

硬质合金在钢管张力减径机 及线棒材轧机上的新用途

〔德〕 P. Putz

长期以来,在线材精轧机上一直使用整体硬质合金辊环和镶套在钢辊轴体上的硬质合金辊环。70年代初以来,线材轧机的中轧机、精轧机以及棒材精轧机上采用了复合轧辊,即镶嵌硬质合金辊环的普通轧辊,硬质合金辊环已使用25年,实践证明,硬质合金非常适用于制造热轧辊。

安装在辊轴上的硬质合金辊环的关键问题是轧制力矩传递的可靠性,一种途径是通过硬质合金辊环端部的摩擦力来传递轧制力,但是这导致硬质合金辊环拉应力提高,如果此时轧制力也很大,则可能出现严重的问题。

铸入法复合碳化钨(简称CIC)轧辊具有铸造的球墨铸铁内套,并与硬质合金辊环冶金结合成一体。球墨铸铁内套通过冶金结合的硬质合金辊环承受轧制力。硬质合金辊环承受纯轧制力,韧性球墨铸铁内套通过可靠的连接来传递轧制力矩。

铸入法复合碳化钨辊环可以安装到普通线材轧机或棒材轧机的辊身上,即线材轧机的中轧机和精轧机以及轧制钢筋的棒材轧机精轧机上。在轧制型材时,铸入法复合碳化钨辊环显示出潜在的用途。已证实铸入法复合碳化钨轧辊在钢管轧机特别是钢管张力减径机上得到了卓有成效的应用。

1. 硬质合金轧辊的历史和开发过程

1966年,世界上第1台4线摩根无扭线材轧机在加拿大Stelco公司正式投产。世界上第1次使用的硬质合金轧辊是 $\phi 156/\phi 112$ mm的硬质合金辊环,该环是以轻压配合而安装到辊轴上的。由于硬质合金辊环与衬圈配合处的半径太小,以及辊环截面太小,该

硬质合金辊环很快就出现断裂问题。因此首先省略了凸台,将硬质合金辊环粘结到钢套和辊轴上。因而大大减少了轧辊的断裂。然而,进一步的应力计算结果证实,硬质合金辊环截面(尤其是前几个机架的辊环截面)必须扩大,而且发现了钢套的磨损,因此欲将其换成整体硬质合金轧辊。

利用Bratt安装系统进行的试验表明,可以利用辊环内孔的摩擦力来传递轧制力矩。因此可以省略横向楔槽,并采用具有2个轧槽的轧辊,即第1个轧槽使用完后将辊环翻转,再使用第2个轧槽。

图1示出这种轧辊。该工艺大大减少了每个孔型的轧制费用。为了使轧辊得到传递轧制力矩用的足够的径向压力,采用具有给定油压的液压螺母将中间轴套压到锥形轴上。这种固定方式始于1969年,并有不同的方案。直到目前为止,这种固定方式在快速换辊中仍占主导地位。

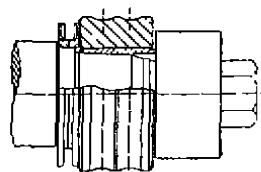


图1 带有2个轧槽的轧辊

60年代末至70年代初,有很多轧机生产厂(Demag、Kocks、Ashlow、Pomini—Farrel、SKET、Danieli、Moeller-Neumann、Hille、Properzi(用于铝)以及Morgardshammer(用于特殊钢))在市场上出售无扭精轧机。由于硬质合金的优异性能,使现代化线材精轧机的轧制速度提高

