

铸造 铝合金 金相 图谱

● 龚磊清 金长庚 刘发信 李文林 编著

● 荣 科 审定

● 中南工业大学出版社

铸造

铝合金

金相

图谱

● 龚磊清 金长庚 刘发信 李文林 编著

● 荣 科 审定

中南工业大学出版社



B

简 介

本图谱介绍了我国常用铸造铝合金的金相组织,对铸造铝合金的化学成分、有关的相图、合金的特点及应用、冶金缺陷等均有简要的叙述,所列出的近400幅图片作了简要说明。书末附录列出有与金相试验有关的各种技术数据。

本图谱可供工厂、科研单位以及学校中从事铝合金铸造、热处理、金相试验和合金研究的技术人员参考。

铸造铝合金金相图谱

龚磊清 金长庚 刘发信 李文林 编著

责任编辑:田荣璋

*

中南工业大学出版社出版发行

湖南省地质测绘印刷厂印装

湖南省新华书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:10.25 字数:230千字 插页:4

1987年9月第1版 1987年9月第1次印刷

印数:0001—5000

*

ISBN 7-81020-107-7 / TG·001

统一书号:15442·036 定价:7.80元

前 言

随着我国社会主义四个现代化建设进程的加快,随着科学技术和生产水平的不断发展和提高,在国民经济各个领域,铸造铝合金的研究和应用不断扩大。除航空、航天工业外,其它机械工业部门,如特种柴油机、汽油机制造业,汽车、拖拉机、摩托车制造业,造船工业,化学工业等部门,也日益广泛地采用铸造铝合金制造各式各样的产品。

“铸造铝合金金相图谱”是一本系统说明铸造铝合金金相组织特征的基础技术书籍。它列出了我国目前常用铸造铝合金各种状态下的典型组织,相组成,冶金缺陷,补焊等图片。并对我国目前铸造铝合金的分类、应用、合金化元素的作用,铸造和热处理工艺对组织的影响,各类合金的成分,结晶过程,相组成,常见冶金缺陷及形成原因等作了完整的叙述。附表中还列出了铸铝合金的有关技术数据。

本图谱可作为金相试验和质量控制的参考性技术文件,也可作为生产、教学、设计和科研的工具书。

本图谱由北京航空材料研究所承担主要试验研究工作,新征机械厂高振武,秦岭电工厂王汉添,洪都机械厂岑万云、陈斐君,松陵机械厂吴玉梅、范正坤,黎明机械厂权义宽、陈桂华同志,承担了部分试验研究工作,提供了相应的金相图片。刘伯操等同志提供了ZL 205A合金的有关图片。

鉴于编著者水平有限,书中定有不少错误,敬请读者批评、指正。

本图谱的编制一直得到航空工业部科技局、北京航空材料研究所的领导和有关同志的热情指导和支持。还有许多同志参加了本图谱的试验工作,正是他们的热情帮助,才使本图谱得以顺利出版。在此,我们对关心和支持本书编著、出版工作的所有单位和同志表示衷心的感谢。

本图谱承蒙全国铸造学会理事长荣科教授进行详细修改和审定,且对本书的出版给以热情的支持和鼓励,我们表示崇高的敬意。

编 著 者

目 录

第一章 概 论	1
一、铸造铝合金的牌号、代号及分类	1
二、各类铸造铝合金的特点及应用	1
三、铸造铝合金中的合金元素及其作用	6
四、铸造组织的特点和工艺因素的影响	7
五、热处理引起的组织变化	11
六、铸造铝合金的焊接	12
七、常见冶金缺陷	13
第二章 铝—硅系为基的铸造合金	19
一、铝—硅合金	19
二、铝—硅—镁和铝—硅—镁—锰合金	22
三、铝—硅—铜合金	25
四、铝—硅—铜—镁合金	27
五、铝—硅—铜—镁—镍合金	32
第三章 铝—铜系为基的铸造合金	35
一、铝—铜和铝—铜—硅合金	35
二、铝—铜—锰合金	39
第四章 铝—镁系为基的铸造合金	45
一、铝—镁合金	45
二、铝—镁—硅合金	46
第五章 铝—锌系为基的铸造合金	47
一、铝—锌—硅—镁合金	47
二、铝—锌—镁合金	47
第六章 铝—稀土金属为基的铸造合金	50
第七章 金相图片	51
ZL 101合金	51
ZL 102合金	58
ZL 104合金	61
ZL 105合金	67
ZL 107合金	74
ZL 108合金	77

ZL 109合金	80
ZL 110合金	84
ZL 111合金	86
ZL 201合金	88
ZL 203合金	93
ZL 204 A合金	96
ZL 205 A合金	99
ZL 301合金	103
ZL 302合金	106
ZL 303合金	109
ZL 401合金	111
ZL 402合金	113
ZL 207合金	115
低倍晶粒度	117
缩孔	118
疏松	120
裂纹	122
偏析	124
夹杂	127
针孔	129
气泡	131
淬火过烧	132
变质过度	134
冷隔	135
焊接组织	136
附录:	
附录一 铸造铝合金化学成分 (GB1173—86)	143
附录二 铸造铝合金机械性能 (GB1173—86)	145
附录三 国内外铸造铝合金相似牌号对照表	148
附录四 铸造铝合金中主要相浸蚀前后的特征	150
附录五 铝合金中某些相的成分及晶格类型和晶格常数	152
附录六 铝合金金相试样电解抛光用电解液成分及工艺参数	155
附录七 铝合金常用低倍浸蚀剂	156

