

射线检测  
基础讲座

# 第四讲 评片技术(I)

郑世才

(新立机器厂,北京 100039)

## INTERPRETATION OF RADIOGRAPHS (I)

Zheng Shicai

(Xinli Machinery Plant, Beijing)

正确识别射线照片上的影象、判断影象所代表的缺陷性质的基础之一是具有一定的材料和工艺方面的知识,从而掌握主要的缺陷类型、形态及产生规律,没有这方面的知识很难正确识别缺陷影象。本讲简要介绍材料和工艺方面的有关知识,它应是进一步学习的索引。

### 1 金属材料的组织结构与性能

#### 1.1 金属材料的组织结构

固态金属通常为多晶体结构,即由许多不同方向的小晶体组成。这些小晶体呈不规则的颗粒状,称为晶粒,晶粒之间的交界面称为晶界。晶体内原子在空间呈有规则的周期排列,晶界处原子呈无序排列(图4-1)。描述晶体中原子空间排列方式的空间格架称为晶格,金属中最常见的晶格有三种,即体心立方晶格(图4-2a):室温下的铁、铬、钨、钼、钒和铌等。面心立方晶格(图4-2b):室温下的铜、镍、金、银和铝等。密排六方晶格(图4-2c):室温下的钴、镁、锌、镉和钛等。

图4-2是不同晶格的几何模型。具有不同晶格的金属,其强度、塑性、硬度、韧性和热处理合金化效果及其它物理和化学性能等明显不同。

晶体结构是在金属从液态转变为固态的凝固过

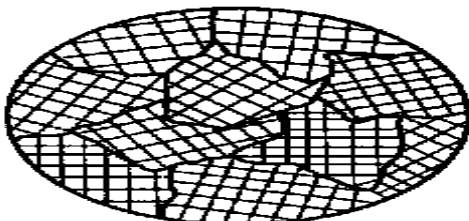


图4-1 多晶体的晶粒与晶界示意图

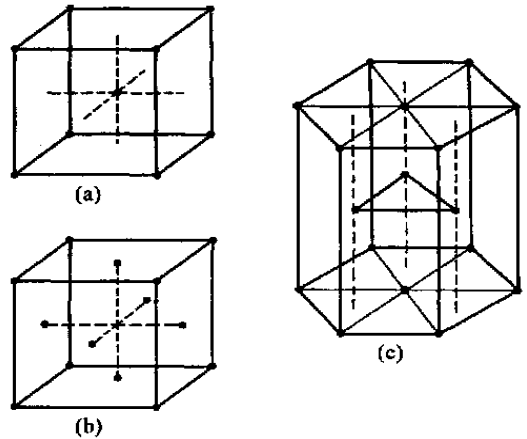


图4-2 金属常见的晶格

程中形成的,这个过程称为金属的结晶过程。金属的结晶过程主要分三个阶段,当液体趋近凝固温度时,在一些部位形成晶核,即微小体积内出现规则排列的原子集团(极细小的晶体);在继续凝固的过程中,晶核长大同时形成新的晶核;每个晶核不断长大,直到彼此接触,最后形成金属的晶体结构。

许多金属在一定温度下可改变晶体结构,即发生晶格改变。合金中具有同一化学成分、同一聚集态并以界面互相分开的各个均匀组成部分称为“相”。晶粒、晶界及相的总体分布受合金成分、热加工、冷作和热处理影响,也明显受焊接影响。

工业上使用的金属材料绝大部分是合金,即由两种以上的金属或金属与非金属元素组成,合金可具有纯金属达不到的许多优异性能。合金的相结构大致可分为固溶体和化合物两大类型,此外还有两种晶体的机械混合物。固溶体是一种晶格和组织结构均匀的固态相。保持晶格不变的元素称为溶剂,其它元素称为溶质。按溶质原子在溶剂晶格中所占的

位置, 固溶体分为置换固溶体和间隙固溶体。当合金元素的原子在尺寸和化学性质上与原始未合金化的金属原子相近时, 形成置换固溶体, 溶质原子部分占据了溶剂原子的晶格结点。当合金元素的原子小于基体元素的原子时, 形成间隙固溶体, 溶质原子溶入溶剂原子晶格的间隙之中。化合物的晶格与形成的各元素的晶格不同, 它不能单独构成合金, 只能分布在固溶体中或纯金属的基体组织中。机械混合物中各组元保持各自的晶格和性能。

