

## 熔模铸造合金及熔炼

### 主要内容

- 一. 概述
- 二. 熔模铸造合金
- 三. 熔模铸造合金的熔炼技术

#### 一. 概述

- 铸造是制造业中金属零件成形方法中最独特的基础工艺方法
  - 铸造技术是金属熔炼技术和铸造成形技术的结合
- 铸件表面质量和尺寸精度主要取决于铸型的成形技术和质量,而铸件的物理性能和内部质量则取决于合金种类的选择和合金的熔炼质量

### 铸造合金熔炼质量的标准

#### 1. 合金的成分合格

合金中各元素的含量,决定了该合金的组织结构,而合金的组织结构又决定了合金的性能

#### 2. 合金的熔炼温度和浇注温度合适

合金熔炼温度太低时,易出现某些元素的偏析,特别是温度低,合金在熔化中形成的夹杂物不易浮出来

合金液的浇注温度太低,合金液流动性差,不易充满铸型

合金液的浇注温度过高时,一方面将增大合金液的收缩,另一方面由于温度高,合金液中的吸气量大,因而厚大的铸件将出现缩孔,缩松和气孔等缺陷

### 3. 合金的纯净度高

以钢为例,钢中的有害元素(硫,磷)和非金属夹杂物(氧化物,硫化物,硫氧化物)降低到一定的低水平后,钢的性能将产生质的提高,它表现在:

物理性能大幅提高

- ◆冲击韧性提高**20%~1倍**
- ◆抗疲劳寿命大幅提高
- ◆抗腐蚀性能提高,耐磨性提高
- ◆变形加工性和焊接性变好

铸造性能改善

- ◆合金流动性提高
- ◆铸件缩孔,缩松倾向减小
- ◆铸件裂纹倾向减小

一般认为,纯净钢中

$$S+P+N+H+TO < 100 \times 10^{-6}$$

即小于**100ppm**(百万分之一)

熔模铸造工艺对合金的选择和熔炼的特点

- 1.适用的合金等级高,熔炼设备和技术要求高
- 2.铸件重量小,与其它铸造方法比,熔炼设备容量小
- 3.铸型(即型壳)温度高,要重视合金浇注后的措施

## 二、熔模铸造用合金

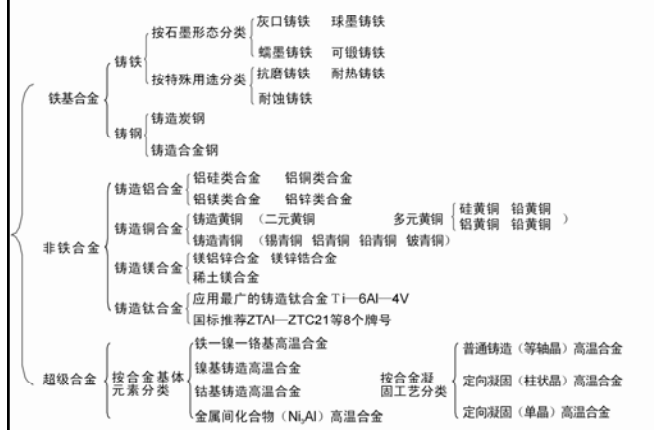
### 1.铸造合金的分类

### 2.常用的熔模铸造合金

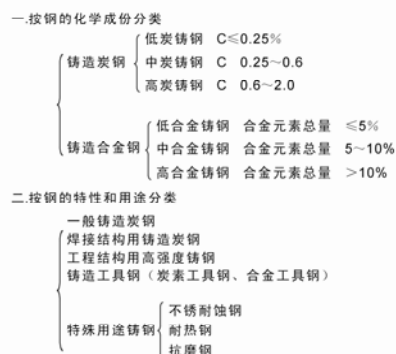
## 1 铸造合金的分类

- ◆铁基合金 — 也称黑色金属
- ◆非铁合金 — 也称有色金属
- ◆超级合金 — 主要指镍基和钴基合金

### 铸造合金的分类



### 铸钢的分类



## 1.1 铁基合金

以铁(Fe)元素为主,含有炭(C)元素和其它元素的多元铁基合金,也可以简称为铁碳合金.