到120m/s ($\phi 5.5$ mm线材)。

70年代初期,很多企业重视在普通线材轧机的中轧、精轧以及棒材轧机的精轧机上使用硬质合金辊环问题,他们设计了所谓的复合轧辊,图2示出典型设计方案。



图2 复合轧辊

1-硬质合金辊环; 2-Belleveille弹簧; 3-中间垫圈;
4-终端螺母; 5-辊轴

线材精轧机每个轧槽的轧制量取决于硬质合金的种类、孔型几何形状、以及轧制钢种和线材质量。因为轧制效率过高会导致较深的疲劳区,所以每个轧槽的轧制量又影响随后的修磨量。一般来说,线材精轧机最后2架轧制量为200~600t,前面几架的轧制量为500~1500t。线材轧机中轧机的轧制量为3000~6000t。棒材轧机精轧机的轧制量低于上述数值,并取决于所轧制的棒材的种类和尺寸。

上述轧制量是铸造轧辊的10倍。因为硬质合金轧辊的修磨量仅为铸造轧辊的1/3~1/2,所以从新辊到报废,硬质合金轧辊的总轧制量是铸造轧辊的20~30倍。

如果使用粘结剂含量高的硬质合金,则可制造轧钢筋用辊。由于粘结剂含量高的硬质合金韧性好,所以,开槽引起的缺口效应不会造成轧辊断裂。这类硬质合金还允许进行铣加工。每个轧槽的轧制量为: $\phi 8$ mm钢筋为800t、 $\phi 12$ mm钢筋为1200t。当然,随轧制条件和钢筋外形的不同有很大变化。钢管张力减径机上的硬质合金轧辊寿命是普通铸造轧辊的15~50倍。

2. 硬质合金

硬质合金是用粉末冶金工艺制造的材料,用粘结剂使硬颗粒粘连成形的。硬颗粒赋予硬质合金硬度和耐磨性,粘结剂赋予

硬质合金韧性和强度。改变硬质颗粒和粘结剂的种类和组分以及采用不同粒度的硬质颗粒,可得到各种不同性能的硬质合金。铸入法复合碳化钨轧辊的硬组分为碳化钨,用钴作粘结剂,有时还含镍和铬。

2.1 硬质合金的生产

碳化钨是用白或黑钨矿制取的。通过化学反应并借助氢在800℃左右还原生产粒度为几 μ m级的钨粉。随后钨粉与碳混合,碳化钨于1700℃左右形成,碳化钨随工艺参数的不同具有不同的粒度。金属粘结剂粉末通过金属氧化物的还原制成。

制造硬质合金时,先称量具有合适粒度的碳化钨粉、金属粘结剂粉和压制剂,然后将其放入带有硬质合金研磨体和研磨液体的研磨机里,经过研磨,各个组分被磨细且均匀化。由于在碳化钨颗粒和金属粘结剂之间出现紧密接触,使得混合物在烧结期间很容易起反应。研磨后,用气体烘干法除掉研磨液体,得到流动性和润滑良好的金属粉末混合物。再以50~150MPa的压力进行压制。压坯的密度仅为理论金属密度的50%,即所有的尺寸比烧结成品的尺寸大20~25%。

烧结分两阶段进行,除去压制剂之后,随后根据硬质合金种类的不同而在1350~1500℃真空中烧结。因为金属粘结剂完全熔化并且溶解了大量的碳化物,所以根据硬质合金种类的不同可有25~50%的体积处于液态。在该阶段,压制件的体积收缩50%。在该状态以及在随后的强化状态,碳化物晶体通过溶解的碳化物的析出而长大。冷却之后得到致密的硬质合金。

2.2 铸入法复合碳化钨轧辊用硬质合金的性能

硬质合金和钴基或钴-镍-铬基硬质合金的性能取决于碳化钨的颗粒度以及金属粘结剂含量。有2种系列的硬质合金可以用来制造铸入法复合碳化钨轧辊。一种是碳化钨和钴-镍-铬粘结剂基CR系列,另一种是碳化

钨-钴基CT系列。表1列出这2种系列硬质合金的成分及主要性能。碳化钨的密度比钢的密度高,硬质合金的密度随粘结剂含量的提高而降低。硬度用维氏硬度法测定。洛氏硬度HRA值只是近似值,是由维氏硬度HV₃换算出的。硬质合金的硬度随粘结剂含量的

