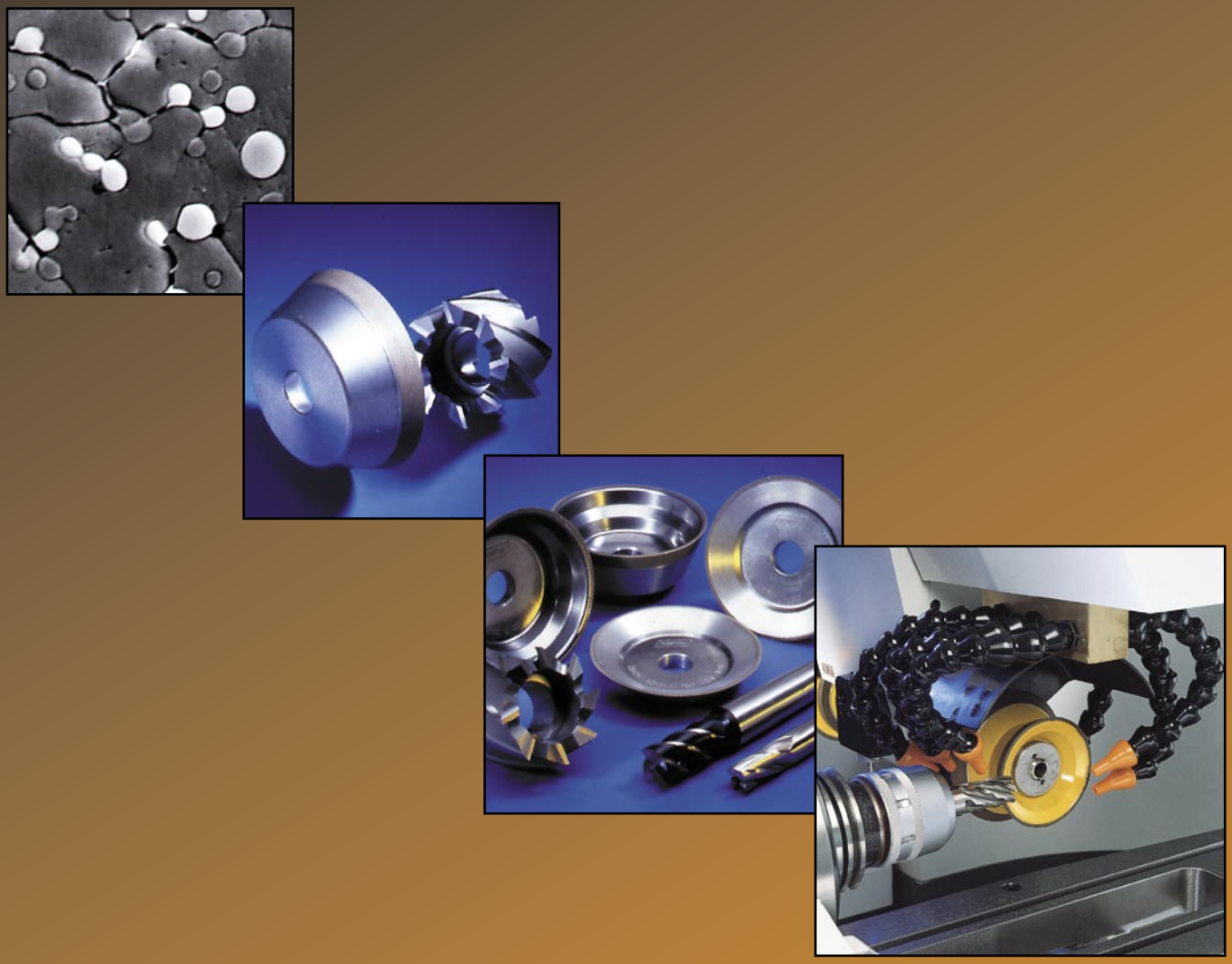
高速钢的

磨削



ERASTEEL

Erasteel培训

序言

高速钢(HSS)用于制造切削刀具已超过100年。它的高合金含量使它具有韧性和耐磨性的高性能组合，但这也使它比普通低合金工具钢更难磨削。这对于要求既达到高质量并获得高生产率这一目标来说是一项特殊的挑战。

因此，要获得连贯成功的结果，需要一个对磨削知识的深入了解及更具有应用此知识去磨削高速钢的技能。

此小册子提供一个磨削高速钢的仔细说明。它从一个砂轮的各个组成和砂轮标志的名词术语谈起，解释摩擦磨损和砂轮磨损的机制，与它们如何影响磨削过程。其次，它描述了四种不同类型的“磨烧伤”，并给出如何避免它和改善磨削效果的忠告。它叙述了“可磨削性-GRINDABILITY”，这个名词并给出法国Erasteel 公司各高速钢种的可磨削性及推荐使用的砂轮类型。它显示如何粉末冶金影响可磨削性。最后它有一段详细的困难解疑去帮助用户改善磨削过程和质量。

Archives INATP, Collection Meillassoux

先进磨削现在是一种高科技的现代技术操作，但是现代和过去一样，磨削更多是一种技巧。早期的巴黎磨刀匠知晓正确的磨削能磨出一个更锋利的刃口和较长的刀具寿命。

内容表

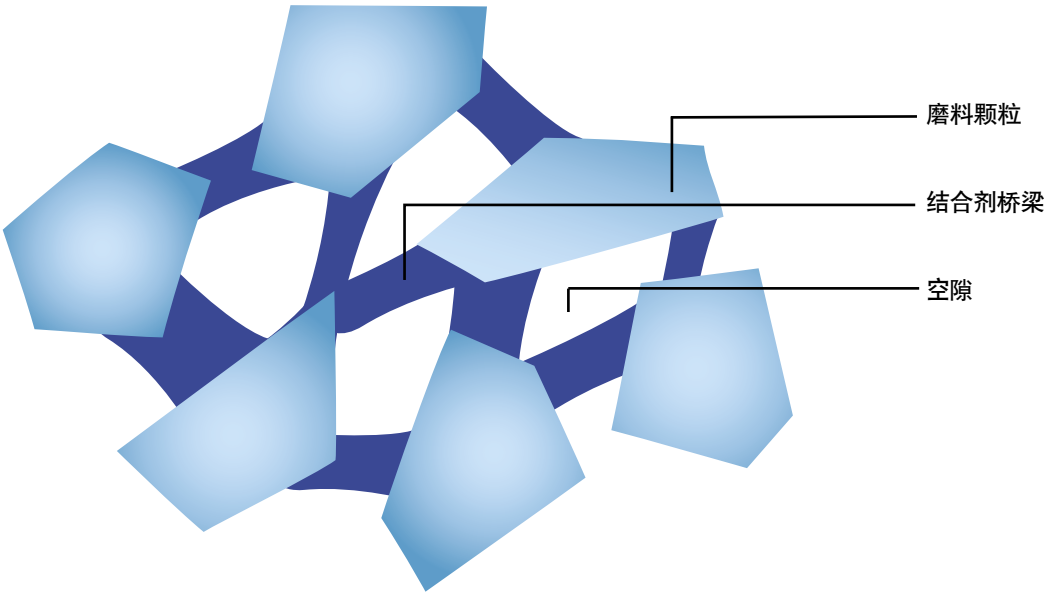
砂轮的基础知识	4
磨削如何工作	7
砂轮磨损	8
HSS的成分和磨削	10
热损伤和“磨烧伤”	13
切削液	18
砂轮的修整和修利	20
金属切除率和切屑厚度	21
可磨削性	23
磨削粉末冶金(P/M)HSS	24
砂轮的选择	27
困难解疑	28
可磨削性表	31

砂轮的基础知识

一个砂轮含有三种基础组成成份：

- *磨料*
- *结合剂*
- *空隙*

磨料（此处指磨料颗粒）是进行切削作用的硬材料。它由结合剂固定在其位置上。空隙简单说是固定于砂轮内的空气孔洞。空隙对传送冷却剂到磨粒—工件界面和为形成切屑提供空间位置是很重要的。陶瓷结合剂砂轮具有较多的自然空隙。树脂和金属结合剂砂轮则几乎没有自然空隙。



一个砂轮的三个组成成份:磨料，结合剂和空隙

成份

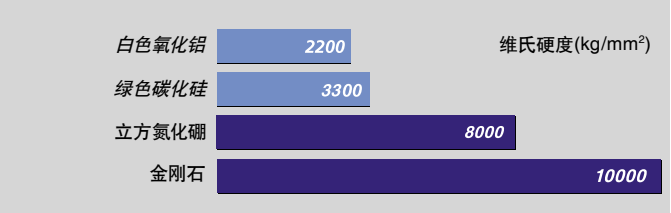
砂轮的成份和此三种组成成份的相对百分比决定了砂轮在使用时的表现。一个特定砂轮的细节能在它的标识上找到，此标志遵守标准的砂轮标识制度。此节给出的下列标识是用于普通磨料的砂轮，对超硬磨料的砂轮，其标识是有一点不同的。

磨料类型 (i)

下列字母指出使用的磨料种类：

A	白色氧化铝 (Al_2O_3)
C	绿色碳化硅(SiC)
B	立方氮化硼(CBN)
D	金刚石

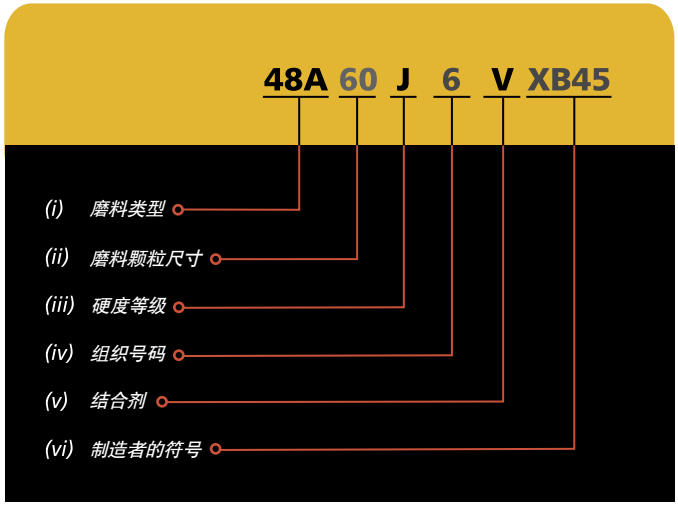
氧化铝和碳化硅是作为普通磨料。立方氮化硼(CBN)和金刚石是归为超硬磨料。要根据用途选用相应的磨料品种。通常用氧化铝去磨削高速钢。碳化硅，虽然较硬，目前很少用于磨削高速钢.具有高硬度和良好导热性的立方氮化硼在磨削高速钢上表现优越，特别在磨削含有较高合金的高速钢种上。但是它比普通磨料要昂贵得多，并对使用的机床有较多的要求。金刚石，尽管其硬度最高，是不适于磨削高速钢，因其抗热性较差，并对铁有化学作用。



各种磨料的硬度

在磨料种类代表字母前的数字指示这种磨料的确切品种(译者注：同为氧化铝还可细分为若干性能不同的品种)，但不同的制造厂采用不同的代表数字.例如氧化铝有很多品种.白色氧化铝是硬且脆，意味在磨削时它会破裂和"自励"，并暴露出新的切削刃口.而棕色氧化铝较韧，意味它较不易破裂。

"SEEDED-GEL溶胶－凝胶"或"SOL-GEL"磨料(译者注：NORTON公司代号为 SG)在近年获得普及。它们有这样一个结晶结构。在使用时发生极微小破裂，继续保持锋利，并使砂轮的磨损降到最低。

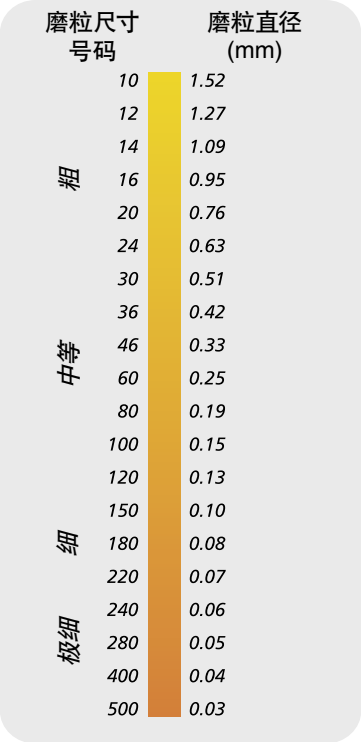


普通磨料砂轮的标识

磨料颗粒尺寸 (ii)

