

## 硬质合金锯的历史

1926 年，克虏伯（Krupp），一家德国公司开发的硬质合金，各种重金属烧结碳化物很硬的混合物，特别是碳化钨，用于切边模具。这种新材料彻底的变革了的金属制造业的金属的去除或“切屑”的去除。在 20 世纪 50 年代，硬质合金用于除了锯切以外所有的加工过程。1942 年，德国科学家进一步将碳化物发展成金属陶瓷。第二次世界大战后，美国大学进一步开发了这种材料，并开始销售它作为一个切割工具的工具品牌 **Cermet**。在 20 世纪 30 年代，不含铁的锯材料，如铝，黄铜，塑料和木材硬质合金圆锯片开始出现。然而，尝试通过合金锯片切割含铁材料硬质合金失败，因为那时的锯缺乏速度，刚度和创新所需的高力转动和低振动。这些属性都是成为硬质合金锯的必要条件。此外，现有的齿几何与正切削角度引起开裂的硬质合金刀片更硬，因此比高速钢（HSS）的圆形刀片更脆。

硬质合金锯的名称来源于一种带有银焊硬质合金刀片的圆形锯片。因为它比高速钢（HSS）要硬得多，所以它与可更换的，实体的或分段式高速钢刀片进行了竞争。在开发高速钢锯之前，曾使用过磨料、摩擦或热锯，至今仍然应用于某些特定用途。这种锯切过程中产生热量，因此被称为热锯。而高速钢刀片使用冷却液，切割表面不会变热，因此被称为冷锯。硬质合金圆锯片具有独特的几何形状，切削过程产生的热量被转移到切屑中，并随切屑带走。切割表面保持凉爽。因此，硬质合金锯也称为冷锯。其他名称包括冷锯、冷圆锯、冷切锯或圆冷锯。

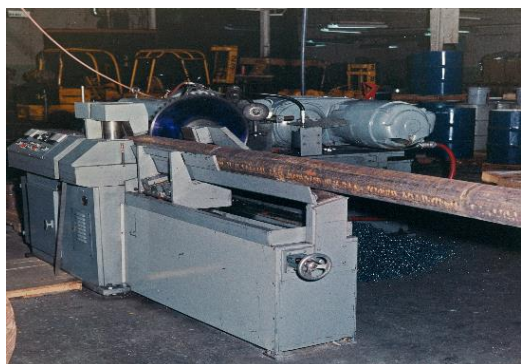
1963 年，美国英格索尔铣床有限公司，在伊利诺伊州，罗克福德市开发了第一个硬质合金板锯和硬质合金锯片用来切割钢板。但锯齿的正切削角度最小化了刀具的寿命。在 1963 到 1969 之间，帕里奇教授和工程师阿尔诺 威利梅特，霍斯特一起在布伦瑞克大学，开发出具有负切削角度和一对可以将切屑分裂成三部分的，新的硬质合金锯片几何。随着尖端几何形状的发展，锯切合金钢坯变得经济了。1969 年，美国高级机械与工程公司（Advanced Machine & Engineering Inc.）在伊利诺伊州，罗克福德市，开发第一个管坯锯，通过使用“布伦瑞克几何”的硬质合金锯齿，高级机械与工程公司开始为另一家位于罗克福德的公司 **Metalcut** 生产这些机器。该机器在全球市场上以 **Metalcut 12** 名字售卖，并参加在意大利米兰和美国芝加哥的贸易展览。其锯切效率是带锯机的八倍，是高速钢圆锯片的四倍，使锯切市场发生了革命性的变化。

1970 年，美国政府国防部获悉新概念锯的发展。张伯伦制造公司，由法兰克福阿森纳执行针对这一新概念的评估，并以发明者戈尔纳（Goellner）的名字命名为碳化物坯锯。张伯伦于 1970 年 5

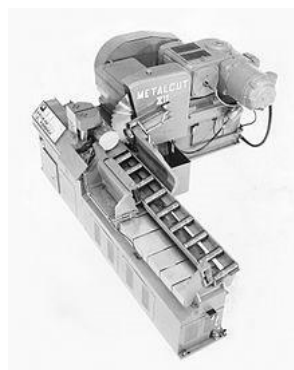
月 29 日发表综合技术报告书。报告的结论是，新的锯切概念优于传统的带锯床，冷锯和其他对于多种物体钢坯的切割方法。宣称的优势包括更快的切割速度，刀片寿命的延长和优质的切割界面。