## 1.2 金属材料的性能

金属材料的性能主要包括物理性能、化学性能、力学性能和工艺性能。

### 1.2.1 物理性能与化学性能

物理性能主要包括密度、熔点、热膨胀性、导电性和磁性。化学性能是金属材料与其它物质发生化学反应的特性, 在工业应用中应特别注意的是抗蚀性和抗氧化性。

### 1.2.2 力学性能

力学性能是材料受外力作用时抵抗变形和断裂的性能, 它主要包括强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度极限。

强度是金属材料在外力作用下抵抗变形和断裂的最大能力。材料的拉伸试验曲线具体描述了材料这方面的性能(图4-3)。图4-3中曲线 $OE$ 段为金属材料处于弹性变形阶段, 即去除外力试样可恢复原样;  $ES$ 段为金属材料除弹性变形外还有塑性变形;  $SD$ 段为载荷不增加但仍继续变形, 该现象称为“屈服”, 试样开始产生明显塑性变形;  $DB$ 段为继续加载, 试样出现显著塑性变形;  $BK$ 段为在 $B$ 点载荷达到极大值, 此后的变形局限于试样变细部分, 直到断裂。最常用的性能是抗拉强度和屈服强度, 抗拉强度表示材料在外力作用下抵抗断裂的最大应力, 屈服强度指材料在外力作用下开始出现屈服时的应力。

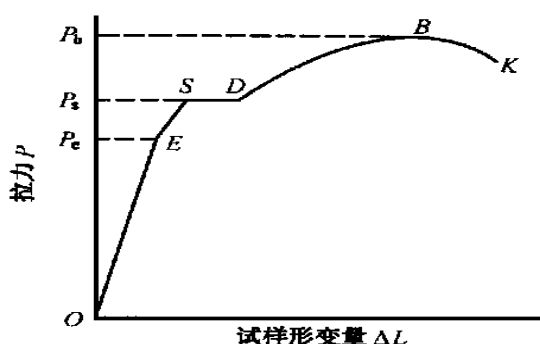


图 4-3 材料的拉伸试验曲线

$P_s$ ——屈服点拉力(载荷)  $P_e$ ——弹性极限

$P_b$ ——材料断裂的最大拉力(载荷),  $N$

塑性是材料在外力作用下产生永久变形但不破坏的性质, 通常以拉伸试验的断面收缩率和伸长率表示。硬度是材料抵抗其它物体压入表面的能力。韧性是材料在冲击载荷作用下抵抗断裂的能力。疲劳强度极限是材料抵抗长期交变应力破坏的能力。

### 1.2.3 工艺性能

工艺性能是材料适应各种加工的特性, 主要是切削性、锻造性、铸造性和焊接性。

铸造性主要包括流动性、收缩性和偏析性。流动性是液态金属填充铸型的能力, 收缩性是合金在凝固和冷却过程中体积和尺寸变化的特性, 偏析性是铸件中化学成分不均匀的现象。

焊接性是材料对焊接加工的适应性, 即在一定的焊接工艺条件下获得优质焊接接头的能力, 它包括在一定的冶金过程中的物理化学变化对焊缝金属性能和产生缺陷的影响。在一定的焊接热环境下对焊接接头热影响区组织、性能及产生缺陷的影响。在一定焊接条件下得到性能优良焊接接头的能力。焊后热处理对消除残余应力、改善焊接接头的力学性能具有重要作用。焊接性试验主要是焊接裂纹敏感性试验和焊接接头使用性能试验。

## 2 常用金属材料的分类与主要性能

### 2.1 钢

#### 2.1.1 钢的分类

钢简单地可分为碳钢和合金钢。

碳钢是含碳量约为 0.02% ~ 2.06% 的铁碳合金。碳钢按其含碳量分为低碳钢、中碳钢和高碳钢三类。低碳钢的含碳量约为 0.08% ~ 0.25%, 中碳钢含碳量约为 0.25% ~ 0.7%, 高碳钢含碳量约为 0.7% ~ 1.4%。

合金钢是铁、碳及其它合金元素构成的合金。合金钢按含合金元素量分为低合金钢、中合金钢和高合金钢三类。低合金钢的合金元素总含量  $< 2.5\%$ , 中合金钢的合金元素总含量为  $2.5\% \sim 10\%$ , 高合金钢的合金元素总含量  $> 10\%$ 。合金钢按用途常分为结构钢、工具钢和特殊性能钢, 特殊性能钢主要有不锈钢、耐磨钢、超高强度钢和高温合金等。高温合金是在高温(600 以上)下具有一定力学性能和抗氧化、抗腐蚀性能的合金, 按基体材料可分为镍基、铁基和钴基高温合金。以下是部分钢的牌号:

