

# 化学元素在钢材中的作用

黎 帆

广东广业检测有限公司 广东 广州 510160

**摘 要:** 钢中除铁、碳两种基本元素外,还含有其他的一些元素,它们对钢的性能和质量有一定的影响。不同合金元素碳化物在各类钢材中的作用也各不相同,具体的详细作用是本文研究的重点课题。

**关键词:** 化学元素; 钢材; 作用

## 1 铜 (Cu)

### 1.1 对钢的显微组织及热处理的作用

① 铜虽然是增加了奥氏体相区的微量元素,但在铁中的固溶性变化不大,铜与碳中间也不形成碳化物。

② 铜对沸腾临界和淬透力的作用,以及其固溶的效果都和镍类似,可用以完全取代一部分钴。

### 1.2 对钢的力学性能的作用

① 提高钢的强度特别是屈强比 ( $\sigma_s/\sigma_b$ )。

② 由于铜浓度的增加,铜的室温冲击韧性也有所增加。

③ 铜也提高钢的疲劳强度。

### 1.3 对钢的物理、化学结构和工艺性能

① 少量的铜掺入钢材中,能够增强低合金结构钢和钢轨钢的耐大气腐蚀能力,与磷联合应用时效效果应更加突出。铜对钢铁抗土壤和海洋腐蚀能力的提高效果并不明显。铜也可略为提高钢铁的高温抗氧化性<sup>[1]</sup>。

② 在不锈抗酸钢中添加百分之二百分之三铜,可提高钢对硫酸和盐酸的耐蚀性,以及耐应力侵蚀的性能。

③ 提高了钢液的流动性,对铸造性能很有益。

④ 含铜更多的钢,在热加工时易于断裂,要加以防护。

### 1.4 在钢中的应用

① 钢中的合金主要应用在:普通低合金钢,调质和渗碳结构钢,标准钢轨钢,不锈抗酸钢以及铸钢。

② 我国有大量的含铜铁矿,这里的铜矿无法分选,钢中的铜又无法从熔炼工艺中析出,开发含铜钢具有重要的价值。

③ 由于铜无法从炼铁过程中析出,使用含铜废旧钢再熔炼,会使钢中铜浓度累积增加,因而不能在冶炼时有意添加。

## 2 铝 (Al)

### 2.1 对钢的显微组织结构和热处理

① 铝与氧气和氮有强烈的亲和力,是炼钢中的去氧定硫剂。

② 铝强烈缩小了钢中的奥氏体相区<sup>[2]</sup>。

③ 铝与碳的亲和力较低,所以钢中通常不存在铝的碳化物。铝强烈促进碳的石墨化过程,与Cr、Ti、V、Nb等高磁性物质的元素可抑制Al的石墨化过程。

④ 金属铝细化钢的本质晶粒,增加了钢晶粒生长粗化的温度,而当钢中的固溶强化金属铝浓度达到一定值时,奥氏体晶粒反而更容易长大粗化。

⑤ 铝可以增加钢的马氏体点Ms,并降低了淬火后的残余奥氏体浓度,但在其中的作用却和钴之外的其他合金元素完全相反。

### 2.2 对钢的力学性能的作用

① 铝可以降低钢对缺口的敏感度,从而降低了并减少钢材的热时效现象,尤其是减少了钢材的脆性转变温度,从而提高了钢材在低温时的弹性。

② 铝具有很大的固溶增强效果,高镁钢则有相对强度较高的优势,而铁素体型的铁镁系合金的最高硬度和持久强度都超越了Cr13钢,但由于其常温塑性和强度的降低,冷却变形加工更加复杂。

