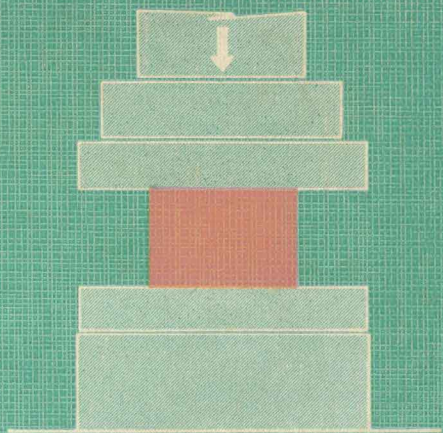


有色金屬合金與壓力加工



冶金常識 編寫組 編

商務印書館

有色金屬合金與壓力加工

《冶金常識》編寫組編

江苏工业学院图书馆
藏书章

商務印書館

內 容 提 要

本書是一本有色金屬的通俗讀物，內容主要是介紹有色合金的基本知識、有色合金的熔煉、鑄造和壓力加工的方法等。可供從事金屬加工的工人、技術人員和大專學校理工科師生參考閱讀，也可為中學理化教師提供結合生產實際的教學資料。

有色金屬合金與壓力加工

《冶金常識》編寫組 編

出版者 商務印書館 香港分館
香港皇后大道中三五號

印刷者 商務印書館 香港印刷廠
香港英皇道芬尼街二號D

＊ 版權所有 ＊

1976年12月港一版

目 录

有色金属合金	1
一 有色金属分类及用途	1
二 有色合金概述	5
(一) 有色合金的分类和编号	5
(二) 有色合金的成分、组织和性能简述	6
(三) 有色合金热处理概念	10
三 铜合金	16
(一) 紫铜(工业纯铜)	17
(二) 黄铜	20
(三) 青铜	28
(四) 白铜	36
四 铝合金	37
(一) 热处理不强化的变形铝合金(防锈铝)	43
(二) 热处理强化的变形铝合金	44
五 其他有色金属合金	54
(一) 镍合金	58
(二) 镁合金	59
(三) 钛合金	63
有色合金铸锭熔炼和铸造	68
一 配料(炉料的准备)	68
(一) 原料	68
(二) 配料计算注意事项	71
二 有色合金的熔炼	72

(一) 有色合金熔炼炉简述·····	72
(二) 装料顺序·····	73
(三) 金属的熔损和除渣精炼·····	74
(四) 金属的吸气和除气精炼·····	76
(五) 覆盖问题·····	78
(六) 合金熔化温度·····	79
三 有色合金铸锭铸造·····	79
(一) 金属结晶概念·····	79
(二) 铸锭方法·····	83
(三) 影响铸锭质量的主要工艺因素·····	90
(四) 铸锭常见缺陷·····	94
四 有色合金熔铸工艺解说·····	98
(一) 紫铜·····	98
(二) 黄铜·····	99
(三) 青铜·····	100
(四) 白铜·····	102
(五) 铝合金·····	103
有色金属和合金的压力加工·····	105
一 金属压力加工的一般知识·····	105
二 有色金属及合金板带材生产·····	109
(一) 板带材生产的典型流程·····	109
(二) 锭的选择与加热·····	111
(三) 热轧·····	113
(四) 冷轧·····	117
(五) 热处理·····	122
(六) 精整·····	123

(七) 成品检查.....	125
(八) 板带材生产实例.....	126
三 有色金属及合金管棒型线生产.....	129
(一) 挤压.....	129
(二) 管材的冷轧.....	138
(三) 拉伸.....	141
(四) 管棒型线生产举例.....	156

