

国防工业技术丛刊 75

新型耐磨材料—— 钢 结 合 金

北京电子管厂编

(内部资料·注意保存)

国防工业出版社

新型耐磨材料-钢结合金

北京电子管厂 编

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

787×1092¹/₃₂ 印张 ¹/₂ 10 千字

1971年3月第一版 1971年3月第一次印刷

统一书号: N15034·(活)-75 定价: 0.07元

毛主席语录

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

毛主席语录

外国有的，我们要有，外国没有的，
我们也要有。

坚持政治挂帅，加强党的领导，大搞
群众运动，实行两参一改三结合，大搞技
术革新和技术革命。

什么工作都要搞群众运动，没有群众
运动是不行的。

一、概 述

伟大领袖毛主席教导我们：“我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国”。这是毛主席向奋战在我国各条战线的工人阶级和亿万革命群众发出的战斗号角，也是摆在我们面前的光荣而艰巨的政治任务。

耐磨材料是制造模具、刀具、量具以及其他耐磨零件必不可少的。目前国内外用作耐磨材料的，不外是钢材和硬质合金两大类。碳钢和合金钢由于硬度低、耐磨性差，以及使用寿命短等，远远不能适应现代技术和生产的需要。于是远在二十世纪二十年代，就出现了硬质合金。硬质合金与钢材相比，虽然它的硬度高，耐磨性好，但其严重的缺陷是烧结成型以后不能进行机械加工（当前是采用电加工），而且脆性大，抗冲击性能差。此外，它在原材料方面要消耗大量金属钴，而钴又是冶炼高温合金和精密合金必不可少的重要合金元素。因此，硬质合金的发展和应用也就受到了一定的限制。于是国内外都在致力寻求一种硬度高，耐磨性能好，同时又易于进行机械加工的新型材料。

在国外，美国在一九五八年搞了一种碳化钛基合金，最初采用的是一种烦杂的浸渍工艺，需要使用复杂的高温真空加热设备。即使如此，还对试验、生产工艺关键严密封锁。

苏修直至一九六九年的杂志上才对钢结合金有初次报导，走的还是美国人的老路。

毛主席指示我们：“外国有的，我们要有，外国没有的，我们也要有。”我厂广大革命群众有一颗对毛主席的赤胆忠心，有赶超世界先进水平的雄心壮志，大家狠批叛徒、内奸、工贼刘少奇的“洋奴哲学”、“爬行主义”，坚持“自力更生”、“艰苦奋斗”的伟大方针，群策群力，大搞技术革新，在兄弟单位的大力帮助和协同下在短短一年时间内，们我采用粉末冶金液相烧结工艺，并在材料组成和合金结构上进行改进和创新，研制出一种新型的耐磨材料——钢结碳化钨合金。它综合了钢和硬质合金的优点，克服了它们的缺点，是一条多快好省地发展我国耐磨材料的新途径。

钢结合金可以进行热处理。退火后，硬度值为 $HRC=40\sim45$ ，可以在普通机床上进行车、铣、刨、磨、钻等各种机械加工，从而克服了硬质合金无法机械加工的严重缺陷；淬火后，钢结合金的硬度值高达 $HRC=68\sim72$ ，具有很好的耐磨性，同时钢结合金的抗冲击性能也优于硬质合金，克服了硬质合金脆性大的缺点。而且它完全不用钻，节省了大量物资钻，适合战备需要。

二、钢结合金的组织和性能

伟大领袖毛主席教导我们：“任何运动形式，其内部都包含着本身特殊的矛盾。这种特殊的矛盾，就构成一事物区别于他事物的特殊的本质。”（《矛盾论》）钢结合金的性能所以比钢材和硬质合金优越，其根本原因在于钢结合金的组成

材料和金相组织结构。

1. 鋼结合金的組織:

钢结合金的组织基本上由碳化钨相和金属相组成。由于碳化钨在铁族金属中溶解度达 7%，故在碳化钨相的边缘是碳化钨在铁中的固溶体组织。

必须指出，钢结合金的显微组织对其性能影响很大，在冲击载荷下，裂纹往往首先在碳化钨相内部出现，并继续发展。所以，为获得最佳性能，理想的金相组织应是颗粒细小而均匀的碳化钨相质点，均匀地弥散分布于金属相基体。

