

轻合金板带材生产

Н.Н.克連德林 Г.Н.克魯切尔 著

陈林保 高云震 译

冶金工业出版社

輕合金板帶材生产

H.H.克連德林 Г.Н.克魯切爾 著

陈林保 高云震 译

冶金工业出版社

Н.Н.Крейндлин, Г.Н.Кручер
ПРОИЗВОДСТВО ЛИСТОВ И ЛЕНТЫ ИЗ
ЛЕГКИХ СПЛАВОВ

Металлургиядат (Москва, 1957)

輕合金板帶材生产

陈林保 高云震 譯

冶金工业出版社出版 (地址: 北京市灯市口甲45号)

北京市書刊出版业營業許可証出字第 093 号

冶金工业出版社印刷厂印 新华書店发行

1960 年 1 月第一版

1960 年 1 月北京第一次印刷

印数 3,512 册

开本 $850 \times 1168 \cdot 1/32$ • 230,000 字 • 印张 $9 \frac{6}{32}$ • 插頁 26

統一書号 15062 • 1881 定价 1.40 元

本书系根据苏联冶金工业出版社1957年出版的技術科学副博士克連德林 (Н.Н.Крейн-длин) 和工程师克魯切尔 (Г.Н.Кручер) 所著“輕合金板帶材生产” (Производство листов и лент из легких сплавов) 一书譯出的。

本书系統地叙述了从鑄錠鑄造到板帶材精整的鋁、鎂、鈦板帶材的生产工艺方法，变形合金的特性，国内外輕合金热压延和冷压延的研究成果，变形和热处理对合金組織和性能的影响，並介紹了一些压延鋁合金、鋁箔、鎂合金和鈦所用的現代化压延机。

本书可供从事輕合金压力加工的工程技術人員参考，亦可供高等学校及中等专业学校学生学习参考之用。

目 录

序言	1
緒論	2
第一章 变形鋁合金	4
1. 变形鋁合金的分类	4
热处理不强化的鋁合金	4
热处理强化鋁合金	8
2. 产品品种和技术条件	14
第二章 鋁及其合金的热压延	15
3. 鑄錠的質量和規格	15
鑄錠的半連續鑄造	18
鑄錠規格	21
硬合金的热变形特点	21
4. 热压延前的鑄錠准备	23
鑄錠的切断	21
鑄錠的銑面	21
包 鋁	25
均匀化退火和压延前加热	27
5. 金屬在軋輥上的变形过程	31
压延时金屬的流动	31
不均匀变形对組織的影响	34
不均匀变形对应力状态的影响	34
軋輥的冷却和潤滑	37
6. 薄板的热压延	40
軟合金的压延	40
硬合金的压延	41
在不可逆式压延机(有飞輪传动)上压延	42
在可逆式压延机上压延	47
在半連續式压延机上压延	53
第三章 鋁合金的冷压延	60

7. 薄板的冷压延	60
冷压延对性能和組織的影响	60
板材压延机上压延	62
可逆式带材压延机上压延	62
連續式压延机上压延	70
8. 板材获得良好的压出質量和表面質量的条件	72
軋 輥	72
軋輥的冷却和潤滑	75
带材的张力	78
9. 冷压延过程的检查	78
带材厚度的測量	79
輥隙的測量	81
带材张力的測量	82
压力的測量	82
10. 卷材剪切成板材	84
第四章 热处理	86
11. 退 火	89
热轧卷材的退火	89
中間退火	90
成品退火	91
低溫退火	93
12. 淬 火	94
鋁合金的强化相	95
淬火前的加热	96
淬火前的加热時間	97
淬火速度	99
13. 时 效	102
自然时效	103
人工时效	104
时效时的复原	109
14. 鋁合金的热处理爐	110
均匀化爐	112

加热爐.....	113
退火爐.....	113
淬火爐.....	114
人工时效爐.....	119
第五章 板材精整工序	120
改善板材外观及提高其耐蝕性的表面加工.....	120
消除挠曲.....	121
板材的成品剪切, 检查和打印.....	125
板材的涂油和包装.....	127
第六章 铝合金板带材最新的生产工艺	128
15. 弗凯尔克城工厂的 2440 双机架板材压延机.....	128
鑄造車間.....	129
压延車間.....	131
热处理和精整.....	135
16. 罗德哲尔斯頓城工厂的 2240 半連續板材压延机.....	138
工艺过程.....	139
車間的主要設備.....	144
17. 利作尔溫城工厂的 1520 半連續板材压延机.....	163
18. 伊索尔城工厂的 2840 半連續板材压延机和	
1100 初軋机	167
鑄造車間.....	167
初軋机.....	172
板材压延車間.....	173
19. 特林特烏德城工厂的半連續式板材压延机.....	186
鑄造車間.....	188
压延車間.....	190
20. 达維波尔特城的 2540 半連續板材压延机	203
鑄錠的鑄造.....	204
压 延.....	206
21. 現代化生产铝合金板材的主要特点	207
第七章 鋁箔的压延	209
22. 鋁箔的压延工艺	209

