

过程。

金属喷镀 metal spray 用压缩空气或惰性气体将熔融的耐蚀金属喷射到金属表面形成保护镀层的过程。

静电喷涂层 electrostatic coating 涂料呈雾状分散在高电压的静电场中,使涂料微粒带电,借静电作用将其吸向制品表面而形成涂层。

第九节 合金元素在钢中的作用

表 1-5-18 合金元素在钢中的作用

| 对钢的显微组织及热处理的作用 | 对钢的力学性能的作用 | 对钢的物理、化学及工艺性能的作用 | 在钢中的应用 |
|---|---|---|---|
| 硅 Si | | | |
| <p>(1)作为钢中的合金元素,其含量一般不低于0.4%。以固溶体形态存在于铁素体或奥氏体中,缩小奥氏体相区</p> <p>(2)提高退火、正火和淬火温度,在亚共析钢中提高淬透性</p> <p>(3)硅不形成碳化物,有强烈的促进碳的石墨化的作用,在硅含量较高的中碳和高碳钢中,如不含有强碳化物形成元素,易在一定温度条件下发生石墨化</p> <p>(4)在渗碳钢中,硅减小渗碳层厚度和碳的浓度</p> <p>(5)硅对钢水有良好脱氧作用</p> | <p>(1)提高铁素体和奥氏体的硬度和强度,其作用较Mn、Ni、Cr、W、Mo、V等更强;显著提高钢的弹性极限、屈服强度和屈强比(δ_s/δ_b),并提高疲劳强度和疲劳比(δ_{-1}/δ_b)</p> <p>(2)硅含量超过3%时显著降低钢的塑性和韧性;硅提高塑/脆转变温度</p> <p>(3)硅易使钢中形成带状组织,使横向性能低于纵向性能</p> <p>(4)改善钢的耐磨性能</p> | <p>(1)降低钢的密度、热导率、电导率和电阻温度系数</p> <p>(2)硅钢片的涡流损耗量显著低于纯铁,矫顽力、磁阻和磁滞损耗较低,磁导率和磁感强度较高。但在强磁场中,硅降低磁感强度</p> <p>(3)提高高温时钢的抗氧化性能,但硅含量高时,表面脱碳加剧</p> <p>(4)硅含量超过2.5%的钢,其变形加工较为困难</p> <p>(5)硅降低钢的可焊性</p> | <p>(1)在普通低合金钢中提高强度,改善局部腐蚀抗力,在调质钢中提高淬透性和抗回火性,是多元合金结构钢中的主要合金组元之一</p> <p>(2)硅含量为0.5%~2.8%的SiMn或SiMnB钢(碳含量0.5%~0.7%)广泛用于高载荷弹簧材料,同时加入W、V、Mo、Nb、Cr等强碳化物形成元素</p> <p>(3)硅钢片为含硅1.0%~4.5%的低碳和超低碳钢,用于电机和变压器</p> <p>(4)在不锈钢和耐蚀钢中,与Mo、W、Cr、Al、Ti、N等配合,提高抗蚀和抗高温氧化能力</p> <p>(5)硅含量较高的石墨钢用于冷作模具材料</p> |

续表

| 对钢的显微组织及热处理的作用 | 对钢的力学性能的作用 | 对钢的物理、化学及工艺性能的作用 | 在钢中的应用 |
|---|---|--|---|
| 锰 Mn | | | |
| <p>(1) 锰是良好的脱氧剂和脱硫剂,工业用钢中一般均含有一定量的锰</p> <p>(2) 锰固溶于铁素体和奥氏体中,扩大奥氏体区,使临界温度 A_4 点升高, A_3 点降低, $(\alpha + \gamma)$ 区下移,当锰含量超过 12% 时,上临界点降至室温以下,使钢在室温时形成单一奥氏体组织。在降低共析温度同时,使共析体中的碳含量减少</p> <p>(3) 锰强烈降低钢的 A_{c1} 和马氏体转变温度(其作用仅次于碳)和钢中相变的速度,提高钢的淬透性,增加残余奥氏体含量</p> <p>(4) 使钢的调质组织均匀、细化,避免了渗碳层中碳化物的聚集成块,但增大了钢的过热敏感性和回火脆性倾向</p> <p>(5) 锰是弱碳化物形成元素</p> | <p>(1) 锰强化铁素体或奥氏体的作用不及碳、磷、硅,在增加强度的同时,对延展性无影响</p> <p>(2) 由于细化了珠光体,显著提高低碳和中碳珠光体钢的强度,使延展性有所降低</p> <p>(3) 通过提高淬透性而提高了调质处理索氏体钢的力学性能</p> <p>(4) 在严格控制热处理工艺、避免过热时的晶粒长大以及回火脆性的前提下,锰不会降低钢的韧性</p> | <p>(1) 随锰含量的增加,钢的热导率急剧下降,线胀系数上升,使快速加热或冷却时形成较大内应力,工件开裂倾向增大</p> <p>(2) 使钢的电导率急剧降低,电阻率相应增大,电阻温度系数下降</p> <p>(3) 使矫顽力增大,饱和磁感、剩余磁感和磁导率均下降,因而锰对永磁合金有利,对软磁合金有害</p> <p>(4) 锰含量很高时,钢的抗氧化性能下降</p> <p>(5) 使钢中的硫形成较高熔点的 MnS,避免了晶界上的 FeS 薄膜,消除钢的热脆性,改善热加工性能</p> <p>(6) 高锰奥氏体钢的变形阻力较大,且钢锭中柱状结晶明显,锻轧时较易开裂</p> <p>(7) 由于提高了淬透性和降低了马氏体转变温度,对焊接性能有不利影响。在适当范围内应降低碳含量</p> | <p>(1) 易切削钢中常有适量的锰和磷, MnS 夹杂使切屑易于碎断</p> <p>(2) 普通低合金钢中利用锰来强化铁素体和珠光体,提高钢的强度,锰含量一般为 1% ~ 2%</p> <p>(3) 渗碳和调质合金结构钢的许多系列中含有不超过 2% 的锰</p> <p>(4) 弹簧钢、轴承钢和工具钢中利用锰强烈提高淬透性的作用。可采用油淬和空冷的淬火工艺,减少开裂、扭曲和变形</p> <p>(5) 耐磨钢、无磁钢、不锈钢、耐热钢,包括高碳高锰耐磨铸钢(C : 1.0% ~ 1.4% , Mn : 10% ~ 14%),中碳高锰无磁钢(C : 0.3% ~ 0.6% , Mn : 18% ~ 19%),低碳高锰不锈钢(有 Cr, 无 Ni 或少 Ni),高锰耐热钢(以 Mn 代 Ni 的耐热不起皮钢,或含有 Al、Mo、V 等)</p> |

