

# 高 镍 奥 氏 体 铸 铁

陈 沾 伟

【内容提要】 高镍奥氏体球墨铸铁是一种耐高温和腐蚀的重要工程材料,在国外已得到广泛应用。本文介绍了它的成分、性能、组织与相变、应用范围以及新的研究动向。

高镍铸铁(含Ni13%以上)是一种很有发展前途的材料,它具有良好的综合机械性能与工艺性能,在塑性、抗蚀、抗氧化、耐热、抗裂、减振等方面,是其他材料不可比拟的。

高镍铸铁是1925~1930年美国首先研制成功的,但直到60年代这种材料还鲜为人知。1970年以后这种铸铁的生产应用不断发展,美国产量最高,1978年为2.3万t,第二位的是联邦德国,而且后者的年产量在以3~4年翻一番的速度发展。

高镍奥氏体铸铁虽然含有大量的镍和其他贵金属,但因采用这种铸铁可节省能源和材料消耗,提高铸件合格率,反而能降低成本,所以目前越来越多的厂家着手开发高

镍奥氏体铸铁。目前,这种铸铁的生产工艺日趋完善,零件质量和可靠性不断提高,应用越来越广,已列入许多国家和国际标准化组织的标准(ISO2692)。

## 1. 成分与性能

在奥氏体铸铁已有的基本合金元素基础上,研制了含镍、镍铬、镍铬硅、镍锰和镍锰铜等的多种铸铁。

高镍奥氏体铸铁起初都是片状石墨,近来开始生产孕育处理的球墨铸铁,使强度提高一倍,延伸率则提高得更多。

在这里将联邦德国DIN1694中某些牌号高镍奥氏体球墨铸铁的化学成分、机械性能和物理性能归纳于下表。

铸铁牌号	元 素 含 量 (%)					$\sigma_b$	$\sigma_{0.2}$	$\delta_5$	E	A①	HB	d	$\alpha \cdot 10^6$	$\mu \cdot 10^9$
	C	Si	Mn	Ni	Cr	MPa	MPa	%	MPa	J		g/cm <sup>3</sup>	K <sup>-1</sup>	H/m
Ni13Mn7	<3	2~3	6~7	12~14	—	390~470	210~260	15~18	140~150	—	120~150	7.30	18.2	.128
Ni20Cr2	<3	1.5~3	0.5~1.5	18~22	1~1.5	370~480	310~250	7~20	112~130	14~27	140~200	7.40	18.7	.131
Ni20Cr3	<3	1.5~3	0.5~1.5	18~22	2.5~3.5	390~500	210~260	7~15	112~133	12	150~255	7.45	18.7	.132
Ni20Cr2Si5	<3	4.5~5.5	0.5~1.5	18~22	1~2.5	370~440	210~260	10~18	—	—	180~230	7.35	18.0	—
Ni22	<3	1~3	1.5~2.5	21~24	—	370~450	170~250	20~40	85~112	31~33	130~170	7.40	18.4	.128
Ni23Mn4	<2.6	1.5~2.5	4~4.5	22~24	—	440~480	210~240	25~45	120~140	24~34	150~180	7.45	14.7	.128

注:①各牌号铸铁含P≤0.08%;②A为摆锤以最大能量294J冲击时,缺口深2mm宽10mm试样断裂所消耗的功;  
③ $\alpha$ 为20~200℃温度区间的线膨胀系数;④ $\mu$ 为796A/m场强下测定的导磁率。

高镍奥氏体铸铁通过氟化物而添加某些元素将使冲击韧性显著提高,特别是加入0.1~0.2%的铌最有效,能使冲击韧性提高

50~70%。

Ni22具有很高的耐寒性,适宜在-80℃的低温下工作。而Ni23Mn4与Ni30即使在

-196℃也能工作。Ni23Mn4是专为低温应用而研制的,与其他牌号高镍奥氏体铸铁相比,在常温和低温均保持最佳韧性。

Ni23Cu3经1050℃×4h正火后,能获得强度和塑性的良好配合: $\sigma_s=480\sim 500\text{MPa}$ 、 $\sigma_{0.2}=215\sim 225\text{MPa}$ 、 $\delta=30\sim 50\%$ 。采用两次冷处理及随后720℃×2h时效处理,能使其强度 $\sigma_s=600\sim 800\text{MPa}$ ,当 $\delta=15\sim 30\%$ 时HB=170~230。