碳素结构钢: 10, 15, 20, 20A, 25, 35, 45

合金结构钢: 10MnA, 20Cr, 12CrNi3A, 40Cr, 30CrMnSiA, 38CrMoA

不锈钢: 1Cr13, 1Cr18Ni9, 1Cr18Ni9Ti, 2Cr13,

4Cr13

碳素工具钢: T7A, T8A

合金工具钢: CrMn, CrWMn, 3Cr2W8V, Cr12MoV

高温合金: GH30, GH33, GH34, GH3030

碳素结构钢和合金结构钢均以牌号中的前面两位数字表示含碳量的万分数。工具钢和一些特殊性能钢则以牌号中的前面一位数字表示含碳量的千分数,当含碳量 1% 时,则前面无数字。牌号中各元素符号后面的数字是其含量的百分数,元素符号后面无数字的表示其含量不足 1.5%。牌号中的“A”表示优质,如 30CrMnSiA 是优质合金结构钢,含碳量约为 0.30%,铬、锰、硅的含量约为 1%; 1Cr18Ni9Ti 是不锈钢,含碳量约为 0.1%,铬含量约为 18%,镍含量约为 9%,钛含量约为 1%。某些钢采用了特殊符号,如碳素工具钢前面加“T”;高温合金用了拼音符号等。显然,不同钢种对含碳量表示法的规定不同。含碳量超过 5% 的合金几乎不可能制成。

碳对碳钢的金相组织和力学性能起主要作用。锰和硅是脱氧元素,锰还可与硫生成硫化锰,消除硫的热脆性。硫和磷是有害杂质,硫易造成热脆,磷易造成冷脆,并降低塑性和韧性,但磷可提高抗大气腐蚀性。在低合金钢中,对钢的显微组织和力学性能起主要作用的是碳,碳起强化作用,合金元素起固溶强化作用,提高力学性能,不同的合金元素作用不同。高合金钢加入合金元素的目的是为了获得特殊的使用性能,如耐磨性、耐腐蚀性和热强性能等。不锈钢中的铬是提高其抗腐蚀性的主要元素(不锈钢的含铬量至少为 12%),镍一方面可提高抗腐蚀性,另一方面可使钢在室温下具有奥氏体组织。

### 2.1.2 铁碳合金的基本组织结构

铁的熔点为 1534。铁在 910 以下为体心立方晶格,称为  $\alpha$  铁 ( $\alpha$ -Fe); 在 910~1390 之间,为面心立方晶格,称为  $\gamma$  铁 ( $\gamma$ -Fe); 在 1390~1534 之间,为体心立方晶格,称为  $\delta$  铁 ( $\delta$ -Fe)。铁与碳、氮、氢形成间隙固溶体,铁的溶碳能力取决于其晶格中的原子间隙。铁碳合金的基本组织结构有铁素体 F、奥氏体 A、渗碳体  $Fe_3C$  和珠光体 P 等。铁素体的塑性和韧性好,但强度和硬度低。奥氏体晶粒呈多面体形,塑性高、强度不大、没有磁性。渗碳体的塑性和韧性很低,硬度高、脆性大。珠光体的强度较高,硬度适中,具有一定塑性。

铁碳合金状态图表示在平衡状态下不同含碳量的铁碳合金在不同温度下所处的状态、晶体结构和显微组织特征。含碳量 > 5% 的铁碳合金很脆,没有

实用价值,因此,通常的铁碳合金状态图实际是 Fe- $Fe_3C$  部分的状态图。铁碳合金状态图对于钢铁材料的应用以及热处理工艺和热加工工艺的制定具有十分重要的意义,根据该图可以分析不同含碳量的铁碳合金的结晶过程以及不同温度下的状态和相组成,从而选择合理的热处理温度和热加工温度等。

### 2.1.3 钢的焊接性

不同的钢采用不同的焊接方法时焊接性可能不同。结构钢常用的是碳素结构钢和合金结构钢,用于焊接的碳素结构钢通常是低碳钢,它的焊接性能优良;合金结构钢主要是低合金钢,其焊接性依赖于碳和合金元素的含量,含量低的较易焊接,含量高的较难焊接,有较大的冷裂性。不锈钢的组织类型有铁素体、奥氏体及马氏体等多种,铁素体不锈钢焊接易出现晶粒粗大、塑性降低;奥氏体不锈钢具有较优良的焊接性能;马氏体不锈钢有淬火倾向。大多数焊接方法都可用于不锈钢。大多数高温合金焊接时都有热裂倾向,高温合金的化学成分、组织结构、冶金质量和焊件拘束度等都对热裂纹形成有较大影响。

