054] 纤维组织和组织系数TC

[0055] 如本文中所使用的和如关于通过气相沉积产生的薄膜通常使用的术语“纤维组织”将生长的晶粒的取向与随机取向区分开。通常在薄膜和涂层中区分三种类型的组织:(i)随机组织,其中晶粒没有优选取向;(ii)纤维组织,其中涂层中的晶粒以使得如下的方式取向:发现一组几何等价晶面 $\{hk1\}$ 优先平行于基底取向,而在垂直于该晶面的纤维轴周围的晶粒具有旋转自由度,并由此优先垂直于基底取向;和(iii)在单晶基底上的外延对准(或面内组织),其中面内对准相对于基底固定晶粒的所有三个轴。

[0056] 晶体的晶面由米勒(Miller)指数 h, k, l 定义。表示优选生长的手段,即发现一组几何等价晶面 $\{hk1\}$ 优先平行于基底取向,是基于在各试样上测量的XRD反射的限定集合使用

Harris公式计算的织构系数 $TC(hkl)$ 。使用JCPDF卡将XRD反射的强度标准化,所述JCPDF卡指示相同材料如TiCN而取向随机如材料粉末的XRD反射的强度。结晶材料层的织构系数 $TC(hkl) > 1$ 表明,至少与用于确定织构系数TC的Harris公式中的XRD反射相比,结晶材料的晶粒以其 $\{hkl\}$ 晶面相比于随机分布更频繁地平行于基底表面的方式取向。

[0057] X射线衍射 (XRD) 测量

[0058] 在GE传感和检查技术 (Sensing and Inspection Technologies) 的 XRD3003PTS 衍射仪上使用CuK α -辐射进行X射线衍射测量。X射线管在40kV和40mA下以点聚焦的方式运行。将使用具有固定大小测量孔径的多毛细管准直透镜的平行光束光学器件用在初级侧上,由此以使得避免X射线束在试样涂布面上溢出的方式限定试样的照射面积。在次级侧上,使用具有0.4°的发散度和25 μ m厚的NTK β 过滤器的Soller狭缝。已经在20° < 2 θ < 100° 的角度范围内以0.04°的增量和1秒的计数时间进行了对称的 θ -2 θ 扫描。在XRD原始数据上,将薄膜吸收的强度校正应用于所有试样,这考虑了与块体材料的自然穿透深度相比的层的有限厚度。此外,对于其中在计算了TC的MT-TiCN层上方沉积另外的层的试样施加吸收校正。参见下面的方程式:

$$[0059] \quad I_{corr}^{TF} = \frac{I_0}{1 - \exp(-2\mu S / \sin \theta)}$$

$$[0060] \quad I_{corr}^{Abs} = \frac{I_0}{\exp(-2\mu S / \sin \theta)}$$

[0061] 在方程式中,S分别是其中将要对TC进行分析的层的厚度或吸收顶层的厚度。最后应用K α 2剥离 (Rachinger法)、本底扣除和5个测量点的抛物线峰拟合。为了计算MT-TiCN层的织构系数TC,应用由Harris [Harris, G.B., Philosophical Magazine Series 7, 43/336, 1952年, 第113-123 页] 提出的形式。在本文中,校正的净峰强度 I_{corr} 与从PDF卡42-1449 获得的相对强度 I_{pdf} 相关。

$$[0062] \quad TC^{(hkl)} = \frac{I_{corr}^{(hkl)}}{I_{pdf}^{(hkl)}} \cdot \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_1^n \frac{I_{corr}^{(hkl)}}{I_{pdf}^{(hkl)}} \right)^{-1}$$

[0063] 用于扫描电子显微镜 (SEM) 的试样制备

[0064] 在横截面上切削刀片,安装在固定器中,然后按如下处理:

[0065] 1. 用Struers Piano220砂碟用水打磨6分钟

[0066] 2. 用9 μ m的MD-Largo金刚石悬浮液抛光3分钟

[0067] 3. 用3 μ m的MD-Dac金刚石悬浮液抛光3:40分钟

[0068] 4. 用1 μ m的MD-Nap金刚石悬浮液抛光2分钟

[0069] 5. 用OP-S胶体二氧化硅悬浮液抛光/蚀刻至少12分钟

[0070] (胶体二氧化硅的平均粒度 (grain size) = 0.04 μ m)