磨料颗粒(以下简称磨粒)尺寸的数字代表砂轮中磨粒的尺寸。它与在过筛时的每英寸网目数有关，一个较大的数字相应于一个较小的磨粒。一般来说，将磨粒尺寸的数字加倍将使磨粒平均直径降一半，结果为在被磨削表面上单位面积中磨粒数目增加4倍。

当磨削较软的材料和当砂轮—工件接触面积大时，用较粗磨粒的砂轮以获得较高金属切除率。它将获得一个较粗糙的表面粗糙度，此外能获得的最小形状半径也较大。当磨削较硬的材料和当接触面积较小时，选用较细磨粒的砂轮以获得高精度磨削。它将获得一个较光洁表面和一个较小的最小形状半径。



硬度等级 (iii)

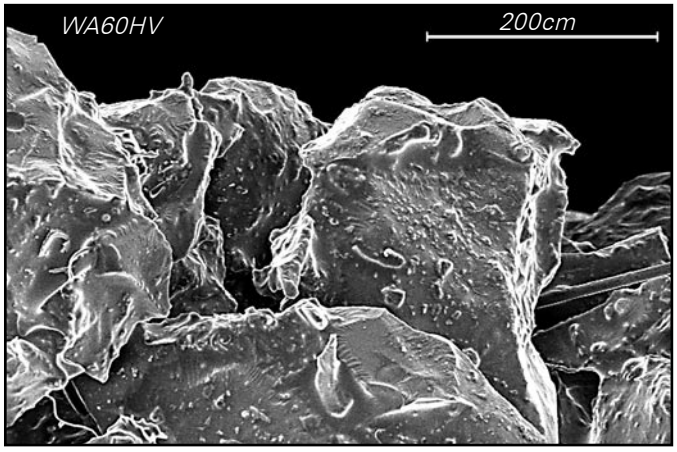
硬度等级指的是砂轮的"力量"或结合剂抓住磨粒到何等紧的程度。称之"砂轮硬度"有可能被误解，因为与磨料的硬度没有关系，就陶瓷结合剂砂轮来说，在一磨料含量固定的砂轮中，硬度等级是指结合剂和空隙在该砂轮中的相对比例。较高硬度等级的砂轮具有较多结合剂和较少的空隙，使它们工作时"较硬"。较低硬度等级的砂轮，具有较少的结合剂和较多的空隙，使它们工作时"较软"。对树脂结合剂和金属结合剂砂轮，它们几乎没有自然空隙，其硬度等级决定于结合剂的配方。

较硬的砂轮趋向能保持形状较好，但也更易产成烧伤，因磨粒在变钝时没有脱落。较软等级的砂轮趋向较易损失形状和不易产生烧伤，因磨粒在变钝时脱落，维持一个"自励"或"轻快一切削"的砂轮。

正确选择砂轮硬度等级决定于许多变数。较难磨削的材料会使砂轮快速变钝，因此它们需要一个较软的等级，以保持砂轮锋利。有一个较长切削弧(见第18页)长度的磨削，趋向用较软等级的砂轮，因较大的接触表面面积能将力量分配到各个磨粒上。

砂轮硬度标尺没有标准化，对不同的制造厂来说它们是不同的。但是在每一个制造厂的产品和砂轮类型中，硬度等级指明砂轮从一个等级到另一个等级的相对抓住磨粒的力量。

对某特定工作场合的最佳砂轮，需要在力量和锋利间找到平衡。它应足够的硬去维持形状，但又足够的软以使变钝的磨粒脱落。

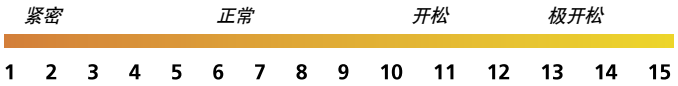


在一个砂轮中的磨粒。新修整的砂轮是锋利的，但在使用中它们变钝。选择一个较软等级的砂轮，意味较少的结合剂材料和较多的空隙，因此磨粒在变钝后它会脱落，构成一个"自励"的砂轮。

砂轮硬度等级。陶瓷结合剂较高硬度等级的砂轮含有较多的结合剂材料和磨削时"较硬"

组织号码 (iv)

组织号码指示在砂轮中磨粒间的距离，经常定义为磨粒在砂轮中的体积浓度。一个较小的组织号码是指一个较高磨料百分比和一个较"紧密"的组织。一个较大的组织号码是指一个较低磨料百分比和一个较"开松"的组织。如制造者不予注明，此组织号码经常在砂轮标识中被省略掉。一个开松组织的砂轮是用于便利磨屑的形成和冷却较重要的场合如顺送进磨削。



砂轮组织。开松结构的砂轮其磨粒间的相互间距比较大

结合剂(V)

结合剂的作用是将磨料颗粒固定在其位置上。最普通的结合剂为：

V	陶瓷
B	树脂
R	橡胶
M	金属

陶瓷结合剂砂轮是最最常用的，并用于普通磨料和超硬磨料两方面。它们是坚硬的(良好用于精密磨削)，具有一个空松的结构，且对高温不敏感。树脂结合剂砂轮不是空松的，较不坚硬(良好用于获得表面粗糙度较佳的工作)，有韧性(脆性小，良好用于重负荷磨削，高的磨削速度和可承受侧向力)，比陶瓷结合剂砂轮更对温度敏感。橡胶结合剂砂轮是用于加冷却液的切断工序，并构成一个表面粗糙度很佳的切口。金属结合剂砂轮经常用于超硬磨料。

制造者的符号 (Vi)

附加的数字和/或字母叙述使用的结合剂的特殊型号，每一个制造者有不同的代号。其它的数字符号，可进一步提供有关此砂轮的信息。

磨削如何工作

磨削是一种磨料进行切削的过程，此处磨粒像一个切削刀具工作而结合剂则起一个刀柄的作用。与车削和铣削相似，磨削是一个产生切削的过程。但此产生的切屑是极微小，和切削刃是众多、形状不规则，具有负前角，并且能“自励”。

在磨削时于磨粒和工件的界面上产生三种主要的相互作用：切削，耕犁和摩擦。此三个相互作用皆产生热量。

切削

切削是在磨粒的几个侧面上产生切削

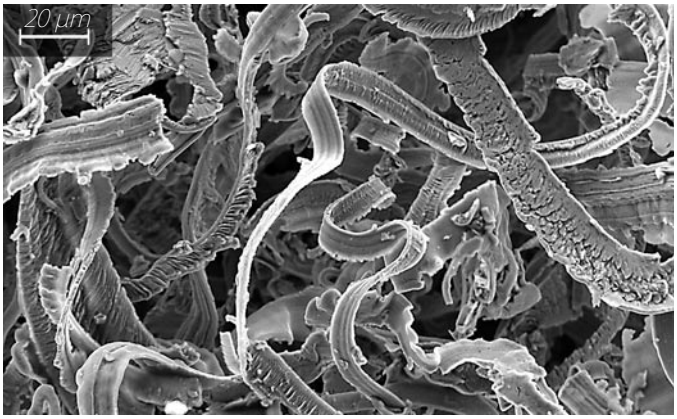
耕犁

耕犁为在磨粒的侧面和前面推挤工件材料。无工件材料被去掉，但耕犁使切屑得以方便形成。

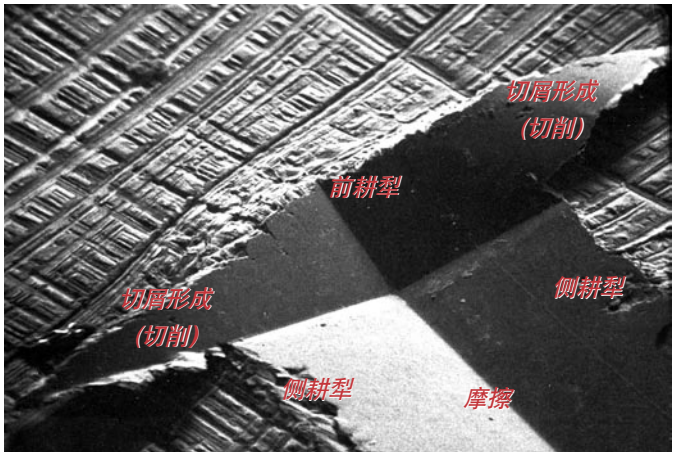
摩擦

摩擦为工件对磨粒的滑移。无工件材料被去掉。

在磨削中，所有上述三种相互作用在不同程度上产生。一个锋利的砂轮工作得很有效，有较高的比例为切削—产生较少的热量。一个已钝的砂轮工作时效率低，有较高的比例为耕犁和摩擦—产生较多的热量。



上：磨屑。磨削是一个产生切屑的过程(磨削M9V 高速钢，用WA46HV砂轮,1000x)



右图：在一个硬的角锥形磨粒被推过一个软的工件表面，同时显示三种类型的磨粒—工件相互作用：切削，耕犁和摩擦。

砂轮磨损

在刚修整过砂轮后，砂轮是锋利的，并工作得很有效，结果较高的比例为切削． 当磨削继续进行，磨粒的尖端变钝，这导致一个较高比例为耕犁和摩擦，结果为较高的动力消耗，它直接联系到增加产生的热量，较高的温度和磨烧伤。

砂轮的磨损有三种类型：

磨耗磨损 (i)

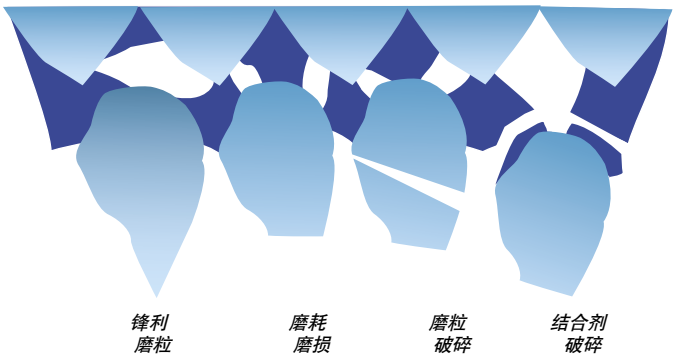
磨耗磨损发生在磨粒的尖端。虽然它仅相当于砂轮全部磨损的一个很小部分，由于它导致一个较高程度的热量产生，它负面影响砂轮的使用性能。它通常也称为磨损变平，或钝化，或变钝，糊住砂轮。CBN砂轮，由于CBN磨粒的高硬度，有一个慢得多的磨耗磨损。

磨粒破碎 (ii)

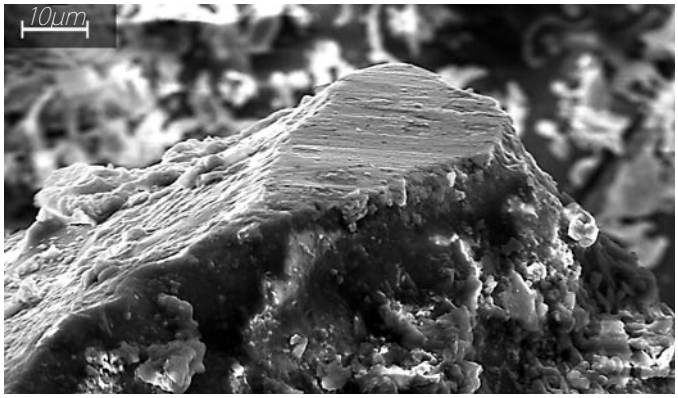
磨粒破碎是因砂轮磨料颗粒破碎而造成的砂轮磨损。当作用于磨粒上的应力超过其强度时发生。脆性磨料，如白色氧化铝是较容易产生磨粒破碎。“SG溶胶—凝胶”磨料较容易产生磨粒破碎，它沿它们的显微破碎面产生。

结合剂破碎 (iii)

结合剂破碎是砂轮由于结合剂部位的破碎而造成的砂轮磨损。它在当磨粒受到的应力超过结合剂桥的强度时发生。硬度等级较软的砂轮是更易于发生结合剂破碎砂轮磨损，因为它只有较少的结合剂材料去固定磨粒。