有色金属合金

一 有色金属分类及用途

什么是有色金属呢？通常将全部金属分成两大类：铁、锰和铬等为黑色金属；除铁、锰和铬以外的所有金属均为有色金属。有色金属约八十余种，又可分成五类。

1. 重有色金属 指比重大于 4.5 克/厘米³ 的有色金属。包括铜、镍、钴、铅、锌、锡、铋、汞和镉等。

2. 轻有色金属 指比重小于 4.5 克/厘米³ 的有色金属。包括铝、镁、钠、钙和钾等。

3. 贵有色金属 包括金、银及铂族元素（铂、钯、钌、铑、铱和锇等）。金和银各国一直是当作货币储备的。贵有色金属已在工业中得到了应用。

4. 半金属 一般是指硅、硒、碲、砷、硼五种。其物理化学性质介于金属与非金属之间，如砷是非金属，但又能传热导电。

5. 稀有金属 稀有金属分以下五种：

1) 稀有轻金属 包括钛、锂、铷、铯和铍等。其特点是比重小，如锂的比重仅为 0.53 克/厘米³，是最轻的金属。

2) 稀有高熔点金属 包括钨、钼、钽、铌、锆、钎、钨和铪等。其特点是熔点高（均在 1700°C 以上）、硬度大

和耐蚀性强。

3) 稀有分散金属 包括镓、铟、铊、锗等。其特点是在地壳中很分散，大多数没有形成单独的矿物和矿床。

4) 稀土金属 包括钪、钇和镧系元素（镧、铈、镨、钕等 15 个性质相近的元素）。稀土金属并不稀少，它在地壳中的含量超过铅、锡、银和汞等常见金属。由此可见，“稀土”一词不确切。稀有金属并不全都稀少，有些金属因为在地壳中分布不广、很分散、难冶炼、工业上应用较晚，故称稀有金属。如铟，我国算常用金属，而外国算稀有金属；又如钪，国外已由稀有金属转为常用金属了。

5) 放射性金属 包括镭及锕系元素（钍、镤和铀等）。是原子能工业的主要原料。

有色金属有什么用？有色金属种类繁多，具有各种优良独特的性能。从人们日常生活用具到汽车、轮船、飞机、火箭、核武器、人造卫星、潜水艇等都离不了它。

铜和铝是电器工业不可缺少的材料。例如，100 公里 150 毫米²截面的输电线需 400 吨铜；造一台 3000 千瓦发电设备，约需 580 公斤铜。近 50% 的铜消耗在电器工业部门。铝产量大、性能好，目前各国都注意以铝代铜的工作。

石油化工等部门，多用镍、钛和铅等作防蚀材料，用铂族金属作催化剂。

飞机、火箭、导弹、宇宙飞船等近代技术，主要以铝、镁、钛及其合金作结构材料，用稀有高熔点金属作发动机重要部件。一艘载一个人的宇宙飞船，总重约 4.5 吨，而高熔点金属占 1.11 吨。一架新式四引擎喷气机需用一吨镍。一架 B52D 型轰炸机用 2 吨钛合金，YF-12A 型超音速远程截击

机机身主要结构及蒙皮都是用钛合金制成的，据估计用量约23吨，有钛飞机之称。美国“阿波罗11号”使用的金属材料有75%铝材，5%钛材，5%特殊钢及15%其他金属材料（铜、镍、钴、镁、金、银、镧、钆、铈、钇、铉、铊、铋及硅等）。

原子能反应堆、核潜艇等，用放射性金属作原料。锂-6可制氢弹。锆可作核反应堆的包套材料，铪能作核反应堆的控制棒。铌钛和铌锆合金作超导材料，制造超导磁场。

1971年每辆汽车用铝量约为38公斤。一辆M-113型战车用铝量达五吨。世界上有全铝调查船和全铝潜艇。铜和铅及其合金用来制造子弹和炮弹，100万发子弹需用14吨铜。整个机械制造业有色金属及其合金也是不可缺少的。造一台3350米³的制氧机需用100吨铜。50%锌用于防腐镀锌工业。39%镍用于生产不锈钢。

人们日常生活家具用铝量就占总产量的8~10%。除此之外，还利用大量有色金属生产合金钢。

国外某些国家1970年六种有色金属总产量和总消耗量如表1。

美国是世界上有色金属产量和消耗量最多的国家，1969年主要有色金属的产量总和约为800万吨。1970年铝加工产品达335万吨，铜加工产品达224.6万吨。苏联为世界的第二位。据统计，世界上有色金属产量约为钢产量的百分之五。