[0071] 在SEM检查之前,将样品进行超声清洗。

[0072] CVD涂层

[0073] 在具有1250mm高度和325mm直径的Bernex BPX 325S型径向流动反应器中制备CVD

涂层。

[0074] EBSD和 Σ 型晶粒边界

[0075] 晶粒边界对材料性质例如晶粒生长、蠕变、扩散、电学、光学以及最后但并非最不重要的机械性能具有显著影响。要考虑的重要性质例如是材料中晶粒边界的密度,界面的化学组成,和晶体织构即晶粒边界平面取向和晶粒错位(misorientation)。由此,重合位点晶格(CSL)晶粒边界起重要作用。CSL晶粒边界的特征在于多重度指数 Σ ,其被定义为在晶粒边界处相遇的两个晶粒的晶格位点密度与当叠置两个晶格时重合的位点的密度之间的比率。对于简单的结构,通常认为,具有低 Σ 值的晶粒边界具有低界面能和特殊性质的趋势。因此,对特殊晶粒边界的比例和从CSL模型推断的晶粒错位分布的控制被视为对陶瓷的性质和增强这些性质的方式是重要的。

[0076] 近年来,已经出现了称为电子背散射衍射(EBSD)的基于扫描电子显微镜(SEM)的技术并且已经用于研究陶瓷材料中的晶粒边界。EBSD技术基于由背散射的电子产生的Kikuchi型衍射图案的自动分析。所述方法的综述由如下文献提供:D.J.Prior,A.P.Boyle,F.Brenker,M.C. Cheadle,A.Day,G.Lopez,L.Peruzzo,G.J.Potts,S.M.Reddy,R.Spiess,N.E.Timms,P.W.Trimby,J.Wheeler,L.Zetterstrom,The application of electron backscatter diffraction and orientation contrast imaging in the SEM to textural problems in rocks(电子背散射衍射和SEM中的取向反差成像对岩石中织构问题的应用),Am.Mineral.84(1999)1741-1759。对于待研究的材料的各晶粒,在检索相应的衍射图案之后确定晶体取向。商购获得的软件通过使用EBSD使得织构分析以及晶粒边界特征分布(GBCD)的确定相对不复杂。将EBSD应用至界面允许对边界的大试样群体表征晶粒边界的错位。通常,错位分布与材料的加工条件有关。通过常用的取向参数如欧拉(Euler)角、角/轴对或Rodriquez矢量实现晶粒边界的错位。CSL模型被广泛用作表征工具。在过去十年中,已经出现了称为晶粒边界工程(GBE)的研究领域。GBE旨在通过开发改进的工艺条件来增强晶粒边界的晶体学,并且以此方式获得更好的材料。EBSD最近被用于表征硬质涂层,参考文献参见H.Chien,Z.Ban,P. Prichard,Y.Liu,G.S.Rohrer,“Influence of Microstructure on Residual Thermal Stresses in TiC_xN_{1-x} and $\alpha-Al_2O_3$ Coatings on WC-Co Tool Inserts(微结构对WC-Co工具刀片上的 TiC_xN_{1-x} 和 $\alpha-Al_2O_3$ 涂层中的残余热应力的影响),”Proceedings of the 17th Plansee Seminar(第17次普兰西会议的进展)2009(编辑:L.S.Sigl,P.Rodhammer,H.Wildner, Plansee Group,奥地利)第2卷,HM 42/1-11。

[0077] 为了制备用于EBSD测量的试样,随后使用平均粒度分别为 $3\mu m$ 和 $1\mu m$ 的金刚石浆料对试样的涂层表面进行抛光。然后,使用平均粒度为 $0.04\mu m$ 的胶态二氧化硅对试样进行抛光。手动进行最后的抛光步骤,并且逐步增加抛光时间,直到试样品质足够好以进行EBSD成图,即,在典型的50~100帧/秒的扫描速率下在平均置信指数(CI) >0.2 的条件下完成EBSD图案的检索。精确的制备条件将取决于各个试样和设备,并且能够容易地由本领域技术人员确定。抛光通常除去 $MT-Ti_xC_yN_{1-y}$ 外层的 $0.5\mu m\sim 2\mu m$,如通过在制备之前和之后测量帽罩(calotte)部分所确定的,使得第二 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 涂层的剩余厚度为初始层厚度的50%~90%。与剩余的层厚度相比,电子衍射图案的信息深度较小(在几十纳米的数量级上)。注意确保抛光的表面光滑并与原始涂层表面平行。最后,在EBSD检查之前,对试样进行超声清