上：三种类型的砂轮磨损：磨耗磨损导致产生较大的热量，和较高的温度。它应为适当程度的磨粒破碎和结合剂破碎所平衡，以构筑一个“自励”的砂轮。



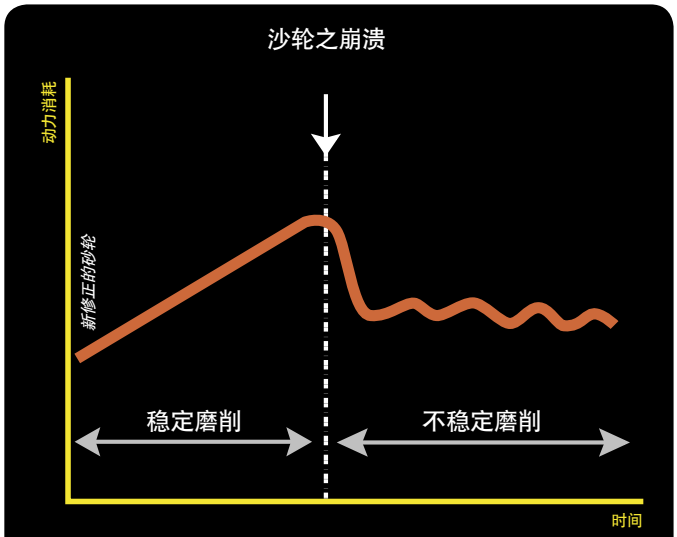
右：一个变钝的磨粒。砂轮的严重钝化，导致高的温度和磨烧伤。此46粒度，N硬度等级陶瓷结合剂的砂轮，对此工作是太硬了。

每一个良好工作的砂轮中，作用于变钝磨粒(i型磨损)上所增加的应力是由磨粒的强度和结合剂的强度来平衡，故这样变钝的磨粒破碎脱落，显露出新的，锋利的切削刃口。此过程是由于磨粒破碎(ii型磨损)或由于结合剂破碎(iii型磨损)所完成。这种类型的砂轮称为“自励”或“轻快—切削”砂轮。对磨损太快的砂轮，靠减少切屑厚度能降低磨粒破碎和结合剂破碎的速率(21页)。

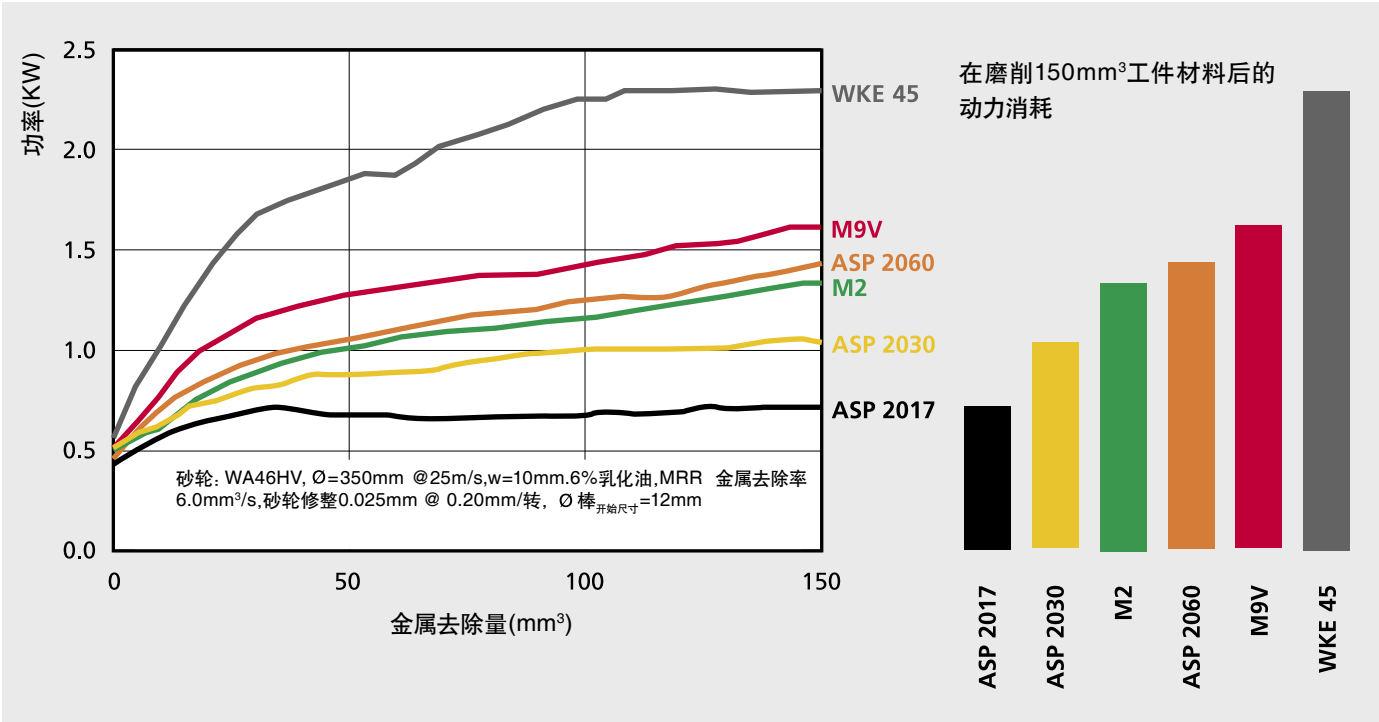
在低劣“自励”条件下，作用于磨粒上的力量达到一个临界点，砂轮磨损变得很厉害和不稳定(见旁边的图中竖虚线)。在这一点上，砂轮“崩溃”并失去其圆度，造成机床震动和不稳定的磨削。磨削操作不允许达到这一点。较高合金含量的高速钢钢种使砂轮在一个快的多的速率变钝，并较早到达此“崩溃”阶段。此外使用严重“填堵(糊死)”的砂轮于磨削将特别易于发生此现象。

钢的成份与磨削

砂轮磨损的速度是受磨削条件和钢材成份的影响。对高合金高速钢的磨削，由于其提高的硬度和大量硬碳化物，导致砂轮的迅速钝化和动力的消耗增加。例如，高合金的高速钢钢种在磨削开始时其动力消耗与低合金的高速钢种几乎是一样的，见图。当磨削进行时，高合金高速钢的动力消耗却快得多地增加。在经过一段时间后，一种钢种的动力消耗可比另一个钢种要大几倍。



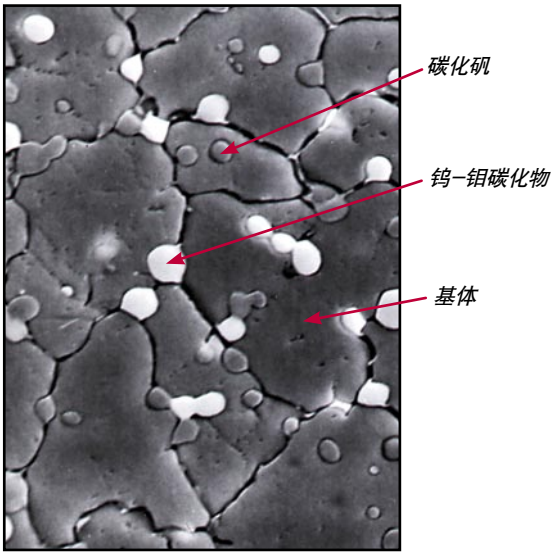
在磨削时动力消耗(或也可为磨削力和产生的热量)对磨削时间曲线。在修整砂轮后，此砂轮逐渐变钝。一旦作用于砂轮上的力达到一个临界值，砂轮磨损变得迅速而此砂轮“崩溃”。在这一点上，砂轮形状已不正确(它已丧失其圆度)和磨削变得不稳定。震动痕迹(颤震痕)在工件上产生，磨削的表面粗糙度很差。在达到此阶段前，砂轮应进行修整。



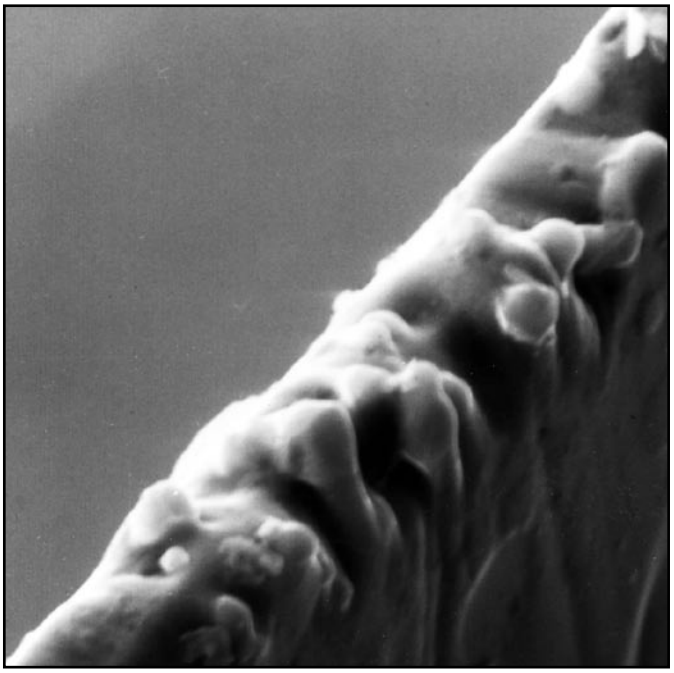
当用锋利的砂轮时，高合金高速钢和低合金高速钢使用大约相同的动力。当磨削进行时，高合金高速钢使砂轮变钝快得多。这点导致过度砂轮磨损，和如这里所示增加动力消耗，因此磨烧伤的危险也增加了。

HSS的成分和磨削

高速钢是由两个主要部分组成：含合金的铁-碳基体和碳化物。钨、钼和矾与碳化合形成硬的碳化物。如次页图中所示，它们的碳化物可以与磨粒的硬度一样或超过之。导致砂轮钝化和磨粒/结合剂破碎。一般说，一个较高的合金含量意味较多的碳化物及可磨削性的下降。

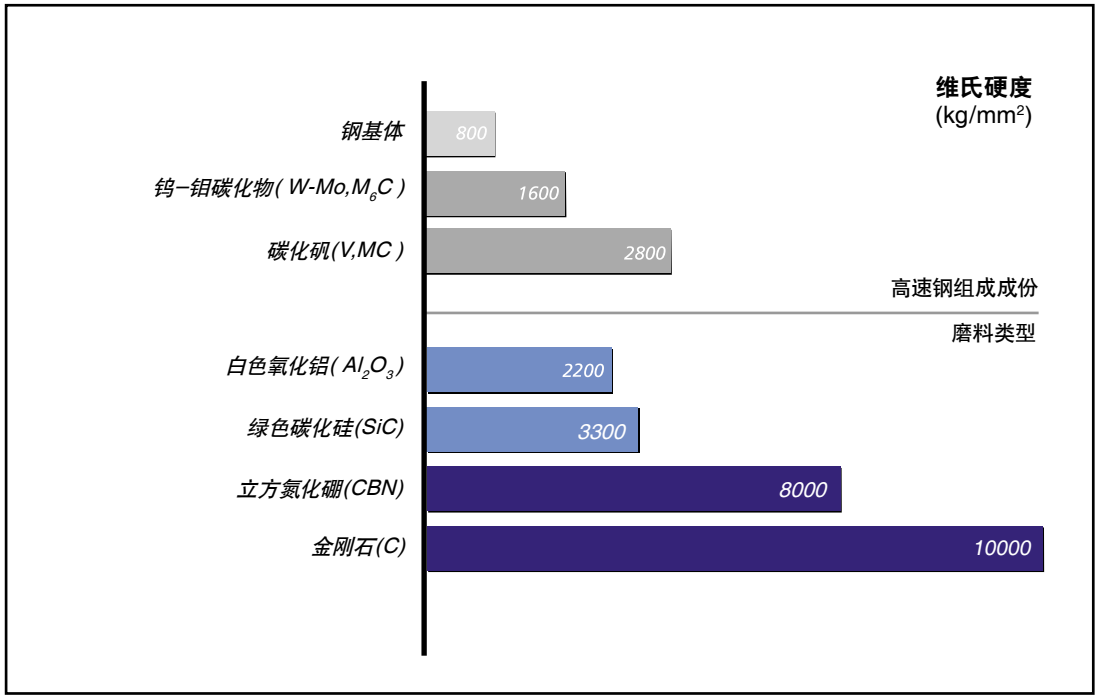


ASP 2030 P/M 粉末冶金高速钢中的碳化物和基体。



用ASP 2053 钢制造一个刀具刃口。碳化物使刀具耐磨，但也使它难磨削。

低合金高速钢的磨削比较容易得多，砂轮可在较长时间内保持锋利。高合金高速钢具有高百分比的碳化物，它们的磨削造成特殊的挑战。为获得在产生最少热量条件下的高生产率磨削，因此正确选择砂轮，修整情况，冷却剂和磨削参数是极为重要的。但是，即使是极良好的磨削操作，如推到生产率的极限，它也能导致统称为磨烧伤的热损伤。因此去了解不同类型的热损伤，它们在什么时候发生，如何能检查它，及去避免它们的战略等是极为重要的。