续表

| 对钢的显微组织及热处理的作用 | 对钢的力学性能的作用 | 对钢的物理、化学及工艺性能的作用 | 在钢中的应用 |
|---|---|--|--|
| 镍 Ni | | | |
| <p>(1) 镍和铁能无限固溶,镍扩大铁的奥氏体区,即升高 A_4 点,降低 A_3 点,是形成和稳定奥氏体的主要合金元素</p> <p>(2) 镍和碳不形成碳化物</p> <p>(3) 降低临界转变温度,降低钢中各元素的扩散速率,提高淬透性</p> <p>(4) 降低共析珠光体的碳含量,其作用仅次于氮而强于锰。在降低马氏体转变温度方面的作用为锰的一半</p> | <p>(1) 强化铁素体并细化增多珠光体,提高钢的强度,不显著影响钢的塑性</p> <p>(2) 含镍钢的碳含量可适当降低,因而可使韧性和塑性有所改善</p> <p>(3) 提高钢的疲劳抗力,减小钢对缺口的敏感性</p> <p>(4) 由于对提高钢的淬透性和回火稳定性的作用并不十分强,镍对调质钢的意义不大</p> <p>(5) 降低钢的低温脆化转变温度,含 Ni3.5% 的钢可在 -100°C 时使用,含 Ni9% 的钢可在 -196°C 时使用</p> | <p>(1) 强烈降低钢的热导率和电导率</p> <p>(2) $\text{Ni} < 30\%$ 的奥氏体钢呈现顺磁性,即无磁钢。$\text{Ni} > 30\%$ 的 Fe - Ni 合金是重要的精密软磁材料</p> <p>(3) 含镍超过 15% ~ 20% 的钢对硫酸和盐酸有很高的抗蚀性能,但不能抗硝酸的腐蚀。总的来说,含镍钢对酸、碱以及大气都有一定的抗蚀能力。含镍的低合金钢还有较高的腐蚀疲劳抗力。含镍钢在含硫和一氧化碳的气氛中加热时易发生热脆和侵蚀性气孔</p> <p>(4) 含镍较高的钢在焊接时应采用奥氏体焊条,以防止裂缝</p> <p>(5) 含镍钢中易出现带状组织和白点缺陷,应在生产工艺中加以防止</p> | <p>(1) 单纯的镍钢只在要求有特别高的冲击韧性或很低的工作温度时才使用</p> <p>(2) 机械制造中使用的镍铬或镍铬钼钢,在热处理后能获得强度和韧性配合良好的综合力学性能。含镍钢特别适用于需要表面渗碳的部件</p> <p>(3) 在高合金奥氏体不锈钢中镍是奥氏体化元素,能提供良好的综合性能,主要为 NiCr 系钢。CrMnNi、CrAlSi、FeAlMn 钢,在一些用途上可取代 CrNi 系钢</p> <p>(4) 由于镍的稀缺,又是重要的战略物资。非在用其他合金元素不可能达到性能要求时,应尽量少用和不用镍作为钢的合金元素</p> |
| 钴 Co | | | |
| <p>(1) 钴和镍、锰一样,和铁形成连续固溶体</p> <p>(2) 钴和铝同是降低钢的淬透性的元素,升高马氏体转变点 M_s</p> <p>(3) 钴不是形成碳化物的元素</p> <p>(4) 钴在回火或使用过程中阻抑、延缓其他元素特殊碳化物的析出和聚集</p> | <p>(1) 强化钢的基体,在退火或正火状态的碳素钢中提高硬度和强度,但会引起塑性和冲击韧性的下降</p> <p>(2) 显著提高特殊用途钢和合金的热强性和高温硬度</p> <p>(3) 提高马氏体时效钢的综合力学性能,使其具有超强韧性</p> | <p>(1) 提高耐热钢和耐热合金的抗氧化性能</p> <p>(2) 钴加入铁中能增加磁饱和</p> | <p>(1) 不在碳素钢和低合金钢中使用</p> <p>(2) 主要用于高速钢、马氏体时效钢、耐热钢以及精密合金等</p> <p>(3) 钴资源缺乏、价格昂贵,钴的使用应尽量节约和合理</p> |