## 2.2 铝合金

### 2.2.1 铝合金分类

铝合金按化学成分和制造工艺分为变形铝合金和铸造铝合金两大类。

变形铝合金分为防锈铝(如 LF21)、硬铝(如 LY12)、超硬铝(如 LC9)和锻铝(如 LD10)等。铸造铝合金分为铝硅系(如 ZL104)、铝铜系(如 ZL201)、铝镁系(如 ZL301)和铝锌系(如 ZL402)等。

加入铝合金的合金元素可分为三类,即重要组元,如硅、铜、镁、锌等,它们可大大改变铝的力学性能和物理性能。次要组元,如锰、镍、铬、银等,它们可改善重要元素的不利影响,减小铁等杂质的有害作用,提高铝的性能。变质、细化组元,如钛、锆、钽、硼、钠、铍、磷等,它们可细化晶粒,使合金性能显著提高。

铁是铝合金中较多的杂质,它与铝化合成  $Al_3Fe$ ,其质硬而脆,降低铝的塑性和耐蚀性。

### 2.2.2 铸造铝合金的铸造性能

铸造铝合金的铸造性能是熔点低(约 660)、流动性好。液态铝合金与氧作用,形成氧化膜 ( $Al_2O_3$ ),氧化膜的熔点很高(约 2050),密度大于铝 ( $3.5 \sim 4g/cm^3$ ),致密吸水,易形成氧化夹渣,液态铝合金与水气反应,释放氢气,形成针孔。

铝硅系铸铝容易产生针孔,但铸造性能好,热裂和缩松倾向小;铝铜系铸铝凝固时收缩大,热裂和缩松倾向大;铝镁系铸铝熔铸工艺性能差,热裂和缩松

倾向大; 铝锌系铸铝的铸造性能较差。

### 2.2.3 铝合金的焊接性

铝合金的熔点低、热容量大、易氧化, 造成焊接困难。氧化膜易形成夹渣, 阻碍金属熔合和焊接的正常进行。液态铝合金可吸收大量氢气, 在凝固点附近溶解度大大下降, 约降低至  $1/20$ , 氢气析出形成气孔。铝合金的热膨胀性大、收缩率高, 易产生焊接应力和变形, 造成热裂纹。热影响区组织变化, 使铝合金强度和塑性降低。

## 2.3 钛合金、镁合金和铜合金

### 2.3.1 钛合金

钛金属的密度小( $4.54\text{g}/\text{cm}^3$ )、比强度高、耐腐蚀、耐热。在钛中加入 Al, Sn, Mo, Si, Fe, V 等元素将构成钛合金。

钛的化学性质非常活泼, 与氧、氮亲和力强, 在 400 以上就与空气中的氧、氮、氢、碳发生反应, 高于 600 反应剧烈。氮、氧、碳可使焊缝强度增高、塑性下降, 氢对焊缝强度和塑性影响不明显, 但使冲击韧性下降, 并引起冷裂纹。氢和氧也是引起气孔的主要原因。合金元素能提高钛合金焊缝的强度和硬度, 但降低塑性, 强化作用的次序为 Fe, Mn, Cr, Co, Mo, W, Cu 等。钛合金的焊接接头未氧化时为银白色, 氧化后依氧化程度不同可为(浅)黄色、紫色、深蓝色、灰色或米灰色。对焊接接头要求不同, 允许的氧化程度也不同。

### 2.3.2 镁合金

镁合金按化学成分和制造工艺分变形镁合金和铸造镁合金两大类。

变形镁合金主要分三个系 Mg-Mn 系(如 MB8)、Mg-Al-Zn 系(如 MB2 和 MB3)和 Mg-Zn-Zr 系(如 MB15, MB22 和 MB25)。

铸造镁合金主要有 Mg-Zn-Zr 系(如 ZM1 和 ZM2 等)和 Mg-Al-Zn 系(如 ZM5 等)。

镁比铝更容易氧化, 与氧、氮化合剧烈, 导热性差, 氧化膜熔点很高( $\sim 2800$ )、比重大( $3.2\sim 3.7\text{g}/\text{cm}^3$ )。焊接时, 因氧化膜难熔而难于熔合, 熔合线区易产生过烧倾向, 热影响区晶粒粗大, 焊缝区易出现气孔和夹渣。由于与氧反应有燃烧倾向, 熔焊时必须用氩气等保护。镁合金在熔炼时与氧、水、氮等将发生反应, 镁液遇氧将剧烈燃烧, 可引起汽化及爆炸, 必须采取防护措施。