铁基合金可分为铸铁和铸钢两大类.

### 1.1.1 铸铁

指含碳量大于 2.14%,或金相组织中具有共晶组织的铁碳合金

铸铁按其石墨形态分为:

- 灰铸铁
- 球墨铸铁
- 蠕墨铸铁
- 可锻铸铁

铸铁按其特殊的用途分为:

- 抗磨铸铁
- 耐热铸铁
- 耐热蚀铸铁

### 1.1.2 铸钢

指含碳量在 2.14%以下,或除C外还有其它合金元素的铁基合金

铸钢按其化学成分可分为:

- 铸造碳钢
- 铸造合金钢

铸造碳钢按其含碳量又分为:

低碳铸钢	C	小于等于0.25%
中碳铸钢	C	0.25~0.6%
高碳铸钢	C	0.6~2.0%

铸造合金钢按合金元素含量分为:

低合金钢	合金元素总量	小于等于 5%
中合金钢	合金元素总量	5~10%
高合金钢	合金元素总量	大于10%

铸钢按使用特性可分为:

- 一般铸造碳钢
- 焊接结构用铸钢
- 工程结构用高强度铸钢
- 铸造工具钢
- 特殊用途铸钢:  
不锈钢、 耐热钢、 抗磨钢

## 1.2 非铁合金

是Fe元素以外的其它金属元素为主的合金 按其加工方法可分为:

铸造合金—铸件

变形合金—型材

非铁合金按其基体元素可分为:

- ◆ 铸造铜合金
- ◆ 铸造铝合金
- ◆ 铸造镁合金
- ◆ 铸造钛合金

### 1.2.1铸造铝合金

铝硅类合金

铝铜类合金

铝镁类合金

铝锌类合金

#### ●铝硅类合金 (加入硅)

具有良好的铸造性能.但必须进行“变质”处理,以细化晶粒

为改善铝硅合金的性能,还加入了铜和镁

铝硅类合金又分为:

**AL-Si**

**AL-Si-Cu**

**AL-Si-Cu-Mg**

**GB9438-88**标准中铝硅类合金有  
**ZL101~ZL116** 14种之多

### ●铝铜类合金

主要是加入铜,还加入少量的锰或镉、锆、钒、钛、硼等微量元素,以提高合金的常温和高温力学性能

GB9438-88标准中铝铜类合金有 ZL201 ~ ZL207 7种之多

### ●铝镁合金

主要是加入镁,有很好的抗蚀性,还加入少量硅、锌等元素,能提高其机械性能.国标中铝镁合金有 **ZL301、ZL303、ZL305**等三种

### ●铝锌合金

主要加入锌及硅、镁等,切削性能好,国标中铝锌合金有 ZL401、ZL402两种

## 1.2.2 铸造铜合金

纯铜导电性能优良,工业中常用来铸造高导电性能要求的零件,但铸造性能很差,铸造生产中仍主要应用铜的合金

铜合金按加入元素的不同分为两类:

黄铜— 主要加入元素为锌

青铜—不以锌为主要加入元素

## 铸造黄铜

为改善黄铜的性能,向铜锌合金中加入铝、锰、硅、铅、镍等合金元素,因而形成多种特殊黄铜,主要有:

▲硅黄铜 ▲锰黄铜 ▲铝黄铜 ▲铅黄铜

铸造青铜按加入的元素分为：

- ▲铸造锡青铜      ▲铸造铝青铜
- ▲铸造铅青铜      ▲铸造铍青铜

### 1.2.3铸造镁合金

镁是最轻的工程金属，密度  $1.75\sim 1.85\text{g/cm}^3$ ，是纯铝的 $2/3$ 。但力学性能差，不能用来制造结构零件。加入铝、锌、锰、稀土的镁合金，可用于铸造零件。

铸造镁合金经热处理后的性能：

比强度高  
减震性好  
切削加工性好  
抗蚀性差—镁合金铸件要经氧化处理或涂漆保护

注意：

镁合金氧化强烈，铸造时，要防止氧化或燃烧

镁合金按加入的元素分为：

- ▲镁铝锌合金
- ▲镁锌锆合金
- ▲稀土镁合金

### 1.2.4 铸造钛合金

特性1—密度小,仅为钢的**60%**,强度高,与钢相似,抗腐蚀性好.其次是熔点高,高温性能好,无磁性,热膨胀系数小.