总之，有色金属在国民经济的各个领域中的应用十分广泛，是重要的战略物资。由于它在国民经济和国防建设方面有特殊重要性，各国都非常重视发展有色金属工业。

1970年六种有色金属的产量和消耗量 (单位: 万吨) 表1

国 家	铝		铜		铅		锌		镍		锡	
	产 量	消 耗	产 量	消 耗	产 量	消 耗	产 量	消 耗	产 量	消 耗	产 量	消 耗
美	360.0	148.81	206.3	184.21	74.50	80.87	87.0	105.44	1.8	14.12	0.3	5.71
苏	150.0	125.60	104.4	96.00	52	64.05	54.7	49.60	11.0	13.00	2.6	2.40
日	73.0	86.75	70.5	83.20	21	21.24	68.0	63.32	7.2	7.2	0.14	2.55
西德	30.8	66.98	40.5	69.31	29.7	30.63	30.1	39.57	0.04	3.86	0.3	1.51
世界总计	1004.0	987.80	725.7	693.30	382.6	260.73	494.5	473.03	55.0	52.94	21.56	21.31

二 有色合金概述

(一) 有色合金的分类和编号

为什么要创制有色合金呢？纯金属的特点是强度和硬度较低，塑性较高，导电性导热性好，并且电阻温度系数大。加上纯金属的性能单纯不够多样化，用途受到了限制。比如，纯金属找不到硬度很高、强度很大或电阻很大，电阻温度系数很小的。找不到在加热时体积和尺寸不变或按一定要求变的。也找不到磁性很大或具有优良综合性能的。而这些材料都是工业中必需的。把纯金属制成合金，就是在不同程度上满足这些要求。

什么是有色合金呢？为了达到工业生产或科学技术某种要求，以一种有色金属为基础（大于50%），加入一种或几种其他元素，使之熔合在一起，构成一种新的金属组成物，叫有色合金。

虽然有色金属只有80余种，但有色合金的数量就非常多，而且正在飞速地发展着。

合金的性能就不象纯金属那样单纯。一般来说合金的强度和硬度比基础金属的高。合金的电阻比纯金属的大，电阻温度系数比纯金属小。合金有良好的综合性能，也有适合某种要求的特殊性能。因此，有色合金用途极为广泛。

有色合金有多少类呢？各国分类方法很多，这里只介绍常用的二种分类方法：

1. 按合金系统分类

1) 重有色金属合金。包括铜合金、镍合金、锌合金、铅合金和锡合金等。

2) 轻有色金属合金。包括铝合金、镁合金等。

3) 贵金属合金。包括银合金和铂族合金等。

4) 稀有金属合金。包括钛合金、钨合金、钼合金、钽合金、铌合金和锆合金等。

2. 按用途分类

1) 变形合金（压力加工用的合金）；

2) 铸造合金；

3) 轴承（耐磨）合金；

4) 印刷合金；

5) 焊料；

6) 中间合金等。

有色金属及合金产品牌号怎么表示？根据国家标准（GB340-64）的规定：产品牌号的命名，以代号字头后的成分数字或顺序号结合合金类别名称或组别名称表示。有色金属及合金产品代号，采取汉语拼音字母、国际化学元素符号及阿拉伯数字相结合的方法表示。有色金属及合金产品的统称（如铝材、铜材）、类别、品种（如管、棒、线、带和板等），以及特殊冶炼、加工方法制品，均用汉字表示。有色金属及合金产品状态，采用汉语拼音字母表示。举例如表 2 和表 3。