洗。

[0078] 在清洗后,通过配备有EBSD (EDAX Digiview)的SEM (Zeiss Supra 40VP)对抛光的表面进行分析。通过使用足够小的步长将聚焦的电子束定位在形成六边形网格的测量点上来按序收集EBSD数据。试样表面的法线相对于入射光束倾斜 70° ,并且在15kV下进行分析。将高电流模式与 $60\mu\text{m}$ 或 $120\mu\text{m}$ 的孔一起应用。在抛光表面上进行获取,其中测量网格的步长选择为比在测量之前获取的SEM图像粗略估计的平均晶粒宽度小至少5倍,从而确保获得每个晶粒的 ≥ 25 个数据点的平均值。从该粒度的初步估计,由EBSD图覆盖的表面积被定义为足够大以包括至少10000个晶粒,从而确保用于评估织构和错位的足够的晶粒统计。

[0079] 为了降低噪声,作为净化程序,应用具有晶粒公差角度 5° 和取决于粒度为5或10个测量点的最小粒度的晶粒CI标准化,随后进行晶粒扩张。清理后图中的晶粒数在所有情况下都远高于10000。

[0080] 对于重合位点晶格 (CSL) 边界 (Σ 晶粒边界) 的分类,所使用的角度公差 Δ 对应于 Brandon 标准 $\Delta = K/\Sigma^n$ ($K=15, n=0.5$)。由此确定其中 $N=2n+1, 1 \leq n \leq 28$ 的 ΣN 型 CSL 边界 (= $\Sigma 3-49$ 型晶粒边界) 的比例。

[0081] $\text{Ti}_x\text{C}_y\text{N}_{1-y}$ 涂层的厚度L和平均粒径W的测量

[0082] 为了本发明的目的,在涂层的冒罩截面或抛光横截面的光学显微镜或电子显微镜图像上测量 $\text{Ti}_x\text{C}_y\text{N}_{1-y}$ 涂层的层厚度L。通过EBSD测量根据上面给出的程序和定义在平面抛光试样上获得平均粒径W。抛光后的剩余层厚度为初始层厚度的 $50\% \sim 90\%$,即在初始层厚度的 $50\% \sim 90\%$ 的高度处测量平均粒径W。

[0083] 在SEM中检查根据本发明的 $\text{Ti}_x\text{C}_y\text{N}_{1-y}$ 涂层的抛光横截面显示柱状微结构。能够假设,基本上所有突出到层的外表面的柱状晶粒在第一 $\text{Ti}_{1-u}\text{Al}_u\text{C}_v\text{N}_w$ 涂层与第二 $\text{Ti}_x\text{C}_y\text{N}_{1-y}$ 涂层之间的界面上成核。因此,层厚度大致对应于 $\text{Ti}_x\text{C}_y\text{N}_{1-y}$ 涂层的晶粒长度。

[0084] 同构晶体结构

[0085] 为了本发明的目的,术语“同构晶体结构”是指即使单位晶胞尺寸可因在化学组成不同的晶体中存在的所涉及原子的不同尺寸而不同,晶体也属于相同的空间群。作为根据本发明的实例, $\text{Ti}_{1-u}\text{Al}_u\text{C}_v\text{N}_w$ 晶体和 $\text{Ti}_x\text{C}_y\text{N}_{1-y}$ 晶体可以具有同构晶体结构如面心立方 (fcc) 晶体结构。

实施例

[0086] 实施例1: 试样制备和分析

[0087] 将硬质合金切削工具基底主体 (组成: 90.5 重量%的WC、 1.5 重量%的TaC/NbC和 8.0 重量%的Co; 几何形状: SEHW1204AFN) 放置在装料盘上并且在具有 1250mm 高度和 325mm 直径的Bernex BPX 325S 型径向流动CVD反应器中进行涂布。