续表

| 对钢的显微组织及热处理的作用 | 对钢的力学性能的作用 | 对钢的物理、化学及工艺性能的作用 | 在钢中的应用 |
|---|--|---|---|
| 铬 Cr | | | |
| (1) 铬与铁形成连续固溶体, 缩小奥氏体相区域。铬与碳形成多种碳化物, 与碳的亲合力大于铁和锰而低于钨、钼等。铬与铁可形成金属间化合物 σ 相 (FeCr) (2) 铬使珠光体中碳的浓度及奥氏体中碳的极限溶解度减少 (3) 减缓奥氏体的分解速度, 显著提高钢的淬透性, 但亦增加钢的回火脆性倾向 | (1) 提高钢的强度和硬度, 同时加入其他合金元素时, 效果较显著 (2) 显著提高钢的脆性转变温度 (3) 在含铬量高的 Fe - Cr 合金中, 若有 σ 相析出, 冲击韧性急剧下降 | (1) 提高钢的耐磨性, 经研磨, 易获得较高的表面光洁度 (2) 降低钢的电导率, 降低电阻温度系数 (3) 提高钢的矫顽力和剩余磁感, 广泛用于制造永磁钢 (4) 铬促使钢的表面形成钝化膜, 当有一定含量的铬时, 显著提高钢的耐腐蚀性能(特别是硝酸)。若有铬的碳化物析出时, 使钢的耐腐蚀性能下降 (5) 提高钢的抗氧化性能 (6) 铬钢中易形成树枝状偏析, 降低钢的塑性 (7) 由于铬使钢的热导率下降, 热加工时要缓慢升温, 锻、轧后要缓慢冷 | (1) 合金结构钢中主要利用铬提高淬透性, 并可在渗碳表面形成合铬碳化物以提高耐磨性 (2) 弹簧钢中利用铬和其他合金元素一起提供的综合性能 (3) 轴承钢中主要利用铬的特殊碳化物对耐磨性的贡献及研磨后表面光洁度高的优点 (4) 工具钢和高速钢中主要利用铬提高耐磨性的作用, 并具有一定的回火稳定性和韧性 (5) 不锈钢、耐热钢中铬常与锰、氮、镍等联合使用, 当需形成奥氏体钢时, 稳定铁素体的铬与稳定奥氏体的锰、镍之间须有一定比例, 如 Cr18Ni9 等 (6) 我国铬资源较少, 应尽量节省铬的使用 |
| 钼 Mo | | | |
| (1) 钼在钢中可固溶于铁素体、奥氏体和碳化物中, 它是缩小奥氏体相区的元素 (2) 当钼含量较低时, 与铁、碳形成复合的渗碳体, 含量较高时可形成钼的特殊碳化物 (3) 钼提高钢的淬透性, 其作用较铬强, 而稍逊于锰 (4) 钼提高钢的回火稳定性。作为单一合金元素存在时, 增加钢的回火脆性; 与铬、锰等并存时, 钼又降低或阻止因其他元素所导致的回火脆性 | (1) 钼对铁素体有固溶强化作用, 同时也提高碳化物的稳定性, 从而提高钢的强度 (2) 钼对改善钢的延展性和韧性以及耐磨性起到有利作用 (3) 由于钼使形变强化后的软化和恢复温度以及再结晶温度提高, 并强烈提高铁素体的蠕变抗力, 有效抑制渗碳体在 450 ~ 600℃ 下的聚集, 促进特殊碳化物的析出, 因而成为提高钢的热强性的最有效的合金元素 | (1) 在含碳 1.5% 的磁钢中, 2% ~ 3% 的钼提高剩余磁感和矫顽力 (2) 在还原性酸及强氧化性盐溶液中都能使钢表面钝化, 因此钼可以普遍提高钢的抗蚀性能, 防止钢在氯化物溶液中的点蚀 (3) 钼含量较高 (> 3%) 时使钢的抗氧化性恶化 (4) 含钼不超过 8% 的钢仍可以锻、轧, 但含量较高时, 钢对热加工的变形抗力增高 | (1) 在调质和渗碳结构钢、弹簧钢、轴承钢、工具钢、不锈钢、耐热钢、磁钢中都得到了广泛应用 (2) 铬钼钢在许多情况下可代替铬镍钢来制造重要的部件 (3) 我国富产钼, 但在世界范围内的储量并不丰富。含钼钢在我国应适当发展, 但钼是重要战略物资, 应注意合理和节约使用 |

