

变形铝合金 金相图谱

冶金工业出版社

变形铝合金金相图谱

金相图谱编写组 著

冶金工业出版社

变形铝合金金相图谱

金相图谱编写组著

*

冶金工业出版社出版
新华书店北京发行所发行
外文印刷厂、冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 14 字数 265 千字

1975年8月第一版 1975年8月第一次印刷

印数00,001~10,000册

统一书号: 15062·3155 定价(科四) 5.30元

毛主席语录

领导我们事业的核心力量是中国共产党。

指导我们思想的理论基础是马克思列宁主义。

人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

中国应当对于人类有较大的贡献。

前 言

解放以来，在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国的铝合金工业有了很大的发展，从无到有、从小到大，产量和品种不断增加，质量日益提高，在国民经济建设和国防工业中发挥了应有的作用。

遵照伟大领袖毛主席关于“**要认真总结经验**”的教导，为适应冶金工业迅速发展的需要，我们编写了《变形铝合金金相图谱》一书，供从事变形铝合金生产、使用、科研和教学等有关人员参考。

本书侧重介绍了变形铝合金（包括纯铝）八个系的主要相组成及其特征，各种加工方式（压延、压挤、锻造、冷拉等）对合金组织的影响，各种热处理状态（均匀化、退火、淬火、时效等）下合金组织的特点和规律，对其较为典型的组织状态，一般均附有图片和必要说明。

在编写过程中，得到了沈阳金属研究所、北京钢铁研究院、上海材料研究所、北京航空学院、北京钢铁学院、东北工学院、中南矿冶学院、上海交通大学和有关兄弟厂校单位的大力支持和帮助，特此致谢。

由于我们水平有限，书中可能存在着不少缺点或错误，望广大读者批评指正。

金相图谱编写组

一九七四年六月

目 录

总论	9
一 合金的分类	9
二 合金元素及相组成	9
三 铸锭及加工制品在各种状态下的组织	13
1. 半连续铸造铸锭(水冷)的组织	13
2. 各种加工状态的组织	19
(1) 热压延状态的组织	19
(2) 热压挤状态的组织	21
(3) 锻造状态的组织	22
(4) 冷压延、冷拉伸及冷拔、冷轧状态的组织	27
3. 铸锭及加工制品在热处理状态下的组织	27
(1) 铸锭均匀化状态的组织	27
(2) 制品的恢复及再结晶组织	27
(3) 退火状态的组织	30
(4) 淬火及时效状态的组织	30
第一章 工业纯铝	34
第一节 杂质含量及相组成	34
第二节 热处理特性	39
第三节 铸锭及加工制品的组织	41
第二章 铝-镁系合金	55
第一节 化学成分及相组成	55
第二节 热处理特性	57
第三节 铸锭及加工制品的组织	60
第三章 铝-锰系合金	72
第一节 化学成分及相组成	72
第二节 热处理特性	75
第三节 铸锭及加工制品的组织	80
第四章 铝-铜-镁系合金	90
第一节 化学成分及相组成	90

目 录

第二节 热处理特性·····	93
第三节 铸锭及加工制品的组织·····	95
第五章 铝-镁-硅-铜系合金 ·····	120
第一节 化学成分及相组成·····	120
第二节 热处理特性·····	122
第三节 铸锭及加工制品的组织·····	125
第六章 铝-锌-镁-铜系合金 ·····	156
第一节 化学成分及相组成·····	156
第二节 热处理特性·····	157
第三节 铸锭及加工制品的组织·····	159
第七章 铝-铜-镁-铁-镍系合金 ·····	176
第一节 化学成分及相组成·····	176
第二节 热处理特性·····	179
第三节 铸锭及加工制品的组织·····	180
第八章 铝-铜-锰系合金 ·····	197
第一节 化学成分及相组成·····	197
第二节 热处理特性·····	199
第三节 铸锭及加工制品的组织·····	203
附录 ·····	213
表 1 变形铝合金的化学成分·····	214
表 2 变形铝合金主要相的晶体结构及浸蚀前后的特征·····	218
表 3 变形铝合金部分制品的力学性能参考数据·····	222
表 4 铝合金制品的表示方法·····	224
表 5 铝合金制品的状态代号·····	224