钛合金广泛应用于高技术领域,如:  
航空发动机、航天器、导弹、船舰、  
化工泵阀、仪表中的重要零件以及人工  
关节、假肢另件和高尔夫球头等。

特性2—钛及钛合金在熔融状态  
下,化学活性高,极易被氧化,与常用  
的耐火材料如氧化镁、氧化铝等均发生  
急骤化学反应,因而需特殊的熔化设  
备、高稳定性的造型材料和相应的工艺  
技术。

### 铸造钛合金的种类

当前各国应用最广泛的是Ti-6Al-  
4V,我国国标推荐了ZTA1~ZTC21  
等8个牌号的铸造钛合金。

### 1.3 超级合金—高温合金

可在600~1100℃的高温、高腐蚀的  
环境下稳定工作,被广泛用于航空、  
航天、船舰、能源和化工行业。

#### 1.3.1 超级合金的分类

按合金的基体元素可分为四大类

- 铁基
- 镍基
- 钴基
- 金属间化合物

● 铁基（或称为铁-镍-铬基）铸造高温  
合金 如K213高温合金成份为

Cr /%	Ni /%	W /%	Al /%	Ti /%	B /%
14~16	34~38	4~7	1.5~2	3~4	0.05~0.1

其余为Fe, 价格相对便宜些,但高温性  
能较差



### ●镍基铸造高温合金

以镍为基,再加入一些不同元素,有数十个不同的牌号的镍基合金,适应不同工作条件,是高温合金中发展最快、使用最广的一种

### ●钴基铸造高温合金

以钴为基,再加入镍、铬、钨、钼等,具有硬度高、耐磨、抗腐蚀及铸造性能好的特点,但由于钴资源缺乏,发展使用受到限制

### ●金属间化合物(Ni3Al)基铸造高温合金

是近年发展起来的新型高温合金具有成本低、密度小、强度高的特点,但抗高温及耐腐蚀性较差

### 1.3.2按合金凝固工艺方法分类:

▲普通铸造(等轴晶)高温合金

▲定向凝固柱状晶铸造高温合金

▲定向凝固单晶铸造高温合金

## 2 常用熔模铸造合金

▲铸造碳钢和低合金钢

▲铸造不锈钢

### 2.1 我国与发达国家所用熔模铸造合金对比

	铁基合金	非铁合金	超级合金
北美	20%	31%	49%
欧洲	36%	12%	52%
中国	91%	9%	

## 2.2 铸造碳钢和低合金钢

铸造碳钢和低合金钢是中国熔模铸造工艺，特别是水玻璃工艺使用最多的合金。

### 2.2.1. 碳钢的凝固结晶过程及组织

● 碳钢凝固结晶的特点是分为两个阶段,即一次结晶过程形成奥氏体,随后的二次结晶过程最终转变为铁素体和珠光体

● 由于熔模铸造工艺的特点,如钢液浇注温度高、型壳温度高、散热慢,导致铸件冷凝过程缓慢,形成的奥氏体结晶粗大,在二次结晶中便形成长条状或片状铁素体,称为魏氏组织,机械性能低,特别是韧性差

● 含炭量0.2~0.4的碳钢精铸件易形成魏氏组织,必须进行退火或正火热处理,消除魏氏组织以提高机械性能

### 2.2.2 碳钢的铸造性能分析

铸钢的铸造性能比铸铁差,表现在钢液的流动性较低;易氧化和形成夹杂物;体积收缩和线收缩比较大.因而铸钢件容易形成缩孔、缩松、裂纹和气孔等缺陷.应充分了解钢的以下铸造性能