各高速钢组成成份和各类磨料的硬度

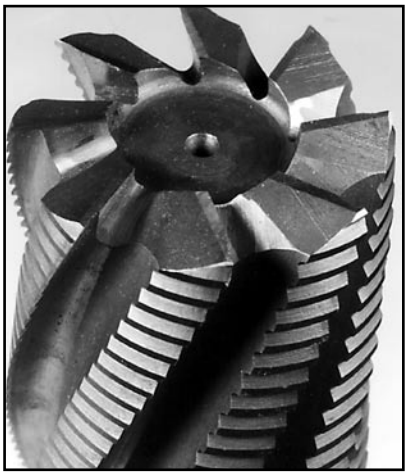
在热等静压后的ASP粉末冶金高速钢包套

热损伤和“磨烧伤”

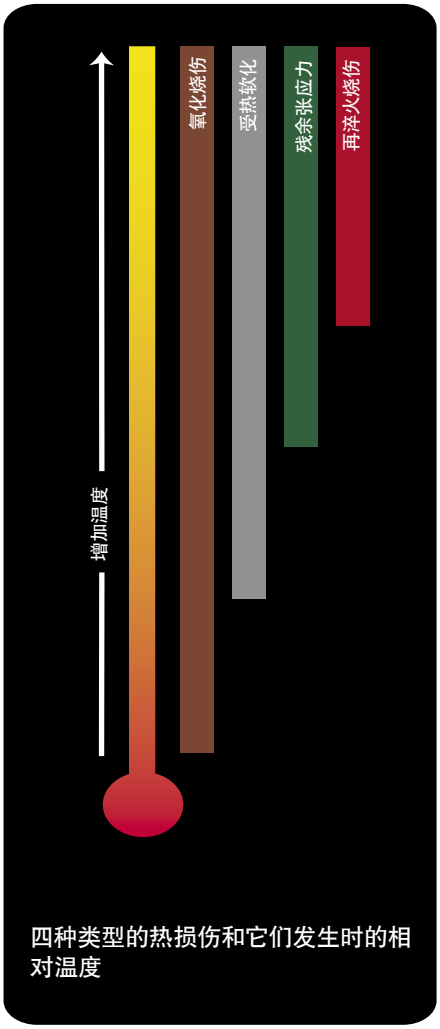
“磨烧伤”是一个松散用于描述任何一种在磨削时发生在工件上的热损伤。事实上，有几种类型的热损伤，各发生在一个不同的温度范围，且在不同程度上影响工件的质量。

四种类型的热烧伤为：

1型：　氧化烧伤
2型：　受热软化
3型：　残余张应力
4型：　再淬火烧伤



多数类型的热烧伤，在工件外表上目测看不到



四种类型的热损伤和它们发生时的相对温度

1型:氧化烧伤

1型氧化烧伤是在工件和/或冷却剂的氧化而造成。它在磨削的表面上留下薄薄的变色层。它也能在接近磨削区的未磨削表面上产生，因此处的温度由于热传导而很高。氧化烧伤有时只是表面变色，经常对工件未造成任何金属性能的损害，但此薄层能抑制任何以后的表面涂层。虽然在较高温度下它通常变得更严重。但并不指明是否发生了其它类型的热烧伤。

2型:受热软化

受热软化(过回火)发生在当工件之温度超过回火温度时。它产生一层硬度降低的过回火材料。它将对工具的强度和效能产生负面影响。

此图显示如何工件的硬度随向材料深度的加深，所受热损伤的影响。它有两种类型的热损伤。第一，在距表面0.1mm深(红色)是硬度提高的再淬火烧伤区(4型)。然后从0.1-0.4mm深(灰色) 是受热软化区(2型)，其硬度降低。超过0.4mm深(黑色)，工件的硬度未受影响。虽然在这里受热软化和再淬火烧伤两者都看到，但受热软化经常不伴随发生再淬火烧伤，因受热软化在一个较低的温度开始。

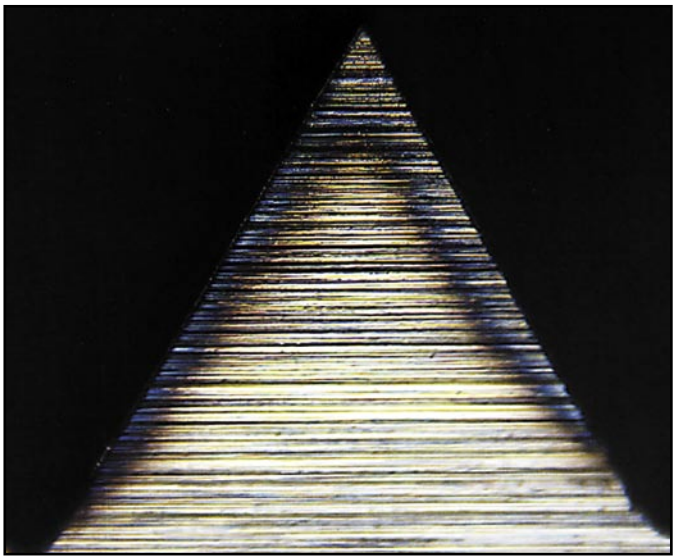
3型：残余张应力

在轻磨削时，由于磨料颗粒作用于工件表面产生塑性变形，使工件表面处于残余压应力状态。像喷丸一样，它能提高工件材料性能，最显著在疲劳寿命上。但是当生产效率增加时，温度也提高，伴随着残余张应力开始出现。

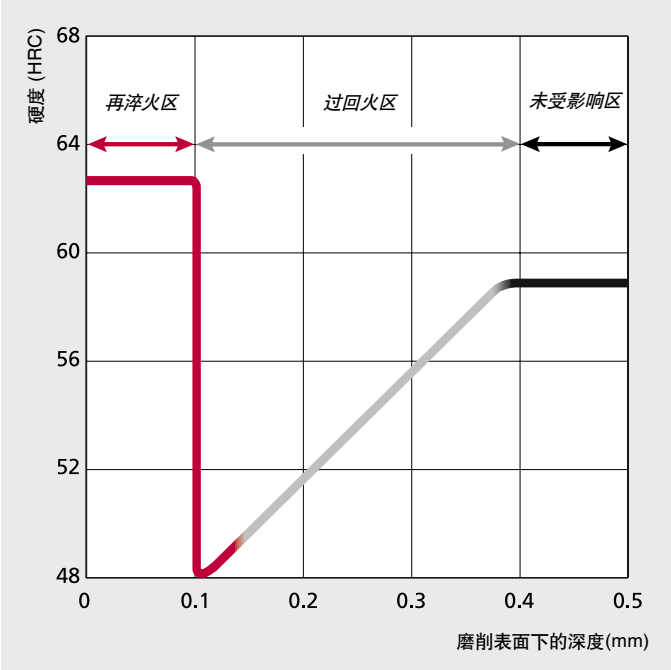
残余张应力是因磨削时表面的受约束热膨胀而造成。在冷却后，此表面处于张应力状态。在适度的情况下，残余张应力负面影响工具寿命。在极严重情况下，它造成工具在磨削后破裂。其深度和严重程度决定于磨削达到的温度及工件材料的性能。假设裂纹未立即存在，残余应力可用在磨削后再回一次火来消除。用来检查残余张应力的方法为用X-射线衍射，酸腐蚀和Barkhousen噪音。

4型：再淬火烧伤

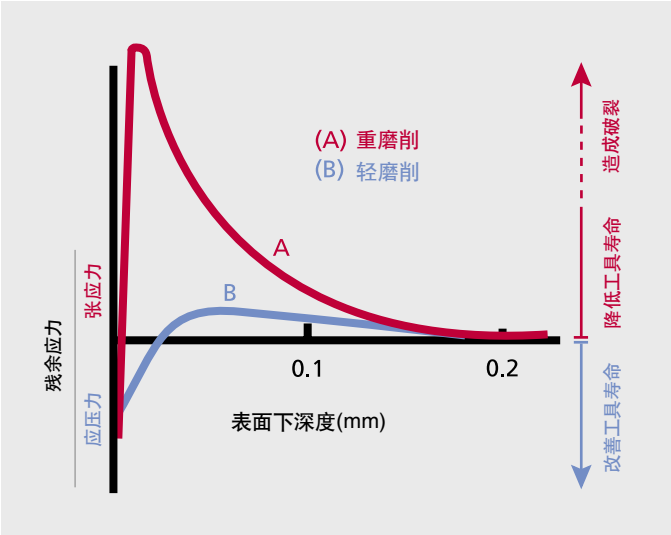
当工件的表面温度超过其奥氏体化温度时产生再淬火烧伤。在冷却时造成工件材料的一个金属相转变。它产生了一薄层的硬且脆的未回火马氏体。此状态被二次残余应力进一步加重，它是由新形成的组织的密度变化所造成。这是最严重的热损伤形式并经常导致工具的破裂。



一个丝锥上氧化烧伤。在磨螺纹时，热传导至此前刃面而造成变色。它并不指明是否存在其它类型的热损伤。



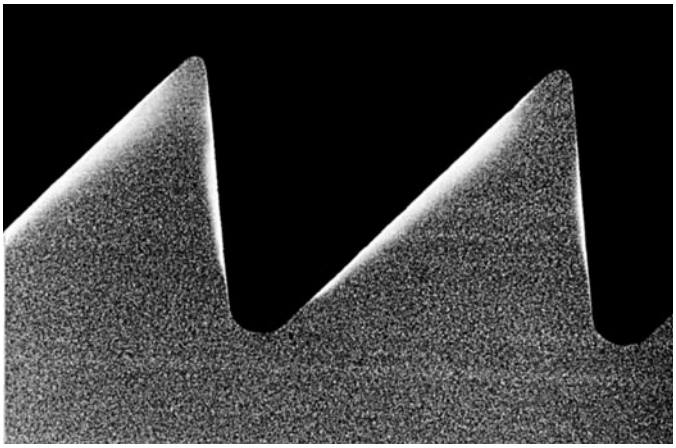
硬度对深度曲线显示4型和2型的热损伤。在工件表面上是一层再淬火烧伤，它的下面是一层过回火材料。



残余应力对距工件表面的深度曲线。残余压应力存在于所有磨削的试样。残余压应力改善工具寿命。残余张应力降低工具寿命并能造成工具立即破裂

减轻热损伤

即使在极佳化的磨削条件下，追求高生产率意味热损伤总是一个危险。挑战在于如何保持温度低的条件下获得高生产率和稳定一致的质量。降低温度可通过下列措施得到(I)减少产生的热量(II)减少进入工件的热量如采用有效冷却。下列各节解释一些磨削中与效率和产生热量有关的基础概念，和给出一些改善磨削工作和减少热损伤危险的建议。



在一把螺纹铣刀上的再淬火烧伤。白色部分显示在那里有一个相转变发生于此材料内。

在英国Peak-Stranage角的早期磨房用石磨轮。

切削液

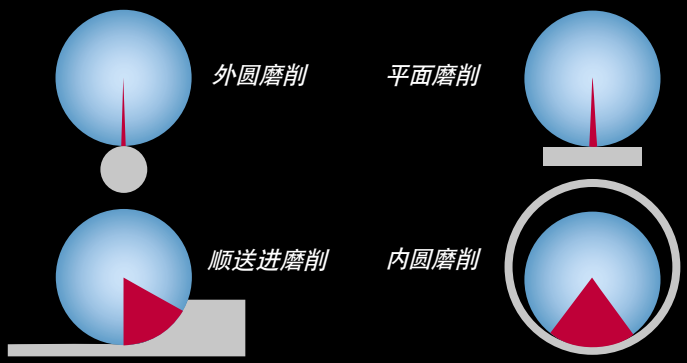
切削液的三种主要目的是：

- *冷却工件*
- *在砂轮磨粒–工件界面上提供润滑*
- *冲去磨屑*

一般说来，水基乳化液提供好的冷却，但润滑性能差。而切屑油提供好的润滑，但冷却能力差。一般偏向采用乳化液因出于健康和生态方面的考虑。

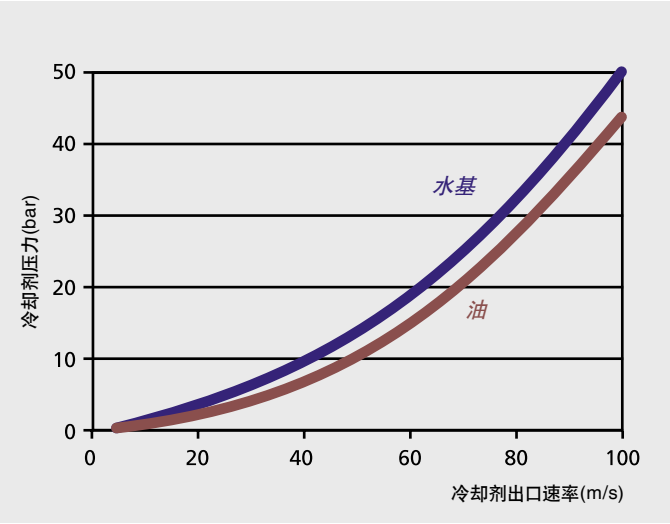
冷却的有效性在很大程度上决定于切削弧的长度。具有一个较长切削弧的磨削操作，如顺送进磨削具有一个较大的接触面积可供热量直接传送到切削液。所以切削液可吸收一大部分的热量。这些操作从有效冷却而得益甚大。具有一个较短切削弧的操作，如外圆磨削。有一个较小的接触面积可供热传送。所以此时切削液只能吸取一小部分的热量。这类操作并不能从有效冷却中得益多少，此处切削液的主要好处在润滑。