续表

| 对钢的显微组织及热处理的作用 | 对钢的力学性能的作用 | 对钢的物理、化学及工艺性能的作用 | 在钢中的应用 |
|---|--|--|--|
| 铜 Cu | | | |
| <p>(1) 铜是扩大奥氏体相区的元素,但在铁中的固溶度不大,铜与碳不形成碳化物</p> <p>(2) 铜对临界温度和淬透性的影响以及其固溶强化作用与镍相似,可用来代替一部分镍</p> | <p>(1) 提高钢的强度特别是屈服比 (σ_s/σ_b)</p> <p>(2) 随着铜含量的提高,铜的室温冲击韧性略有提高</p> <p>(3) 铜也提高钢的疲劳强度</p> | <p>(1) 少量的铜加入钢中可以提高低合金结构钢和钢轨钢的抗大气腐蚀性能,与磷配合使用时效果更为显著。铜对钢抗土壤及海水腐蚀性能的改善作用不显著。铜也能略为提高钢的高温抗氧化性</p> <p>(2) 在不锈钢中加入 2% ~ 3% 铜可改善钢对硫酸和盐酸的抗蚀性和对应力腐蚀的稳定性</p> <p>(3) 改善钢液的流动性,对铸造性能有利</p> <p>(4) 含铜较高的钢,在热加工时容易开裂,需加以防止</p> | <p>(1) 钢中加入铜应用于:普通低合金钢,调质与渗碳结构钢,钢轨钢,不锈钢耐酸钢和铸钢</p> <p>(2) 我国有丰富的含铜铁矿,其中的铜不易分选,钢中的铜也不能在冶炼过程中分离,发展含铜钢有重大经济意义</p> <p>(3) 由于铜不能在炼钢过程中分离,用含铜废钢重复冶炼,将使钢中铜含量累积升高,故不宜在炼制中有意加入</p> |
| 铝 Al | | | |
| <p>(1) 铝与氧和氮有很强的亲和力,是炼钢时的脱氧定氮剂</p> <p>(2) 铝强烈缩小钢中的奥氏体相区</p> <p>(3) 铝和碳的亲和力小,在钢中一般不出现铝的碳化物。铝强烈促进碳的石墨化,加入 Cr、Ti、V、Nb 等强磁化物形成元素可抑制 Al 的石墨化作用</p> <p>(4) 铝细化钢的本质晶粒,提高钢晶粒粗化的温度,但当钢中的固溶金属铝含量超过一定值时,奥氏体晶粒反而容易长大粗化</p> <p>(5) 铝提高钢的马氏体点 M_s,减少淬火后的残余奥氏体含量,在这方面的作用与钴以外的其他合金元素相反</p> | <p>(1) 铝减轻钢对缺口的敏感性,减少或消除钢的时效现象,特别是降低钢的脆性转变温度,改善了钢在低温下的韧性</p> <p>(2) 铝有较大的固溶强化作用,高铝钢具有比强度较高的优点,铁素体型的铁铝系合金其高温强度和持久强度超过了 Cr13 钢,但其室温塑性和韧性低,冷变形加工困难</p> <p>(3) 以碳、锰奥氏体化的奥氏体型铁铝锰系钢其综合性能较佳</p> | <p>(1) 铝加入含 20% ~ 30% Cr 的 Fe - Cr 合金中,其电阻温度系数很小,因而可用作电热合金材料</p> <p>(2) 铝与硅在减少变压器钢的铁芯损耗方面有相近的作用。不同的铝量对矫顽力及磁滞损耗有特殊而复杂的影响</p> <p>(3) 铝含量达一定值时,使钢的表面产生钝化现象,使钢在氧化性酸中具有抗蚀性,并提高了对硫化氢的抗蚀性能。铝对钢在氯气及氯化物气氛中的抗蚀性不利</p> <p>(4) 含铝的钢渗氮后表面形成氮化铝层,可提高硬度和疲劳强度,改善耐磨性能</p> <p>(5) 铝作为合金元素加入钢中,可显著提高钢的抗氧化性。在钢的表面镀铝或渗铝可提高其抗氧化性和抗蚀性</p> <p>(6) 铝对热加工性能、焊接性能和切削性能有不利影响</p> | <p>(1) 铝在一般的钢中主要起脱氧和控制晶粒度的作用</p> <p>(2) 铝作为主要合金元素之一,可广泛应用于一系列特殊合金钢中,包括 渗氮钢,不锈钢耐酸钢,耐热不起皮钢,电热合金,硬磁与软磁合金无磁钢,高锰低温钢等</p> |

续表

| 对钢的显微组织及热处理的作用 | 对钢的力学性能的作用 | 对钢的物理、化学及工艺性能的作用 | 在钢中的应用 |
|--|--|---|--|
| 钒 V | | | |
| (1) 钒和铁形成连续的固溶体,强烈地缩小奥氏体相区 (2) 钒和碳、氮、氧都有极强的亲和力,在钢中主要以碳化物或氮化物、氧化物的形态存在 (3) 通过控制奥氏体化温度来改变钒在奥氏体中的含量和未溶碳化物的数量以及钢的实际晶粒度,可以调节钢的淬透性 (4) 由于钒形成稳定难熔的碳化物,使钢在较高温度时仍保持细晶组织,大大减低钢的过热敏感性 | (1) 少量的钒使钢晶粒细化,韧性增大,对低温钢尤为有利 (2) 钒量较高导致聚集的碳化物出现时,会降低强度,碳化物在晶内析出会降低室温韧性 (3) 经适当的热处理使碳化物弥散析出时,钒可提高钢的高温持久强度和蠕变抗力 (4) 钒的碳化物是金属碳化物中最硬和最耐磨的。弥散分布的钒碳化物提高工具钢的硬度和耐磨性 | (1) 在高铁镍合金中加入钒,经适当热处理后可提高磁导率。在永磁钢中加钒,能提高磁矫顽力 (2) 加入足够量的钒(碳的 5.7 倍以上)。将碳固定于钒碳化物中时,可大大增加钢在高温高压下对氢的稳定性,其强烈作用与 Nb、Ti、Zr 相似。不锈钢耐酸钢中,钒可改善抗晶间腐蚀的性能,但作用不及 Ti、Nb 显著 (3) 出现钒的氧化物时,对钢的高温抗氧化性不利 (4) 含钒钢在加工温度较低时显著增加变形抗力 (5) 钒改善钢的焊接性能 | (1) 在普通低合金钢、合金结构钢、弹簧钢、轴承钢、合金工具钢、高速工具钢、耐热钢、抗氢钢、低温用钢等系列中得到广泛应用 (2) 钒是我国富有的元素之一,其价格虽较 Si、Mn、Ti、Mo 略贵,但在钢中的用量一般不大于 0.5% (除高速工具钢外),故应大力推广使用。目前钒已成为发展新钢种的常用元素之一 |
| 钛 Ti | | | |
| (1) 钛和氮、氧、碳都有极强的亲和力,是一种良好的脱氧去气剂和固定氮和碳的有效元素 (2) 钛和碳的化合物 (TiC) 结合力极强,稳定性高,只有加热到 1000℃ 以上才会缓慢溶入铁的固溶体中。TiC 微粒有阻止钢晶粒长大粗化的作用,使粗化温度提高至 1000℃ 以上 (3) 钛是强铁素体形成元素之一,使奥氏体相区缩小,强烈提高 A_1 、 A_3 温度。固溶态的钛提高钢的淬透性,而以 TiC 微粒存在时则降低钢的渗透性 (4) 当钛含量达一定值时,由于 TiFe ₂ 的弥散析出,可产生沉淀硬化作用 | (1) 当钛以固溶态存在于铁素体之中时,其强化作用高于 Al、Mn、Ni、Mo 等,次于 Be、P、Cu、Si (2) 钛对钢力学性能的影响取决于它的存在形态和 Ti/C 含量比以及热处理制度。微量的钛 (0.03% ~ 0.1%) 使屈服点有所提高,但当 Ti/C 比超过 4 时,其强度和韧性急剧下降。过高的加热温度 (> 1100℃) 进行正火或淬火,虽可使强度提高 50%,但剧烈降低塑性及韧性 (3) 钛对钢的韧性,特别是低温冲击韧性少有改善作用 (4) 钛能改善碳素钢和合金钢的热强性,提高它们的持久强度和蠕变抗力 | (1) 提高钢在高温、高压氢气中的稳定性 (2) 钛提高不锈钢的抗蚀性,特别是对晶间腐蚀的抗力,原因是防止了铬碳化物在晶界析出而导致的贫铬 (3) 低碳钢中,当 Ti/C 比达到 4.5 以上时,由于氧、氮、碳全部被固定,具有很好的应力腐蚀和碱脆抗力 (4) 在含铬 4% ~ 6% 的钢中加入钛,能提高在高温时的抗氧化性 (5) 钢中加入钛可促进氮化层的形成和较迅速获得所需的表面硬度,成为“快速氮化钢” (6) 改善低碳锰钢和高合金不锈钢的焊接工艺性能 | (1) 钛含量超过 0.025% 时,可作为合金元素考虑 (2) 钛作为合金元素在普通低合金钢、合金结构钢、合金工具钢、高速工具钢、不锈钢、耐热不起皮钢、永磁钢、永磁合金以及铸钢中均已得到应用 (3) 钛越来越多地被应用于各种先进材料,成为重要的战略物资,例如航空航天器、动力机械等 |