#### (1) 钢液的流动性较低

影响因素有三个方面的

- A、钢液过热温度
- B、钢的含碳量
- C、钢液中的气体和夹杂物含量

## (2) 钢的体积收缩较大

碳钢的体积收缩率与钢的含碳量有关。

含碳量 (%)	0.10	0.40	0.70	1.00
体积收缩率(%)	10.5	11.30	12.1	14.0

以上为自由线收缩，若铸件的收缩受铸型的阻碍时，其受阻的部位的线收缩率将会小一些。

钢的体积收缩可分三个阶段，即液态收缩、凝固收缩、固态收缩。

钢液过热温度愈高，液态收缩愈大愈易形成缩孔。

钢在凝固初期形成树枝状结晶，阻塞了钢液的补缩通道，形成分散的微小缩孔，即凝固收缩易形成缩松。

## (3) 线收缩率

钢的线收缩是钢在凝固后冷却至室温的尺寸收缩，含碳量不同的碳钢，线收缩率也不同。

含碳量 (%)	0.08	0.14	0.35	0.45	0.55
线收缩率 (%)	2.47	2.46	2.40	2.35	2.31

## (4) 裂纹倾向

铸钢件在冷却过程中常易产生裂纹，裂纹分为热裂和冷裂

### 裂纹产生原因

内因：钢中有害元素及氧化夹杂物

外因：铸件冷却收缩时的受阻程度

## 2.2.3 铸造低合金钢的特点

●铸造低合金钢是在碳钢的基础上加入少量（总量<5%）的合金元素

其主要作用是：

▼提高钢的淬透性

▼细化钢的晶粒

▼对钢的铁素体进行固溶强化

通过这三个方面的强化，提高钢的机械性能。

●要达到强化的目的，低合金钢铸件必须进行热处理，以发挥合金元素能提高钢的淬透性的特点，主要热处理方式是：淬火加回火或正火加回火。

●加入到钢中的合金元素有两类：

▼一类是主加元素，对钢的各方面性能起主导作用，这类元素有：Cr、Ni、Mo、Mn、Si、Cu等。

▼一类为微量元素，它们在钢中含量少，不改变显微组织的构成，主要作用是细化晶粒、对钢液起精炼和去气的作用，常用微量元素有V、Ti、Nb和稀土元素。

●铸造低合金钢的铸造特点：

▼Cr、Mo、V、Ti、Al在钢中形成高熔点氧化物，降低流动性，Mn、Ni、Cu、Si提高流动性，低合金钢是上述两类元素的复合，故流动性与碳钢相似

▼大部分合金元素易氧化，形成非金属夹杂物多，熔炼中需注意覆盖、脱氧及静置

▼易产生元素偏析，且导热性差，故易产生裂纹，可加少量微量元素，细化晶粒减轻枝晶偏析，减少裂纹倾向

## 2.3铸造不锈钢

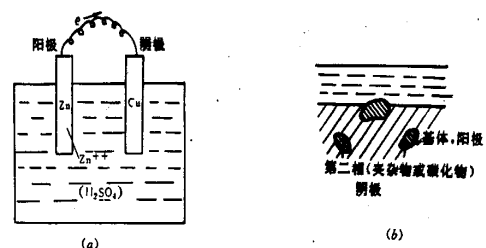
铸造不锈钢是我国熔模铸造工艺，特别是硅溶胶型壳精铸工艺中，采用最多的合金

### 2.3.1 不锈钢的基本知识

#### 1、钢的腐蚀现象及原理

钢的腐蚀是外部气体和液体介质对金属的破坏过程。钢的腐蚀现象分为两种，即：

▼化学腐蚀      ▼电化学腐蚀



电化学腐蚀过程示意图  
(a) Zn-Cu 原电池      (b) 实际金属

## 2、提高钢耐蚀性的途径

- 使金属表面形成均匀、致密、稳定的钝化膜，阻止了介质对金属的蚀。
- 使金属具有均匀的单相组织，防止金属的电化学腐蚀。
- 在双相组织的金属中，加入某些元素提高阳极的电极电位，减小两相的电极电位差，从而减少电化学腐蚀。