变形铝合金金相图谱

金相图谱编写组 著

冶金工业出版社

变形铝合金金相图谱

金相图谱编写组著

*

冶金工业出版社出版
新华书店北京发行所发行
外文印刷厂、冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 14 字数 265 千字

1975年8月第一版 1975年8月第一次印刷

印数00,001~10,000册

统一书号: 15062·3155 定价(科四) 5.30元

毛主席语录

领导我们事业的核心力量是中国共产党。

指导我们思想的理论基础是马克思列宁主义。

人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

中国应当对于人类有较大的贡献。



前 言

解放以来，在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国的铝合金工业有了很大的发展，从无到有、从小到大，产量和品种不断增加，质量日益提高，在国民经济建设和国防工业中发挥了应有的作用。

遵照伟大领袖毛主席关于“**要认真总结经验**”的教导，为适应冶金工业迅速发展的需要，我们编写了《变形铝合金金相图谱》一书，供从事变形铝合金生产、使用、科研和教学等有关人员参考。

本书侧重介绍了变形铝合金（包括纯铝）八个系的主要相组成及其特征，各种加工方式（压延、压挤、锻造、冷拉等）对合金组织的影响，各种热处理状态（均匀化、退火、淬火、时效等）下合金组织的特点和规律，对其较为典型的组织状态，一般均附有图片和必要说明。

在编写过程中，得到了沈阳金属研究所、北京钢铁研究院、上海材料研究所、北京航空学院、北京钢铁学院、东北工学院、中南矿冶学院、上海交通大学和有关兄弟厂校单位的大力支持和帮助，特此致谢。

由于我们水平有限，书中可能存在着不少缺点或错误，望广大读者批评指正。

金相图谱编写组

一九七四年六月

目 录

总论	9
一 合金的分类.....	9
二 合金元素及相组成.....	9
三 铸锭及加工制品在各种状态下的组织.....	13
1. 半连续铸造铸锭（水冷）的组织	13
2. 各种加工状态的组织	19
（1）热压延状态的组织	19
（2）热压挤状态的组织	21
（3）锻造状态的组织	22
（4）冷压延、冷拉伸及冷拔、冷轧状态的组织	27
3. 铸锭及加工制品在热处理状态下的组织.....	27
（1）铸锭均匀化状态的组织	27
（2）制品的恢复及再结晶组织	27
（3）退火状态的组织	30
（4）淬火及时效状态的组织	30
第一章 工业纯铝	34
第一节 杂质含量及相组成.....	34
第二节 热处理特性.....	39
第三节 铸锭及加工制品的组织.....	41
第二章 铝-镁系合金	55
第一节 化学成分及相组成.....	55
第二节 热处理特性.....	57
第三节 铸锭及加工制品的组织.....	60
第三章 铝-锰系合金	72
第一节 化学成分及相组成.....	72
第二节 热处理特性.....	75
第三节 铸锭及加工制品的组织.....	80
第四章 铝-铜-镁系合金	90
第一节 化学成分及相组成.....	90

目 录

第二节 热处理特性·····	93
第三节 铸锭及加工制品的组织·····	95
第五章 铝-镁-硅-铜系合金 ·····	120
第一节 化学成分及相组成·····	120
第二节 热处理特性·····	122
第三节 铸锭及加工制品的组织·····	125
第六章 铝-锌-镁-铜系合金 ·····	156
第一节 化学成分及相组成·····	156
第二节 热处理特性·····	157
第三节 铸锭及加工制品的组织·····	159
第七章 铝-铜-镁-铁-镍系合金 ·····	176
第一节 化学成分及相组成·····	176
第二节 热处理特性·····	179
第三节 铸锭及加工制品的组织·····	180
第八章 铝-铜-锰系合金 ·····	197
第一节 化学成分及相组成·····	197
第二节 热处理特性·····	199
第三节 铸锭及加工制品的组织·····	203
附录 ·····	213
表 1 变形铝合金的化学成分·····	214
表 2 变形铝合金主要相的晶体结构及浸蚀前后的特征·····	218
表 3 变形铝合金部分制品的力学性能参考数据·····	222
表 4 铝合金制品的表示方法·····	224
表 5 铝合金制品的状态代号·····	224