从 1972 到 1976 期间，布伦瑞克大学的科学的助理霍斯特在机床和制造工程学院，开发了一种针对管材的特殊合金锯切几何，这种几何使得每一个锯齿可以将碎屑分离成两部分。1984 年，在伊利诺伊州，罗克福德市，速切公司（Speedcut Inc）开发并获得专利了另一种类型的硬质合金齿的几何形状，并以“Notch Grind”命名的美国专利。此种锯切几何用于钢坯切割，它会分裂碎屑通过每个锯齿的一个交错槽。随着这种“Notch Grind”技术的结合，锯切变得比与布伦瑞克几何速度更快。几年之后，很多公司都已开发可更换锯齿的硬质合金锯片。但到目前为止，对于钢铁的切割，这些锯片还没有被证明是经济实用的。

## 硬质合金锯的种类



*1969 Metalcut 10 Prototype Carbide Saw*

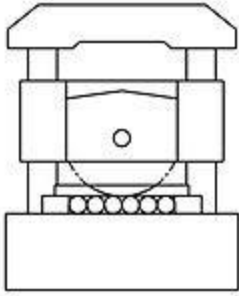


*1970 Standard Metalcut 12 Horizontal Slide Saw*

## 水平滑动锯

水平滑动锯可能是最常用的硬质合金锯。采用这种设计，锯片安装在变速箱主轴上，并以水平方式滑动，水平进入坯料。

1969 年，第一个原型水平硬质合金坯锯合金钢是由美国高级机械和工程公司（AME）开发，并为梅特卡特（Metalcut）公司建造。一年后，标准的梅特卡特 12（Metalcut 12）管坯锯出现在市场上。第一次，海宁公司（Hennig）开发伸缩钢套钢围裙是用来保护锯的重要组成部分，因为高速度飞行碎屑是难以控制的。



*Other Double Column Vertical Saw with Round Ways*



*AMSAW-Vertical Slide Layer Machine*

## 立式滑动锯

这种锯的锯条垂直进入材料。这些锯经常被用作层锯，由此可以同时切割多个管、型材或杆的水平层。

1974 年，第一个垂直滑动硬质合金锯由布伦瑞克锯齿几何的共同发明人，阿尔诺·威利梅特开发。它是由在德国雷姆沙伊德的奥勒（Ohler）公司生产。福马（Framag），一家奥地利公司后来接管了这类机器，也是将它作为一个层锯来建造。奥勒曾建立双圆垂直高速锯，它们后来也被转换成硬质合金锯。

## 倾斜滑动硬质合金锯

硬质合金锯采用倾斜的方式，用于切割铁路轨道，因为锯片进入最佳的轨道轮廓，但也用于切割钢坯。

## 旋转锯

旋转锯最初作为高速切削锯来使用，用于切割小型材和管。在 20 世纪 70 年代末这些锯开始被用于较大的钢型材建设项目。



*1973 Metalcut III dual pivot saw*

1973 年，梅特卡特（Metalcut）开发了第一个针对 75 毫米钢条的高效硬质合金旋转轴，变速箱的旋转中心安装到底板上。这种类型的锯，可以锯切到旋转轴的两侧，因此更高产。

1976 年，在罗克福德市，硬质合金切断公司（Carbide Cutoff Inc）为了能够对抗梅特卡特公司的水平滑动锯，提高了这类硬质合金锯较大的生产规模。这种旋转锯成功的锯切了多达 8 英寸（200 毫米）的直径。



*1979 large Metalcut 24" pinot bar cutoff saw*

大型旋转锯也被梅特卡特公司使用，如果层锯或坯锯切坯直径可以达到 600 毫米（24 英寸）。枢轴位于床身上方，锯片以拱形方式垂直进入材料，但没有闭合力循环装置。



1994 AMSAW 200



2011 AMSAW 350PR

1994 年，美国高级机械和工程公司（AME）开发了一种低成本旋转锯，并以 AMSAW 200 的名字进入美国市场。

2011 年，美国高级机械和工程公司开发了一个高效率的硬质合金锯，轴齿轮箱的支点轴固定在机床的低端，用于切割 350 毫米（14 英寸）的钢坯。力包含在一个闭环设计，因为使其成为一个非常坚硬的机器。在这台机器的切屑流也得到改善，切屑直接扔到切屑输送机。