钢结合金中，碳化钨相是耐磨硬相，它使钢结合金具有高硬度和耐磨性；同时由于它的均匀分布，使钢结合金在热处理时变形很小，热稳定性和尺寸稳定性很好。这些特性对制造耐磨零件和复杂模具非常有利。

钢结合金中，金属相是铁基固溶体，其中常加入各种合金元素或稀土元素合金化，以改善性能。因为金属相中含有一定的碳量，所以钢结合金能够进行热处理。

2. 金属相对鋼结合金性能的影响:

由于钢结合金中金属相的重量比达 50%，因此金属相-钢的组织 and 性能及其与碳化钨相湿润情况，对钢结合金的性能影响很大。根据不同的使用要求，可以采用不同的金属相基体，从而获得不同性能的钢结合金。

例如:

铬钨钢钢结合金适用于制做模具和耐磨零件;

高速钢钢结合金适用于制做切削刀具;

不锈钢钢结合金适用于制做耐腐蚀、耐氧化的耐磨零件。

3. 鋼结合金的性能:

“有比较才能鉴别。”表 1 比较了不同耐磨材料的主要性能。可以看到，钢结合金无论在物理性能方面还是机械性能方面都是很优越的。

表 1 不同耐磨材料的比较

性 能	铬钼钢结合金	工 具 钢	硬 质 合 金
退 火 硬度 (HR _C) 淬 火	40~45	64~67	65~80
	68~72		
耐 磨 性	优	中	优
机械加工	能	能	不 能
热 处 理	能	能	不 能
焊接、锻造	能	能	不 能
磁 性	有	有	微
密度 (克/厘米 ³)	≈10	≈7.8	≈12

三、钢结合金研制工艺

毛主席教导说：“我们不但要提出任务，而且 要解决完成任务的方法问题。”（《关心群众生活，注意工作方法》）为获取钢结合金的最佳组织结构和性能，必须严格掌握其以下特定的研制工艺流程。

1. 钢结合金成分：

钢结合金的性能取决于其成分和金相组织。例如对适于制做模具的铬钼钢钢结合金来说，当碳化钨相与金属相的重量百分比不同时，钢结合金性能也不同。试验表明，铬钼钢

钢结合合金中，碳化钨相比比例增加，则耐磨性提高，而冲击韧性降低；反之，若减少碳化钨相比比例，则冲击韧性提高，而耐磨性降低。表 2 列出了一种常用的铬钼钢钢结合合金的成分。

表 2 铬钼钢钢结合合金成分

组 元	WC	Cr	Mo	C	Fe
重量百分比%	50	1.35	1.35	钢中 1%	其 余

配取粉末混合料时，可以采用单组元金属粉末或中间合金粉末（如钼铁合金粉和铬铁合金粉）。各种粉末粒度通常为 200 目。

2. 球磨混合工艺:

球磨的目的是为了将上述按比例配取的各种单组元粉末进行机械搅拌，以制得各种组元分布均匀的粉末状机械混合物。

具体工艺是:

球料比..... 3:1

球磨时间..... 30 小时

球磨介质.....无水乙醇

球磨体.....硬质合金小球($\phi 8 \sim 10$)

球磨筒材料.....不锈钢

球磨机转速: $n = (0.3 \sim 0.4) n_{\text{临}}$

$$n_{\text{临}} = \frac{42.4}{\sqrt{D}} \text{ 转/分}$$

式中 D ——球磨筒直径 (米)。

3. 压制:

压制过程是将粉末状机械混合物加入适量的塑化剂（石蜡汽油溶液或橡胶汽油溶液），在压模中用一定压力压制成一

定形状的多孔压块。

压制压力 $p \approx 1 \text{ 吨/厘米}^2$;

压块密度 $\alpha \approx 6.5 \text{ 克/厘米}^3$ 。

4. 脱蜡 (胶):