总 论

随着我国社会主义建设的迅速发展,铝及其合金的板、带、箔、管、棒、型、线、锻件等制品,愈来愈广泛地应用于机器制造、交通运输、电气、航空、造船、化工等国民经济各部门之中。

合金成分、变形方式、生产工艺对铝及其合金制品的组织性质都有着不同的影响。因此,研究不同状态和条件下的铝及其合金产品的组织特征,对提高产品质量、改进生产工艺、正确选用材料具有十分重要的意义。

一 合金的分类

合金通常按热处理特性、合金系及性能用途三种方式分类。我国生产的变形铝合金,是按性能和用途进行分类的。一般分为工业纯铝、防锈铝、硬铝、超硬铝及锻铝等。除工业纯铝外,其它均属铝和一种或几种主要元素形成的合金。属于防锈铝的有铝-镁及铝-锰系合金。属于硬铝的有铝-铜-镁及铝-铜-锰系合金。铝-锌-镁-铜系为超硬铝。铝-镁-硅-铜及铝-铜-镁-铁-镍系合金为锻铝。除工业纯铝和防锈铝不能用热处理强化以外,其余合金均可用热处理强化。这些合金的化学成分见附录表1。各品种规格表示和产品状态代号见附录表4及附录表5。

由于铝-铜-镁-铁-镍及铝-铜-锰系合金与铝-铜-镁系中的LY6、LY2合金有较好的耐热性,所以也称为耐热铝合金。

本图谱是按合金系分类叙述的。

二 合金元素及相组成

在常用的合金元素中,铝和锌、镁、铜、锂、锰、镍、铁在靠铝一边形成共晶反应,和铬、钛形成包晶反应,在铝-铅系中出现偏晶反应。它们在铝中的固溶度以锌、镁、铜、锂最大;锰、硅、镍、钛、铬、铁次之;以铅为最小。

合金中的铜、锂、硅等元素以及合金中的化合物 Mg_2Si 、 $MgZn_2$ 、 $S(CuMgAl_2)$ 相等,由于随温度高低有较大的固溶度变化,所以经淬火及时效后能使合金显著强化。

铁、硅在有的合金中作为杂质加以控制,它们和Al形成 $FeAl_3$ 、 $\alpha(FeSi_3Al_{12})$ 、 $\beta(Fe_2Si_2Al_9)$,并会和合金中的锰等形成更复杂的化合物 $(FeMn)Al_6$ 、 Mn_3SiAl_{12} 、 Cu_2FeAl_7 、 $(FeMnSi)Al_6$ 。其中 $(FeMn)Al_6$ 是Fe溶于 $MnAl_6$ 或Mn溶入 $FeAl_3$ 中的固溶体,而 $(FeMnSi)Al_6$ 则为铁溶入 Mn_3SiAl_{12} 中的固溶体。由于这些化合物都不能固溶或

很少固溶于 $\alpha(\text{Al})$ 中,所以对合金的时效强化作用很小或不参与强化。

综上所述,这些杂质相对合金的时效强化虽有不良的影响,但如果据其特性合理使用,则可以改善合金的其它性能。例如,当 $\text{Fe}/\text{Si} \geq 2$ 时,工业纯铝中有更多的 FeAl_3 相,这时有好的耐高温动水腐蚀性能,调整铁、硅含量或加入其它元素使合金中的铁、硅杂质相为骨骼状的 $\alpha(\text{FeSi}_3\text{Al}_{12})$ 或 $(\text{FeMnSi})\text{Al}_6$,便可消除因 $\beta(\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{Al}_9)$ 或 $(\text{FeMn})\text{Al}_6$ 粗大片状物造成的合金塑性和工艺性能降低的现象。