③ 以碳、锰奥氏体化的奥氏体型铁及铝锰系钢的综合性能优异<sup>[3]</sup>。

### 2.3 对钢的物理、化学结构和工艺性能

① 铝在含20%-30%Cr的Fe-Cr合金中,其电阻的系数很小,故可用作电热合金材料。

② 铝和硅在降低交流变压器钢的铁芯消耗方面也具有相似的效果。不同的铝量对矫顽性和磁滞损耗都有着特殊而复杂的作用。

③ 铝浓度达到规定值时,使钢的表层形成了钝化现象,使钢在强氧化性酸环境中产生抗蚀性,并改善了对氢硫基的耐腐蚀特性。

④ 含氧化铝的钢板在渗氮后表面产生了渗氮氧化铝层,能增加牢固性和疲劳强度,从而提高了耐磨性能。

⑤ 铝作为强合金成份加入钢材中,可提高钢材的抗氧化性能。

⑥ 铝对热加工特性、焊接强度和切削性能产生的不

利影响。

#### 2.4 在钢中的应用

① 铝在一般的钢中，主要起脱氧和调节晶粒率的功能<sup>[4]</sup>。

② 铝也是最重要的合金成分之一，可以使用于所有特种合金钢中，如：高温渗氮钢，不锈抗酸钢，耐热不上皮钢，电热合金，硬磁和软磁合金以及无磁钢和高锰低温钢等。

### 3 钴 (Co)

#### 3.1 对钢的显微组织结构和热处理

① 钴也与镍、锰一样，与铁形成了固溶物。

② 钴，与铝一同为降低钢铁的热淬透力的重要微量元素，升高了马氏体转变点M。

③ 钴不是形成碳化物的元素。

④ 钴在回火及使用环境中阻抑、延迟其他金属的碳化物的分解与聚合。

#### 3.2 对钢的力学性能的作用

① 强化钢的集体，在退火或正火态的碳素钢中增加了硬度和强度，但同时也导致了塑性和冲击韧性的减少。

② 显著增加特种用钢材和复合材料的热强性和高强度。

③ 增强了马氏体时效钢的综合力学性能，使之产生了超强弹性。

#### 3.3 对钢的物理、化学结构和工艺性能

① 改善耐热钢与耐热合金材质的抗氧化能力<sup>[5]</sup>。

② 钴加入铁中能增加磁饱和。

#### 3.4 在钢中的应用

① 不在碳素钢和低合金钢中使用。

② 主要用作生产高速工具钢、马氏体时效钢、高耐热钢及其精密合金等。

③ 钴资源紧缺、昂贵，钴的利用应当尽可能节省和合理。

### 4 铬 (Cr)

#### 4.1 对钢的显微组织结构和热处理

① 锰可以和铁生成连续固溶体，缩小了奥氏体相范围。锰和碳生成了多种碳化物，与碳的亲合力高于铁和锰而不及钨、钼等。

② 铬使珠光体中碳的含量和奥氏体中碳的极限溶解度显著降低。

③ 降低了奥氏体的溶解速率，从而显著增加了钢材的热淬透性，但同时也提高了钢材的回火脆性倾向。

#### 4.2 对钢的力学性能的作用

① 增强钢材的强度和硬度，在添加某些合金成分

后，作用更明显。

② 显著增加钢的脆性转变温度<sup>[1]</sup>。

③ 在含铬率高的Fe-Cr合金中，若有 $\sigma$ 相析出，冲击韧性急剧下降。

#### 4.3 对钢的物理、化学结构和工艺性能

① 增加了钢材的耐磨性，经研磨，易得到较高的表面光洁度。

② 降低钢的电导率，降低电阻温度系数。

③ 提高钢材的矫顽性和残余磁性，广泛用来生产永磁体的钢材。

④ 铬炼钢中易产生树枝状偏析，从而降低了钢材的可塑性。

⑤ 提高钢的抗氧化性能。

⑥ 铬炼钢中易产生树枝状偏析，从而降低了钢材的可塑性。

⑦ 由于铬使钢材的电导率降低，热加工处理后应慢慢升温，炼、轧时应缓凉。

#### 4.4 在钢中的应用

① 在合金结构钢中主要使用铬增强淬透力，并能在渗碳面上形成水合铬碳化物，以增加耐磨性。

② 弹簧钢主要是用铬与其他合金成分共同进行的综合性能。

③ 在轴承钢中，主要使用铬的特殊碳化物对耐磨的贡献和抛光研磨后，表面光洁度更高的好处。