随碳化钨颗粒度的减小而提高。硬质合金在500℃时的硬度为常温硬度的2/3。用三点弯曲试样测定了弯曲断裂强度,表中数据为平均值。试样很小,被测的承受拉应力的体积仅为256mm³。

硬质合金属于脆性材料,其强度特点符

表1 铸入法复合碳化钨轧辊用硬质合金成份及主要性能

硬质合金	成份,重量%				碳化钨颗粒度 μm	密度 g/cm ³	硬度, 20℃		弯曲断裂强度 MPa	韧性, 弯曲断裂能 J	断裂韧性 MPa·√m	抗压强度 MPa	弹性模量 MPa	20~400℃时 线性热膨胀系数, 10 ⁻⁶ /℃
	WC	Co	Ni	Cr			HV ₃	HRC						
CR60	85	7	7	1	3.5	14.0	950	85.5	2900	3.3	20	3400	540000	5.6
CR75	80	9	9	2	3.5	13.5	800	83.5	2700	4.5	23	3200	495000	6.3
CR85	75	12	12	1	3.5	13.0	750	83	2700	5.5	25	3100	480000	7.0
CR95	70	13	15	2	3.5	12.7	650	82	2700	7.0	28	3000	420000	7.5
CT65	85	15	—	—	3.5	13.9	950	85.5	2900	3.3	20	3600	540000	5.6
CT76	80	20	—	—	3	13.5	900	85	2700	4.5	22	3500	495000	6.3

合Weibull定理,即强度与受应力的体积密切相关。用Weibull指数 m 表示体积的影响,高质量硬质合金的Weibull指数为10~15。硬质合金在500℃的弯曲断裂强度仅比室温值低15%。对于受拉应力的相同体积(如弯曲断裂试样)来说,其抗拉强度为弯曲断裂强度的0.55~0.59(Weibull指数 m 为15~10)。硬质合金的韧性不容易测定,可用各种不同方式估算。一种可能性是采用力和变形的乘积,即采用在四点弯曲断裂试验中发生断裂之前的吸收能。该方案称作弯曲断裂能方案。与弯曲断裂强度相反,弯曲断裂能随粘结剂含量的增加而显著提高。当粘结剂含量由15%增加到30%时,弯曲断裂能由3.3J提高到7.0J,即粘结剂增加1倍时,弯曲断裂能提高1倍多。另一个方案是用临界应力场强度因子 K_{Ic} 确定的断裂韧性方案。临界应力场强度因子 K_{Ic} 考虑了在裂纹变成失稳态并导致最终断裂的瞬时的裂纹尖端的应力状态。 K_{Ic} 值随粘结剂含量的增加而提高,但是提高的幅度与弯曲断裂能不同。 K_{Ic} 值还随碳化钨颗粒度的增大而增加。制作铸入法复合碳化钨轧辊的硬质合金的 K_{Ic}

值为20~28MPa·√m,与高速钢的 K_{Ic} 值(15~25MPa·√m)相差不多。

为了使断裂集中在较窄的中间部位,加厚了用来测定抗压强度的试样的两端。在受压力情况下,Weibull指数是拉力情况下的3倍,这说明并不存在体积的影响,硬质合金的抗压强度很高。硬质合金的抗压强度与硬度一样随粘结剂含量和碳化钨颗粒度的降低而提高。

弹性模量是通过振动试验而测定的。铸入法复合碳化钨轧辊硬质合金的弹性模量是钢的2~2.6倍,但是它随粘结剂含量的增加而降低。粘结剂含量为15%的硬质合金的泊松比为0.23,粘结剂含量为30%的硬质合金的泊松比为0.25,而钢的泊松比为0.30。硬质合金的线性热膨胀系数较小,为钢的线性热膨胀系数的50~65%,硬质合金的线性热膨胀系数随粘结剂含量的增加而提高。硬质合金的导热性很好,是钢导热性的2倍。硬质合金在各种溶液中的耐蚀试验证实:普通碳化钨-钴硬质合金所用冷却水的PH值应>7。带有合金粘接剂的CR型硬质合金也可以在酸性冷却水中工作,见图3。