续表

| 对钢的显微组织及热处理的作用 | 对钢的力学性能的作用 | 对钢的物理、化学及工艺性能的作用 | 在钢中的应用 |
|---|---|---|---|
| 锆 Zr | | | |
| <p>(1) 锆是高熔点(1852℃)的稀有金属,是碳化物形成元素,在炼钢过程中是强力的脱氧和脱氮元素,并有脱氢及脱硫作用</p> <p>(2) 锆能细化钢的奥氏体晶粒</p> <p>(3) 固溶于奥氏体中的锆提高钢的淬透性,但若较多地以ZrC形态存在,则降低淬透性</p> | <p>(1) 锆降低钢的应变时效倾向和回火脆性</p> <p>(2) 在改善低合金钢的低温韧性方面的作用,锆强于钒</p> <p>(3) 锆还能减轻钢的蓝脆倾向</p> | <p>(1) 低碳镍铬不锈钢中加入少量锆可防止晶间腐蚀</p> <p>(2) 锆与硫形成硫化物,可有效防止钢的热脆,含铜钢中加入锆,可显著减轻龟裂倾向</p> <p>(3) 锆显著提高高碳工具钢和高速钢的切削寿命</p> <p>(4) 锆能改善钢的焊接性能</p> | <p>(1) 锆产量稀少,价格昂贵,在钢中的溶解度很小,在普通钢中很少使用,而主要用于特殊用途的钢和合金中,如超高强度钢、耐热钢、易切削不锈钢以及镍基高温合金等</p> <p>(2) 锆在核反应堆材料及特殊耐蚀设备方面有重要应用,以锆为基可形成大块非晶材料</p> |
| 铌 Nb、钽 Ta | | | |
| <p>(1) 铌、钽均为难熔的稀有金属元素(Nb 2467℃; Ta 2980℃),在元素周期表中与钒同族,它们在钢中的作用与V、Ti、Zr类似,和碳、氮、氧都有很强的亲和力,形成极为稳定的化合物</p> <p>(2) 铌、钽在钢中的主要作用是细化晶粒,提高晶粒粗化温度</p> <p>(3) 铌、钽以固溶态存在时,提高钢的淬透性和淬火后的回火稳定性,以碳化物存在时则降低淬透性</p> | <p>(1) 钢中加入0.005%~0.05%铌能提高其屈服强度和冲击韧性,降低其脆性转变温度</p> <p>(2) 在含铬低于16%的低碳马氏体耐热不锈钢中加入铌,可降低其空冷硬化性,避免回火脆性,提高蠕变强度,降低蠕变速率</p> | <p>(1) 改善奥氏体型不锈钢抗晶间腐蚀的性能,在高铬铁素体钢中,改善高温不起皮性和抗浓硝酸侵蚀的性能</p> <p>(2) 在奥氏体型无磁钢中加入铌和采用沉淀强化热处理,可有效提高其屈服强度而不损害其磁学性能</p> <p>(3) 在低碳普通低合金钢和高铬马氏体钢中加入铌可改善焊接性能;在Cr18Ni8型钢中加入铌后,其冷作硬化率较大,冷变形比较困难,焊接性也较差</p> | <p>(1) 炼钢用的铁合金中铌、钽共存,其中Ta/Nb质量比为1/12至1/2,习惯上称为铌铁。以单位质量计的在钢中的作用,钽约为铌的一半,故铌铁中的铌当量一般以(Nb+0.5Ta)%计</p> <p>(2) 加入少量铌应用于:建筑用低碳普通合金钢,渗碳及调质合金钢,高铬耐热不锈钢,奥氏体型不锈钢耐热钢,无磁钢等</p> <p>(3) 铌、钽资源在我国较为丰富,但在世界范围内储量很少,且有其他重要用途。应根据经济合理的原则,发展它们在钢中的应用</p> |
| 钨 W | | | |
| <p>(1) 钨是熔点最高(3387℃)的难熔金属,在元素周期表中与Cr、Mo同族。在钢中的行为亦与Mo类似,即缩小奥氏体相区,并是强碳化物形成元素,部分地固溶于铁中</p> <p>(2) 钨对钢的淬透性的作用不如Mo和Cr。当以钨的特殊碳化物存在时,则降低钢的淬透性和淬硬性</p> <p>(3) 钨的特殊碳化物阻止钢晶粒的长大,降低钢的过热敏感性</p> <p>(4) 钨显著提高钢的回火稳定性</p> | <p>(1) 由于钨提高了回火稳定性,其碳化物十分坚硬,因而提高了钢的耐磨性,还使钢具有一定的红硬性</p> <p>(2) 提高钢在高温时的蠕变抗力,其作用不如钼强</p> | <p>(1) 钨显著提高钢的密度,强烈降低钢的热导率</p> <p>(2) 显著提高钢的矫顽力和剩余磁感</p> <p>(3) 钨对钢的抗蚀性和高温抗氧化性无有利作用,含钨钢在高温时的不起皮性显著下降。但钨能提高钢的抗氢作用的稳定性</p> <p>(4) 含钨的高速钢塑性低,变形抗力高,热加工性能较差</p> <p>(5) 高合金钨钢在铸态中存在易熔相的偏析,锻造温度不能高,并应防止高碳钨钢中由于碳的石墨化造成墨色断口缺陷</p> | <p>(1) 主要用于工具钢,如高速钢和热锻模具钢等</p> <p>(2) 在有特殊需要时,应用于渗碳和调质结构钢、耐热钢、不锈钢、磁钢等,常与Si、Mn、Al、Mo、V、Cr、Ni等同时加入</p> |