[0088] 将用于沉积根据本发明的涂层 (涂层1和2) 和用于比较例 (涂层3) 的实验条件示于表1中。根据本发明的和比较例中的所有涂层均以薄的TiN粘附层开始。根据本发明的第一 $\text{Ti}_{1-u}\text{Al}_u\text{N}_w$ 涂层和第二 $\text{Ti}_x\text{C}_y\text{N}_{1-y}$ 涂层直接沉积在彼此之上而没有任何中间层或成核步骤。

[0089] X射线衍射 (XRD) 测量和织构系数

[0090] 如本文中所述的,通过XRD分析涂层的最外 $\text{MT-Ti}_x\text{C}_y\text{N}_{1-y}$ 层,并且确定TiCN的 (h k l) 反射的 (1 1 1)、(2 0 0)、(2 2 0) 和 (3 1 1) 的织构系数。对XRD原始数据应用薄膜校正。

将结果示于表2中。

[0091] 元素组成的EDS分析

[0092] 对于TiC和TiN分别使用JCPDF卡号32-1383和38-1420,通过 EDS确定和通过应用 Vegard定律从XRD峰位置确定涂层中的 $Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$ 和 $Ti_xC_yN_{1-y}$ 层的元素组成。将结果示于表3中。实验误差估计为 ± 3 原子%。

[0093]

表 1: 涂层的实验条件

涂层编号	层顺序	层厚度 [μm]	涂布时 间 [分钟]	压力 [kPa]	温度 [$^{\circ}\text{C}$]	气体浓度 [体积%]					
						H ₂	N ₂	TiCl ₄	AlCl ₃	CH ₃ CN	NH ₃
1(发明)	TiN	0.4	90	15	850	55.0	44.0	1.03	0	0	0
	$Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$	8.0	150	0.35	710	98.7	0	0.03	0.23	0	1.1
	MT- $Ti_xC_yN_{1-y}$	4.5	120	7.5	800~835(升温)	86.9	10.9	1.77	0	0.47	0
2(发明)	TiN	0.4	90	15	850	55.0	44.0	1.03	0	0	0
	$Ti_{1-u}Al_uC_vN_w$	2.5	75	0.35	675	98.7	0	0.03	0.23	0	1.1
	MT- $Ti_xC_yN_{1-y}$	2.8	90	7.5	823~850(升温)	86.9	10.9	1.77	0	0.47	0
3(比较)	TiN	0.5	55	16	900	59.8	39.1	1.1	0	0	0
	MT- $Ti_xC_yN_{1-y}$ *	5.0	26	6	870	55.2	41.4	2.7	0	0.7	0
			66	9		85.0	12.8	1.7	0	0.5	0

*在 2 个连续沉积条件下沉积的

[0094] 表2:涂层的最外MT-Ti_xC_yN_{1-y}层的织构系数

(h k l)反射	织构系数(TC)		
	1号涂层	2号涂层	3号涂层
1 1 1	3.85	3.53	1.05
2 0 0	0.03	0.01	0.53
2 2 0	0.01	0.04	1.46
3 1 1	0.11	0.42	1.06

[0096] 表3:Ti_{1-u}Al_uC_vN_w和Ti_xC_yN_{1-y}层的元素组成

[0097]

	Ti _{1-u} Al _u C _v N _w	Ti _x C _y N _{1-y}
1号涂层	Ti _{0.13} Al _{0.87} C ₀ N _{1.13}	TiC _{0.56} N _{0.44}
2号涂层	Ti _{0.16} Al _{0.84} C ₀ N ₁	TiC _{0.57} N _{0.43}
3号涂层	-----	TiC _{0.55} N _{0.45}

[0098] EBSD分析

[0099] 表4显示了关于EBSD测量和数据处理及结果的细节。

[0100] 对于重合位点晶格 (CSL) 边界 (Σ 晶粒边界) 的分类, 使用的角度公差 Δ 对应于 Brandon 标准 $\Delta = K / \Sigma^n$ ($K=5, n=0.5$)。由此确定其中 $N=2n+1, 1 \leq n \leq 28$ 的 ΣN 型 CSL 边界 (= $\Sigma 3-49$ 型晶粒边界) 的比例。