### 2.3.3 铜合金

工业纯铜常称为紫铜, 加入合金元素构成铜合金, 铜合金主要有黄铜和青铜。黄铜是铜锌合金, 它提高了铜的强度、硬度和耐腐蚀性, 黄铜可进行冷、

热加工。青铜是铜与锡、铝、硅、铅和铍等的合金, 具有耐磨和耐腐蚀等特性。

铜合金焊接时的主要问题是可产生热裂纹、气孔和变形。裂纹可出现在焊缝、熔合线及热影响区, 气孔多分布在焊缝中心和熔合线。熔铸时, 反应中析出的氧气和氢气可形成气孔。由于收缩大, 易产生疏松和热裂。加入的合金元素易生成难熔的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{SiO}_2$  等夹杂物。

## 3 金属加工工艺简介

下面简要介绍常用的金属加工工艺, 除此之外, 工业中还使用一些特种金属加工工艺, 如电火花加工、电解加工、激光加工、超声波加工等, 它们直接利用电能、化学能、电化学能、声能和光能等实现加工。

### 3.1 铸造工艺

铸造是通过熔炼金属或其合金, 制造铸型, 并将金属熔液浇入铸型, 在金属熔液凝固后获得一定形状和性能工件的工艺过程, 它是工件成形的基本方法之一, 是所有冶金方法中最直接成型的方法, 其广泛应用于各种各样的产品。铸件的质量, 除了直接与铸造合金相关外, 主要与铸型与浇注系统设计、合金熔炼、铸造操作有关, 它们共同影响液态合金的性质和充型能力以及铸件的凝固过程。铸造方法有砂型铸造、金属型铸造、压铸、熔模铸造和离心铸造等多种。砂型铸造是最常用的铸造方法, 其它统称为特种铸造方法。

#### 3.1.1 砂型铸造

砂型铸造工艺主要环节为制作铸件的木模和砂型、合金准备与熔炼、浇注、落砂清理。砂型铸造的浇注系统一般包括浇口杯、直浇道、横浇道、内浇口和冒口。浇注系统的作用有使合金液连续、均匀、平稳地流入并充满型腔。阻挡熔渣、砂粒、气体或杂质进入型腔。调节铸件冷却凝固顺序, 补给冷却收缩所需的金属液。

#### 3.1.2 离心铸造

离心铸造是将金属液浇入高速旋转的铸型中, 在离心力的作用下使金属液充型、冷却、凝固而获得铸件的方法。其主要优点是铸件结晶致密、力学性能好。省去了冒口, 提高了工艺成品率。铸造圆筒形铸件时可以不上型芯。缺点是内表面尺寸不够准确, 易产生偏析。

#### 3.1.3 熔模铸造

熔模铸造是一种精密铸造方法, 又称失蜡铸造。这种方法用易熔材料制成熔模, 在熔模外面包上造型材料, 硬化结壳后熔出熔模得到铸型, 然后浇注得

到铸件。熔模铸造的基本工艺过程是, 制造母模和压型、制造蜡模、结壳、浇注。熔模铸造所得铸件精确度高、粗糙度低, 可铸成任何复杂形状的铸件。但熔模铸造工艺过程复杂、周期长、成本高, 不适宜加工大型铸件。

### 3.2 焊接工艺

焊接从微观上看是材料通过原子或分子间的结合和扩散形成永久性联接的工艺过程。为了达到焊接目的, 焊接工艺采用两种手段, 即对被焊接金属施加压力和热量。焊接方法按焊接过程特点分为熔焊、压力焊和钎焊三大类, 也有从压力焊中又分出电阻焊的分类。

熔焊简单说是被焊接金属在热源作用下被加热, 母材金属局部熔化, 熔化的金属、熔渣、气相之间进行一系列化学冶金反应, 伴随着热源移开, 熔化的金属开始结晶, 从液态转变为固态, 形成焊缝。熔焊的焊接过程要经历加热、熔化、冶金反应、结晶、固态相变和形成接头这些阶段。由熔化的母材金属和添加金属(如焊条, 或无添加金属)在母材金属上形成的具有一定形状的液态金属称为熔池。焊接热过程的基本特点是加热温度高、速度快、高温停留时间短、冷却速度极快, 这造成了焊接加热过程的局部性和不均匀性, 由此产生了复杂的焊接应力和变形。焊接化学冶金过程是金属在焊接条件下的再熔炼过程, 与普通化学冶金过程相比, 其特点是反应时间极短、反应速度极快, 在高温下进行, 它直接影响焊缝金属的成分、组织、性能和产生的缺陷。焊接结晶包括两个过程, 第一是熔池金属凝固结晶过程, 第二是固态焊缝金属冷却至室温所发生的一系列组织转变过程。一般情况下, 焊缝中的晶体主要是柱状晶。