第一章 概 论

一、铸造铝合金的牌号、代号及分类

我国国家标准 GB1173—86《铸造铝合金技术条件》中,所列铸造铝合金的牌号,由表示铸造合金的汉语拼音字母“Z”、铝和主要合金元素的化学符号及表示其名义百分含量的数字组成。对于优质合金,在其牌号后附加字母“A”。而合金的代号,由表示“铸铝”的汉语拼音字母“ZL”及其后面的三个阿拉伯数字组成。第一个数字表示合金的系列,第二、三两个数字表示合金的顺序号。优质合金在其代号后附加字母“A”。

按照铸造铝合金的主要合金化元素,可将铸造铝合金分成五类:

1. 铝—硅系为基的铸造铝合金,有 ZL 101、ZL 101 A、ZL 102、ZL 104、ZL 105、ZL 105 A、ZL 106、ZL 107、ZL 108、ZL 109、ZL 111、ZL 114 A、ZL 115 及 ZL 116 合金等。
2. 铝—铜系为基的铸造铝合金,有 ZL 201、ZL 201 A、ZL 202、ZL 203、ZL 204 A 及 ZL 205 A 合金等。
3. 铝—镁系为基的铸造铝合金,有 ZL 301、ZL 303 及 ZL 305 合金等。
4. 铝—锌系为基的铸造铝合金,有 ZL 401 及 ZL 402 合金等。
5. 铝—稀土金属为基的铸造铝合金,如 ZL 207 合金。

我国铸造铝合金系列如图 1—1 所示。合金的化学成分、状态及机械性能见附录一和附录二。我国铸造铝合金和国外铸造铝合金相似牌号对照表见附录三。

二、各类铸造铝合金的特点及应用

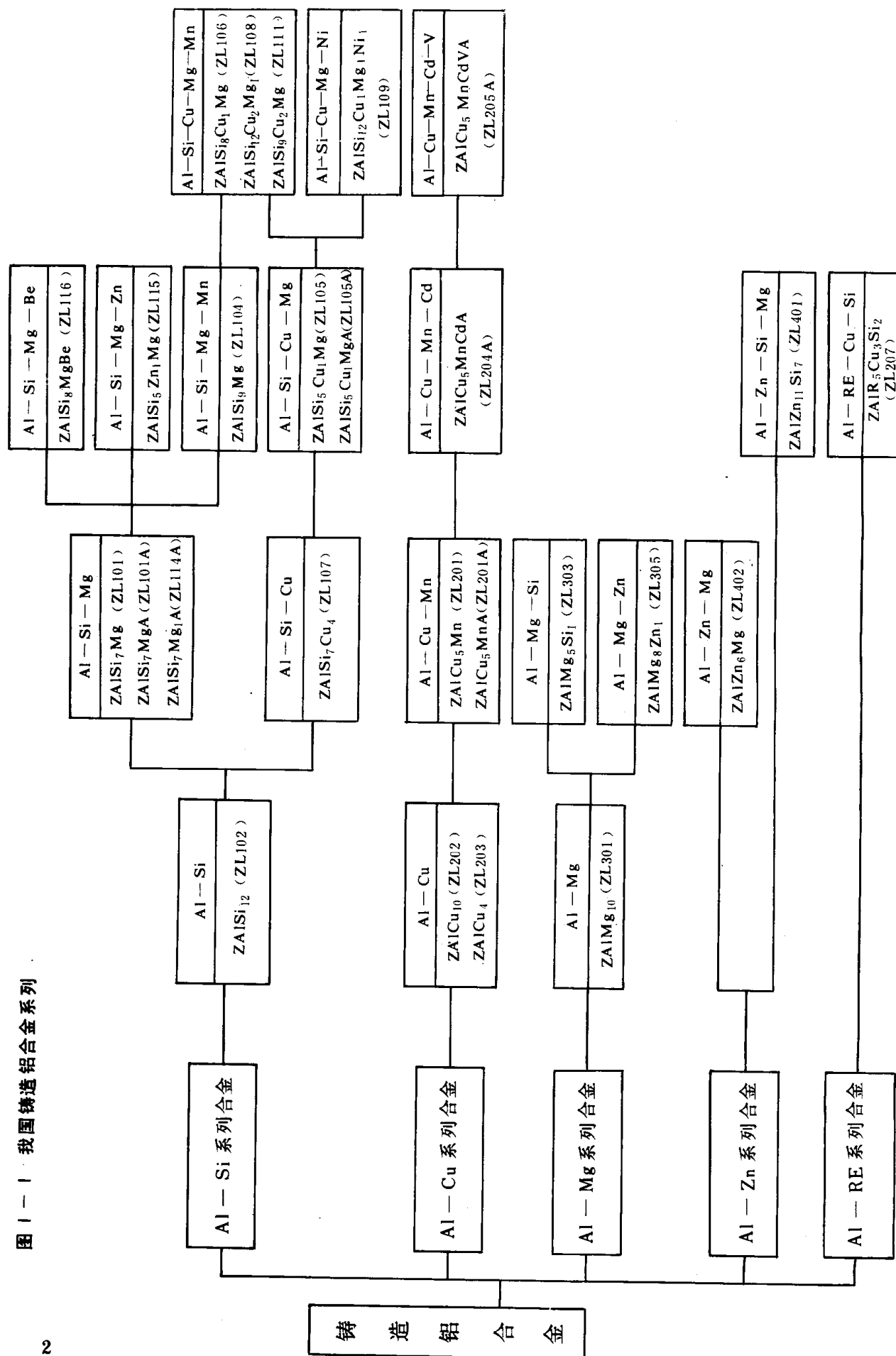
1. Al—Si 系为基的铸造铝合金

在这类合金中一般含有 5~13% Si,属于亚共晶和共晶型合金。它们具有良好的铸造工艺性能和气密性,可用于砂型、金属型铸造和压力铸造,是当前工业中应用最广泛的铸造铝合金。