④ 在工具钢和高速钢中主要使用铬增强耐磨的功能，并具备一定的回火稳定性和韧性。

⑤ 不锈钢、耐热钢中的铬经常与锰、氮、钴等共同使用，在要求形成奥氏体钢中，保持铁素体的铬和保持奥氏体的锰、钴之间要有相当配比<sup>[2]</sup>。

⑥ 我国铬资源较少，应尽量节省铬的使用。

### 5 锆 (Zr)

#### 5.1 对钢的显微组织结构和热处理

① 锆为金属中熔点最高(1852℃)的稀有金属，为低碳化物的重要组成部分，在熔炼钢铁过程中是强力的去氧和脱硫金属，同时具有去氢和脱硫的功能。

② 锆能细化钢的奥氏体晶粒。

③ 与固溶于奥氏体中的锆可以增强钢材的热淬透性；但如果较多地以ZrC形式出现，将减少淬透性。

#### 5.2 对钢的力学性能的作用

① 锆可以降低钢的应力时效倾向和回火脆性。

② 在提高低合金钢的低温强度上的效果，锆大于钒。

③ 锆还能减轻钢的蓝脆倾向。

#### 5.3 对钢的物理、化学和工艺性能

① 低碳镍铬不锈钢中添加少量锆,可减少晶间腐蚀

② 锆和硫产生硫化物,能有效避免钢材的热脆;含铜钢时添加了锆,也能明显降低龟裂现象。

③ 锆可以显著增加高碳工具钢和高速钢的切削寿命<sup>[3]</sup>。

④ 锆能改善钢的焊接性能。

#### 5.4 在钢中的应用

① 锆产量很少,且价格昂贵,在钢铁中的溶解度也非常低,在一般钢铁中也极少用到,但大多用于特种用途的钢铁和合金中,如超高强度钢,耐热钢,易切削的不锈钢耐酸钢及其钴基高温合金等。

② 锆在原子核裂变反应堆材料和特殊的耐蚀性材料领域中具有重大用途,以锆为基可合成大型的非晶材料。

## 6 硼(B)

### 6.1 对钢的显微组织结构和热处理

① 硼与碳、硅、磷共同构成了零点五金属元素。硼和硫、氧之间也具有强烈的化学亲和力。硼和碳产生碳化物B<sub>4</sub>C。硼和铁产生二个即使在高温时也很稳定的中间物质Fe<sub>2</sub>B和FeB。

② 硼在钢中与残留的氮、氧化物等结合,生成固定的夹杂物后会失去它本来的有利功能,因此唯有以固溶形态存在于钢中的硼才可以发挥特殊的有利功能。这些“有益硼”大都析集,并吸附于晶界。

③ 由于钢中的硼浓度通常都在0.001%-0.005%的范围内,对钢铁的显微组织并没有很明显的的作用。钢的“有效硼”的功能,主要是为了提高钢材的热淬透力。

④ 微量硼也有使奥氏体内晶粒增长的现象。硼有提高回火脆性的倾向<sup>[4]</sup>。

### 6.2 对钢的力学性能的作用

① 微量硼还能增加钢材在淬火前和低温回火后的硬度,并使塑性有所增强。

② 经300-400℃回火的含硼钢,其冲击韧性会比不含硼的钢有所改善,并可大大降低钢材的脆性转变温度。

③ 奥氏体铬镍钢中添加硼,在经固溶和时效处理之后,由于沉淀硬化的影响,其硬度也有相应增加,但弹性却有减弱。

④ 硼对提高奥氏体钢的热蠕变模型抵抗能力很有效。在珠光体耐热钢材中,硼能增加其高温硬度效果。

### 6.3 物理、化学及工艺性能的作用

① 硼浓度大于百分之零点零零七会引起钢材的热脆现象,降低热加工稳定性,所以钢材中硼的总浓度宜限制在0.005%以内。

② 在含硼结构钢中,用微量硼取代了较多数量的其他合金元素后,其总合金成分浓度减少了,在高温下对

变形的抗力也降低了,便于模锻生产和延长锻模寿命<sup>[5]</sup>。

③ 含硼钢在经过正火或退火时,由于其硬度较与淬透力相同的其他合金钢材料都要小,对磨削工艺相当有用。

## 6.4 在钢中的应用

① 硼在钢铁中的用途是提高钢材的淬透度,并降低某些合金成分,如Ni、Cr、Mo等。0.001%-0.005%的硼仅能取代约1.6%的钴,或约0.3%的锰,或0.2%的钼。用硼部分取代钼较为合适。