具有较长切削弧的磨削操作，从有效冷却得益甚大。此外，切削弧的长度很大影响砂轮的最佳硬度等级。一个较长的切削弧将磨削力分布在一个较大接触面积上。这意味每颗磨粒受较小的力，故可用一个较软硬度等级的砂轮

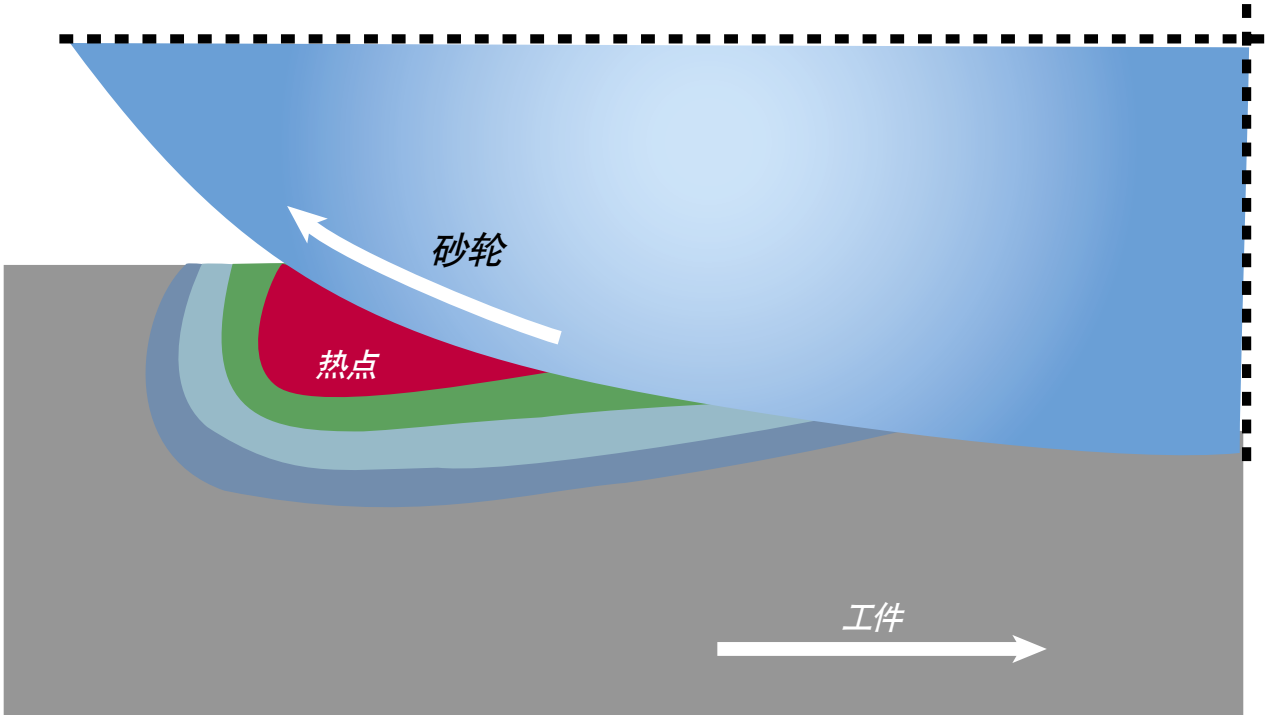


热点为在砂轮—工件界面的温度最高处。冷却的有效性依赖于冷却剂能否冲破围绕砂轮的空气屏障而进入在接触面积上的热点。若冷却剂的速度能接近砂轮的表面速度，冷却剂便可突入空气屏障，而能达到上述要求。这意味一个具有高冷却剂喷出速度并良好瞄准的喷嘴比一个流量大的冷却剂更重要。较高的冷却剂喷射速度需要较高的压力(见右图)，因此冷却剂喷嘴的设计很重要。它必须有一个尺寸适当的喷嘴出口。一个尺寸太大的喷嘴出口，将造成系统的压力下降，这导致低的喷射速度。

另一种技术为将冷却剂压入砂轮的空隙，这样砂轮将带着它在砂轮速度下进入切削区。但是这一点对履行它很困难和需要附加的机床动力去加速冷却剂。



冷却剂压力对冷却剂出口速度曲线。为有效冷却，冷却剂出口速度应与砂轮表面速度相匹配。



热点为温度最高区域。有效冷却需要冷却剂穿入到磨粒间，让砂轮将它拖到热点。

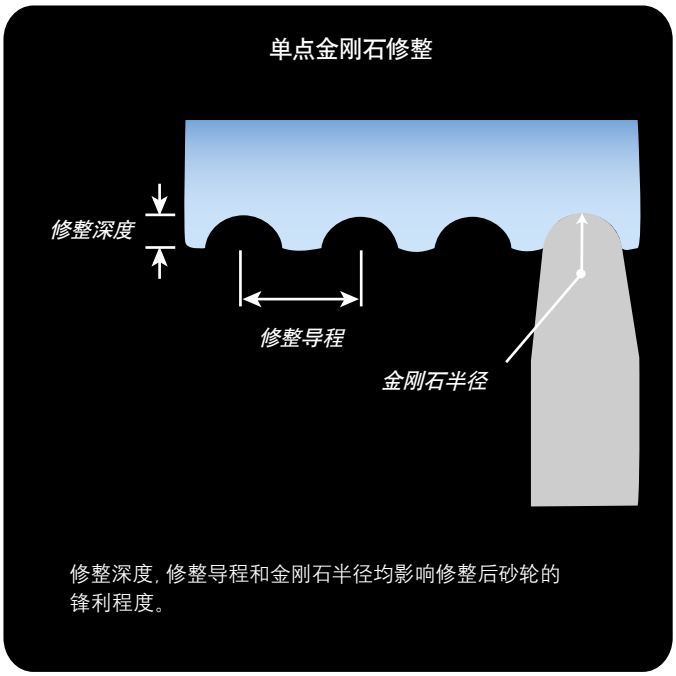
砂轮的修整和修利

在磨削前对砂轮的准备包括修整和修利。修整涉及从旋转的砂轮上去掉一点几何形状失真部分使其旋转时外圆不偏心。这也可包括使砂轮具有一个所需形状的成形工作。修利涉及在砂轮工作表面上构成一个特定的形貌以获得所需的磨削作用。

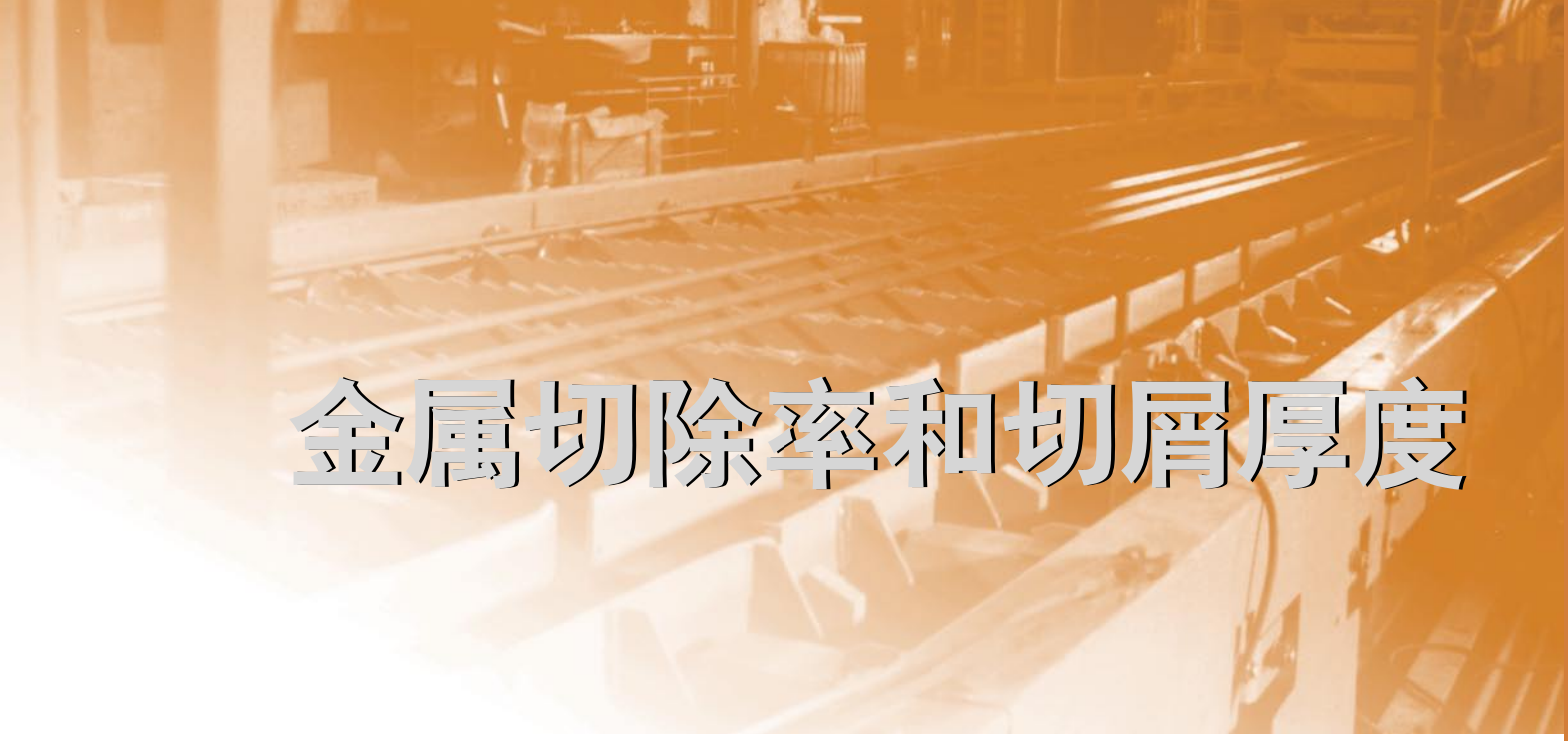
对树脂结合剂的超硬磨料砂轮，修整和修利正常时分开进行。在大多数其它情况下，它们是在同一过程中进行，通常简单称之为修整。有不同的方法去修整砂轮。两个最通用的方法为单点金刚石修整和金刚石滚轮修整。

在单点金刚石修整中，修整深度，修整导程和金刚石半径均影响砂轮表面的最后形貌。一个较大的修整深度和一个较大的修整导程，二者构成一个较粗的砂轮表面。但是修整导程经常有更显著的效果，并经常被忽略，当使用适当，它也能在砂轮上形成一个螺旋线，此螺旋线能便利冷却液流动。修整用金刚石的尖端半径也是重要的，并经常被忽视。在多次重复使用后，金刚石也变钝，产生一个较大的半径。这导致一个较钝的砂轮。因此修整用金刚石应经常旋转，以保持其锋利。另一个方法为用多点金刚石(链型，层型分布及其它)是经常有利的和更适用于自动化的生产。