目前使用的 Al—Si 二元合金,是含 10~13% Si 的 ZL 102 合金。它具有良好的铸造工艺性能,但机械性能和切削加工性能较差。此外,合金在熔融状态下吸气倾向大,铸件容易形成针孔,浇注前液体金属需要变质处理(如用钠或钠盐)改善合金机械性能,限制了它的应用。ZL 102 合金主要用于金属型铸造和压力铸造,生产形状复杂、不受力的仪表壳体、机器罩、盖子等零件。

Al—Si 二元合金中添加 Mg,成为 Al—Si—Mg 系合金。Mg 和 Si 形成的 Mg_2Si 相,能参与合金的固溶—沉淀强化,因而可通过热处理提高合金的机械性能。

图 1-1 我国铸造铝合金系列

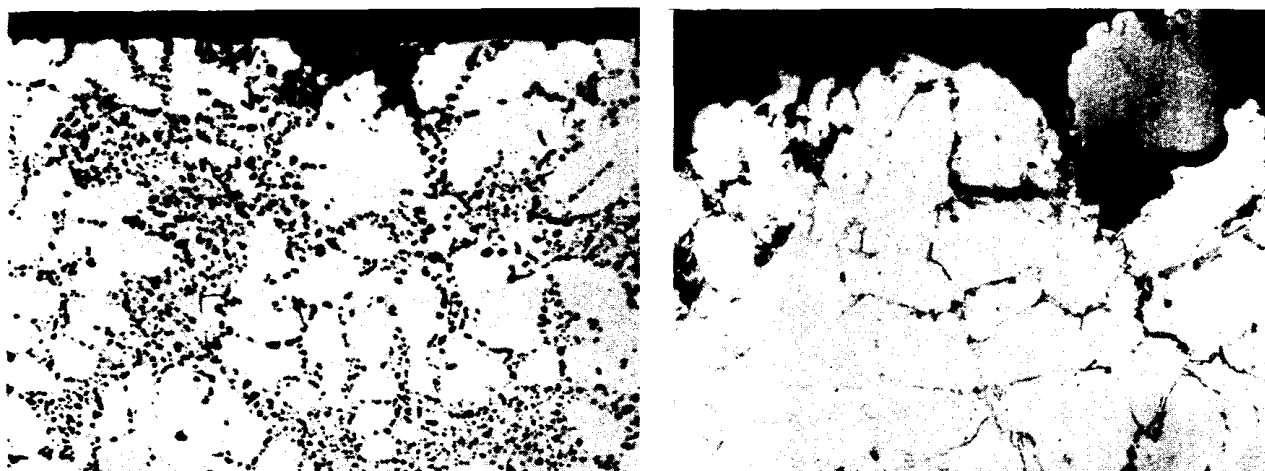


属于Al—Si—Mg系的ZL101、ZL101A、ZL104及ZL114A等合金，含有较高的Si，少量的Mg，它们具有良好的铸造工艺性能、机械性能和抗腐蚀性能，可用于砂型、金属型或压力铸造，生产各种形状复杂，承受中等载荷的结构件和附件，以及耐腐蚀的零件。ZL104合金经常用来制造轻型汽油机或柴油机的缸体、缸盖、齿轮箱等受力构件。Al—Si—Mg系合金是当前使用最广泛的铸造铝合金。

在Al—Si合金中添加Cu及Mg，形成强化相 Al_2Cu 和 Mg_2Si ，参与固溶—沉淀强化，使合金在热处理后具有较高的机械性能，其机械加工性能也得到了改善。在合金中添加Cu、Mg、Ni、Mn等元素，可提高合金的耐热性。

属于Al—Si—Cu和Al—Si—Cu—Mg系的合金有ZL105、ZL105A、ZL106、ZL107、ZL108、ZL109及ZL111合金等。

由于含Cu的铸造铝合金，抗腐蚀性能较差，不宜用来制造在腐蚀介质环境中工作的零件。图1—2是ZL104、ZL105合金晶间腐蚀试验后的显微组织，可见含Cu的ZL105合金有明显的晶间腐蚀倾向。



(a) 图1—2 ZL104、ZL105合金的晶间腐蚀特征 (b)

(a) ZL104合金 (b) ZL105合金

ZL105合金在航空工业中应用相当广泛，主要用在金属型中铸造承受较高载荷的发动机结构件，如机匣、齿轮箱、壳体和较高温度下工作的发动机汽缸头等。ZL108、ZL109、ZL110合金用来制造汽油机和柴油机活塞。ZL106、ZL107合金用于制造柴油发动机的附件和其它一般用途的零件。ZL111合金在金属型铸造和热处理后，具有较高的强度和较高的耐热性，用于制造特种柴油机的缸体、缸盖以及其它承受较大载荷的零件。ZL116合金用于制造承受高液压的油泵壳体等发动机附件。

在Al—Si—Mg和Al—Si—Cu—Mg系合金中，杂质Fe是有害元素。Fe含量较高时，可添加少量的Mn或Be以消除Fe的有害作用。在合金中添加少量的Sb，作为共晶Si的长效变质剂，提高合金在热处理后的机械性能。生产内燃机活塞的共晶型ZL108、ZL109

合金, 进行加磷处理, 使组织中产生少量的初生 Si, 降低合金的膨胀系数, 提高耐热性和耐磨性^[1]。

在 Al—Si—Mg 和 Al—Si—Cu—Mg 系合金的基础上, 降低杂质 Fe 的含量, 添加少量 Ti 细化晶粒, 采取合适的熔炼、铸造和热处理工艺, 可发展成为具有良好铸造工艺性能的高强度铸造铝合金, 例如 ZL101A、ZL105A 及 ZL114A 等合金, 用来生产高强度铝合金铸件。