（二）有色合金的成分、组织和性能简述

研究合金成分、组织和性能以及它们之间的关系，状态图是重要的依据。现举以下几类二元系状态图为例讨论（见图 1）。

有色金属及合金产品牌号表示方法举例

表 2

金属及合金名称		牌 号 举 例	牌 号 表 示 方 法 说 明
纯金属冶炼产品	铜	Cu-1, Cu-2	纯金属的冶炼产品, 均用国际化学元素符号结合顺序号表示。元素符号和顺序号之间划一横道。一般的纯度随顺序号增加而降低, 但高纯度金属则相反, 并在顺序号前加“0”。
	铝	Al-1, Al-2 Al-01, Al-02	
	铅	Pb-1, Pb-2	
纯金属加工产品	铜	T1, T2	1) 铜、镍、铝和镁的纯金属加工产品用汉语拼音字母加顺序号表示。 2) 其余纯金属加工产品均用国际化学元素符号加顺序号表示。
	铝	L1, L2	
	镍	N2, N4	
	锌	Zn1, Zn2	
	铅	Pb1, Pb2	
合金加工产品	黄 铜	H62-H68 HPb59-1 HFe58-1-1	普通黄铜用汉语拼音字母“H”加铜含量表示。 三元以上的复杂黄铜用汉语拼音字母“H”加第二个主要添加元素符号及除锌以外的成分数字组表示。
	青 铜	QSn4-3 QSi 3-1 QAl 10-3-1.5	青铜用汉语拼音字母“Q”加第一个主要添加元素符号及除铜外的成分数字组表示。
	白 铜	B 19 BMn 3-12 BZn 15-20	普通白铜用汉语拼音字母“B”加镍含量表示。 三元以上的复杂白铜用汉语拼音字母“B”加第二主要添加元素符号及除铜外的成分数字组表示。
	镍 合 金	NCr 9, NMg 0.1 NMn 2-2-2	镍合金用汉语拼音字母“N”加第一主要添加元素符号及除镍外的成分数字组表示。
	铝 合 金	LY1, LF1	铝合金和镁合金用汉语拼音字母加顺序号表示。
品	镁 合 金	MB1, MB2	
	铅 合 金	PbSb 2	
	锌 合 金	ZnAl 10-2	铅、锌、锡、贵金属及稀有金属等合金的表示方法用基础金属元素符号加第一主要添加元素符号及除基础金属含量外的成分数字组表示。

产品状态名称及其代号举例

表 3

名 称	代 号	名 称	代 号
退火	M	硬状态	Y
淬火	C	$\frac{3}{4}$ 硬, $\frac{1}{2}$ 硬, $\frac{1}{3}$ 硬, $\frac{1}{4}$ 硬	Y1, Y2, Y3, Y4
淬火自然时效	CZ	特硬	T
淬火人工时效	CS	热轧、热挤	R
优质表面	O	淬火自然时效表面优质并 冷作硬化	CZYO

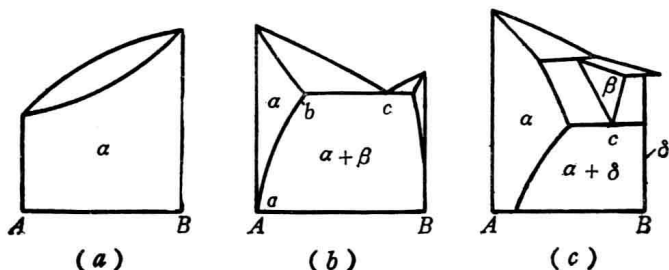


图 1 二元系状态图

众所周知, 图 1 (a) 为无限溶解固溶体类型单相合金。这类合金的特点是随着第二组元数量的增加, 强度、硬度、电阻均增加, 电阻温度系数和导电率均降低, 有较高的耐腐蚀性和较好的塑性, 易承受压力加工。因此, 这类型的合金可做良好的结构材料及电阻材料。如 Cu-Ni 系合金就是一例。这类材料切削加工性能较差。铸造性能主要取决于结晶温度间隔, 即液相线与固相线间垂直距离。温度间隔越小, 流动性越好, 分散缩孔少 (多呈集中缩孔), 合金致密。液相线与固相线水平距离越大, 枝晶偏析越大。

图 1 (b) 是由两种晶体 ($\alpha + \beta$) 混合物组成的合金。把状态图分成两部分来讨论。b 点右边的合金呈共晶反应，合金中有共晶体存在，越接近共晶点 c 的合金中共晶体数量越多。有共晶体存在的合金铸造性能好，难于进行压力加工。故多作为铸造合金。b 点左边的合金，室温下为两相 ($\alpha + \beta$) 混合物合金，即在 α 固溶体的基础上分布着 β 相，也就是 β 相由 α 固溶体析出来的。随着温度的升高， β 相逐渐向 α 固溶体中溶解，当温度达到 ab 线（溶解度曲线）以上时， β 相全部消失，变成 α 单相合金。因此这类合金高温下塑性好，易承受压力加工。如果由高温缓慢的冷却， β 相逐渐由 α 固溶体中析出。这类合金性能除与固溶体有关外还和 β 相的性质、形状、尺寸及分布情况有关。如果 β 相为脆性相并以片状或网状分布在晶界上时，压力加工就会沿脆性相破裂，这种现象叫冷脆性。如果脆性相以细小颗粒状存在，几乎没有危害。若 β 相为易熔相（或易熔共晶体），就不能在该相熔化温度以上进行压力加工。因为压力加工时会沿这些易熔组成物破裂，这种现象叫热脆性。