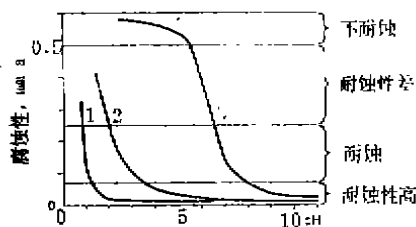


图3 腐蚀试验的分析计算

1-TiC—Ni基硬质合金；2-WC—Ni基硬质合金；
3-WC—Co基硬质合金

3. 铸入法复合碳化钨轧辊所用球墨铸铁

球墨铸铁是铸铁之一，其碳含量高于铁中碳的溶解度。在冷却时，多余的碳以均匀分布的球形纯石墨晶体的形式析出。石墨含量一般为8~12%（体积）。这些球形石墨对球墨铸铁的性能影响不大。球墨铸铁的性能主要取决于金属基体（钢）。要根据需要使金属基体合金化，随后进行的热处理使铸入法复合碳化钨辊环达到最佳应力状态。通过采用合适的成分和专门的铸造技术可以使硬质合金和球墨铸铁达到良好的冶金结合（表2）。

表2 铸入法复合碳化钨辊环球墨铸铁的特性

项 目	量 值
密度, g/cm ³	7.3
硬度	HB280~340 (HRC28~36)
抗拉强度, MPa	800~900
屈服点, MPa	600~700
疲劳（无缺口试样）, MPa	300~350
断裂延伸率A ₅ , %	2~5
断裂韧性K _{IC} , MPa√m	>50
冲击强度, J/cm ²	10
阻尼	5（灰口铸铁，10；钢，1）
弹性模量, kN/mm ²	175
泊松比	0.28
线性热膨胀系数, 10 ⁻⁶ /K	12
导热性, W/mK	40

因为合适的强度、韧性和硬度，所以通过键槽/弹簧连接可以将轧制力矩传递到铸入法复合碳化钨辊环的球墨铸铁部位。而

且良好的阻尼也起很好的作用。球墨铸铁可以利用普通工艺进行加工。

4. 铸入法复合碳化钨轧辊坯件的制造

铸入法复合碳化钨轧辊通过两工艺阶段制成。首先用本文第2节所述方式压制硬质合金环，然后进行烧结。此后向硬质合金环内浇入球墨铸铁，利用专门的铸造技术使2种材料达到良好的冶金结合。

要为每种尺寸的铸入法复合碳化钨辊环制造一个铸型，铸型既安放了硬质合金辊环又要考虑专门的铸造技术。每个铸造模型都由几个部件构成。为了使硬质合金和球墨铸铁之间达到良好的冶金结合，在铸造过程要给硬质合金输入足够的热量以使硬质合金表面熔化。硬质合金的熔化区与熔融的铁混合到一起，在冷却时形成冶金结合，为此，要求一定的浇铸温度、浇铸量和流量。

铸造之后，除去多余的球墨铸铁，并清理轧辊。用超声波检验冶金结合质量和球墨铸铁是否有气孔。

从铸造温度冷却下来时，由于硬质合金（收缩小）和球墨铸铁（收缩大）之间的热膨胀系数不同，在硬质合金辊环的外径出现了轴向拉应力。在随后进行的热处理中，此拉应力通过组织变化而消除（图4）。