固溶于Al中的锰、铬、钴等元素,不但能提高合金的再结晶温度,而且即使在比较缓慢的冷却速度下也很难析出,必须在随后加热时才析出,这种现象通常称为回火分解,析出物呈点状,是锰或铬和铝及其它元素的化合物,其分布状态对合金性能影响很大,成为有些合金弥散强化的主要相。

钛是某些合金的变质剂,可细化合金的晶粒,从而保证合金具有高的工艺性能和力学性能。

热处理强化的变形铝合金中,以Al-Cu-Mg、Al-Mg-Si、Al-Mg-Zn系为基的合金用途最广,相组织比较复杂,概括地了解这些系平衡图靠铝角的相区分布,对分析合金的相组成和制订热处理规程都有很大意义。

从Al-Cu-Mg系平衡图(图1)看出,该系合金中除了产生 CuAl_2 、 Mg_2Al_3 以外,还生成 $\text{S}(\text{CuMgAl}_2)$ 相及 $\text{T}(\text{CuMg}_4\text{Al}_6)$ 相,在 506.5°C 发生三元共晶反应, $\text{L} \rightleftharpoons \alpha(\text{Al}) + \text{CuAl}_2 + \text{S}(\text{CuMgAl}_2)$,共晶成分为33.1%Cu, 6.25%Mg。在共晶温度下, $\alpha(\text{Al})$ 中最大溶解度为4.1%Cu及1.7%Mg。当温度为 518°C ,成分为24.5%Cu及10.5%Mg的液体发生 $\text{L} \rightleftharpoons \alpha(\text{Al}) + \text{S}(\text{CuMgAl}_2)$ 的两相共晶反应。此时, $\alpha(\text{Al})$ 中最大固溶度为2.9%Cu及2.9%Mg,工业生产的硬铝的成分大都处于上述三相区和两相区,而且成分在该三相区并靠近 $\alpha(\text{Al}) + \text{S}(\text{CuMgAl}_2)$ 两相区的合金强度最高,成分在 $\alpha(\text{Al}) + \text{S}(\text{CuMgAl}_2)$ 相区者有高的耐热性。

在Al-Mg-Si系平衡图(图2)中,有一个 $\alpha(\text{Al}) + \text{Mg}_2\text{Si}$ 的伪二元共晶截面,该伪二元共晶成分为8.25%Mg, 4.75%Si,共晶温度为 595°C ,此时 $\alpha(\text{Al})$ 中的最大固溶度为1.17%Mg, 0.68%Si。在该截面两侧各有一个三元共晶系,靠Si一边的为 $\alpha(\text{Al})-\text{Mg}_2\text{Si}-\text{Si}$,靠Mg一边的为 $\alpha(\text{Al})-\text{Mg}_2\text{Al}_3-\text{Mg}_2\text{Si}$,成分位置在 $\alpha(\text{Al})-\text{Mg}_2\text{Si}-\text{Si}$ 相区的合金具有最高的强度(热处理后)。所以,工业用Al-Mg-Si合金的成分,一般都处于上述三元共晶温度时 $\alpha(\text{Al})$ 最大溶解度以内,而且限制在 $\alpha(\text{Al}) + \text{Mg}_2\text{Si}$ 的伪二元共晶截面附近。

在Al-Mg-Zn系中出现 Mg_2Al_3 、 MgZn_2 及 $\text{Mg}_3\text{Zn}_3\text{Al}_2$ 等相,从Al-Mg-Zn系合金平衡图(图3)看出,该系中发生两个两相共晶反应,一个是 $\alpha(\text{Al})-\text{MgZn}_2$ 成分为11.5%Mg及61%Zn,共晶温度 475°C 。此时 $\alpha(\text{Al})$ 最大溶解度为2.65%Mg及14.25%Zn,另一个是