熔焊可采用无坡口对接、V形坡口对接、卷边接、T形接、角接、搭接和锁底接等多种接头形式, 常用形式是对接、T接、角接和搭接接头, 所形成的焊接接头(图4-4)包括焊缝区、熔合区和热影响区。焊缝区是由焊条金属和母材金属熔化而发生化学反应后形成的焊缝金属; 熔合区是焊缝区外侧至母材部分熔化的区域; 热影响区是母材部分熔化区和母材

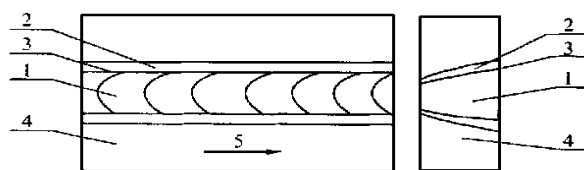


图 4-4 熔焊接头结构

1. 焊缝 2 热影响区 3 熔合区  
4 母材 5 热源移动方向

发生固相组织变化的区域。

#### 3.2.1 电弧焊

电弧焊利用电极和工件间造成电弧产生热量, 把焊条与工件焊接区熔化形成焊接接头。在航空航天工业中常用的是气体保护电弧焊, 即采用气体机械地将熔化金属与空气隔开, 使熔化的金属避免氧化和氮化, 常用的气体是氩气和二氧化碳。气体保护电弧焊的优点是电弧热量集中、熔池小、结晶快、无熔渣、焊接质量好。氩弧焊按所用电极分为非熔化极和熔化极氩弧焊两种, 非熔化极氩弧焊即钨极氩弧焊, 熔化极氩弧焊采用焊丝作电极进行焊接。

#### 3.2.2 电阻焊

电阻焊是将焊件组合后通过电极施加压力, 利用电流通过接头的接触面及邻近区域产生的电阻热进行焊接的方法。电阻焊生产率高、劳动条件好、工件变形小, 易实现机械化和自动化。点焊是电阻焊常用的方法, 其工艺参数包括焊接电流、通电时间、电极接触面积、电极压力、搭接宽度、焊点最小间距和装配间隙等, 这些工艺参数都会影响焊接质量。

#### 3.2.3 钎焊

钎焊用比母材熔点低的金属材料作为钎料, 将焊件和钎料加热到高于钎料熔点而低于母材熔点的温度, 液态钎料润湿母材, 填充接头间隙并与母材原子相互扩散, 实现焊接。钎焊的优点是加热温度低, 因此对母材组织和性能影响小; 缺点是接头强度低、耐热能力较差, 钎焊时要求较高的装配精度。钎焊工艺主要包括表面预处理、装配和固定、涂止焊剂、加热和焊后清洗。

#### 3.2.4 电子束焊

电子束焊是航空航天工业常用的熔焊方法。电子束焊采用高电压加速装置, 形成高能量的电子束, 聚焦后轰击工件焊接区, 电子动能转化为热能熔化金属, 实现焊接。电子束焊可分为真空电子束焊和非真空电子束焊, 真空度对电子束焊的焊缝形状和熔深具有明显影响。电子束焊, 尤其是高真空电子束焊具有很多优点, 即 热源能量密度大、焊接速度快、参数易于准确控制、工艺适应性强。热影响区小、焊件基本不变形、焊缝物理性能好, 适于高精度要求工件的焊接。焊缝深宽比可达 40:1, 从 0.1~160mm 厚的板材均可一次焊透。可焊接各种金属材料、形状复杂的工件和小型工件, 也可焊接陶瓷、石英及非金属与金属的接头。电子束焊需要精确的工装, 为了得到良好的焊接接头, 必须准确装配和进行严格的预处理。

### 3.3 压力加工与切削加工

压力加工是在外力作用下,使金属坯料(加热或不加热)发生塑性变形而得到所需尺寸和形状的毛坯或零件的工艺方法,主要有锻造、轧制、挤压、冲压和拔(拉)制等。压力加工可以使金属铸锭的粗大组织得到细化,提高致密性,从而提高金属的力学性能。此外,压力加工易于使复杂零件成形,有利于提高生产率。

锻造是应用非常普遍的一种压力加工方法,它是对加热的金属进行锻打、加压,使之在热态下发生塑性变形,以获得所需尺寸、改善组织、消除缺陷、提高性能。锻造在热态下进行是为了提高塑性和减小变形抗力。温度选择应适当(一般应在单相组织区温度),温度过高会引起晶粒粗大甚至过烧;温度过低变形困难,会产生加工硬化而导致锻造开裂。