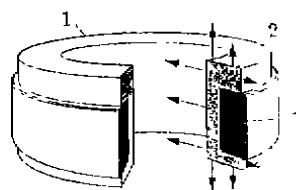


图4 硬质合金辊环

1-铸入法复合碳化钨辊环；2-球墨铸铁；3-硬质合金

5. 铸入法复合碳化钨轧辊的应用

在适合用第2节所述的韧性硬质合金的地方，基本上都可以采用铸入法复合碳化钨轧辊。

对于快速换辊的硬质合金轧辊和辊环来说，往往通过辊环内孔的摩擦力或通过端面

来传递轧制力矩。如果通过端面传递轧制力矩,则须附加复杂昂贵的钢部件。整体硬质合金辊环也可以在端面安装键槽或凸缘,用以传递轧制力矩,但是这必须附加昂贵的硬质合金以及昂贵的加工费用并且提高了断裂的危险性。在铸入法复合碳化钨轧辊中,轧制力矩由韧性的球墨铸铁部位进行传递。由于这种情况和利用球墨铸铁附加支撑硬质合金辊环,所以能将硬质合金辊环的尺寸降到最佳程度,这是铸入法复合碳化钨轧辊的一个主要优点,这一点在大轧辊中是很明显的。因此可以在线材轧机的中轧机、棒材精轧机和钢管张力减径机中经济地采用硬质合金。

铸入法复合碳化钨轧辊有4种应用方式:

①线材轧机中轧机、精轧机以及棒材轧机的精轧机在两侧具有辊颈的辊身上安装辊环(铸入法复合碳化钨轧辊);

②线材轧机的中轧机、精轧机以及棒材轧机的精轧机需快速换辊的轧辊;

③进料辊和其他辊(导向辊、扭转辊);

④轧制线材、棒材和管材用的三辊轧机轧辊。

5.1 铸入法复合碳化钨轧辊

图5示出带有2个铸入法复合碳化钨辊环的复合轧辊。在每个辊环上,轧制力矩均通过相对安放的2个弹簧键槽咬住固定在辊身上的弹簧,并传递到球墨铸铁部位。为了减少轧辊弯曲,尽可能将辊环向两侧安放。为了防止在轧制期间的径向跳动,用轻压配合将铸入法复合碳化钨辊环安装于辊身。也可用同样方式为轧辊装上4个铸入法复合碳化钨辊环。

5.2 快速换辊时的铸入法复合碳化钨辊

铸入法复合碳化钨轧辊可以取代冷硬铸铁轧辊、整体硬质合金轧辊或复合轧辊(将硬质合金辊环机械固定到辊轴上)。图6a为线材

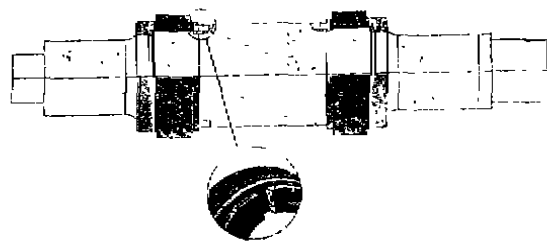


图5 带有2个铸入法复合碳化钨辊环的复合轧辊

轧机的典型铸入法复合碳化钨轧辊。

5.3 铸入法复合碳化钨进料辊

线材轧机的铸入法复合碳化钨进料辊在精轧机架和卷取机之间传送线材。图6b示出铸入法复合碳化钨进料辊。

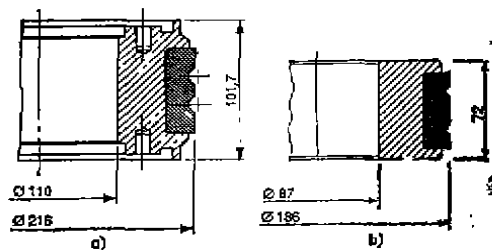


图6 铸入法复合碳化钨轧辊

a) 线材轧机用的铸入法复合碳化钨轧辊;

b) 进料辊用的铸入法复合碳化钨轧辊

5.4 三辊轧机特别是钢管张力减径机用铸入法碳化钨轧辊



图7 三辊轧机用铸入法碳化钨轧辊

同二辊轧机,硬质合金在线材和棒材三辊轧机上也成功应用多年,但是到目前为止,硬质合金轧辊在钢管张力减径机中的应

用很少,并且一直主要选用铸造轧辊。其原因如下:轧辊的直径很大,如果全部采用硬质合金,价格太高;为了传递轧制力矩,辊环内安有键槽,该键槽对硬质合金来说是危险的断裂因素;在辊轴上安装硬质合金辊环需要昂贵的加工费用。此外,考虑结构特点,可用层只局限于轧辊实际直径区的一部分,有时硬质合金辊环还会在辊轴上打滑,大多数情况下,这会导致硬质合金辊环断裂;所采用的几种硬质合金只能通过研磨法来加工,但在大多数情况下,钢管轧机不具备这些研磨装置。