2. Al—Cu 系为基的铸造铝合金

这类合金可分为 Al—Cu 二元合金和 Al—Cu—Si、Al—Cu—Mn 多元合金。对于含 5% Cu 左右的合金可热处理强化, 在室温和高温下都具有高的机械性能, 是发展高强度、高热强性的铸造铝合金的基础。

Al—Cu 为基的铸造铝合金具有良好的机械加工、阳极化、电镀和抛光等工艺性能。它的主要缺点是铸造工艺性能、抗腐蚀性能及气密性能较差, 因而使它的应用受到了限制。

单纯的二元 Al—Cu 合金有 ZL202 和 ZL203 合金。ZL203 合金含有 4.0~5.0% Cu, 在热处理以后具有良好的机械性能。当用于金属型铸造时, 为了改善铸造性能, 可添加到 3% Si, 这样便构成 Al—Cu—Si 系合金。

ZL202 合金含有 9.0~11.0% Cu, 高的含 Cu 量改善了铸造工艺性能, 可用于金属型铸造。此外, 该合金具有良好的抛光性能及电镀性能, 热处理对改善机械性能的效果不大, 故机械性能较低, 主要用于制造装饰性零件。

以 Al—5% Cu 为基, 添加少量的 Mn 及 Ti, 成为具有较高的室温机械性能和较高热强性能的 Al—Cu—Mn—Ti 合金, 如 ZL201 和 ZL201A 合金。通过控制合金中的有害杂质含量, 在淬火及人工时效状态下, 合金的室温强度可达到 392~441 MPa^[2]。

以 Al—Cu—Mn 为基, 通过添加少量 Cd, 以加速合金的人工时效, 加少量的 Ti 或 Ti+B、Zr、V 等细化晶粒, 并降低合金中有害杂质的含量, 选择合适的热处理工艺, 而获得 σ_b 达 441~490 MPa, δ_5 达 4~8% 的高强度铸造铝合金 ZL204A^[3] 和 ZL205A^[4] 合金。

ZL201 和 ZL201A 合金是当前生产中使用较多的高强度、耐热铸造铝合金, 而 ZL204A 和 ZL205A 合金在室温下具有更高的强度, 它们的机械性能达到了常用锻造铝合金的机械性能水平, 它们的优质铸件可以代替一般的铝合金锻件, 作为受力构件, 在航空和航天工业中获得了广泛的应用。

ZL201、ZL201A、ZL204A 和 ZL205A 合金, 均属于固溶体型合金, 结晶间隔较宽, 铸造工艺性能较差, 一般用于砂型铸造, 不适于金属型铸造。

由于含 Cu 的合金在淬火及人工时效状态下有晶间腐蚀和应力腐蚀倾向, 因而不宜在腐蚀介质中使用, 而淬火及过时效状态下, 合金的抗蚀性有所改善。

图1—3是ZL201合金在淬火时效状态下的晶间腐蚀图片。

3. Al—Mg系为基的铸造铝合金

这类合金具有良好的抗腐蚀性能、切削加工、抛光、电镀性能，使它在造船工业、食品工业和化学工业等部门得到广泛应用。这类合金按化学成分又可分为Al—Mg二元合金和Al—Mg—Zn、Al—Mg—Si多元合金。

ZL301合金是含镁10%左右的Al—Mg系合金，淬火以后具有良好的室温机械性能和抗腐蚀性能。



图1-3 ZL201合金 T5 状态的晶间腐蚀特征

由于该合金含Mg高，具有自然时效倾向，在长期使用过程中，机械性能特别是塑性明显下降，并出现应力腐蚀倾向。同时，合金铸造工艺性能差，容易产生显微疏松，气密性差，不耐热，合金的熔炼铸造工艺较复杂，因而限制了它的广泛使用。

为了降低高Mg合金的自然时效倾向，降低合金中的含Mg量，并加入Zn对抗拉强度给予补偿；加入少量Ti细化晶粒，从而获得自然时效倾向小，又有较高机械性能和耐腐蚀性能的Al—Mg—Zn系的ZL305合金。这种合金中常加入微量Be，防止在熔炼和铸造过程中氧化。

在ZL301合金的基础上，添加少量的Si、Ti和微量的Be，而成为一种含Mg高的Al—Mg—Si系（ZAlMg₁₁Si₁）合金。加入的Si改善合金的铸造工艺性能，合金可用于砂型、金属型和压力铸造，加入的Si形成大量骨骼状的Mg₂Si相，能提高合金的热稳定性。由于富Mg的合金中，Mg₂Si的固溶度很小，所以在淬火加热时，大量Mg₂Si不能固溶，降低了合金的机械性能，特别是塑性。

ZL303合金是添加1%左右Si和少量Mn的含Mg量为5%左右的Al—Mg—Si系合金。由于含Mg量低，固溶强化效果小，故不进行固溶强化热处理，机械性能较低。但ZL303合金具有良好的抗腐蚀性能和切削加工、阳极化、抛光和电镀等工艺性能，生产工艺简单，多用来制作抗腐蚀的和要求美观的装饰性零件。

4. Al—Zn系为基的铸造铝合金

Al—Zn系二元铸造合金应用不多。工业中使用的主要是Al—Zn—Si—Mg和Al—Zn—Mg系合金。

Al—Zn—Si—Mg和Al—Zn—Mg铸造合金的一个突出的优点，是不需淬火，铸造后可通过人工时效或自然时效进行强化，具有较高的机械性能。这是由于合金在凝固过程中，Zn和Mg已在铝中呈固溶状态的缘故。这种合金无淬火应力，减少零件变形，适于制造形状复杂、要求尺寸稳定性高的零件。

ZL401合金是含少量Mg的Al—Zn—Si合金,除不经淬火可自然时效强化外,还因含Si而具有较高的机械性能和良好的铸造性能,广泛用于砂型、金属型和压力铸造。它的缺点是密度较大,耐热性低。