两相合金通常压力加工性能较差，但是可以利用高温时为单相合金的特性，在高温下进行压力加工。

特别值得注意的是， β 相在高温时溶解，随温度降低又析出来的特性。这种性质构成了可通过热处理（淬火和时效）使合金强化的基础。这类合金有可能成为极可贵的高强度结构材料。大多数高强度铝合金及某些青铜就是实例。

这类合金的铸造性能与固溶体类型合金规律一致。但切削性能较好，化学稳定性较差。

图 1 (c)，在 c 点处存在共析转变 ($\beta \rightleftharpoons \alpha + \delta$)。这类

合金（有共析转变）与铁-碳合金一样，可以利用共析转变达到热处理强化的目的。

综上所述，合金的性能与其成分和组织有关。成分一定，组织和加工方法以及热处理形式有关。因此，寻找高强度合金的简单方法是根据状态图，选择有溶解度变化的有可能进行热处理强化的合金系，改变成分和变化热处理工艺，最后找到热处理效果最大合金强度最高的成分，再进行更深入细致的研究并解决有关工业生产及应用的问题。选择成分和确定热处理工艺时，采用“优选法”既经济又迅速。

（三）有色合金热处理概念

有色合金热处理种类有退火、淬火和时效（回火）。

1. 退火

由于退火目的不同，又分均匀化退火、再结晶退火、消除应力（低温）退火和光亮退火。

1) 均匀化退火 单相固溶体类型合金，由于铸造时冷却速度快，扩散来不及，产生晶内偏析（枝晶偏析），致使硬度高，应力大；两相（或多相）合金，铸造组织中或出现共晶体或第二相以大块状以及连续地分布在晶界上，使合金变脆，塑性降低，造成压力加工困难，易产生废品。因此，这些合金在压力加工之前需进行长时间的高温均匀化退火，以便使成分均匀及细化第二相和改变其分布情况，以达到消除应力，降低硬度，提高塑性的目的。均匀化退火温度应选在固相线以下溶解度曲线以上（或共析转变温度以上）。在不出现其他癖病时，温度应尽量选择高些。因为温度高，原子活动能力大，扩散容易进行，均匀化时间可以缩短。有相变的合金应缓慢冷却（随炉冷却），否则第二相析不出来，

产生淬火效应。

2) 再结晶退火 金属及合金在冷变形过程中, 由于变形时产生弹性应力、晶内滑移和晶体之间相对转动, 晶粒被拉长, 强度和硬度升高, 塑性下降。这种现象叫“加工硬化”或“冷作硬化”。变形程度愈大, 加工硬化现象愈严重

(如图 2), 以致最后不能继续冷变形了, 因再冷变形就会断裂。如果加热到适当的温度, 保温一段时间, 就会软化。这时应力消除, 晶粒变成原来的形状, 强度和硬度下降, 塑性升高, 这种现象叫再结晶。这一工艺操作叫再结晶退火。再结晶退火后又

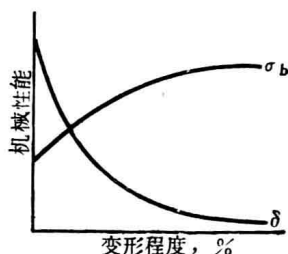


图 2 机械性能与变形程度之间的关系

可以继续冷变形。两次冷变形工序之间, 专门为下道工序顺利进行而设的再结晶退火, 叫中间退火。产品加工完了, 为了软状态出厂, 最后一次再结晶退火, 叫成品(或最终)退火。

加工硬化的合金, 在加热时的变化如图 3 所示。由 T_0 至 T_2 之间, 由于温度还不高, 只能使内应力消除, 组织和机械性能看起来没有变化。这一阶段叫回复阶段。从 T_2 温度开始, 变形的组织中出现了新的晶粒, 温度愈高, 新的晶粒愈多, 到 T_4 温度时, 变形的组织全部变成了新的晶粒。这一阶段叫再结晶阶段。 T_2 为开始再结晶温度, T_4 为再结晶终止温度。温度从 T_4 升到 T_5 和 T_6 时, 晶粒逐渐长大, 叫晶粒长大阶段。

由图 3 可以看出, 软化退火温度应超过再结晶温度, 但