续表

| 对钢的显微组织及热处理的作用 | 对钢的力学性能的作用 | 对钢的物理、化学及工艺性能的作用 | 在钢中的应用 |
|--|--|---|---|
| 铍 Be | | | |
| (1)铍是稀有轻金属元素,和氧及硫都有极强的亲和力,在炼钢中是理想的脱氧去硫剂 (2)铍在钢中缩小奥氏体相区,以固溶态存在的铍增加钢的淬透性 (3)铍与铁能形成金属间化合物 Be_2Fe ,与碳形成特殊碳化物 Be_2C ,成分配制和处理恰当时,能产生极强的沉淀强化作用 | (1)对铁素体有很强的固溶强化作用 (2)铍可改善钢的高温强度及抗蠕变性能 | (1)在因瓦合金和恒弹性合金中加入0.5%~1.0%的铍并调整其他成分可改善性能 (2)铍的某些化合物对人体有害,在冶炼时应采取足够防护措施 | (1)由于铍属稀有元素,价格昂贵,在一般合金钢中较少使用 (2)主要用于原子能工业及军工中的某些特殊用途钢和合金 |
| 稀土元素 RE | | | |
| 一般所说的稀土元素包括元素周期表中原子序数为57~71的镧系15个元素(镧、铈、镨、钕、钐、铕、钆、铽、镱、镥……)以及同处ⅢB族的钪和钇,共17个元素。这些元素大都在矿石中共生,且化学性质相似,故归为一类,称稀土元素(RE) (1)稀土元素化学性质活泼,在钢中与硫、氧、氢等化合,是很好的脱硫和去气剂,并能消除砷、锑、铋等的有害作用,改变钢中夹杂物的形态和分布,起到净化作用,改善钢的质量 (2)稀土元素在铁中的溶解度很低,不超过0.5% (3)除镧和铁不形成中间化合物外,所有其他已研究过的稀土元素都和铁形成中间化合物 | (1)提高钢的塑性和冲击韧性,特别是低温韧性 (2)提高耐热钢、电热合金和高温合金的抗蠕变性能 (3)稀土元素在某些钢中有细化晶粒,均匀组织的作用,从而有利于综合力学性能的改善 | (1)提高钢的抗氧化性 (2)提高18-8型不锈钢的抗蚀性能(包括在浓硝酸中的抗蚀性能) (3)稀土元素能提高钢液的流动性,改善浇铸的成品率,减少铸钢的热裂倾向 (4)显著改善高铬不锈钢的热加工性能 (5)改善钢的焊接性能 | (1)在普通低合金钢、合金结构钢、轴承钢、工具钢、不锈和耐蚀钢、电热合金以及铸钢中得到应用 (2)为了稳定地获得稀土元素、改善钢的组织 and 性能的效果,应注意准确控制稀土在钢中的含量 (3)我国富产稀土元素,有关稀土在钢中的作用机理和开发应用还应大力加强 |