ZL402合金是含少量Cr和Ti的Al—Zn—Mg系合金,同样可不经淬火进行时效强化。时效后具有良好的机械性能和抗腐蚀性能,也具有良好的切削加工、阳极化、电镀、抛光等工艺性能。由于ZL402合金的熔化温度较高(固相点大于580℃),在钎焊时零件不易产生大的变形和过烧,适于作钎焊结构件。其缺点是铸造工艺性能和流动性差,易产生疏松和裂纹。

5. Al—RE (富铈混合稀土金属) 为基的铸造铝合金

ZL207合金,除含有较高的RE以外,还含有Cu、Si、Mn、Ni、Mg、Zr等元素。耐热性好,可在高温下长期使用,工作温度可达400℃^[5]。由于它有良好的铸造工艺性能和高气密性,可用于金属型铸造形状复杂的零件。其缺点是室温机械性能较低,成分复杂。

三、铸造铝合金中的合金元素及其作用

从图1—1和附录一中可以看出,铸造铝合金中的主要合金化元素有Si、Mg、Cu、RE、Zn、Mn、Ni、Cd、Cr、V、Be、Ti、B、Zr等,Fe是主要的常存杂质。

这些元素中,Al和Cu、Si、Mg、RE、Zn、Mn、Ni、Be、Fe,与Al形成共晶反应,Al和Cr、Ti、Zr则形成包晶反应。它们在Al中的固溶度以Zn、Mg、Cu为大,其次是Mn、Si、Ti、Cr、Zr、V,而RE、Be、Ni、Cd、Fe的固溶度很小。所以铸造铝合金中,Cu、Mg、Zn可作热处理强化元素,是高强度铸造铝合金中的主要添加元素。Si在铝合金中形成二元或多元共晶组织,改善合金的铸造工艺性能。要求合金铸造工艺性能好、气密性高时,Si是主要添加元素。稀土金属与Al和其它元素能形成高熔点化合物,在合金中形成较高熔点的共晶体,能提高合金的耐热性,Ni、Mn和Cu也有类似的作用,所以在耐热性好的合金中常添这些元素。

Ti、B和Zr在铝合金中形成细小的化合物,可作为铝固溶体的结晶核心,有强烈细化铝固溶体晶粒的作用。由于铝固溶体的细化,使得在晶界和枝晶间的化合物也随之细化,提高合金的热处理效果和合金的机械性能,所以Ti、B、Zr是高强度铸造铝合金常用的添加元素。在铝固溶体中溶解的Zr和Ti,可提高铝固溶体在高温下的稳定性,对于改善合金的高温性能也是有益的。

Al—Cu合金中添加Cd,在淬火后的人工时效过程中,加速GP[2](θ'')和 θ' 相的形成,明显提高合金的强度^[6]。

Fe在目前使用的铸造铝合金中是一种有害杂质,由于Fe在铝合金中形成粗大的针状

或片状的化合物，降低合金的机械性能。在含 Fe 较高的铝合金中添加 Mn 或 Be，引起含 Fe 化合物的改变形状，呈枝叉状、骨骼状或颗粒状，从而改善了合金的机械性能。

Al—Mg 合金中微量的 Be 防止合金在高温下的氧化，但加 Be 引起晶粒变粗，所以在添加 Be 的同时，加入少量的 Ti 或 Zr，以细化晶粒。

铝合金中，Cu、Ni、Fe 降低合金的抗腐蚀性能。相反，添加 Mn 和 Cr 可改善合金的抗腐蚀性能。

现有的铸造铝合金中，除 α (Al) 以外，还可以看到以下各种相： Si 、 Mg_2Si 、 θ (Al_2Cu)、 T ($\text{Al}_{12}\text{CuMn}_2$)、 Al_6 (FeMn)、 Al_6 (CuFeMn)、 β (Al_8Mg_5)、 $\text{Al}_{10}\text{Mn}_2\text{Si}$ 、 AlFeMnSi 、 α ($\text{Al}_{12}\text{Fe}_3\text{Si}$)、 β ($\text{Al}_9\text{Fe}_2\text{Si}_2$)、 Al_3Fe 、 Al_3Ti 、 TiB_2 、 Al_3Zr 、 Al_7Cr 、 S (Al_2CuMg)、 N ($\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$)、 Al_3Ni 、 $\text{Al}_3(\text{CuNi})_2$ 、 $\text{Al}_6\text{Cu}_3\text{Ni}$ 、 Al_9FeNi 、 Cd 、 W ($\text{Al}_x\text{Cu}_4\text{Mg}_5\text{Si}_4$)、 $\text{Al}_8\text{FeMg}_3\text{Si}_6$ 、 $\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$ 、 AlCuFeSi 、 $\text{Al}_{12}(\text{CrFe})_3\text{Si}$ 、 Al_4Ce 、 AlCeCuSi 等。当 Al—Si 合金用 Na、Sr、Sb 变质时，若变质剂加入量过多，则可出现 $(\text{NaAl})\text{Si}_2$ 、 $\text{Al}_4\text{Si}_2\text{Sr}$ 、 AlSb 、 Mg_3Sb_2 等。在含磷的 Al—Si 共晶和过共晶合金中，还可看到 AlP 化合物。

上述各相除少数几个化学成分比较固定以外 [如 Mg_2Si 、 S (Al_2CuMg)、 Al_3Ti 、 θ (Al_2Cu) 等]，大部分相的成分是可变的。这种成分的变化，一方面是构成该相的组元，在该相中可以固溶，另一方面，其它合金元素也可以溶入，就是说大部分相本身是一种以化合物为基的固溶体。

