



## 烧结钢基本知识问答

一、问：目前烧结钢的机械强度达到了什么水平？

答：铁基粉末冶金材料的发展大致经过四个阶段，如图1所示。第二次世界大战前，铁基粉末冶金材料的机械性能相当于普通铸铁，抗拉强度只有 $150\text{--}200\text{N/mm}^2$ 。50年代左右，由于Cu、Ni等合金元素的应用，烧结钢的机械性能达到了可锻铸铁的水平，抗拉强度达到 $400\text{N/mm}^2$ 。60年代中期，由于铁粉质量显著提高，Ni-Cu-Mo三元预扩散合金铁粉的出现，使烧结钢的抗拉强度达到 $600\text{N/mm}^2$ ，热处理后可达 $1000\text{--}1100\text{N/mm}^2$ 。70年代末期，Cr、Mn、V等合金元素在烧结钢生产中应用，经二次压制二次烧结并热处理后，抗拉强度达到 $1400\text{N/mm}^2$ 。烧结并经锻造热处理后，抗拉强度可达 $1800\text{--}1900\text{N/mm}^2$ ，相当于优质合金钢。

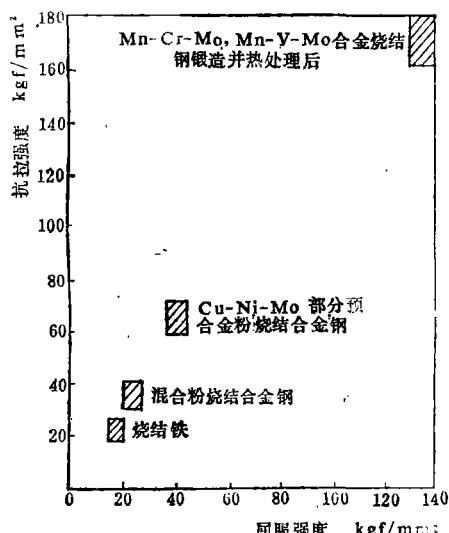


图1 铁基粉末冶金材料的发展

二、问：常用的烧结钢有那些合金系？它们的机械强度为多少？

答：常用的烧结钢合金系有：①Fe-C合金系；②Fe-Cu-C合金系；③Fe-Cu-Ni-C合金系；④Fe-Cu-Ni-Mo-C合金系；此外还有铜浸渍钢、不锈钢，以及新发展的Fe-Mn-Cr-Mo-C合金系；Fe-Mn-V-Mo-C合金系；Fe-Mn-Si-C合金系等。

Fe-C合金系是用得最多的材料，根据密度（ $5.6\text{--}7.2\text{g/cm}^3$ ）和含碳量不同，可以构成10多种材料；含碳在0.2%以下，密度为 $5.6\text{--}6.0\text{g/cm}^3$ ，烧结后抗拉强度为 $110\text{N/mm}^2$ ；含碳在0.6—1.0%，密度为 $6.8\text{--}7.2\text{g/cm}^3$ ，经烧结和热处理后抗拉强度可达 $650\text{N/mm}^2$ 。

Fe-Cu-C合金系也是用得较多的材料。根据密度、含碳量和含铜量不同，可以构成更多的材料牌号，最高抗拉强度可达 $750\text{N/mm}^2$ 。

Fe-Cu-Ni-C合金系比Fe-Cu-C合金系具有更高的机械强度和冲击韧性，其最高抗拉强度可达到 $1300\text{N/mm}^2$ 。

Fe-Cu-Ni-Mo-C烧结合金钢，烧结后的抗拉强度可达 $730\text{N/mm}^2$ ，热处理后可达 $1200\text{--}1300\text{N/mm}^2$ 。

浸渍铜钢的抗拉强度可达 $620\text{N/mm}^2$ ，热处理后达 $900\text{N/mm}^2$ 。

烧结不锈钢的抗拉强度可达 $550\text{N/mm}^2$ （304L）或 $520\text{N/mm}^2$ （316L）。

除上述合金系外，还有Fe-P-C, Fe-P-Cu-C, Fe-Mn-C, Fe-Mn-Cr-C等烧结钢。在锻钢中忌违的磷，在烧结钢中却是一个有益的合金元素，它可以代替Ni、Mo等昂贵合金元。