续表

| 对钢的显微组织及热处理的作用 | 对钢的力学性能的作用 | 对钢的物理、化学及工艺性能的作用 | 在钢中的应用 |
|--|--|---|---|
| 铅 Pb、铋 Bi | | | |
| <p>(1) 铅与铋实际上不溶于钢中, 它们的沸点都很低, 冶炼过程中大部分化为蒸气逸出钢液, 因而在钢中的残留量很低, 一般在 0.001% 左右。为了特殊用途需要增加 Pb、Bi 含量时, 须在浇铸过程中加入</p> <p>(2) 由于含量很低, 对组织和热处理的影响不显著</p> | <p>(1) 对钢的强度无明显影响, 使钢的塑性略有下降, 使冲击韧性有较大降低</p> <p>(2) 在高强度钢中, 铅对疲劳极限有下降的作用</p> | <p>(1) 铅显著改善钢的切削加工性能, 使切削破碎, 增加切削时工具与工件之间的润滑, 降低切削温度和动力消耗, 延长工具寿命, 提高切削速度</p> <p>(2) 其改善切削加工性能的作用, 在硫、磷含量较高的钢中尤为显著</p> | <p>(1) 含有 0.2% 左右铅的钢有超级易切钢之称</p> <p>(2) 含铅钢中需防止铅的偏析, 并对铅蒸气进行防护</p> |
| 硼 B | | | |
| <p>(1) 硼和碳、硅、磷同属于半金属元素。硼与氮、氧之间有很强的亲和力。硼和碳形成碳化物 B_4C。硼和铁形成两种即使在高温时亦很稳定的中间化合物 Fe_2B 和 FeB</p> <p>(2) 硼在钢中与残留的氮、氧化合形成稳定的夹杂物后会失去其本身的有益作用, 只有以固溶形式存在于钢中的硼才能起到特殊的有益作用。这部分“有益硼”大都析集或吸附在晶界上</p> <p>(3) 由于钢中硼含量一般在 0.001% ~ 0.005% 的范围内, 对钢的显微组织没有明显的影响。钢中“有效硼”的作用主要是增加钢的淬透性</p> <p>(4) 微量硼有使奥氏体晶粒长大的倾向。硼还有增加回火脆性的倾向</p> | <p>(1) 微量硼可提高钢在淬火和低温回火后的强度, 并使塑性略有提高</p> <p>(2) 经 300 ~ 400℃ 回火的含硼钢, 其冲击韧性较不含硼的钢有所改善, 且能降低钢的脆性转变温度</p> <p>(3) 奥氏体铬镍钢中加入硼, 经固溶和时效处理后, 由于沉淀硬化的作用, 其强度有适当提高, 但韧性有所下降</p> <p>(4) 硼对改善奥氏体钢的蠕变抗力有利。在珠光体耐热钢中硼可提高其高温强度</p> | <p>(1) 硼含量超过 0.007% 将导致钢的热脆现象, 影响热加工性能, 故钢中硼的总含量应控制在 0.005% 以下</p> <p>(2) 在含硼结构钢中, 用微量硼代替较多量的其他合金元素后, 其总合金元素含量降低, 在高温时对变形的抗力减小, 有利于模锻加工和延长锻模寿命。此外, 含硼钢的氧化皮较松, 易于脱落清理</p> <p>(3) 含硼钢经正火或退火后, 其硬度比淬透性相同的其他合金钢要低, 对于切削加工有利</p> | <p>(1) 硼在钢中的主要用途是增加钢的淬透性, 从而节约其他合金元素, 如 Ni、Cr、Mo 等。0.001% ~ 0.005% 的硼约可代替 1.6% 的镍, 或 0.3% 的铬, 或 0.2% 的钼。以硼部分代替钼最为恰当</p> <p>(2) 含硼钢在合金结构钢、普通低合金钢、弹簧钢、耐热钢、高速工具钢以及铸钢中均可得到应用</p> <p>(3) 利用硼吸收中子的能力, 反应堆中采用含硼高达 0.1% ~ 4.5% 的高硼低碳钢, 但其变形加工十分困难</p> |

续表

| 对钢的显微组织及热处理的作用 | 对钢的力学性能的作用 | 对钢的物理、化学及工艺性能的作用 | 在钢中的应用 |
|---|--|---|---|
| 氮 N | | | |
| <p>早期氮被认为是钢中的杂质,后来才认识到,在一定条件下,氮可以发挥合金元素的作用</p> <p>(1)氮和碳一样可固溶于铁,形成间隙式的固溶体</p> <p>(2)氮扩大钢的奥氏体相区,是一种很强的形成和稳定奥氏体的元素,其效力约 20 倍于镍,在一定限度内可代替一部镍用于钢中</p> <p>(3)渗入钢表面的氮与铬、铝、钒、钛等元素可化合成极稳定的氮化物,成为表面硬化和强化元素</p> <p>(4)氮使高铬和高铬镍钢的组织致密坚实</p> <p>(5)钢中残留氮量过高会导致宏观组织疏松或气孔</p> | <p>(1)氮有固溶强化作用</p> <p>(2)含氮铁素体钢中,在快冷后的回火或在室温长时间停留时,由于析出超显微氮化物,可发生沉淀硬化过程,氮也使低碳钢发生应变时效现象。在强度和硬度提高的同时,钢的韧性下降,缺口敏感性增加。氮导致钢的脆性的特性近似磷,其作用远大于磷。氮也是导致钢产生蓝脆的主要原因</p> <p>(3)提高高铬和高铬镍钢的强度,而塑性并不降低,冲击韧性还有显著提高</p> <p>(4)氮还能提高钢的蠕变和高温持久强度</p> | <p>(1)氮对不锈钢的抗蚀性能无显著影响</p> <p>(2)对钢的高温抗氧化性也无显著影响,氮含量过高(如 > 0.16%)可使抗氧化性恶化</p> <p>(3)含氮钢冷作变形硬化率较高,采用冷变形工艺时,应予以注意</p> <p>(4)氮可降低高铬铁素体钢的晶粒长大倾向,从而改善其焊接性能</p> | <p>(1)氮作为合金元素,在钢中的含量一般小于 0.3%,特殊情况下可高达 0.6%</p> <p>(2)主要应用于渗氮调质结构钢、普通低合金钢、不锈钢耐酸钢及耐热不起皮钢。氮在钢中作为合金元素的应用还在扩大</p> |
| 氧 O | | | |
| <p>氧是炼钢过程中不可或缺的元素,经过脱氧以后还有一部分氧残留钢中,对钢的性能起到不利作用,是有害元素</p> <p>(1)钢中残留的氧以氧化物及极少量的固溶态的形态存在</p> <p>(2)由于残留氧量很低,对钢的组织 and 热处理无显著影响</p> | <p>(1)氧对钢的力学性能的影响主要与氧化夹杂物的组成、性质和分布、数量有关</p> <p>(2)总的来说,所有夹杂物都在不同程度上降低钢的力学性能,特别是塑性、韧性和疲劳强度</p> | <p>(1)氧化铝等夹杂提高钢的硬度和耐磨性,但恶化切削加工性能</p> <p>(2)较高的含氧量使焊缝发生热裂,恶化焊接性能</p> | <p>氧在冶炼、铸锭和轧制过程中都有一定的作用,但钢中的残留氧对性能不利,应作为有害元素来对待</p> |