## 硬质合金锯的特殊模型

### 板锯

1963 年，伊利诺伊州，罗克福德市，英格索尔铣床公司开发了一种由高碳钢刃组成的板锯。水平的方式安装在板上的横梁上。

后来，底特律奥利弗机械有限公司开发出一种价格较便宜的钢板锯，它的变速箱在机床的底板下面滑动，并将板材从下面切割下来。

然而这个版本很难维护。

### 钢轨锯



*1999 Special Miter*



*2005 Standard high production  
AMSAW 300-R Rail Saw*



*2011 AMSAW 250 Special Mobile Rail  
Saw for field repair service*

1973 年，梅特卡特公司（Metalcut）开发了第一个硬质合金轨锯后来被其他公司包括瓦格纳制作。

1999 年，高级机械和工程公司（AME）建立了一个特殊的，针对于铁路辙叉和切换的斜切的碳化钢轨锯。

2005 年，高级机械和工程公司（AME）开发了一种经济型钢轨锯品牌 AMSAW 300-R，时至今日它仍然被广泛使用在美国和其他国家。

2011 年，高级机械和工程公司发展了一个特殊的模型，它被集成为一个双锯的铁路车，用于铁路领域的维修工作。它取代了以前使用过的磨料锯。这些磨料锯产生的热切屑和火星是造成森林火灾的罪魁祸首。

## 层锯



Structural steel will be cut using a carbide saw for the first time in Japan using two Metalcut saws like the one above. The fast growing Rockford, Ill. firm is also planning to introduce a new 18-in. carbide saw during the next national machine tool show.

*1974 Metalcut 12 pivot layer saw Cutting  
Up through a layer of channels.*

1974 年，梅特卡特（Metalcut）开发了两个层锯，可以锯切多达 6 个“C”型材。型材水平方向的接近锯层。第一个锯切前端，第二个锯切后方，后者是可移动的轨道，以锯切不同长度的型材。这些机器是建立在旋转锯，从底部向上切割型材。

1976，这种锯开始应用于切割管层。

之后，瓦格纳（Wagner）和福马（FRAMG）也开发了类似的纵向设计的锯。

## 硬质合金热锯

2008 年，高级机械和工程公司（AME）开发了一种硬质合金热锯用来切割铁路行业中的热锻动车车轴。



*AMSAW 300 HOTSAW*

## 硬质合金环锯

厚壁环是热轧的，而且经常需要随机切割厚度。奥地利的利岑公司（MFL Liezen），开发这样一种可以切断这些环的内径的锯。高级机械与工程公司（AME）也开发了一种简化的特殊环切锯，不同的是，是从环外面切割。

## 硬质合金块锯

2013 年，AME 开发出一种特殊的块锯，锯掉部分大的 3 吨钢坯，减少铣削时间。夹具自动旋转到轧机铣削三个侧面。



*2013 AMSAW 350 Special Block Saw With swivel fixture*

## 切割铜的硬质合金锯

1986 年，Metalcut 收到了一个开发专用硬质合金锯切铜坯的订单。然而，初步的测试表明，铜不能被使用钢切割几何形状的硬质合金锯片切断，因此切削面必须改变为正切削角度。在 2016 年，这台机器还在操作中。

## 切割铝的硬质合金锯



*Fully automatic saw system with a  
Metalcut XII-P Aluminum Pivot Saw*

使用硬质合金圆锯片的铝锯需要正角碳化物尖端几何形状。

1988 年，Metalcut 开发了一个非常复杂的自动锯切系统，用来切割厚达 350 毫米的钢条。这个全自动系统在当时是独一无二的，到 2016 年为止仍在运作。

## 硬质合金锯片的总体设计

### 基底



硬质合金锯具水平、垂直或倾斜的滑动装置，由实心钢板制成的焊接底座，这些底板具有足够的韧性，并经常填充振动阻尼材料。这种底座吸收力和抑制振动的发生。硬化的方法是螺栓基底的齿轮箱滑动。随着轴锯，预装的重型轴承通常螺栓附近的底板，以增加刚性。

## 固定装置

它通常由两液压夹紧缸组成，用以水平，垂直或倾斜方向的夹紧锯片两侧的材料。为了提高锯片的寿命，在锯片从切口上收回之前，将材料与刀片分开。

## 滑动装置

滑动装置是用锥形镶条引导，或使用液压槽，为了获得必要的刚度。最近，预装线性方式也被使用。专家仍在争论，低摩擦塑料的预装箱的振动阻尼方式是否是更好的振动抑制方式，与预装的硬化线性方式与淬硬球或轧辊阻尼效果相比。

## 进给系统

进给系统由液压缸或带减速器的滚珠丝杠组成，由伺服电机驱动。

## 变速箱

大多数情况下，低反隙硬齿面齿轮安装在预装球或圆锥滚子轴承使用。根据锯片的大小，最大五个齿轮组与高达 40:1 齿轮减速可以用。变速电机高达 150 千瓦直接驱动齿轮箱或通过时机或“V”型带。许多锯有刀片安装法兰集成在主轴。这是不太昂贵，但当刀片安装表面磨损，需要昂贵的维护。然而，一些创新的锯有安装坚硬并可拆卸的驱动轮毂，可以很容易地更换。一些锯也用飞轮在变速箱输入轴平滑脉动转矩。