② 含硼钢在合金结构钢、普通及低合金钢、弹簧钢、耐热钢、高速工具钢,以及铸钢中都可以进行使用。

③ 利用了硼吸引中子的效果,因此反应堆可以采用含硼高达百分之零点一-百分之四点五的高硼低合金钢,但对其热变形的处理则十分困难。

## 7 铅(Pb)铋(Bi)

### 7.1 对钢的显微组织结构和热处理

① 铅和铋实际上不溶于钢中,因为它们的沸点温度都很低,在熔炼过程中大多化为蒸汽并逸出钢液,所以在钢中的微生物残留很少,通常在0.001%以下。对于特定应用要求提高Pb、Bi的浓度时,也应在浇铸过程中添加。

② 由于含量很低,对组织和热处理的影响不显著。

### 7.2 对钢的力学性能的作用

① 对钢的硬度并没有明显作用,使钢的塑性有所降低,而冲击韧性则很大减少。

② 在高强度钢中,铅对疲劳极限有下降的作用。

### 7.3 对钢的物理、化学和工艺性能

① 铅显著改善了钢的切割工艺特点,使切割时容易碎断,并改善了切削时对工具表面和工件内部的润滑,从而减少了切割温度和动能损耗,从而延长了工具寿命,并增加了切削速度。

② 其提高切削工艺性能的效果,在硫、磷浓度较大的钢中十分突出<sup>[1]</sup>。

### 7.4 在钢中的应用

① 含0.2%左右铅的钢有超易切钢之称

② 含铅钢时应避免铅的偏析现象,并对铅蒸气加以保护。

## 8 钨(W)

### 8.1 对钢的显微组织结构和热处理

① 钨是温度最高(3387℃)的难熔金属,在元素周期表中与Cr、Mo同族。在钢中的情况也和莫顿数很相似,即缩小奥氏体相区,并是由强碳化物所形成元素,部分地固溶于铁中。

② 钨对钢的热淬透性的影响,远远小于Mo和Cr。当以钨的特殊碳化物形态出现时,可降低钢的热淬透性能

和淬坚固性能。

③ 钨的特殊碳化物可以抑制钢铁颗粒的生长，从而减少对钢铁的过热敏感性。

④ 钨显著提高钢的回火稳定性。

#### 8.2 对钢的物理、化学和工艺性能

① 由于钨增加了回火性能，使碳化物非常坚固，从而增加了钢材的耐磨性，并使钢材带有一定的红硬度。

② 使钢在高温下的蠕变抵抗能力，其效果不如钼好<sup>[2]</sup>。

#### 8.3 对钢的物理、化学及工艺性能的作用

① 钨显著增加钢铁的密度，强烈减少钢铁的热导率。

② 显著增加钢的矫顽性和残余磁性。

③ 钨对钢材的耐蚀性和高抗氧化能力无明显影响，含钨钢材在高温下的不起皮性明显减少。但钨也可增加钢的抗氢作用的性能。

④ 含钨的高速工具钢塑性较低，变形抗力高，但热加工性能不好。

⑤ 高合金钨钢的铸态中有易熔相的热偏析，因此铸造温度不可提高，同时也要避免高碳钨钢中由于碳的石墨化产生油墨的切口位置问题。

#### 8.4 在钢中的应用

① 主要用作生产工具钢，包括高速工具钢和热锻模

具钢等。

② 在有特定要求时，特别适用于高渗碳和调质结构钢、耐热钢、不锈钢、电磁铁等，常和Si、Mn、自适应逻辑、莫顿数、V、Cr、倪氏等一起加入<sup>[3]</sup>。

#### 结语

总之合金元素的添加对钢材的性质改变，大致有如下几方面影响：1. 增加了钢材的硬度。2. 提高金属淬透度。3. 抑制奥氏体晶粒生长，具体来说是细化晶粒。4. 提高钢材的回火性能。5. 产生二次硬化等。

#### 参考文献

[1] 施先义, 韦文业. 人体中的必需微量元素与有毒元素[J]. 科技创新导报, 2010(4): 104.

[2] 贾奎寿, 郑秀琴. 微量元素对人体健康的影响[J]. 广东微量元素科学, 2003(1): 60-62.

[3] 古昆, 石振勋. 化学元素与人体健康[J]. 云南环境科学, 1999(3): 51-55.

[4] 刘新华, 李龙春, 李平. 浅议钢材化学成分分析中的允许偏差[J]. 机械工业标准化与质量, 2005, 5: 32.

[5] 王开远. 钢的成品化学分析允许偏差及试样制取方法新标准[J]. 机械工业标准化与质量, 2008, 5: 33-37.