在压力加工过程中,有些金属铸锭中的冶金缺陷(疏松、粗晶和微裂纹等)在压力加工过程中将得到改善,但大部分缺陷在压力加工过程中,将沿金属变形流向延伸或扩展,成为面积型缺陷。另外,由于工艺或操作不当,压力加工过程中也会产生新的缺陷,常见的缺陷有冷作硬化、过热、过烧和开裂,也可能产生白点、折叠、发纹和条带状组织等,它们都会改变金属的力学性能。

冷作硬化是金属在常温或低温下承受外力作用发生变形,在表层或近表层会产生硬化组织,使金属的强度和硬度提高,但塑性和韧性下降,也会影响其它性能。过热是压力加工过程中加热温度过高或在较高温度下停留时间过长等产生的,它将导致金属晶粒粗大,使力学性能降低。过烧是金属在压力加工过程中加热温度过高产生的,除导致金属晶粒粗大外,在晶界上将发生氧化和低熔点成分熔化现象,破坏晶粒间的结合力,使金属丧失塑性,在继续变形时将开裂。开裂是压力加工过程中由于加热速度、变形速度和压力加工后冷却速度过快以及原材料的缺陷等所导致的裂纹。

切削加工是通过刀具压入切削层,在刀具的挤压作用下,切削层发生弹性变形和塑性变形,直至开裂,形成层片,实现对材料和工件加工的工艺方法,主要有车削、钻削、镗削、刨削、拉削、铣削和磨削等。在切削加工中,表层金属经过反复多次变形和摩擦,将使金属表面硬度提高。硬化层常伴有残余应力和表面裂纹。

### 3.4 热处理

金属在固态下通过一定方式的加热、保温和冷却处理,其性能和组织得到改善(变)的工艺方法称为热处理,其方法主要有退火(T<sub>h</sub>)、正火(Z)、淬火

(C)、表面淬火、回火(H)、化学热处理及时效,实际应用中常把淬火+高温回火称为调质处理(T)。

退火是将金属加热到一定温度,保温一段时间,然后缓慢冷却的过程。退火的目的是消除内应力,使显微组织均匀化,以改善金属的力学性能(如降低硬度,提高塑性和韧性等)。

正火是将金属加热到一定温度,保温一段时间,然后置于空气中自然(吹风)冷却的过程。正火是一种特殊的退火,可使金属得到较好的综合力学性能。

淬火是将金属加热到一定温度,保温一段时间,然后快速冷却的过程。淬火之后,一般都要及时进行回火处理或时效处理。对钢淬火可显著提高金属的强度、硬度和耐磨性,但将产生较大的内应力,使脆性增大。

回火是将金属重新加热到临界温度以下的某一温度,保温一段时间,然后在空气或油中冷却的过程。回火的目的是降低淬火引起的脆性和消除内应力,稳定几何尺寸,获得所需的力学性能。

化学热处理是把金属置于化学介质中加热,使化学元素渗入金属表层,改变金属表层的组织和性能。化学热处理有渗碳、氮化和碳氮共渗等。时效是将金属置于室温或较高温度下一定时间,以稳定组织,改善力学性能。时效有人工时效和自然时效。

热处理的常见缺陷有钢的氧化和脱碳、过热与过烧、变形与开裂等。

钢热处理加热的目的是使组织转变为奥氏体,并使其均匀化。在完成向奥氏体转变并均匀化后,如继续加热,将发生奥氏体晶粒长大现象。在加热、保温之后,改变冷却条件,使过冷奥氏体在一定温度下转变,获得不同的组织和性能。

铝合金的热处理基本上是退火和淬火时效。退火是软化处理,通过退火获得稳定的组织或稳定的工艺塑性。淬火时效是强化处理,利用时效硬化提高合金的强度性能。所谓时效硬化是铝合金刚淬火后强度和硬度并不立即提高,但塑性较高,放置一段时间后,强度和硬度显著提高,但塑性明显降低的现象。铝合金热处理还具有可“回归现象”,即对自然时效后的铝合金进行短时间的加热(230~250℃,几秒至数分钟),然后快速冷却到室温,合金可重新变软,恢复到新淬火状态。并不是所有铝合金都能进行热处理强化,L<sub>F</sub>系变形铝合金和Al-Si系铸铝就不可进行热处理强化。

## 4 复合材料简介

复合材料是由两种以上不同化学性质或不同组

织结构的材料,以微观或宏观形式组合而成的,它一般由韧性好但强度和模量低的基体以及强度和模量高但脆性大的增强剂组成。与其它材料相比,其主要特点在于其性能的复合效果和性能的可设计性。