上述各相中， Mg_2Si 、 θ (Al_2Cu)、 β (Al_8Mg_5)、 S (Al_2CuMg)、 $\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$ ，在铝中有较大的溶解度，在淬火加热时可以溶入 α (Al) 中，是可固溶的热处理强化相。 W ($\text{Al}_x\text{Cu}_4\text{Mg}_5\text{Si}_4$)、 Al_3 (CuNi)₂，仅可以部分固溶，所以热处理强化效果不明显。 T ($\text{Al}_{12}\text{CuMn}_2$)、 $\text{Al}_6\text{Cu}_3\text{Ni}$ 、 $\text{Al}_8\text{FeMg}_3\text{Si}_6$ 、 $\text{Al}_{10}\text{Mn}_2\text{Si}$ 、 Al_9FeNi 、 α ($\text{Al}_{12}\text{Fe}_3\text{Si}$)、 AlCeCuSi 等，以骨骼状或枝叉状分布在晶间或枝晶间，这些相在高温下又比较稳定，可以提高合金的高温性能。 Al_3Ti 、 Al_3Zr 、 TiB_2 的弥散质点，可作为结晶核心，细化 α (Al) 的晶粒。以粗大片状出现的 Si 、 β ($\text{Al}_9\text{Fe}_2\text{Si}_2$)、 N ($\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$) 等，降低合金的机械性能，特别是塑性。

某些相的形状特征见图 1—4，对不同浸蚀剂的作用见附录四，各种相的化学成分、晶格类型、晶格常数等数据见附录五。

四、铸造组织的特点和工艺因素的影响

对于铸造铝合金常用的铸造方法有砂型和金属型铸造、压力铸造、熔模铸造、石膏型铸造和壳型铸造等。

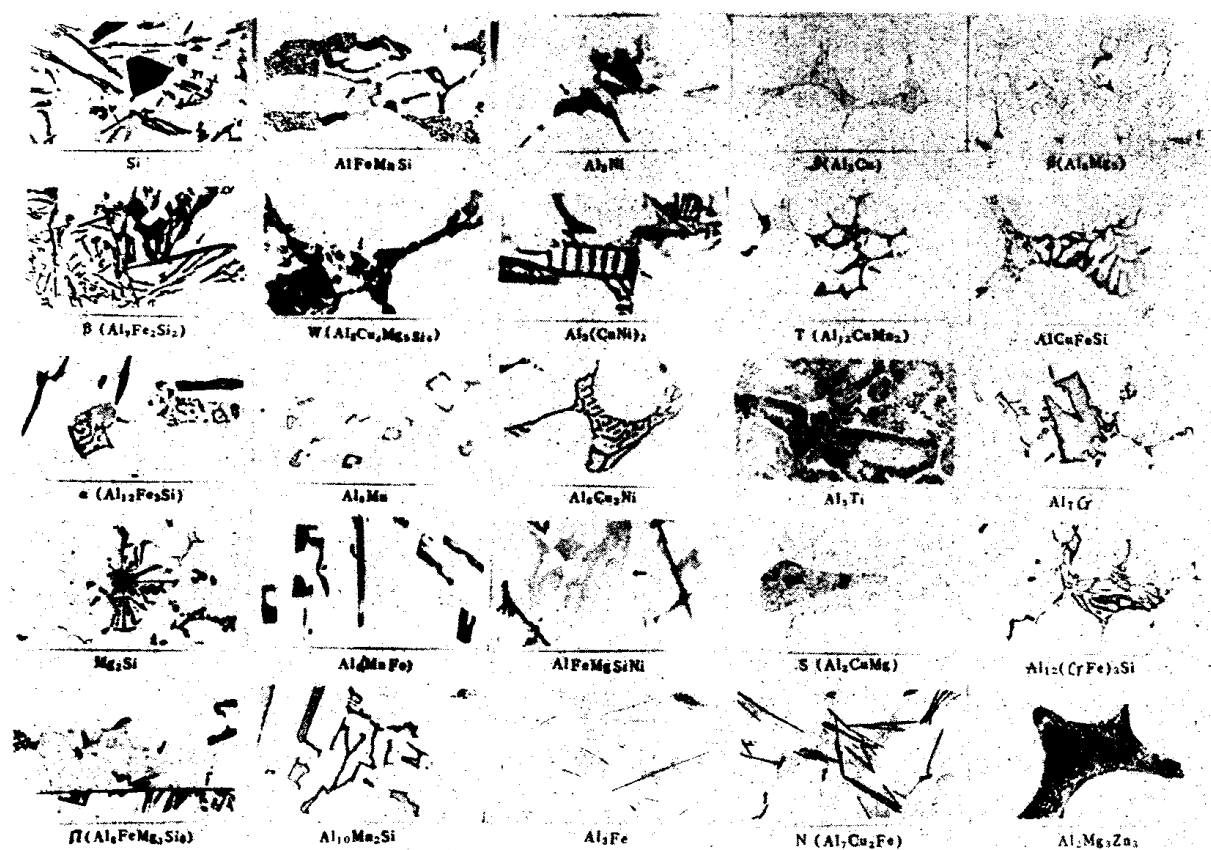


图1-4 铸造铝合金某些相的形态特征

铸造是将液体金属浇入铸型中凝固成型的过程,为此,需要将合金熔化,在高温下对液体金属进行必要的处理,然后浇注成型。在这些过程中,液体金属将与空气、造型材料、熔炼浇注工具等发生机械的、物理的和化学的相互作用,对凝固后的铸件组织产生不同程度影响。同时,铸造铝合金中,合金化元素含量较高,成分比较复杂,所以一般来说,成型铸件的铸造组织有以下的特点:

1. 由于凝固时冷却较慢,组织较粗大。各种初晶、共晶形成的相,结晶成粗大的片状、块状、针状或骨骼状,铝固溶体晶粒成长为明显的树枝状。
2. 由于铸造合金中含有较高的合金化元素,形成粗大而数量较多的共晶组织,分布在铝固溶体晶界或枝晶间,构成枝晶网络。
3. 许多铸造铝合金化学成分较复杂,所以合金的相组成复杂,特别是在不平衡结晶时,合金的相组成和组织组成变化较大,给合金相组成的鉴别带来困难。
4. 由于铸件各部位凝固时的不均匀性,在铸件各不同部位有明显的成分和组织的不均匀性。由于铝固溶体中固溶元素分布不均匀,固溶体分解产物也不均匀。另外,容易产生初晶和共晶相的偏析。
5. 由于铸造成型的特点,在铸造组织中存在着较多的铸造缺陷,如氧化物夹杂、缩孔

或疏松、气泡、针孔等。

合金的熔炼和铸造成型工艺对铸造组织的影响是明显的,影响铸造组织的主要因素有:

1. 结晶冷却速度的影响

在铸造成型过程中,随着冷却速度的提高,会使合金的铸造组织变细。铝固溶体晶粒由粗大的树枝状晶变成细小的等轴晶,还引起初生相和共晶相的细化,并使它们分布更为均匀。冷却速度的提高,可抑制针孔的产生和减轻疏松,改善铸件的致密性,增加热处理强化效果,改善合金机械性能。

冷却速度的增高,还引起合金元素在铝固溶体中溶解度的变化和相组成及其分布的变化,例如增高冷却速度,使 ZL 201 等合金中 Mn 在铝固溶体中的过饱和溶解度增大,淬火后形成的晶内二次 T 相析出物更加弥散和均匀;在共晶型的 Al—Si 合金中出现初生 α (Al) 和细小的共晶体,得到亚共晶组织;提高某些元素对 Al—Si 合金的变质效果。冷却速度增高,还使得在一些合金中包晶反应不能充分进行,从而出现一些介稳定相。

铸件的冷却速度与铸件的结构、壁厚、浇注温度、铸型温度、铸型材料、铸造方法等有关,但主要取决于铸型材料和铸造方法。压力铸造冷却速度最快,其次为金属型铸造、湿砂型铸造、陶瓷型铸造、壳型铸造,石膏型铸造冷却速度最慢。

2. 凝固压力的影响

一般的铸造方法,铸件的凝固均是在常压下进行。当铸件在 5 ~ 6 个大气压下结晶(如增压罐浇注、反压铸造)时,由于氢的固溶度增高和冒口的补缩作用增加,可有效地减轻铸件的针孔和疏松缺陷,提高铸件的致密度。

挤压铸造,具有凝固速度快(金属型)和在较高压力下结晶(活塞或冲头的静压力可达 1600 Kg/cm^2) 的特点,因此铸件的致密度和机械性能大为提高。

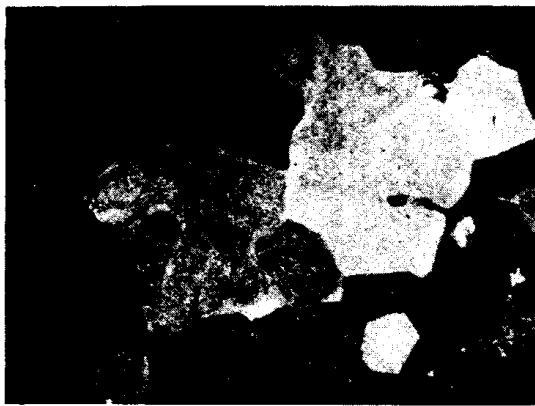
3. 液体金属的变质处理对铸造组织的影响

合金液的变质处理,是细化铸造组织的方法之一,而铸造组织的细化包括铝固溶体的细化、共晶组织的细化、初生晶体的细化等等类型,所使用的变质剂大致可分为三类:

(1) 铝固溶体晶粒的细化

在铸造生产中为了细化铝固溶体晶粒,通常是在合金中添加少量晶粒细化剂,如 Ti、Zr、B 等。这些元素在铝合金中形成像 Al_3Ti 、 Al_3Zr 、 TiB_2 等高熔点化合物,它们的结晶比铝固溶体晶粒早,尺寸细小而又弥散分布,且具有与铝相同的晶格类型和相近的晶格常数,或具有共格对应晶面,可作为铝固溶体的结晶核心,使铝固溶体晶粒细化。同时加入 Ti 和 B,可更有效地细化晶粒(见图 1—5)。

当晶粒细化元素加入量过多或加入工艺不当时,则可形成粗大的化合物,产生偏析,对合金的机械性能产生不良的影响。



(a) ×100



(b) ×100

图1-5 B对ZL201合金晶粒度的影响

(a) 未加B的ZL201合金晶粒度 (b) 加入0.036% B的ZL201合金晶粒度

(2) 共晶体的细化 (常见于Al—Si合金中)

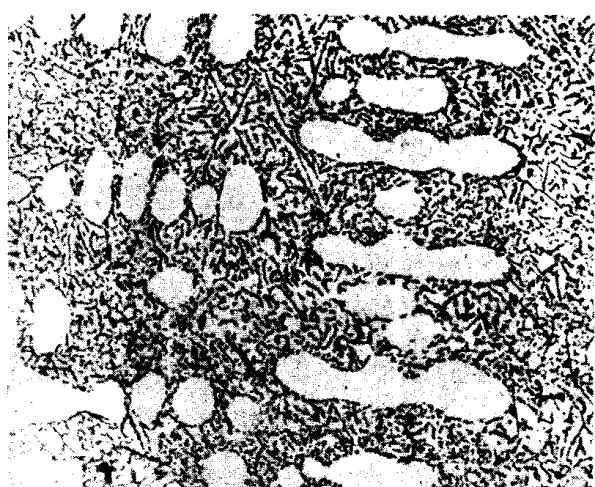
含Si量高的铝合金, 铸造冷却速度缓慢时, 合金共晶组织中的Si成长为粗大的片状, 甚至出现初生Si相, 使切削加工性能变坏, 机械性能降低。因此, 需要通过变质处理。最常用的方法是在液体金属中加入少量的金属钠或氟化钠、氯化钠等的混合盐, Na进入合金中, 使共晶体中Si由板片状变成大量分枝的纤维状。