旋转金刚石修整为一个有许多金刚石嵌入其金属基体中的滚轮。它经常用于去展成某一定形状的砂轮。有很多参数影响其效能。如修整深度、砂轮每转的送进量，小停顿时间和速度比等。一个较大的每转的送进量，也称之为切入速度，产生一个较粗的砂轮。小停顿时间和磨削时的一个精光走刀的作用一样，产生一个较细的砂轮。速度比是修整轮的表面速度与砂轮表面速度之比。若二者在同一方向运动则比值为(+)。一个数目(+1)意味它们的速度相同产生一个挤碎作用。实验证明，在多数情况下，在速度比为(+0.8)时，可产生最佳的修整，并获得一个较粗的砂轮。



修整深度，修整导程和金刚石半径均影响修整后砂轮的锋利程度。



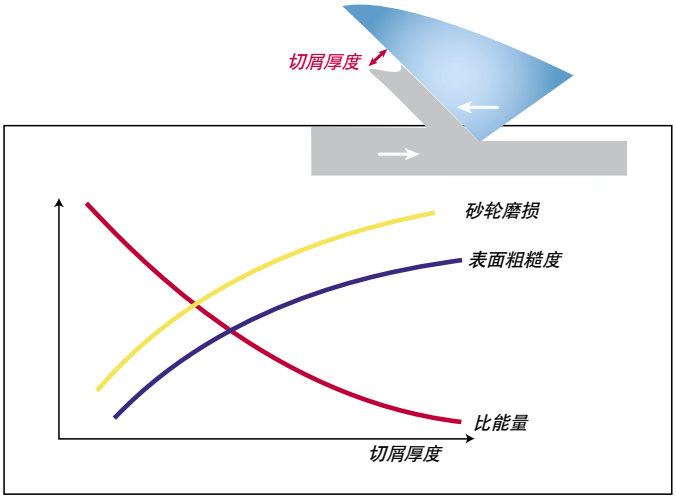
金属切除率和切屑厚度

金属切除率，也称留量切除率是指在单位时间内切除的材料数量(以mm^3/s表达)。增加切削深度，工件速度或切削宽度意味增加金属切除率。在实际中，金属切除率是在可能条件下增加到最高，以达到较高生产率。

金属切除率经常是以单位砂轮宽度计，并称为比金属切除率(以$mm^3/mm/s$表达)。增加比金属切除率增加切屑厚度。

切屑厚度是形成的切屑的平均厚度。虽然在磨削时切除的切屑是不规则形状，此平均切屑厚度对一组给定条件相对稳定不变。一个较大的切屑厚度可由下列达到：

- **增加切削深度**
- **增加工件速度**
- **降低砂轮速度**



切屑厚度对磨削有重要的影响，并能改变，以达到一个所需的结果。

一般来说，一个较大的切屑厚度相应于：

- **一个较粗的表面粗糙度**
- **增加砂轮磨损和丧失正确形状**
- **较佳的砂轮自励性**
- **一个较低的比能量(specific energy)**

比能量是单位体积去除的材料所产生的热量(以焦耳/mm^3-J/mm^3表达)具有低比能量的磨削工作得有效和产生较少热量。锋利的砂轮，它大部份为切削和少部分为摩擦和耕犁，产生较低的比能量和较低产生的热量。

在磨削时产生的功(和热)为金属切除率和比能量的乘积

功(w) = 金属切除率(mm^3/s) X 比能量(J/mm^3)

因此在磨削时散入工件的热量能靠下述减少

(1) 减少比金属切除率(一个轻柔磨削)

(2) 降低比能量(用较大的切屑厚度，一个锋利的砂轮，一个较粗的砂轮修整和其它)。

例如，降低砂轮速度产生一个较大切屑厚度，因此有较低比能量和较少产生的热量。不能兼顾的权衡是增加砂轮磨损(和自励)和一个较粗的表面粗糙度。相反，一个较慢的工件速度产生一个较小的切削厚度和较佳的表面粗糙度。

可磨削性

“可磨削性”此词用于描述磨削一种材料时的相对容易程度。由于在成分和硬度上的差异，不同的HSS钢种在它们磨削时，按照如何容易或如何难磨削的说法，可以相差甚远。

可磨削性可包含一种材料在高温由于金属学性质受热损伤的敏感性。更重要是，可磨削性是最好用G-比值来描述，特别当用普通磨料磨削时。G-比值的定义为在磨削时被磨掉的材料体积除以砂轮损失的体积。

G-比值的意义不是在所消耗的砂轮费用，而是更多在钢的成份对磨粒切削性能的影响。高合金HSS具有数目众多的硬碳化物，它使砂轮迅速变钝，结果增加产生的热量和砂轮磨损。它给出一个较低G-比值和较差的可磨削性。具有低G-比值的高速钢需要用较低的速度和进给量进行磨削，砂轮也要经常修整(以保持锋利和形状)。这造成一个较长的工作循环时间，低合金高速钢具有较高的G-比值，它能用较高的速度和进给量进行磨削。因砂轮钝化和砂轮磨损慢，它们需要较少的砂轮修整次数，结果为较短的工作循环时间和对工件质量的较佳控制。

为这些理由，CBN砂轮经常用于具有低可磨削性的高合金高速钢。CBN磨粒是显著比HSS钢中的碳化物硬度高，使砂轮能保持其锋利性。此外CBN有一个较高的热传导率，因此热量除从工件上传走，并进入砂轮，进一步减少热损伤的危险。

在本小册子结尾处的图显示ERASTEEI公司生产的各种HSS基于G-比值和实际经验的相对可磨削性，因为G-比值是一个测试过程参数，它依赖于众多变数。但是在实际情况下，各高速钢钢种间的相对可磨削性等级排列是一般保持一致性。图中可磨削性数值是相对于M2钢材的数值而言。此等级排列是对用普通磨料磨削而得。当用超硬磨料磨削时，不同高速钢钢种间的可磨削性差别要小一点。

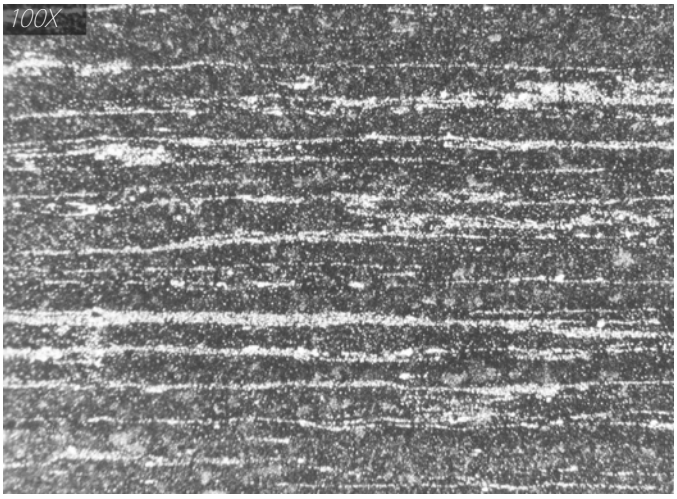
P/M(粉末冶金)HSS的磨削

用通常方法和用P/M方法生产的高速钢，它们在金属学特徵上的差别意味它们在磨削时表现的巨大差别。

HSS,当用通常方法生产时，含有大的碳化物，它钝化砂轮。在冶炼凝固时碳化物凝聚成较大的堆，造成的碳化物不均匀性，使此问题进一步加剧。

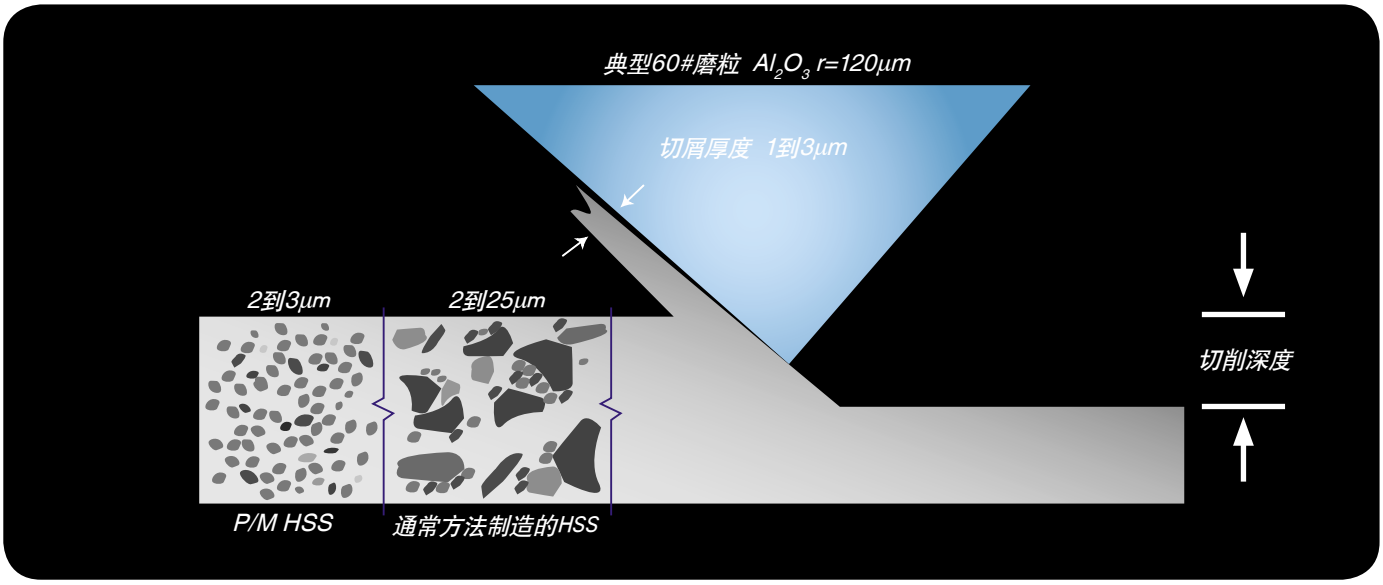
HSS,当用P/M方法生产时，含有小得多的碳化物。在磨削时使砂轮保持锋利和磨损较少。此外，P/M法的快速凝固速度使碳化物尺寸极细，碳化物分布均匀，钢材的碳化物不均匀性几乎没有。

这意味对某一指定的合金含量，用P/M方法生产比用通常方法生产的HSS要容易磨削很多。此相对的优点随合金含量的增加而增加。当用普通磨料磨削，比用超硬磨料磨削，此利益是大大显著。