素而受到人们注视。

三、问：合金元素如何加入烧结钢中？

答：合金元素加入铁基材料中有以下四种方法：

a. 以元素粉末(如C, Ni, Cu, Mo, W等)或母合金粉末(如Fe-Mn-Cr-Mo, Fe-Mn-V-Mo, Fe-P等)加入铁粉中；

b. 将元素粉末或母合金粉末与铁粉混合后经热处理制成部分预合金铁粉；

c. 用电化学或其它化学沉积法制成包覆合金铁粉；

d. 用气或液体雾化熔融合金钢液制成完全合金钢粉。

上述四种合金方法图示如下：

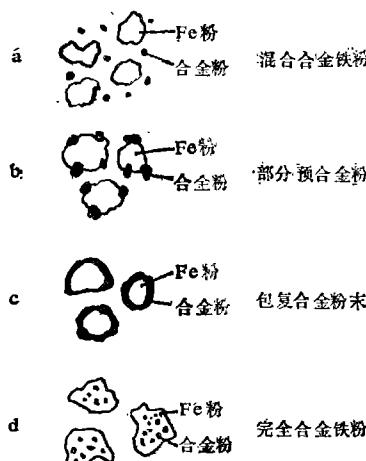


图1 烧结钢合金元素分布形式

a种方法是普遍应用的方法，某些合金元素(如C, P等)只能用这种方法加入。混合合金粉末经压制和高温烧结后藉扩散形成烧结合金钢。为了增加合金元素与铁粉的接触，有利于合金元素的扩散和均匀，要求混入的合金元素很细(一般在200目以下)。此法的优点是易于调整合金成份和不必另增合金化工序。其缺点是合金元素易于产生偏析，合金化不均匀，由此而造成烧结钢零件机械性能波动较大，

零件的尺寸精度难以控制。

以母合金粉末形式加入比之以元素粉末加入要便宜得多，且母合金比较脆，易于破碎成细的粉末。

b种方法可以克服a种方法存在的三个缺点，而且可以利用较细的粉末( $\mu\text{m}$ 级)和一些非常细的易于还原的合金元素氧化物，比较便宜。和a种方法相比还可以获得较高的强度(100N/mm<sup>2</sup>左右)。其缺点是必须另加一道部分预合金化热处理工序(一般温度为860℃)，合金成份难以调整。

用c种方法合金成份分布虽比b种方法的更为均匀，但由于包覆工艺复杂，粉末昂贵，铁基粉末冶金生产中几乎没有应用。

d种方法的合金化最为均匀，每一颗粉末的化学成份完全一致，烧结时无需考虑合金均匀化。这种粉末的缺点是固溶强化后粉粒较硬，压缩性能较差，难以用于传统的粉末冶金生产。完全预合金钢粉适用于粉末热锻和冷、热等静压以制取高合金钢、高速钢、不锈钢以及耐热钢等。

近几年发展起来的另一种合金化方法是采用粘结剂将细的合金粉末与铁粉胶起来，此法尤适用于碳的加入。这种方法的优点是省去了热处理操作，节省能源和加热炉，同样可以克服a种方法所存在的缺点。

除上述的合金化方法外，还有利用粉末冶金材料多孔性的特点进行合金化。如浸渍法和渗入法。浸渍铜钢是常用的一种方法，浸渍可以在烧结以后或与烧结工序同时进行，将混合少量石墨粉和铁粉的铜粉压坯和烧结坯或烧结钢一起放在1120℃下，由于毛细管作用，将熔化后的铜液吸入零件内形成浸渍铜钢。有时将塑料浸入零件内形成钢-塑料零件。渗入法同样是利用存在的孔隙，例如渗碳，对于低密度零件，可以实行全体积渗碳；对于高密度零件，只能实行表面渗碳。 [待续]

〔金家敏解答〕