Sr具有和Na同样的细化共晶体中Si的作用 (见图1—6), 且变质有效时间更长。Sb和RE也具有一定的变质作用 (见图1—7), 只有在快速冷却的条件下, 才表现出明显的效果。Sb和RE具有永久变质作用, Sb往往在固溶热处理后, 合金的机械性能才有明显提高。



×200

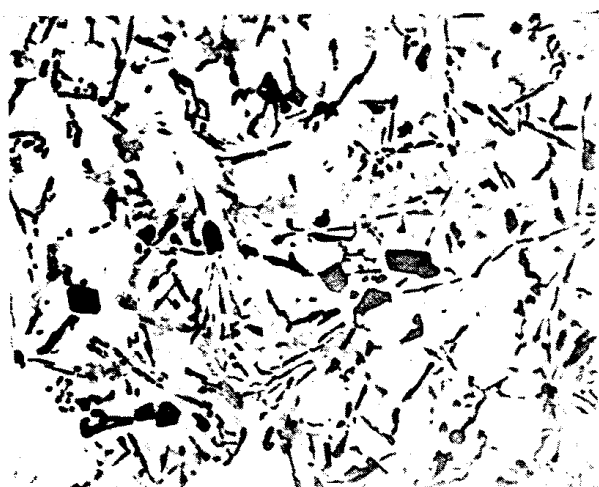
图1-6 Sr对ZL102合金共晶体的变质作用



×200

图1-7 Sb对ZL104合金共晶体的变质作用

另外, 对共晶型的Al—Si系活塞合金, 如ZL108、ZL109合金, 为了改善合金的高温强度和硬度, 降低线膨胀系数而进行加磷处理, 使共晶型Al—Si合金变成具有初生Si相的过共晶组织 (见图1—8)。



×200

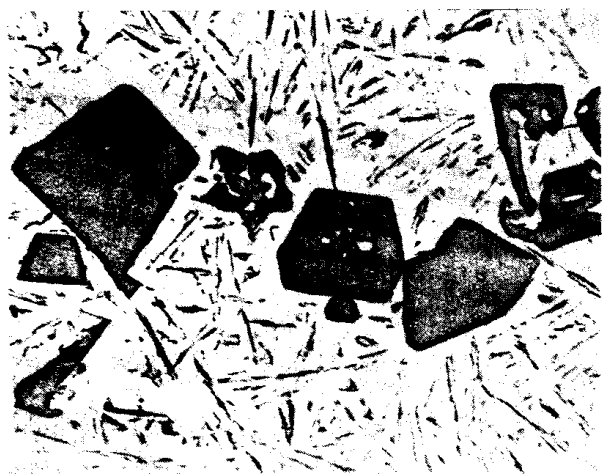
图1-8 加磷处理的 ZL108 合金的金相组织

(3) 初生硬脆相的细化

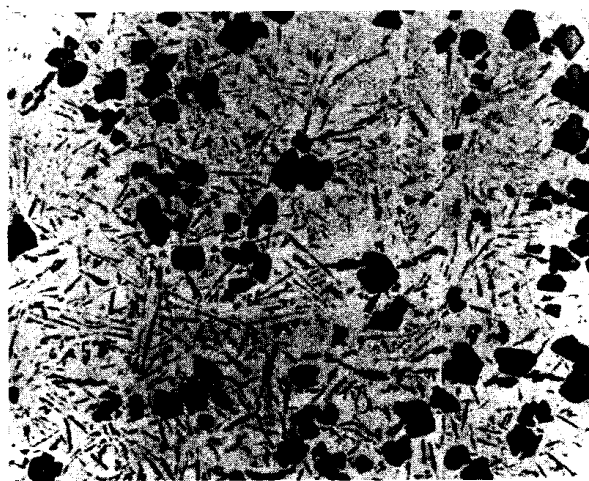
过共晶的 Al—Si 合金，结晶时形成粗大块状的初生 Si 相，对切削加工性能和机械性能均有不良影响。因此，通常在过共晶的 Al—Si 合金中加入少量的磷，形成 AlP 化合物，作为初生 Si 的晶核，使初生 Si 细化（见图1-9）。

4. 合金液的精炼处理

精炼处理的目的是除去合金液中



(a) ×125



(b) ×125

图1-9 磷对过共晶 Al—Si 合金中初生 Si 相的影响

(a) 加磷前 (b) 加磷后

的气体和非金属夹杂物，使铸件中的气体性缺陷和非金属夹杂减少，从而提高铸件的致密性。但精炼处理引起合金中容易氧化元素的损耗，使合金的组织 and 性能发生变化。变质处理后的 Al—Si 合金，若再次精炼，会引起 Na 或 Sr 的损耗，而降低变质效果。

铝合金的精炼处理，一般是使用氯气、氯—氮混合气或氯化物（例如六氯乙烷、氯化锌、氯化锰等）。

五、热处理引起的组织变化

在铸造铝合金的热处理中，淬火和时效（回火）对合金的组织 and 性能影响颇明显。淬火对合金组织的影响有以下几方面：

1. 淬火加热过程时，固溶强化相溶入铝固溶体中，在淬火快速冷却时，固溶体来不及