压 延	211
退 火	214
鋁箔的疊压	214
23. 箔材的特殊加工	216
鋁箔的涂色	216
鋁箔的印花	217
鋁箔的裱糊	217
鋁箔的打孔	220
24. 留格尔城压延鋁箔工厂的1220四重可逆式压延机	220
第八章 鎂合金板材的压延	227
25. 变形鎂合金	227
26. 鑄錠的鑄造和压延的准备	229
精炼和調質处理	229
鑄錠的鑄造	231
均匀化	234
鑄錠的鋸切和銑面	235
压延前的加热	236
27. 鎂合金的热压延	238
試驗室条件下的热压延	242
现代的热压延	243
28. 冷压延	252
影响冷状态鎂合金压延性的因素	253
现代的冷压延	254
冷压延对板材性能的影响	255
29. 板材的精整	256
退 火	257
板材的校直和剪切	258
氧化上色	260
包 装	260
30. 板式压延鎂板的工厂	261
31. 麦儿逊城工厂的单机架2140板材压延机	263
第九章 鈦和鈦合金板材的压延	266

32. 鈦和鈦合金	266
33. 鈦和鈦合金板材的压延工艺	273
鑄錠在压延前的准备	273
鑄錠的加热	275
鑄錠的鍛压和修整	275
压 延	276
板材的精整	277
34. 米德兰德城工厂的三机架1680板材压延机	278

序 言

最近 10~15 年来，輕合金压延的工艺及其設備发生了很大变化：生产規模大大地扩大了，一些新的合金出現了，鑄錠的尺寸增加了好几倍，并开始利用巨型的設備。

然而，关于俄文的輕合金压延文献却非常少。最近的一些書只叙述了工艺的各个阶段，并且还是战前出版的。

的确，最近几年来，在苏联和在国外都发表了一些叙述輕有色金屬和合金板帶材生产的專門問題的著作。其中有：Л. А. 彼得罗夫的“鋁合金的理論問題”，В. А. 里万諾夫和В. И. 多巴特金的“关于鋁合金半連續鑄造的研究”，芬柯等著的“鋁合金的冶金物理基础”，Е. С. 罗克强关于“鋁合金板坯压延时的应力”的巨大研究，安謝尔和巴特捷尔頓的“鎂合金压延”，С. М. 古布金，Е. М. 沙維茨克等的“鎂合金的变形性能”及其他的一些有意义的和重要的著作。

本書的目地是要回答以下的几个問題：近代化的輕合金板帶材生产車間是什么样子；現代化生产的規模，工艺过程，設備和机械化水平如何。

我們企图綜合我国和其他国家在輕合金板帶材生产方面的丰富材料，我們不想对在本書中所涉及到的問題的很广的范围作全面的叙述。因此，我們衷心希望和感謝讀者對本書提出各种修訂的意見。

最后，我們謹向本書的評閱者 А. Ф. 別洛夫同志，И. Л. 別尔林教授，Л. Я. 什波良斯基同志和 Б. А. 柯拉切夫同志等致以最大的謝意，他們在审阅手稿时提出了許多非常寶貴的指示。

緒 論

比重小于 $4.5-5$ 克/厘米³的金屬一般是屬於輕金屬。其中首先是鋁（比重 2.7 克/厘米³）和鎂（比重 1.8 克/厘米³）。

第一次获得金屬的鋁和鎂还是在19世紀，然而这两种金屬仅在第一次世界大战后才进行大規模的工业生产。

現在，原生鋁的世界产量已超过300万吨。

鋁总产量的 $60-70\%$ 是制成压延半成品——板材，厚板，带材和箔材，并且这些半成品主要是由鋁合金制成的。

需用鋁材的工业部門有：航空工业和造船工业；运输和化工机器制造业，民用建筑和日用品制造业。

自从二次世界大战之后，用在无綫电工业、電纜工业、食品工业和印刷业的鋁箔产量在各国都有急剧地增加。

1952年世界鎂产量为12万吨（不包括苏联）。鎂板材产量占上述数量的 $15-18\%$ ，而其中主要是用鎂合金生产的。

鎂板的主要使用部門是航空工业，部分汽車工业，但是，近年来，它們的应用范围有了扩大的趋向（車輛制造、日用品等）。最近 $5-6$ 年来，一般都注意一种新的輕合金——比重为 4.5 克/厘米³的鈦，而不久前它还是一种稀有元素。

鈦，特別是鈦合金具有非常可貴的机械性能和物理化学性能，因此它的产量急剧增加：1949年資本主义国家的鈦总产量为25吨，1955年就增加到1000—1200吨。鎂产量达到这种相应的增长时用了20年，而鋁則用了25年。