复合材料有不同的分类方法,按基体材料可分为树脂基、金属基、陶瓷基和特种复合材料等。也可按增强材料或复合效果分类,增强材料按物理形态分为纤维和粒子增强材料。纤维增强材料主要有尼龙、聚酯、玻璃纤维、不锈钢丝、石墨纤维、硼纤维和碳化硅纤维等,它们决定了复合材料的强度和弹性模量等主要力学性能;粒子增强材料主要有碳黑、碳酸钙和玻璃微珠等,它们对复合材料的作用是增加强度、弹性模量和功能复合,即给予复合材料特有的物理性能。复合材料的主要特性是比强度和比模量高,优于金属材料。抗疲劳性能好。大多数金属的疲劳破坏极限是其抗拉强度的40%~50%,碳纤维树脂复合材料可达70%~80%。减振性能好。纤维增强材料构件在超载并有少量纤维断裂时,会重新迅速分配在未破坏的纤维上。耐热性能好。金属基复合材料在很高温度下,其强度和弹性模量不变或稍有下降。成形工艺简单,材料结构具有可设计性。

复合材料除力学性能复合外,还有电性能与力学性能、光学性能与力学性能、热性能与力学性能等的复合,形成特种性能的复合材料,如烧蚀材料、导

电复合材料、固体自润滑复合材料、耐磨复合材料、光学功能复合材料、阻燃及自熄性复合材料等。

复合材料构件的成形工艺直接关系到成形后的性能。成形方法按工艺设备的特点可分为挤压铸造法、真空热压法、模压法、粉末烧结法和气相沉积法等;按增强剂的特点和布置方法可分为缠绕法、铺层法、喷射法、搅拌法和悬浮-熔融法等。

由于复合材料各组分性能的差异很大,成形后再加工很困难,所以复合材料构件(尤其是纤维增强复合材料)一般采用一次成形,随后不再进行机械加工。复合材料构件的无损检测是在制造过程中或成形后进行。不同成形工艺产生的缺陷也不同,常见缺陷有分层、界面脱离、纤维断裂、空隙、裂纹和增强剂分布不均匀等。

复合材料这一新型工程材料具有优良的物理和力学性能,已广泛应用在各工业部门。航空、航天的飞行器要求高比强度、高比模量和耐高温材料,广泛采用复合材料,如固体火箭发动机壳体和尾喷管喉部等采用了碳纤维增强树脂基复合材料。飞机的机身、机翼等也大量使用复合材料。复合材料与普通材料不同,给无损检测领域带来许多新的研究课题。

(待续)

收稿日期: 1999-12-16

(上接第 178 页)

强度射源对材质为 20g 的  $\phi 1\text{mm} \times 5\text{mm}$  管子进行试验,试验选用附录 A 中的 II 型象质计,在底片影象上实测其线径有效长度,除以管子的影象长度,得出有效检出范围,结果见附表。

从附表数据可见,在射源强度一定的情况下,焦距 < 400mm 时,管子的有效检出范围和底片质量明显降低;在焦距一定而射源强度较小时,有效检出范围和底片质量有所提高。

#### 2.4 其它措施

由于施工现场环境条件复杂,锅炉四管排列密集,为防散射,除进行背面散射防护外,在侧面另加铅板防护。

### 3 小结

(1) 在小径管射线探伤中,射源强度应 <  $1.11 \times 10^{13}\text{Bq}$ 。

(2) 一般情况下焦距应 > 400mm,因为焦距缩短,有效检出范围明显下降。

附表

射源强度 $\times 10^{13}\text{Bq}$	焦距 mm	底片黑度			有效检出范围 %	底片质量
		边缘	中心	边缘		
1.48	700	1.50	2.2	1.45	83	清晰
	500	1.50	2.5	1.50	79	清晰
	450	1.60	2.8	1.60	75	较清晰
	400	1.50	2.9	1.40	56	模糊
	300	1.80	3.3	1.70	30	严重模糊
	250	2.30	3.6	2.40	15	严重模糊
0.74	700	1.40	2.5	1.34	86	清晰
	500	1.42	2.5	1.40	83	清晰
	450	1.40	2.7	1.50	78	清晰
	400	1.50	2.9	1.50	73	较清晰
	300	1.70	3.2	1.60	35	模糊
	250	2.30	3.5	2.60	21	严重模糊

(3) 实际探伤中应作好探伤对象周围的散射防护,以提高底片质量。

收稿日期: 1999-11-30