高镍奥氏体铸铁可采用-196℃冷处理,再经700℃×1h奥氏体回火以及最终化学热处理的综合方法强化。这种处理方法可使铸铁在 $N=2\times 10^7$ 次循环时的疲劳强度从165MPa提高至200MPa。

高镍奥氏体球墨铸铁的某些物理性能如表所示。铸铁传热系数平均为12.6W/m·K。热膨胀系数 $\alpha$ 取决于镍、铜、锰和硅的含量, $\alpha$ 值随着硅的添加而提高,加铬时几乎不变。含Ni35%时 $\alpha$ 最小,而含Ni20%时 $\alpha$ 最大。热膨胀系数间接影响铸铁的耐腐蚀性与抗氧化性,当热膨胀系数低时,耐蚀性与抗氧化性就高,反之亦然。

高镍奥氏体铸铁具有良好的耐热冲击能力,但其导热性比非合金铸铁低得多。球状石墨铸铁的电阻率 $\rho$ 比片状石墨铸铁更低(分别为1.0与1.1~1.6 $\mu\Omega\cdot\text{m}$ )。在20~425℃区间各种高镍铸铁的 $\rho$ 为 $0.4\times 10^{-3}$ 。

高镍奥氏体铸铁的导磁率 $\mu$ 取决于化学成分、组织及表面状态。导磁率最小的是Ni13M7。热处理可使铸铁的导磁率稍有降低。

## 2. 组织与相变

镍是基本合金元素,它能使铸铁获得高塑性的奥氏体基体。但是镍对马氏体转变起始点 $M_H$ 有一定影响,当含Ni10~20%时,镍每增加1%, $M_H$ 就降低10℃。为了使铸态高镍铸铁获得100%的奥氏体组织,其含镍量不得低于17%,如采用1050℃×4h均匀化退火处理,可使含镍量降至14.5%。

强化奥氏体的元素有锰和铬,当锰、铬含量增加到3.5~4.0%时,能使 $M_H$ 降至-169℃。在含Ni20%的铸铁中添加3.7%左右的铬会使奥氏体稳定,钼也有这种作用,每添加1%的钼约使均匀化处理铸铁的 $M_H$ 下降25℃。但上述元素都是很强的形成碳化物元素,高镍奥氏体铸铁添加这些元素超过1%时会形成共晶莱氏体,而降低韧性和塑性,这时必须在高镍奥氏体铸铁中加入由稀土金属与碱土金属组成的高效复合孕育剂,并在900~1050℃进行高温处理。

硅是最强烈的石墨化元素,对奥氏体的稳定性具有很大影响,其影响程度取决于铸铁的镍、碳含量及退火温度。

高镍奥氏体铸铁中加铜能提高奥氏体的稳定性。

## 3. 高温性能和耐蚀性

高镍奥氏体铸铁的高温性能主要取决于石墨的形态。当石墨为球状时,氧化仅在表面进行,而片状石墨铸铁的氧化过程扩展到材料内部。添加硅、铬能显著降低氧化速度,镍则可形成与表面牢固结合的氧化皮,防止继续氧化。

这种铸铁零件尺寸的高温稳定性取决于零件的组织稳定性与抗氧化性,通过热处理、加入镍、铬金属可以提高零件尺寸稳定性。

在较高温度下,含Si5%的高镍奥氏体铸铁的抗氧化性优于含Si2%的高镍奥氏体铸铁。前者的含镍量从20%增至30%时,能显著提高加热至中温时的组织稳定性和高温抗氧化性。在含Ni25%的奥氏体铸铁中加入0.8%Mn可提高组织稳定性,但抗氧化性却低于Ni20Si5。