脱蜡过程需在保护气氛下进行。先将温度缓慢升至 400°C ，并保温到蜡焰消失为止。要注意升温不能太快，以防石蜡 (或橡胶) 猛烈排出而使压块开裂。脱蜡工艺也可与烧结工艺同时进行。

5. 烧结:

烧结是粉末冶金的重要工艺过程，也是钢结合金制造工艺中的关键环节。烧结过程的实质，是使多孔压块在高温作用下转变为致密体，并伴随着合金组元的扩散和溶解等物理过程。钢结合金中，碳化物是高温难熔相，在烧结过程中呈固态，烧结时有溶解和析出过程。金属相在烧结过程中呈液态，钢结合金的烧结过程是液相烧结。如前所述，钢结合金中金属相的重量比约 50%，其体积百分比更大，因此，烧结时出现液相的数量很大。再者，由于碳化物与铁族金属间湿润情况不理想，所以钢结合金的烧结对温度十分敏感，烧结温度区间很窄。若温度稍低，则烧结过程进行不充分，密度不够；若温度略高，则引起液相流溢而过烧。

通常用烧结后试样的密度作为检验标准，密度根据阿基米德原理用下式测定：

$$\gamma = \frac{m_0}{m_0 - m_1}$$

式中 γ —— 试样密度；

m_0 —— 试样在空气中重量；

m_1 ——试样在水中重量。

不同成分的钢结合金的烧结温度和密度如表 3 所示：

表 3 不同成分钢结合金的烧结温度和密度

牌 号	烧结温度(°C)	烧结气氛	密度(克/厘米 ³)
钢结-1	1265	氢气(或真空)	≥11.15
钢结-2	1255	氢气(或真空)	≥10.35
钢结-3	1245	氢气(或真空)	≥9.60

注：钢结-1合金(WC: 钢重量60:40); 钢结-2合金(WC: 钢重量50:50); 钢结-3合金(WC: 钢重量40:60)。

钢结碳化钨合金可在氢气氛中或真空中烧结。在氢气氛中烧结比真空中烧结的优点是：设备简单、便于组织连续生产及生产率高。

6. 热处理：

钢结合金的一个重要特点是能够进行热处理。经过退火，可使钢结合金的硬度降低，以便于进行各种形式的机械加工；经过淬火，可得到很高的硬度和耐磨性。在热处理过程中，碳化物相保持不变，金属相则随不同加热规范而发生相变。

(1) 退火：

钢结合金退火的目的在于降低硬度，以便于机械加工，同时也可使组织均匀化和消除内应力。

钢结合金退火过程的关键，在于使加热至 900~1000°C 后充分奥氏体化的钢结合金组织，在随后缓慢冷却过程中能充分分解。奥氏体分解温度范围为 700~730°C。由于钢结合金热态下相稳定性高，所以退火过程中保温时间较长，降温速度较慢。

钢结碳化钨合金退火后，硬度值可由烧结后的 $HR_C =$

55~60 降为 $HR_c = 40 \sim 45$ 。

目前一般采用的退火工艺是在 950°C 保温 5 小时，以使合金组织充分奥氏体化，随后缓慢降温到奥氏体分解温度，在此温度下再保温到使奥氏体充分分解，然后再缓慢降温至 600°C 左右，并随炉冷却到 $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 后出炉。

目前采用的退火工艺还不够完善，尚有待进一步改进。

退火时合金化残余奥氏体很稳定，经长时间加热也不分解，为此可用冷冻处理法。但此工艺复杂，一般在生产中不常用。

退火时要用铸铁屑或加碳氧化铝粉作填料，并保持微还原气氛。这一方面是为了避免退火零件表面脱碳与氧化，同时也为了使退火零件温度均匀。退火炉用普通的马福炉，温度要求均匀。

(2) 淬火:

钢结合金的淬火方法与一般工具钢相似。

对于复杂零件，如在成形时作过大量机械加工，为消除其应力，以免在急剧加热时产生裂纹，淬火后应先在 600°C 左右加热半小时至一小时。然后再在 1000°C 保温一小时左右（保温时间根据淬火零件截面大小而定），随后放入油中激冷。