鈦生产的高速发展是由于鈦的半成品，特別是鈦合金板材密切地关系着航空技术的进一步发展。

在伟大的十月革命前的俄国不能生产輕合金的压延制品。

由于社会主义工业化的結果，苏联出現了近代化的輕合金板带材生产工业。

苏共第二十次代表大会在关于发展苏联国民經济的第六个五

第一章 变形鋁合金

所有工业鋁合金可分为用来制造压延制品、压挤制品和冲压制品的变形鋁合金及用来制造鑄造制品的鑄造鋁合金。状态图上固溶体在共晶溫度时的饱和极限是这两类合金的假想界限。在共晶溫度时成份含量高于溶解度极限的合金一般具有良好的鑄造性能，因此它們屬於鑄造合金。以下仅对制造压延制品的主要变形鋁合金进行研究。Л.П. 魯日尼科夫 [25]、С.М. 沃罗諾夫 [2]、В. 芬柯 [68]、Л. 蒙德利夫 [111] 等对变形鋁合金及其分类进行了非常全面的叙述。

1. 变形鋁合金的分類

(簡述)

从純鋁的箔材到高强度鋁合金的板材和型材的大量制品都是用变形鋁合金压延和压挤成的。在压延制品中以板材所占的数量(按重量)为大宗。

苏联采用的現代变形鋁合金的化学成份列于表1内。变形鋁合金可分为两类：热处理不强化的合金及热处理强化的合金。第一类合金不能用热处理来强化，而只可借助于冷軋时的冷作硬化来强化。第二类合金在热处理之后可使成品获得所希望的性能。

机器制造业中的大多数結構零件都是用热处理强化的合金来制造。下面将更詳細地研究这类主要的变形鋁合金。

热处理不强化的鋁合金

含有在冷作硬化后稍能提高制品强度而不急剧降低塑性的成份的合金属于这类合金。

用于制造板材及其他变形制品的工业純的鋁也屬於这一类合金，工业純鋁含有1%以下的以鉄和硅为主的杂质。硅在任何牌号鋁中都是不可避免的，它能溶入固溶体中，因此不会使材料的

表 1

变形铝合金的化学成份

合 金 系	合金牌号	成份的平均含量, %							
		Cu	Mg	Mn	Ni	Fe	Si	Zn	Cr
热处理不强化合金									
Al	A	—	—	—	—	—	—	—	—
Al—Mn	AMn	—	—	1.25	—	—	—	—	—
Al—Mg	AMr	—	2.5	0.3	—	—	—	—	—
Al—Mg	AMr3	—	3.5	0.4	—	—	0.7	—	—
Al—Mg	AMr5	—	5.0	0.4	—	—	—	—	—
热处理强化合金									
1. 阿維合金									
Al—Mg—Si	AB	—	0.7	—	—	—	0.9	—	—
Al—Cu—Mg—Si	AK5	0.4	0.7	0.25	—	—	0.9	—	—
Al—Cu—Mg—Si	AK6	2.2	0.7	0.6	—	—	0.9	—	—
2. 硬 鋁									
Al—Cu—Mg.....	Д18	2.6	0.35	—	—	—	—	—	—
Al—Cu—Mg.....	Д3Π	3.0	0.5	0.5	—	—	—	—	—
Al—Cu—Mg.....	Д1	4.3	0.6	0.6	—	—	—	—	—
Al—Cu—Mg.....	Д6	4.9	0.8	0.8	—	—	—	—	—
Al—Cu—Mg.....	Д16	4.4	1.5	0.6	—	—	—	—	—
Al—Cu—Mg—Si	AK8	4.4	0.6	0.8	—	—	0.8	—	—
3. 高强度合金									
Al—Zn—Cu—Mg	B95	1.7	2.3	0.4	—	—	—	6.0	0.2
4. 特殊用途合金									
热强合金.....	AK2	4.0	0.5	—	2.0	—	—	—	—
同上.....	AK4	2.2	1.6	—	1.25	1.35	0.85	—	—
同上.....	AK4-1	2.2	1.6	—	1.25	1.35	0.2 以內	—	—