## 3、不锈钢中各元素的作用

- 碳：耐蚀性要求愈高的钢，碳含量应愈低。
- 铬：能形成足够厚度的钝化保护膜。
- 镍：镍是扩大奥氏体区的元素，镍本身也是一种极不容易氧化的元素。
- 钼、铜：加入钼、铜等元素可提高在盐酸、稀硫酸、碱溶液等中的耐蚀能力。
- 钛、铌：能防止晶间腐蚀倾向。
- 锰、氮：与镍一样是扩大奥氏体区的元素。

### 2.3.2铸造不锈钢的分类

#### 1. 按钢中合金元素的不同分为三大类：

- 铬不锈钢
- 高铬不锈钢
- 镍铬不锈钢

#### ●铬不锈钢

其公称含铬量为13%，按不同含碳量分为五种：0Cr13、1Cr13、2Cr13、3Cr13、4Cr13，含碳量愈低，抗蚀性能愈好，但随着含碳量增加，强度和硬度提高而脆性增加。

#### ●高铬不锈钢

公称含铬量为28%和34%，且含炭量也高，由于铬—铁原子比高，电化学性质更稳定，抗蚀性更好，但机械性能差，硬而脆

#### ●镍铬不锈钢

公称含铬量为18%。加入8%的镍就能获得单一奥氏体组织的不锈钢，具有良好的抗蚀性，当加入钼、铌、氮、铜等元素后则进一步提高了钢的抗蚀性，有的则形成双相不锈钢，具有更高的强度

## 2. 按钢的组织结构可分为五类

- ①马氏体不锈钢：能形成稳定钝化膜含碳偏低的铬不锈钢，如中国牌号的ZG1Cr13、ZG2Cr13，也是指美国牌号中400系列不锈钢的410，铸件退火后进行淬火再回火，获得单一马氏体的不锈钢抗蚀性较好
- ②铁素体不锈钢：含铬量比马氏体不锈钢更高，有些还加入少量Ni、Mo等元素。中国牌号ZG1Cr17、ZGCr28，美国牌号的430属于这一类，铸件退火后为铁素体并具有高铬碳化物，相的电极电位高，抗蚀性较好

③奥氏体不锈钢：这一类不锈钢含铬18%含镍8%，含碳量很低或加入少量钛、铌、氮等元素，形成单一奥氏体组织的不锈钢，抗蚀性好，如中国牌号ZG0Cr18Ni9，又如美国牌号300系列不锈钢中的304

④奥氏体—铁素体双相不锈钢：它比奥氏体不锈钢含铬量更高，通过调正Cr/Ni当量比，形成奥氏体/铁素体大体相当的比例，其特点是在抗蚀性好的基础上，具有较高的强度和韧性，有的还加入氮提高屈服强度。如美国牌号329、CE8—MN，中国牌号ZG0Cr25Ni4Mo，均属于这一类。

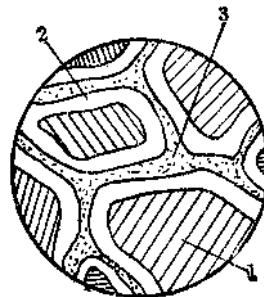
⑤沉淀硬化型不锈钢：是指美国牌号CB7—Cu或中国牌号ZG0Cr17Ni4Cu4Nb，其特点是强度高，比奥氏体不锈钢高4倍，它是由美国锻钢钢号17—4PH演变而来的铸造不锈钢。

这种钢先通过淬火获得马氏体，再经过496℃左右的时效处理，在基体相上析出了弥散微小的富铜相质点，从而强度大为提高，称为沉淀硬化，这种钢的抗腐蚀性能与304是相当的。

### 2.3.3 铸造铬镍不锈钢的固溶化处理和稳定化处理

●不锈钢的腐蚀往往是沿着晶粒的界面进行，被称为“晶间腐蚀”

产生原因是奥氏体不锈钢在铸造条件的常温下，金相组织是奥氏体+碳化物，碳化物沿奥氏体晶界析出，这种碳化物中含铬量非常高，它将奥氏体晶界周边的一层中的铬原子夺走，造成了贫铬层，而不能形成钝化保护膜，从而容易出现上述的“晶间腐蚀”。