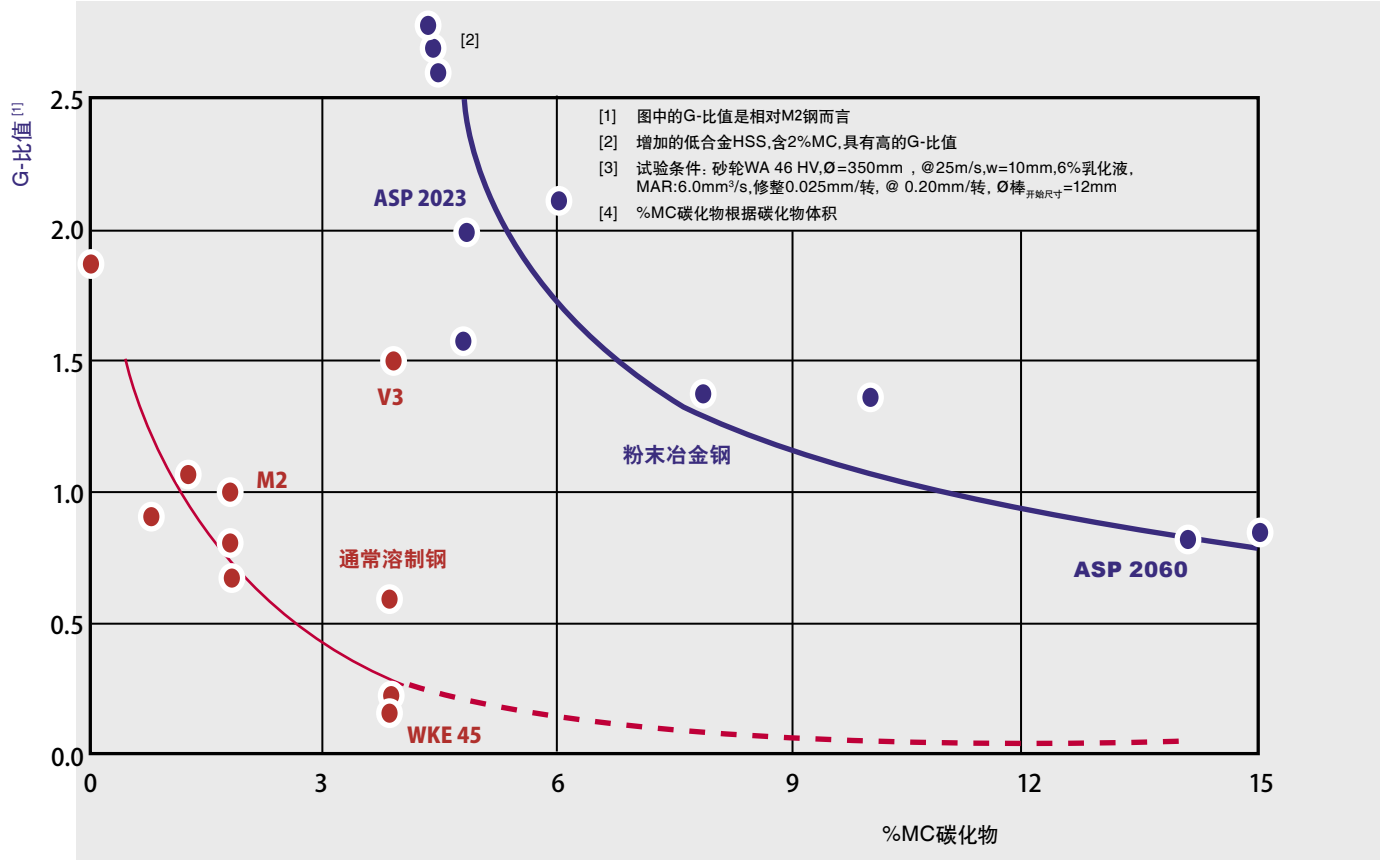
通常方法生产的高速钢含有大的碳化物且堆聚在一起。

P/M HSS 具有细小的均匀分布的碳化物。



当磨削P/M HSS 和通常方法制造的HSS时磨粒，碳化物和切屑的尺寸

随P/M冶金方法的发展，能生产较高合金含量的HSS钢种。它可获得由于碳化物增加而增加的耐磨性这个好处，但仍保持钢的韧性，对于两种方法生产的HSS,其可磨削性均随合金含量的增加而下降。但是在某给定的合金含量下，P/M HSS的可磨削性优于通常方法生产的HSS。下面的图显示P/M和通常方法生产的HSS，其合金含量增加对G-比值的影响。例如，ASP 2023常用作M2钢的升级钢种。它比M2钢有高得多的碳化物含量，特别是较硬的碳化矾。尽管如此，ASP 2023仍比M2钢要好磨削得多。



G比值对硬MC(碳化矾)百分比曲线。对一给定的碳化物含量。P/M钢总是比用通常方法生产的钢易磨削。

高速钢的铸锭

砂轮的选择

对某一具体磨削过程选择合适的砂轮有赖于众多变数，如工件材料，工件的尺寸，装卡的刚性，速度和进刀量，修整情况，冷却剂的施用，所需的工件表面粗糙度及尺寸公差等。

在下表中给出的砂轮是基于砂轮制造厂的推荐，这些推荐仅能视作起始点。进一步的优化应结合此具体磨削过程的特点，与砂轮供应商合作。此表中列入了Slip Naxos', Norton[2] 和Tyrolit[3] 等3家砂轮制造厂。

	低合金 (M50) (ASP 2017)	中等合金 (M2) (ASP 2030)	高合金 (WKE45) (ASP2060)
磨沟槽	B91 R100 B3(1) 57A 100U B(2) M10A 802S 8 25(3)	B91 R100 B3(1) 23A 100U B(2) M10A 802S 8 B25(3)	B91 R100 B3(1) SG 100U B(2) M10A 802S 8 B25(3)
磨后角	B91 R100 B3(1) M10A 802S 8 25(3)	B91 R100 B3(1) M10A 802 S8 B25(3)	B91 R100 B3(1) M10A 802 S8 B25(3)
磨螺纹	48A 100 G VZ(1) 430A 100 G VQP(1)* 38A 100L V(2) 86A 100L V(2) 89A 1802 J2 V112(3)	48A 100 G VZ(1) 430A 100 G VQP(1)* 32A 100L V(2) 89A 1802 J2 V112(3)	48A 100 G VZ(1) 430A 100 G VQP(1)* SG or TG 100L V(2) 89A 1802 J2 V112(3)
磨钻头刃尖	B91 R100 B6(1) 57A 100U B(2)	B91 R100 B6(1) 23A 100U B(2)	B91 R100 B6(1) SG 100U B(2)
无心磨削	53A 60 L VZ(1) 820A 60 L VQ(1)* 57A 60L V(2) 64A 60L V(2)	53A 60 L VZ(1) 820A 60 L VQ(1)* 23A 60L V(2) 53A 60L V(2)	53A 60 L VZ(1) 820A 60 L VQ(1)* SG or SGP 60L V(2)
磨外径	48A 54 J VZ(1) 420A 54 J VQ(1)* 99A 802 K5 V121(3)	48A 54 J VZ(1) 420A 54 J VQ(1)* 99A 802 K5 V121(3)	48A 54 J VZ(1) 420A 54 J VQ(1)* 99A 802 K5 V121(3)
磨内孔	48A 80 J9 VZ(1) 420A 80 J9 VZ(1)* 32A 100K V(2) 32AA 100K V(2) 51B 91C 75 B75(3)	48A 80 J9 VZ(1) 420A 80 J9 VZ(1)* SG 100K V(2) 51B 91C 75 B75(3)	48A 80 J9 VZ(1) 420A 80 J9 VZ(1)* SG or TG 100K V(2) 51B 91C 75 B75(3)
磨平面	48A 46 G VZ(1) 420A 46 G12 VQP(1)* 53A 60J V(2) 51B 126 C50 B54 VIB(3)*	48A 46 G VZ(1) 420A 46 G12 VQP(1)* 32A or 32AA 60J V(2) 51B 126 C50 B54 VIB*(3)	48A 46 G VZ(1) 420A 46 G12 VQP(1)* SG or TG 60J V(2) 51B 126 C50 B54 VIB(3)*

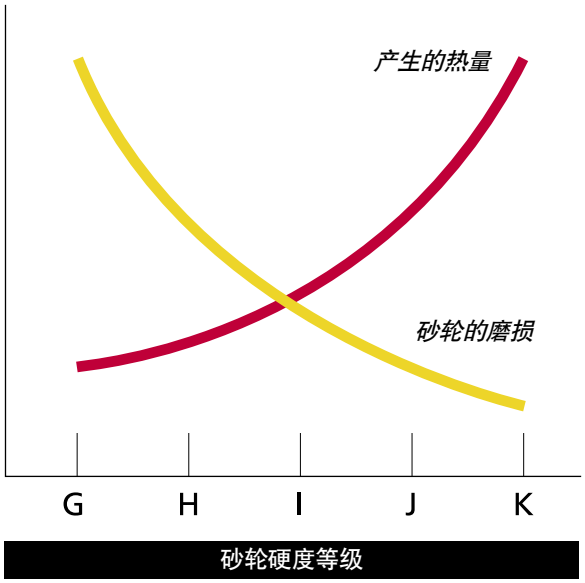
** 用于刚性好的机床。对某些磨削操作，砂轮制造厂给出不止一项的选择。*

[1] SlipNaxos
[2] Norton
[3] Tyrolit

困难解疑

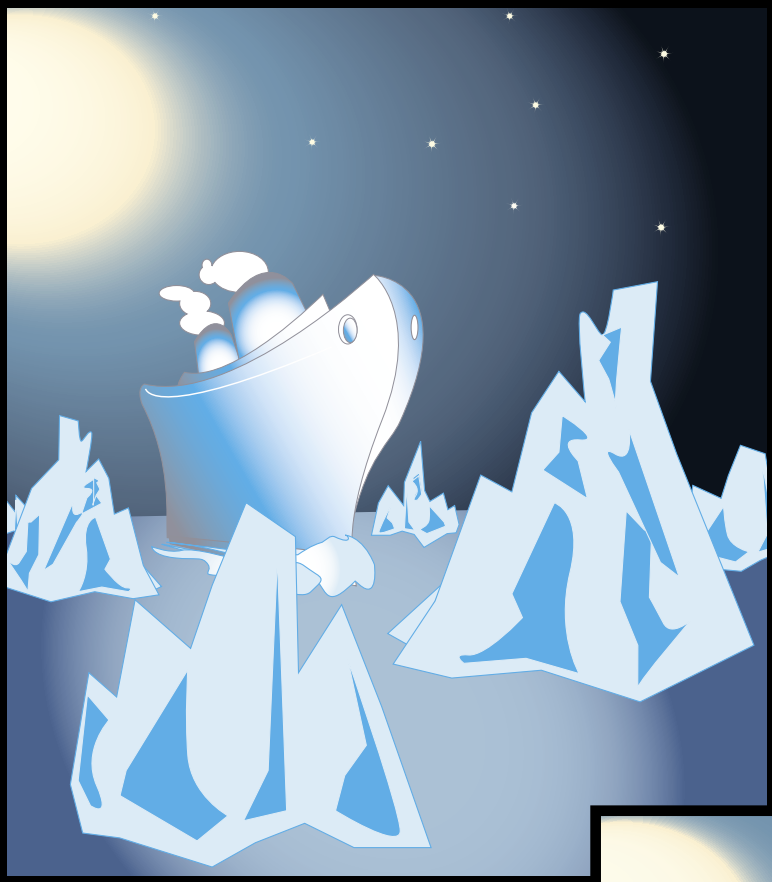
磨削是一个极复杂的，具有众多独立变数的过程。下面的表是用作指导以定位在磨削中遇到的普通问题。它给出症状，可能的原因，解决的方法以及工程师应考虑的可能负效应及有关注释。事实上，对某一特殊的问题，经常会有不止一个原因和几个可能的解决办法。

在磨削中的正确选择，经常涉及在参数中找一个平衡。如较硬等级的砂轮趋向保持形状较佳，但由于产生过多的热量，会提高“烧伤”的危险性。



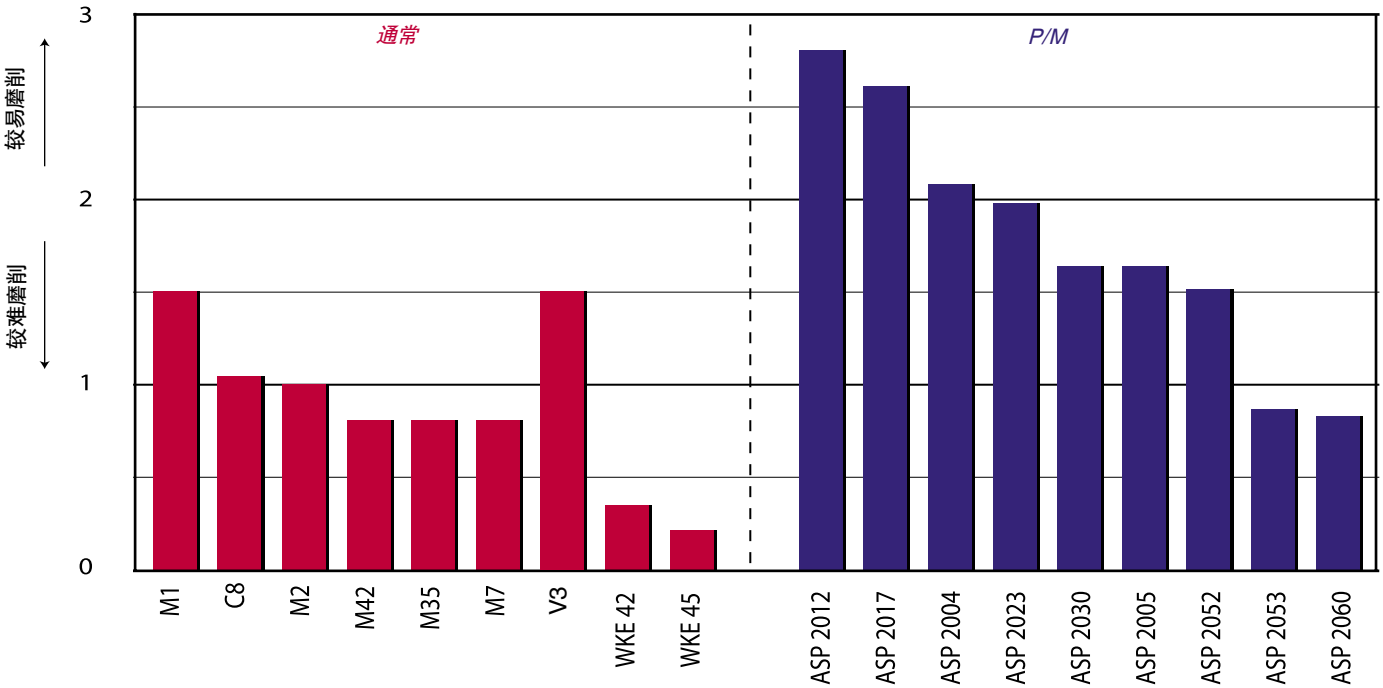
症状	可能原因	解决方法	注释，可能的负效应
颤震痕，机床震动	磨损的轴承	更换轴承	
	机床结实性差	换较紧的轴承。机床安装得更结实一些。更结实的工具夹头	
	砂轮不平衡	平衡砂轮	
	砂轮外表面偏心	修整砂轮	砂轮可能已达到“崩溃”阶段
	砂轮太硬	换成硬度等级“较软”的砂轮	危险：表面粗糙度较差，丧失正确形状。
		换成一种较脆的磨料	如SG磨料，白色氧化铝 危险：表面粗糙度较差，丧失正确形式
		增加比金属切除率(特别是工件速度)	增加切屑厚度去诱导砂轮的自励 危险：热损伤，表面粗糙度，丧失正确形状，由于增加了金属切除率产生较大切削力
	留量切除率太高	降低金属切除率	较小的速度和送进量(一个轻柔磨削)去降低切削力。 危险：砂轮变钝
	砂轮表面太细	进行一次较粗(更开松)的砂轮修整。旋转或更换修整用金刚石	危险：表面粗糙度，丧失正确形状。
		换成一个较大磨粒尺寸的砂轮	危险:表面粗糙度，砂轮变钝(较大磨粒能使砂轮工作得“较硬”)