## 锯条的安装

锯片必须牢固地安装在驱动轴，用来传递大量且没有振动的扭矩。较大的锯片法兰通常降低锯片振动，但需要更大的锯片直径。为了减少叶片成本，一些生产商使用较小的法兰组合和锯片稳定装置，从而可以降低工具成本。

## 测量装置

一般来说，有两种不同类型的测量系统：

夹持钳测量：钢坯用夹持钳夹紧滑动，由滚珠丝杠-伺服电机组合作。

测量停止：钢坯是通过滚筒输送机驱动的可调停止。这一停止的位置可以通过滚珠丝杠伺服机构被准确的定位，通常采用减震器，以减弱影响。这种方法用于较长的切割件。

## 控制

自动生产锯大多通过 CNC 操作，采用可编程逻辑控制器（PLC）。操作人员通常使用触摸屏面板。

## 锯片直径

一个较小直径的锯片是比较便宜的，需要较少的扭矩驱动。薄锯片浪费材料少，需要较少的能源转动。因此，使用较小直径的传动毂用于锯片安装和较薄的锯片，并能够切割直径较大材料的小直径锯是受青睐的。然而，这些标准削弱锯片的横向刚度，而且由于较大的直径/锯片厚度比，锯片可能会产生更多的振动。

## 齿轮侧隙

齿轮的侧隙，特别是主轴齿轮组，也是至关重要的。比率为 1800 毫米（70 英寸）直径刀片和近似的 250 毫米（10 英寸）的主轴齿轮的节径约为 7/1。因此，齿轮发挥的 0.025 毫米（.001 英寸）导致在一个 0.18 毫米（.007 英寸）失去了锯片上齿轮的运动。

这大量丢失的运动间隙增加了齿轮的扭转饱和，当齿进入切割和放松时退出，引起扭转振动，而扭转振动必须采用反侧隙机械装置减少到最低程度，或者通过研磨齿轮将侧隙减小到最低。

## 机床刚度

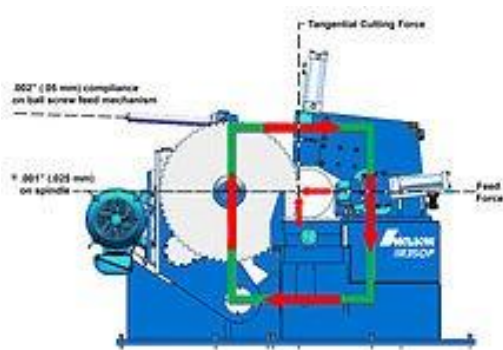


fig 1: pivot saw with a close loop force flow

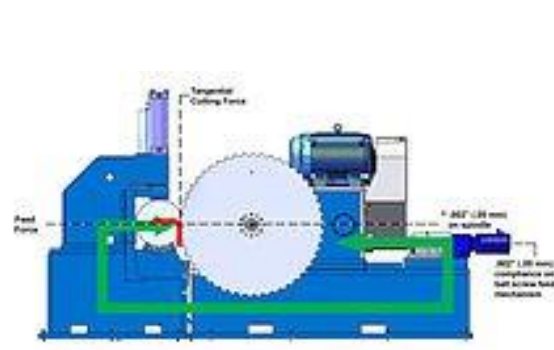


fig 2: horizontal slide saw with open loop force flow

当圆形硬质合金尖锯片进入或退出材料时，只有一个锯齿在切削。负载的波动，当锯齿进入和退出切割，诱导振动，并需要一个非常坚硬的齿轮箱和机器。

一个旋转锯具有最高程度的刚度，因为力被安排在一个封闭的循环（图 1）。如果我们假设这样一个锯的基底是非常刚性的，在一个封闭的循环，力将从齿轮箱的枢轴传送到滚珠丝杠进给系统，其中切削力作用于，大约在旋转点和滚珠丝杠的中间。这种布置大大减少了进给系统中的运动损失和顺从性。此外，滚珠丝杠驱动器，迫使锯片进入切割螺栓连接到夹具框架再次夹紧到钢坯，并给予这种安排额外的刚性。

水平或倾斜滑动的锯有一个开环力流动（图 2）从而维护任何丢失的运动和顺从性的进给系统。

## 锯片振动

### 横向振动

圆锯片在扭转方向很坚硬，但轴向（横向到平面）很弱。如果外部脉冲力的退出频率与锯片的固有频率几乎相同，则会发生共振，锯片会横向振动。这种外部脉冲力可能是由于当锯齿进入材料或其他脉冲原因所带来的影响。参考文献名称：硬质合金锯切振动的影响与预防