[0101] 已经在 $5^\circ \sim 62.8^\circ$ 的范围内对错位角度进行了评估, 所述范围分别由用于清理中的晶粒公差角和立方对称的最大可能的错位角度所限制。通过以 $5^\circ \sim 62.8^\circ$ 的 50 个间距 (pitch) 即 1.16° 的增量在错位角度上绘制晶粒边界长度的比例, 由此仅考虑分布中的识别晶粒之间的边界, 从而对晶粒边界错位的分布进行评估。将所获得的测量的 (相关的) 错位分布的直方图与通过 OIM 分析软件计算的不相关 (织构衍生的) 分布进行比较。对于错位角度的各个间距, 已经计算了相关的错位角度数量比例与不相关的数量比例的偏差。已经发现, 对于根据本发明的 Ti_xC_yN_{1-y} 层, 所有间距的偏差按因子小于 10。相比之下, 根据现有技术的层的测量错位角度分布在 60° 处显示出非常显著的尖峰, 数量比例比不相关的数量比例高 10 倍以上, 这对应于高的 $\Sigma 3$ 边界量。

[0102] 表4:EBSD测量和数据处理

涂层编号	1	2	3
沉积的 TiCN 层的厚度[μm]	4.5	2.8	5.0
用于 EBSD 测量的抛光后 TiCN 层的厚度[μm]	3.2	1.8	3
EBSD 绘图和清理参数			
图形尺寸[$\mu\text{m}\times\mu\text{m}$]	150 \times 150	75 \times 75	40 \times 40
步长[μm]	0.075	0.05	0.05
点数	4621155	2600367	739662
平均 CI	0.45	0.34	0.23
用于清理的最小粒度[像素]	10	5	5
通过清理校正的点数	85193	110461	100144
通过清理改变的点的比例	0.018	0.042	0.135
清理后的 EBSD 数据			
平均粒径[μm]	1.16 \pm 0.64	0.44 \pm 0.25	0.30 \pm 0.13
平均晶粒面积[μm^2]	1.38 \pm 1.49	0.20 \pm 0.23	0.084 \pm 0.08
层厚度/平均粒径	3.9	6.4	16.7
CSL 边界的总比例($\Sigma 3$ - $\Sigma 49$)*	0.18	0.27	0.41
$\Sigma 3$ 边界的比例*	0.05	0.10	0.29
比例 ($\Sigma 3$ 数量比例 / 所有 CSL($\Sigma 3$ - $\Sigma 49$) 边界的数量比例)*	0.27	0.39	0.70
MD=取向差异相对于校正的数量比例的最大偏差**/**	2.8	8.1	17.1

[0104] *仅有在识别晶粒之间的边界

[0105] **以 $5^\circ\sim 62.8^\circ$ 的50个间距即 1.16° 的增量计算的错位的数量比例

[0106] 铣削试验

[0107] 将具有1号、2号和3号涂层的切削工具刀片在如下铣削应用中进行检验：

[0108] 工件材料： 灰铸铁 DIN GG25
 操作： 干铣削
 每齿进给： $f_z=0.2$ mm
 切削深度： $a_p=3$ mm
 设置角： $k=45^\circ$
 切削速度： $v_c=283$ m/分钟

[0109] 在4800mm的铣削距离上以800mm的步长观察主切削刃上的最大侧面磨损 $V_{B最大}$ 的发展以及梳状裂纹的数量。在表5中，示出了在铣削距离上的 $V_{B最大}$ 的发展以及在4800mm处梳状裂纹的数量。

[0110] 在铣削试验中，根据本发明的涂层显示出显著更高的抗侧面磨损性、以及显著更高的抗热机械冲击性，如不发生梳状裂纹所显示的。

[0111] 表5: 铣削试验结果

铣削距离[mm]	最大侧面磨损 $V_{B最大}$		
	1号涂层	2号涂层	3号涂层
0	0	0	0
800	0.02	0.04	0.06
1600	0.04	0.06	0.10
[0112] 2400	0.04	0.08	0.18
3200	0.06	0.10	0.22
4000	0.08	0.12	0.28
4800	0.12	0.14	0.40
4800 mm 后的梳状裂纹	0	0	5