●奥氏体不锈钢固溶化处理的目的是,为了消除铸态镍铬不锈钢中的碳化物,避免在奥氏体晶界周边出现贫铬层

●但实际生产中,虽经过固溶化处理,仍有少量碳化物析出,易发生晶间腐蚀。

为避免这种现象,有两种措施:

1.严格控制含碳量,对于厚壁零件,或有加工面的铸件,含碳量要比规范要求低;

2.在钢中加入适量的比铬更强的碳化物形成元素钛或铌,钛、铌的加入量为  
 $Ti=5 \times (\%C-0.02\%) \sim 0.8\%$ 。

●加入了钛或铌后的镍铬不锈钢铸件,还必须经过热处理即“稳定化处理”,才能保证充分形成碳化钛(或碳化铌)。

●稳定化处理:是将钢在固溶处理后,再加热到**850~900℃**保温1段时间(加钛时保温4h,加铌时保温2h)然后再淬水快冷。

可充分发挥钛(或铌)作用,将铬稳定在奥氏体晶体内——称为稳定化处理,是提高钢的抗腐蚀能力的必要措施。

#### 2.3.4 铸造铬镍不锈钢中,铬镍当量比与铁素体含量的关系。

#### ●钢的金相结构组成取决于钢中元素的种类和含量。

例如304是奥氏体不锈钢,含铬量为18%,能形成稳定的抗蚀性好的钝化膜,若它不含镍,则为铁素体,因铬是促进铁素体形成的元素,而铁素体中能溶解的炭少,多余的炭将形成炭化物,从而降低了抗蚀性,若加入9%的镍就能形成奥氏体,因镍是促进奥氏体形成的元素

又如316也是奥氏体不锈钢,是在304的基础上加入了2%的钼,抗蚀性更好,但钼像铬一样是促进铁素体形成的元素,为了使钢不出现铁素体,要使镍含量由9%提高到12%才能保持奥氏体组织

●以促进铁素体形成的铬元素的能力为基数,将钢中所有促进铁素体形成元素的能力之和称为铬当量,用下式表示:

$$Cre = Cr\% + 1.5Si\% + 1.4Mo\% + Nb\% - 4.99$$

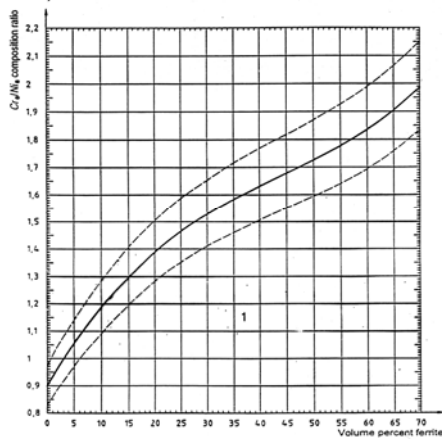
●以促进奥氏体形成的镍元素的能力为基数,将钢中所有促进奥氏体形成元素的能力之和称为镍当量,用下式表示:

$$\text{Nie} = \text{Ni}\% + 30\text{C}\% + 0.5\text{Mn}\% + 26(\text{N} - 0.02\%) + 2.77$$

●人们研究发现铬镍当量的比值 $\text{Cr}/\text{Nie}$ 与钢中铁素体的体积百分有一定的关系

Schoefer 图表示了这种关系,图中纵座标表示按钢中元素含量计算的铬镍当量比值 $\text{Cr}/\text{Nie}$ ,横座标表示钢中铁素体的体积百分数,曲线表示了两者的函数关系。

评估奥氏体铁-铬-镍合金铸件中铁素体平均含量的 Schoefer 图



$$\frac{\text{Cr}_c}{\text{Nie}} = \frac{[\text{Cr}(\%) + 1.5\text{Si}(\%) + 1.4\text{Mo}(\%) + \text{Nb}(\%) - 4.99]}{[\text{Ni}(\%) + 30\text{C}(\%) + 0.5\text{Mn}(\%) + 26(\text{N} - 0.02\%) + 2.77]}$$