利用Sandvik铸入法复合碳化钨轧辊(图8)可以克服整体硬质合金辊环和在辊轴上安装的硬质合金辊环的上述缺点。

1985~1986年提供了钢管张力减径机

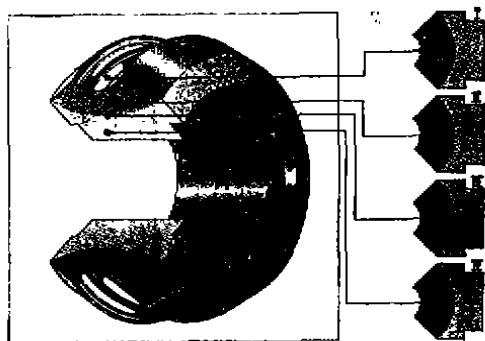


图8 Sandvik铸入法复合碳化钨轧辊的优点

I-孔型的耐磨强度高(两次重磨之间的寿命是铸造轧辊的15~50倍、表面质量好、公差小、成型精度高、耐热裂纹性能好、耐蚀性好; II-硬质合金辊环(带有镍粘剂的碳化钨)、与钢管张力减径机中的工作条件相协调,整个截面有均匀的高硬度(至少为650HV)、设计了适用管直径区的环形截面; III-硬质合金辊环与铸造基体冶金结合到一起,因此2种材料的结合安全可靠; IV-球墨铸铁基体的韧性和弹性好,因此可利用键槽/弹簧连接来可靠地传递轧制力矩,防止轧辊提前断裂的能力强

小直径钢管用的第1批铸入法复合碳化钨轧辊,结果扩大了铸入法复合碳化钨轧辊的用途,目前适于用铸入法复合碳化钨轧辊的钢管直径已提高到 $\phi 136\text{mm}$ 。如果冷却得当,轧制速度可以降低到 1.5m/s 。利用商业硬质合金刀具或CBN刀具可以用普通车床直接在机架上再加工轧辊。还可以在各种型号的三辊轧机上应用铸入法复合碳化钨轧辊。当钢管直径 $<50\text{mm}$ 时,铸入法复合碳化钨轧辊的轧槽寿命为普通冷硬铸铁轧辊的30~50倍;当钢管直径 $>50\text{mm}$ 时,铸入法复合碳化钨轧辊的轧槽寿命为普通冷硬铸铁轧辊的15~25倍。此外,由于铸入法复合碳化钨轧辊的孔型表面质量良好,还可以改善钢管表面质量,产品公差也较小。由于减少了换辊时间,所以收得率显著提高。

6. 结 语

1982年提出铸入法复合碳化钨轧辊方案。经过对球墨铸铁成份、铸造技术、硬质合金辊环的尺寸、硬质合金材料以及热处理方面的多年研究,在钢管张力减径辊和进料辊上获得初步成效。在进一步的开发中,在较高的应力下也逐渐取得令人满意的成果。1988年通过铸入法复合碳化钨轧辊的进一步开发和研制已达投入市场的水平。

由于有了铸入法复合碳化钨复合轧辊,在高应力机架中可靠地传递轧制力矩的问题得到解决,因此得以充分发挥长期以来众所周知的硬质合金在线材中轧机、棒材精轧机和钢管张力减径机中的长处。

赵淑萍译自 Neue Heutte, 1990,
35, (5), 183~188

邵素芸校