与退火时一样，为避免表面脱碳和氧化，在淬火加热时，炉内应保持微还原气氛，并用铸铁屑或加碳氧化铝粉作填料。

钢结合金中，因碳化钨相热稳定性好，所以钢结合金零件淬火后变形甚微，这也是它的优点之一。

为消除应力，提高冲击韧性，淬火后的零件应作回火处理。根据对零件的不同要求，回火温度可以在 $300 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 范围内选择。

四、钢结合金的机械加工

伟大领袖毛主席教导我们：“按照实际情况决定工作方针，这是一切共产党员所必须牢牢记住的最基本的工作方法。”（《在晋绥干部会议上的讲话》）钢结合金在退火状态可以进行车、铣、刨、磨、钻等各种形式的机械加工，这是钢结合金的一个重要优点。但是必须指出，由于钢结合金中碳化钨硬质相占一半左右，因此不能采用加工普通钢材的工艺（如高速切削）进行钢结合金的机械加工，而必须采用适合其特点的加工工艺。生产实践证明，只要合理地选用加工工艺，钢结合金的机械加工并不困难。

1. 钢结合金机械加工的基本原则：

（1）机械加工一般在退火状态进行，而精磨应在回火后进行；

（2）最好采用硬质合金刀具（BK类更好），刃口要锋利，并有利于切削热的传导；

（3）吃刀深度要大（ ≈ 2 毫米），走刀量也应相应加大；

（4）工件转速要低（ ≈ 200 转/分）；

（5）不可用冷却润滑剂，以免工件因激冷而硬化。

2. 切削加工：

（1）由于钢结合金中碳化钨硬相数量较多，这相当于在合金组织中均匀分布着碳化钨的硬质点，加工时，碳化钨颗粒不是被切下，而且被挤下或剥落，因而采用比加工普通钢材时更大的吃刀量和更小的转速，效果较好。车削加工时，

要特别注意刀刃的角度；

(2) 加工内部圆角，可用锋利的高速钢端铣刀；

(3) 钻、刨工艺与车削工艺原则一致。

3. 磨削加工：

钢结合金在退火和淬火状态下皆可进行磨削加工，一般粗磨在退火状态进行，而精磨在回火状态进行。磨削可采用碳化硅或碳化硼砂轮。由于钢结合金淬火变形很小，故淬火加工余量可小些，通常留2~5丝即可。磨削时，磨床工作台的横向进给速度要低。

精磨后，钢结合金表面光洁度可达▽▽▽▽10以上。

五、钢结合金的生产使用实例

毛主席在《实践论》这篇光辉著作里精辟地指出：“马克思主义的哲学认为十分重要的问题，不在于懂得了客观世界的规律性，因而能够解释世界，而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。”“只有人们的社会实践，才是人们对于外界认识的真理性的标准。”钢结合金这种新材料，跟任何新生事物一样，在生产实践中表现了旺盛的生命力，很受使用单位欢迎。由点上试验到面上推广，做了几十种不同类型的模具，一致的结论是钢结合金能够机械加工，耐磨性好，使用寿命长。与以前合金钢模具相比，少则提高使用寿命七、八倍，多则近百倍，从而大大降低了成本，提高了产品质量的稳定性和生产率。下面选几个钢结合金的应用实例加以说明。

1. 3DK2 引伸模：

以前用铬钢制作此种模具，每生产五万件左右就产生毛刺，而必须修模，每生产二十万件模具即报废。不但修模次数多，使用寿命短，而且产品质量也不稳定。采用钢结合金模具后，已生产零件三百四十万件，磨损很小，仍可继续使用，提高使用寿命十七倍以上，磨修寿命提高的更多。

另外，用钢结合金制作管帽整形模，连续生产一百五十万件，磨损仅 0.005 毫米，该模具磨损 0.03 毫米才算报废，以此推论，使用寿命可提高百倍以上。

2. 1G2 跳步模:

以前用铬钢制作跳步模，由于模具磨损和产生毛刺，每个班都要修模。由于跳步模是综合落料、引伸、整形、切边等近十道工序的复合模，若一道工序磨损，全副模具就要返修。返修时，整个模具各道都要重新调整，不仅修模工作量很大，生产效率低，而且零件尺寸不稳定、废品多。

使用钢结合金后，生产了二百多万件，从未进行修模，使模修寿命提高百倍以上，大大提高了生产率和产品质量的稳定性。

3. 油毛毡模:

此种模具被冲材料含有大量石粉，对模具的磨损远超过一般金属材料。以前用铬钢制作模具，由于石粉极硬，对模具的划伤、磨损很严重，每生产十五万件，模具就要报废。而且经常修模，每冲五万件，模具就要大修，至于小修，则不计其数。

使用钢结合金后，生产了二百四十万件，从未修模，磨损也极小，大大提高了模具使用寿命和模修寿命。

4. 冷挤模:

冷挤工艺是一项较新的无切屑加工工艺，其加工效率高，原材料损耗小。但由于冷挤模具损耗很大，以前用XBT钢或3X2B8钢制作的冷挤模，生产几百或几千件后，即因磨损、尺寸超差而报废，而硬质合金冷挤模因脆性大易裂，致使模具生产供不应求。

采用钢结合金模具后，每天两个班生产六万件，已使用四个月，仍可继续使用，模具寿命提高百倍以上。

5. 1G2 晶体支架复合模:

1G2 晶体支架模具形状复杂，尺寸精度高，是包括落料、引伸、冲孔、整形、切边等多道工序的复合模。这种模具一个熟练的钳工每个月最多只能生产两副。以前用合金钢制作模具，最多生产二十万件即报废，并且修模频繁、复杂，化费了大量工时。采用钢结合金后，已生产了二百三十万件，一副顶了十一副用。在表4中，通过对比，具体说明了采用不同材料时1G2晶体支架模具的使用效果。

表4 1G2 晶体支架模具使用情况对比

	合金钢模具	钢结合金模具	硬质合金
总寿命	冲制20万件	冲制230万件以上	硬质合金脆性大，易碎，此种模具不宜采用。
每日冲制产量	2 万	7 万	
每班修模调试次数	6 次	1 次	
每次修模时间	4 小时	半小时	
每班调试时间	3 小时	半小时	
每次修模后使用时间	1 小时	6 小时	

除了以上例子之外，用钢结合金还制作了一些复合模、跳步模、边杆绕栅模、可伐冷挤模、管基冲孔模以及切边模等等，生产使用效果也都很好。

六、展 望

生产实践证明，钢结碳化钨合金，可以用来制造各种模具、异型刀具、量具、耐磨零件（如仪表、陀螺和其它精密机械上的耐磨零件）和高精度小轧滚等。作为一种新型耐磨材料，在模具材料和耐磨零件材料方面可以代替已经发展了半个世纪的硬质合金。

伟大领袖毛主席指出：“谁要是只看见光明一面，不看见困难一面，谁就会不能很好地为实现党的任务而斗争。”（《论联合政府》）钢结合金这个新事物，还存在一些不足之处有待进一步研究改进。例如：在烧结工艺上，由于烧结温度区间很窄，在操作上较难掌握，容易欠烧或过烧；钢结合金的锻造工艺还有待进一步研究。此外，虽然钢结合金的抗冲击性能优于硬质合金，但在某些冲击载荷较大的条件下使用时，仍感抗冲击性能不足，出现脆裂现象，而且在高温下钢结合金的使用（如热挤）也还没有足够的经验。

“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”为了克服目前国内外所采用的钢结合金各种制造工艺（如真空浸渍工艺、真空烧结工艺、氢气烧结工艺等）的局限性，使钢结合金坯料的体积和外形尺寸满足各种要求，为进一步改善钢结合金的机械性能和工艺性能，近来我们进行了钢结合金工艺的新的探索，我们相信用毛泽东思想武装起来的我国工人阶级，在生产实践中，一定能攻克钢结合金存在的问题，使其不断充实和完善，更好地为社会主义建设服务。