铬-镍当量比 (CR) 与铁素体体积百分比的范围

Composition ratio	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

举例 铬-镍当量 CR=1.23 时,铁素体含量位于横行 1.20 及竖行 0.03 的交点格内,即 11.84。其上限 U 为 16.84 和下限 L 为 7.92

奥氏体不锈钢中期望的铁素体含量所要求的铬镍当量比 (CR)

Volume % ferrite	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.900	0.933	0.966	0.997	1.027	1.056	1.084	1.111	1.138	1.163
10	1.187	1.211	1.234	1.256	1.277	1.297	1.317	1.336	1.354	1.371
20	1.388	1.405	1.420	1.436	1.450	1.464	1.478	1.491	1.504	1.516
30	1.528	1.540	1.551	1.562	1.573	1.584	1.594	1.604	1.614	1.623
40	1.633	1.643	1.652	1.661	1.671	1.680	1.689	1.699	1.708	1.718
50	1.728	1.737	1.747	1.756	1.766	1.779	1.790	1.801	1.813	1.825
60	1.837	1.850	1.863	1.877	1.891	1.906	1.921	1.937	1.953	1.970
70	1.988									

举例 当要求铁素体含量为 12% 时,铬-镍当量比 CR (1.234) 位于横行 10 与竖行 2 的交点格内



### ●关于铸造铬镍奥氏体不锈钢具有磁性的解释

铁素体是铁磁性体心立方晶格的微观组织, 奥氏体是无磁性的面心立方晶格的微观组织, 故铬镍奥氏体不锈钢应是无磁性的. 但实际生产中发现成份虽合格, 但钢仍具有微弱磁性, 说明钢中存在少量铁素体. 其原因有二: 一是Cre/Nie偏高 二是固溶化处理不当

### ●检查奥氏体不锈钢中铁素体含量的方法

由于铁素体的强度高于奥氏体, 因此奥氏体不锈钢在成份合格的基础上存在少量铁素体(5%~10%)对钢的机械性能是有益的, 但这需由供需双方在合同中规定. 检查铁素体含量的方法有: 一镍铬当量比计算法. 二磁性法. 三金相分析法.

### 2. 3. 5铸造合金钢的钢号表示方法

铸钢和锻钢及型钢在钢号的表示方法上略有区别, 以下介绍几个国家的铸钢钢号表示方法. 在生产中主要是查阅各种钢号手册.

### ●中国铸钢牌号的表示方法

按国家标准GB221-79《钢铁产品牌号表示方法》规定, 铸钢用ZG表示, 第一位数字表示含碳量的千分之几, 随后的元素符号之后的数字, 表示该元素的百分之几. 如

元素 钢号	C	Cr	Ni
ZG1Cr18Ni9	≤0.12%	17-20%	8-11%

### ●日本铸钢牌号的表示方法

按日本工业标准JIS规定, 表示钢的牌号:

- SCS××--第一位字母表示钢, 第二位数字表示铸造, 第三位数字表示不锈钢, 随后的数字表示不锈钢材料的编号

钢号	钢种类
SCH××	耐热铸钢
SUS×××	锻轧材不锈钢
SUH×××	锻轧材耐热钢

## ●美国铸钢牌号的表示方法

▲铸钢标准采用AC1(美国合金铸造协会)和ASTM(美国材料与试验协会)的标准。

首位字母表示钢的种类,如C表示不锈钢, H表示耐热钢. 第二位字母表示镍的含量等级, 由低至高. 随后的数字表示碳的万分之几. 再随后的字母表示美国有十多个有关金属材料标准的机构, 各有不同的钢号表示方法

合金元素或特殊性能.

CF-8M

CB7Cu-1

▲锻钢标准采用AISI(美国钢铁学会)标准, 钢号由三位数字组成, 第一位表示钢的类型, 第二、三位表示该类钢的序号, 具体编号系列为:

2××—铬锰镍氮奥氏体钢

3××—镍铬奥氏体钢

4××—高铬马氏体和低炭高铬铁素体钢

5××—低铬马氏体钢