### 扭转振动

在硬质合金锯中，最重要的部件是锯条的扭转和横向振动，也就是齿轮箱，通常称为头部。这种效果的基本理解概述在文章“测量遵守-您的硬质合金锯的弱点”。当锯片的锯齿首先接触材料时，反作用力会对齿轮结构产生一个“向上”的力。首先消除侧隙，然后附加载荷将增加扭转位移。如果在进给机构中有任何反作用，它也会与动力传动系的间隙一样。

锯片及其安装轴的惯性相对较小。在间隙被移除的时候，锯片的齿在它的旋转时立刻停顿，而马达继续全速运转。当间隙消除时，锯片几乎立即达到相同速度。如果符合率高，切削齿'弹簧'向前即时的速度可能会更高。如果发生锯齿退出材料这种情况时，间隙将打开再次和过程重复直到一些锯齿停留在切割中。当它的频率与系统的固有频率相匹配时，在赫兹中测量的激发频率可能成为关键。“共振-碳化物锯断后的破坏力”。随着啮合齿数的增加，齿轮系的转矩会增加，但波动载荷只由一个锯齿是否进入材料而引起。齿轮系的上下波动对硬质合金齿有很大的损伤，降低了工具寿命。

减小扭振的最佳方法是在锯片上直接采用一种盘式制动器，接近外径。由于制动半径大制动力矩大得多。该制动器可防止或至少减小硬质合金齿在切割开始和结束时的进出入材料时引起的扭矩波动。然而，制动所产生的热量是一个问题，必须减少，以防止锯片体失去适当的张力。制动器也可以应用在传动轴的末端，并且热不会影响锯片张力。但在驱动轴上的制动器的直径是相当有限的，并且制动力更小。

另一种减少振动的方法是使机器变重。这降低了固有频率。锯片的固有频率一般较高，因此，感应力频率与机器结构固有频率之间的传播较大，可以避免共振。然而，较重的机器成本更高，经验丰富的机床设计人员将找到其他手段，以减少振动。

## 锯片稳定装置



*Metalcut Roller Stabilizer*



*AMSAW Segmental Stabilizer*

由于硬质合金锯片是圆盘，它们在进给的方向上与齿轮箱最坚硬的部分相切，但在进给的垂直和横向方向非常的不稳定。由于锯片体很薄，所以锯必须稳定以尽量减少侧振动振幅。在第一个硬质合金锯的实验中，美国高级机械与工程公司（AME）的工程师的用扫帚挤推振动的锯片以减少振动。从这个实验中，锯片稳定器的开发通过使用两个塑料涂层球轴承安装在偏心轴和支持的焊接支架齿轮箱。参考“用稳定器和阻尼器最小化振动和共振的破坏效应”。霍斯特（Horst Doepcke），见证了梅特卡特公司（Metalcut）有这种方法进行的实验，也在他的论文中描述了。随后美国高级机械与工程公司进一步发展了稳定装置，由此在锯片两侧都放置了可调节的塑料板用来减震和稳定。其他厂商后来用硬化钢板作为“减振器”。这些错误的作为减震器的装置没有有效的减震，仅仅是减弱了振幅。霍斯特先生在他的论文中详细的描述了这个功能。最近，美国高级机械与工程公司已开发出一对接近切割点的正面稳定装置。这些稳定器液压延伸，当硬质合

金齿在切割前经过稳定器按钮，并稳定刀片进入切割时，这也有助于引导刀片进入切割，以提高精度。其他形式的稳定装置列于德国 VDI Verlag nr. 1999 .Dipl.-Ing. Rainer Liebrecht。这份报告尤其针对振动对锯片的影响做出了阐述。

## 锯片阻尼器

阻尼消散机械能，在这种情况下，振动能转化为热能。这可以通过电机械（涡流）液压或机械制动，也概述了上述章节的“扭转振动”。新的发展和突破仍有望在这一领域。

## 总结

闭环垂直滑动锯是最坚硬的，但也是最昂贵的机器。它们需要比水平或角滑动锯更少的空间，但它也更难以控制水平的切屑流。他们也更昂贵，更难维护。

因为开环力流，水平和倾斜滑动式锯在制造是必须更重，以保持垂直或旋转锯相同的刚度。切屑流向下，因此比垂直滑动锯更好控制。

水平切割锯是最具成本效益的机器。他们需要较少的零件和地板空间，并有良好的向下切屑控制。闭环系统降低了合规性，因此可以建造的更轻，同时保持较高的刚度。