症状	可能原因	解决方法	注释，可能的负效应
烧伤-热损伤，应力裂开	留量切除率太高	降低比金属切除率	较小的速度和送进量(一个轻柔磨削) 危险：砂轮变钝
	砂轮表面太细	进行一次较粗的砂轮修整。旋转或更换修整用金刚石	危险：表面粗糙度较差
		换成一个较大磨粒尺寸的砂轮	危险：表面粗糙度较差，最小的形状半径。
	砂轮太“硬”	换成硬度等级“较软”的砂轮	危险：表面粗糙度较差，丧失正确形状。
		换成一种较脆的磨料	如SG磨料，白色氧化铝。 危险：表面粗糙度较差。丧失正确形状。
		增加比金属切除率（特别是工件速度）（第21页）	增加切屑厚度去诱导砂轮自励，特别当为脆性和SG磨料时。 危险：由于过大的留量去除，造成热损伤。表面粗糙度较差，丧失正确形状。
	冷却不佳	增加冷却剂压力	见“切削液“一节（第18页）
		改善喷嘴位置	将冷却剂导入切削弧的热点
		减小喷嘴出口尺寸	大的喷嘴出口尺寸造成冷却系统中的压力降低，和低的冷却剂出口喷出速度
	冷却剂太热	核查冷却剂储量。 加冷却冰冷机构。	
在未磨削表面有变色烧伤痕迹	氧化烧伤	改善整体冷却，在变色区增加直接导向它的喷嘴	直接冷却氧化表面使与氧气隔绝。 危险：另外增加的喷嘴可导致主切削弧的冷却不足。
表面粗 粗糙度差	砂轮太粗	换成一个较细的砂轮修整	危险：热损伤，颤震痕
		换成一个较小磨粒尺寸的砂轮	危险:热损伤，颤震痕，丧失正确形状
	砂轮太“软”	换成一个硬度等级“较硬”的砂轮	危险：热损伤，颤震痕
		换成韧性较好的磨料	危险：由于不脆磨粒的较差自励性造成的热损伤
	切屑厚度太大	降低切屑厚度	切屑厚度因降低切削深度，或工件速度而降低，或因增加砂轮速度而降低。 危险：由于较差的砂轮自励性性能，特别当用脆性和SG磨料时和较大的比能量，将造成热损伤。见切屑厚度这一节（第21页）
丧失正确形状	砂轮太 “软”	换成一个硬度等级“较硬”的砂轮	危险：热损伤，颤震痕
		换成一个较大磨粒尺寸的砂轮	危险：较大磨粒尺寸使砂轮工作得“比较硬 ”。降低砂轮磨损。
		换成韧性较好的磨料	危险：由于较不脆磨粒的较差自励性造成的热损伤
		降低切屑厚度	危险：较小切屑厚度抑制砂轮的自励性，特别当用脆性和SG磨料时（第21页）
	要达到所需形状的半径，磨粒尺寸太大	换成较小磨粒尺寸和硬度等级“较硬”的砂轮	较小磨粒尺寸能达到一个较小的形状半径。 危险：热损伤

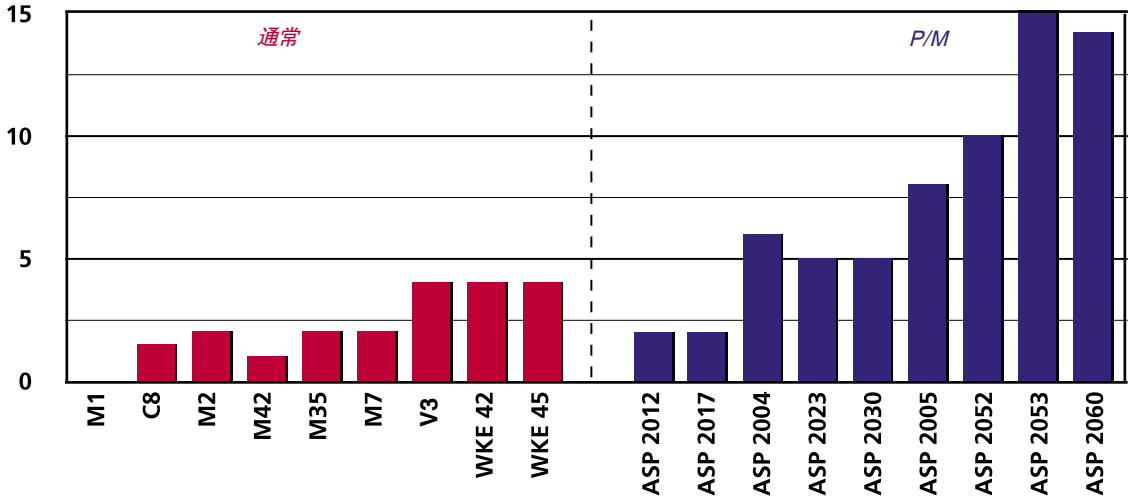


P/M HSS的磨削类似于在一个有小冰块的海中航行–相对于一个有冰山的海

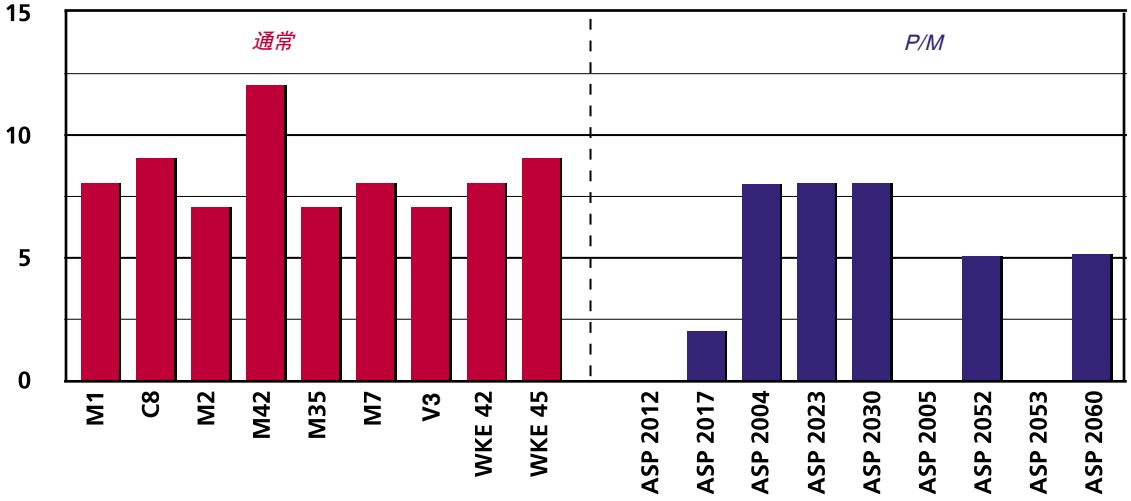
ERASTEEL 公司各种钢种的可磨削性



%MC 碳化物，硬度在2800HV



%M_6C 碳化物，硬度在1600HV



根据G-比值和实际经验，可磨削性等级是用普通磨料磨削而得。当用超硬磨料磨削时，不同钢种间可磨削性的差别一般没有这么显著。

ERASTEEL

总部

Tour Maine Montparnasse 33, avenue du Maine, F- 75755 Paris Cedex 15, France

Tel: (33) 1 45 38 63 00, Fax: (33) 1 45 38 63 30

www.erasteel.com

销售部地址

NORTH AMERICA
Erasteel Inc
95 Fulton Street
Boonton, N.J. 07005-1909
USA
Tel: (1) 973 335 8400
Fax: (1) 973 335 8420

SOUTH AMERICA
Erasteel Latin America Ltda
Avenida Tucunaré 1086
Tamboré - Barueri 06460-020 SP
BRAZIL
Tel: (55) 11 4689 6744
Fax: (55) 11 4195 8408

FRANCE
Erasteel S.A.
Tour Maine Montparnasse
33, Avenue du Maine
F- 75755 Paris Cedex 15
Tel: (33) 1 45 38 63 41
Fax: (33) 1 45 38 63 50

GERMANY
Erasteel GmbH
Postfach 430
D-40704 Hilden
Tel: (49) 21 03 49 05 0
Fax: (49) 21 03 49 05 21

Archives MNATP, Collection Meilassoux

GREAT BRITAIN
Erasteel (UK) Ltd
371, Coleford Road, Darnall
Sheffield S9 5NF
Tel: (44) 114 261 0410
Fax: (44) 114 261 7797

Peter Stubs limited
Causeway Avenue
Warrington WA4 6QB
Tel: (44) 192 565 3939
Fax: (44) 192 541 3870

ITALY
Erasteel Italiana S.r.l
Viale Leonardo Da Vinci, 97
I-200 90 Trezzano Sul Naviglio (Mi)
Tel: (39) 02 48 42 61 1
Fax: (39) 02 48 46 32 50

SCANDINAVIA
Erasteel Kloster AB
Box 100
S-815 82 Söderfors

SWEDEN
Tel: (46) 293 170 00
Fax: (46) 293 307 39

SPAIN
Erasteel Commentry España
Cami Font de les Canyes, 46
Poligono industrial Can Petit
08227 Terrassa
Tel: (34) 937 839 498
Fax: (34) 937 852 214

All other countries
Erasteel Export Sales
Tour Maine Montparnasse
33, Avenue du Maine
F- 75755 Paris Cedex 15
FRANCE
Tel: (33) 1 45 38 63 09
Fax: (33) 1 45 38 63 30

中国
Erasteel上海代表处
上海市银城中路200号
中银大厦2612室
Tel: (86) 21 61 00 61 61
Fax: (86) 21 61 00 62 30

TAIWAN, CHINA
Erasteel Far East Ltd
12F-1C, No. 207
Tun Hwa North Road
Taipei
Tel: (886) 22 545 1228
Fax: (886) 22 545 1219

JAPAN
Erasteel Japan KK
Sawa Building 4F
2-2-2, Nishi-Shinbashi
Minato-ku
Tokyo 105-0003
Tel: (81) 3 3503 3477
Fax: (81) 3 3503 3733

KOREA
Erasteel Korea
701 F7 Unik B/D, 706-13
Yeoksam-Dong, Gangnam-Gu,
Seoul (135-918)
Tel: (82)-2 557 4813
Fax: (82)-2 557 4814

INDIA
Erasteel India Private Ltd
709, Swastik Chambers
Slon Tromblay Road
Chembur, Mumbal/Bombay 400 071
Tel: (91) 22 25 22 71 10
Fax: (91) 22 25 23 26

MARKNADSTEAM(01043)ENG, PRINTED IN SWEDEN GO-0111

This document is for information only and does not create any binding contractual obligations 2004-10.

TB_ 03_CN_V0_2006