对于高温条件下工作的零部件,建议采用Ni30Cr3Si3Mn类铸铁,它不仅耐久强度高,而且加热时尺寸变化倾向低。

高镍奥氏体铸铁的耐蚀性取决于镍、铬与铜的含量,这时铸铁表面不能形成像耐蚀

钢那样的钝化层,因为钝化所需要添加的铬量会导致白口。

含Cu0.2%的钢和非合金铸铁在海洋大气中的腐蚀速度分别为0.02与0.01mm/a,而含Ni15~30%的高镍铸铁为0.003mm/a。高镍奥氏体铸铁在平静海水中的腐蚀速度与锡青铜BPO110-2相近(0.02~0.06mm/a)。在以2m/s流速的海水中,高镍奥氏体铸铁的耐蚀性是锡青铜的3倍,是非合金铸铁与钢的5~6倍。在中速及高速(大于40m/s)的海水中这类铸铁与上述材料相比,具有更大的优越性。

高镍奥氏体铸铁在碱液中的使用寿命明显超过非合金钢和普通铸铁,在硫酸中的腐蚀取决于硫酸浓度、通风条件、流动速度及温度。它在浓度低于20%及高于80%的静止硫酸中仅有微弱的腐蚀,在20~80%浓度的硫酸中腐蚀较大。

高镍铸铁Ni15Cu6CrMn2零件在含硫化氢的石油中的耐蚀性,是Cr18Ni10Ti与Cr12NiMnSiMo零件的10倍,是青铜的100倍。这种铸铁在磷酸钠、甲醇、熟石灰水溶液等介质中均有较长的使用寿命。

#### 4. 使用范围

随着技术的发展,对这类铸铁的需求越来越多,例如:化工设备、石油与天然气的开采设备、发动机、压缩机、水利工程、海水淡化设备、动力工程(包括核能)、电机工程、船舶工业、食品工业等。

高镍奥氏体铸铁用于制造水工、水力设备零件,不论是淡水还是海水、低压或高压都很合适。联邦德国用Ni20Cr2生产海水淡化设备的循环泵壳体,重达10t,生产率为5000m<sup>3</sup>/h。现在已生产每昼夜处理淡水4Mm<sup>3</sup>以上的海水淡化设备。

美国和日本每年生产近300万台汽车增压涡轮增压机,机体及管道用Ni30Cr2Si5高镍奥氏体铸铁制造,每年生产这类铸件重量超过7000t。

在美国普罗维登斯市建筑的防暴风雨大坝,其中装入五台直径4m的大功率水泵,用于排出潮水。这些水泵用Ni13Cu7Cr3铸铁制造,设计的服役期限为50年,现已可靠地工作了15年,没发生过故障。

船舶制造业习惯采用铜合金制造附件及水泵。高镍奥氏体铸铁由于具有良好的耐蚀性,并且价格较低,已在造船工业中应用。不久前,法国、比利时与荷兰着手共同建造排水量为500t的扫雷艇,其大部分设备均用无磁性Ni20Cr2铸铁制造。用于船舶发动机试验的液压制动器壳体就是大型高镍奥氏体铸件,其重量达25t(φ3.66m)与54t(φ5.2m),这些铸件是埃森市格鲁班公司生产的。

#### 5. 新的研究动向

高镍奥氏体铸铁的研究工作仍在继续进行。近年来,苏、美、日、法和联邦德国等国家有许多新成分高镍奥氏体铸铁获得专利权,应用范围更加广泛。其中有延伸率高达60%的Ni20Cu2Al类铸铁;含Ni33~44%、Bi≤0.01%的热膨胀系数低的铸铁; $\sigma_b=680\text{MPa}$ 、 $\sigma_{0.2}=350\text{MPa}$ 、 $\delta=25\%$ 的高强度弥散铸铁;用于制造铝铁双金属铸件的线胀系数高( $2\times 10^{-5}\text{K}^{-1}$ )的Ni7Mn3Cu5类铸铁。

汽车发动机气门与气门座应选用以Ni20Cr2Mo2为基础,补加氮、钒、钴的奥氏体铸铁。这种气门及气门座因氧化与磨损而减轻的重量仅为常规材料的1/7~1/5。用于排气管的高镍铸铁为Ni35Cr20Mn19Cu2B。为了提高耐热性和防止高铜相剥落,建议添加<5%的锡。

制造涡轮增压机体的高镍铸铁成分为: C2~3.7%、Si1.5~7%、Mn3~15%、Ni18~35%、Cr1~3%,这种铸铁具有高耐热性、热冲击强度和高温疲劳强度。

(参考资料从略)