续表

| 对钢的显微组织及热处理的作用 | 对钢的力学性能的作用 | 对钢的物理、化学及工艺性能的作用 | 在钢中的应用 |
|---|--|---|---|
| 氢 H | | | |
| <p>氢在冶炼及加工过程中会进入钢中,残留于钢中的氢多起有害作用</p> <p>(1)氢以原子或离子形态固溶于钢中,形成间隙式固溶体,有一些合金化作用</p> <p>(2)残留于钢中的氢造成许多严重缺陷,如白点、点状偏析,其危害远远超过其合金化作用</p> <p>(3)由于固溶于铁中的氢含量很少,对钢的相变和热处理无显著影响,只是有一些稳定奥氏体和增加淬透性的作用。此外,氢也有防止钢中的碳发生石墨化和渗碳时出现反常组织的作用</p> | <p>(1)氢脆是氢使钢的塑性下降的基本原因,钢的强度越高,其氢脆敏感性越大。氢脆可以用时效处理来消除</p> <p>(2)氢有增加钢的硬度的倾向,但不明显</p> | <p>(1)氢在钢中除了会产生氢脆以外,还会形成一系列的严重缺陷,包括白点、点状偏析、静载疲劳断裂、“鱼眼”、表面凸泡等</p> <p>(2)氢化物含量高的酸性药皮焊条导致焊缝热影响区开裂</p> | <p>氢在钢中是有害元素,应尽量采取工艺措施降低钢中的氢含量,防止由氢造成的各种缺陷和性能下降</p> |
| 硫、硒、碲 S、Se、Te | | | |
| <p>(1)硫在大多数情况下是钢中的有害元素,在优质钢中其含量不应超过 0.04%。碲和硒在周期表中与硫同族,其性质亦相近</p> <p>(2)硫、碲、硒可与铁形成低熔点的 FeS、FeS₂ 以及 FeTe、FeTe₂、FeSe、FeSe₂ 等化合物,它们在铁中的溶解度都很低</p> <p>(3)对钢的相变和组织的影响主要由不同类型的硫化物造成,表现为硫的偏析及硫化物夹杂以及由于硫化物的形成导致的 Mn、Ti、Zr 等有效含量及钢的淬透性的下降</p> | <p>(1)降低钢的延展性及韧性,冲击韧性的下降最为显著</p> <p>(2)硒化物颗粒较硫化物为细小和分散,对力学性能的影响较硫轻</p> | <p>(1)使软钢的磁学性能恶化</p> <p>(2)损害钢的抗蚀性能</p> <p>(3)FeS 等低熔点化合物增大钢在锻、轧时的过热和过烧倾向、产生表面网状裂缝和开裂</p> <p>(4)造成焊缝断裂、气孔及疏松</p> <p>(5)在切削加工时,使切削容易断开,改善工件光洁度,节省动力,且有润滑作用,延长刀具寿命,提高切削效率</p> | <p>(1)只有在易切削钢中才利用硫、硒、碲来改善钢的切削性能。硒较为昂贵,只在高级不锈钢中使用(硒对抗蚀性影响较小)</p> <p>(2)在其他钢种中应尽量降低硫的含量</p> |

续表

| 对钢的显微组织及热处理的作用 | 对钢的力学性能的作用 | 对钢的物理、化学及工艺性能的作用 | 在钢中的应用 |
|---|---------------------------------------|--|--|
| 磷、砷、锑 P、As、Sb | | | |
| (1)磷、砷、锑在周期表中同族,在钢中作用类似,均使奥氏体相区缩小 (2)在铁中有一定溶解度,与铁形成低熔点化合物 (3)都有严重的偏析倾向 (4)提高钢的回火脆性敏感程度 | (1)提高钢的强度 (2)降低塑性和韧性,碳量越高,引起的脆性也越大 | (1)改善钢的耐磨性 (2)改善钢的抗蚀性 (3)改善钢的切削加工性能 (4)对焊接性能不利,增加焊裂的敏感性 | (1)应用于钢轨钢及易切削钢,也用于炮弹钢 (2)在多数其他情况下应尽量减少钢中磷等的含量 |

第十节 合金元素在轻合金中的作用

表 1-5-19 合金元素与杂质在轻合金中的作用

| 元素 | 在铝合金中 | 在镁合金中 | 在钛合金中 |
|----|---|---|---|
| Al | 基本组元 | 含量在 ~ 10% 以下能提高强度并产生沉淀硬化。铝含量在 4% 以下的镁合金其在盐水中的抗蚀性能较低。铝在镁合金铸件中增大疏松倾向 | 铝在钛合金中是稳定 α 相的主要合金元素。固溶态的铝提高钛合金的拉伸强度、蠕变强度和弹性模量。铝含量在 ~ 6% 以上会形成 Ti_3Al , 从而引起脆化 |
| Ag | 0.25% ~ 0.60% 的 Ag 与 2.5% ~ 5.0% 的 Cu 应用于某些 Al - Li 合金。Ag 含量为 0.1% ~ 0.6% 时提高 Al - Zn - Mg 合金的强度并改善应力腐蚀抗力 | 在 Mg - Zr - RE 合金中加入至 3% 的 Ag, 可提供沉淀硬化效应和十分高的强度 | |
| As | 极毒, 在食品包装材料中需控制在极低水平 | | |
| Be | 减轻铝熔体的氧化。微量 Be 能降低 Al - Mg 变形合金的氧化和表面蚀斑。在焊条金属及需焊接的变形铝合金中 Be 含量一般在 $\sim 8 \times 10^{-6}$ 以下 | 微量 Be ($5 \sim 15 \times 10^{-6}$) 可降低镁合金的表面氧化倾向, 同时改善铸造性能并细化晶粒组织 | |