塑性降低很多。铜也属于这种杂质。铁与铝形成不溶解的 FeAl_3 化合物，它是最有害的杂质，这种化合物的大量存在，会显著地变坏压力加工性。

表 2

原生鋁鋁鎂的分类

牌 号	化 学 成 份 %				杂质 总量	用 途 举 例	
	鋁 不小于	杂质，不大于					
		Fe	Si	Fe+Si			Cu
高純度鋁							
AB1	99.90	0.06	0.06	0.095	0.005	0.10	用于特殊化学器皿，电解电容器，研究和其他特殊的用途
AB2	99.85	0.10	0.08	0.142	0.008	0.15	
正常純度鋁							
A00	99.7	0.16	0.16	0.26	0.01	0.30	用于箔材，特殊情况下的包复板，电纜和导电制品，特种用途的鋁合金和化学工业上
A0	99.6	0.25	0.20	0.36	0.01	0.40	
A1	99.5	0.30	0.30	0.45	0.015	0.50	用于电纜和导电制品，鋁合金，包复板，箔材，顏料粉和家庭工业
A2	99.0	0.50	0.50	0.90	0.02	1.0	用于鋁基和其他基合金，鋁器，电纜和导电制品，中間合金
A3	98.0	1.1	1.0	1.80	0.05	2.0	用于鋁合金的补添爐料，中間合金和日用品。

原生鋁的分类列于表 2, 并在表中指出了各种牌号原生鋁的大致用途。冷作硬化鋁强度性能的提高主要是借助于加入两个合金元素——鎂及錳。这个元素是热处理不强化合金的主要加入成份。錳在鋁中的最大溶解度达 1.85%。在含錳的鋁合金中鉄是最有害的杂质, 因为有它的存在形成了使合金塑性大为降低的粗大片状的 (Fe, Mn)Al₃ 相。鋁溶解鎂达 17.5%。

属于热处理不强化的鋁合金有: AMu 合金—含有 1.25% Mn; AMr, AMr3, AMr5 合金—含有錳和鎂。在某些情况下, AMr 合金中的錳可用同量的鉻代替。热处理不强化的变形合金的特点是强度低, 压力加工性好和耐蝕性高。热处理不强化的几种主要合金的标准性能列于表 3。

热处理不强化的变形鋁合金制品——板材、带材、棒材、綫材——可在退火状态, 半冷作硬化状态和冷作硬化状态下供应。

这些合金的特点，是它們在任何状态下都具有相当高的塑性。由于鋁的导电性高和比重小，被广泛地用作电纜，載电导綫和母綫的材料。

由于鋁具有很高的耐蝕性，在化学工业上大量采用鋁槽，鋁貯藏器，鋁导管来加工和运输过氧化氢、有机酸、和有机酸酐（甲醛、乙醛、等等）、汽油、浓度80%以下的硝酸和其他化学制品。

由于純鋁完全沒有毒、耐蝕性能高、加工容易、价格便宜和外表美观（尤其是拋光后），故在食品工业上用它制造食用器皿和傢具。

做上述用途，除牌号为Al的純鋁外，也可以采用AMu合金。

表 3

热处理不强合金的机械性能

合金牌号及 状态①	拉伸时强度 σ_b 公斤/毫米 ²	屈服点 σ_s 公斤/毫米 ²	延伸率 δ %	收縮率 ψ %	布氏硬度 H_B 公斤/毫米 ²
AD1-M	9	3	30	80	25
AD1-H	14	10	12	60	32
AMu-M	13	5	20	70	40
AMu-II	16	13	10	55	30
AMr-M	20	10	23	—	45
AMr-II	25	20	6	—	60
AMr2-M	24	12	20	—	50
AMr5-M	28	14	20	—	70

① 在鋁及鋁合金中采用下列規定符号：M—退火的；II—半冷作硬化的；H—冷作硬化的；T—淬火和自然时效的；T₁—淬火和人工时效的；T₄—淬火后再行冷作硬化的；A—板材压延品；B—压出的高质量板材。

近十年来，还生产了大量制造电容器，絕热，印刷业，食品和烟草包装等用的鋁箔。

AMr合金用于所需强度高于工业純鋁或AMu合金并要求很高耐蝕性的制品，如：高压油管、高压汽油或煤油管，燃料箱和

油槽等。

由于AMr合金具有良好的抛光性和长久保持表面光亮的能力，适于制造铁路车箱、轮船和房屋的内部装饰品。

AMr合金还用于要求只有很高耐海水腐蚀的造船工业上。

热处理强化铝合金

所有这一类合金都含有如下的成份，这种成份在铝中的溶解度随着温度的降低而急剧减小。从高温急剧冷却并随后再低温加热或室温放置（淬火和时效）后，在合金中就发生了组织的改变，同时引起了强度的增加^①。

热处理强化的铝合金除含有引起强度增加的一些元素外，一般还含有一个或几个不溶于固溶体中的元素，加入这些元素的目的是为了细化晶粒，提高抗蚀性或其他等。

这类合金根据主要强化元素可分为下列各组：

第一组——阿维合金——铝—镁—硅系三元合金（AB、AK5、AK6合金）；

第二组——硬铝——铝—铜—镁系和铝——铜—镁—硅系合金；上述元素的不同含量会使合金达到不同程度的强度和塑性（Д1、Д16、Д6、AK8等）；

第三组——高强度的铝—锌—镁—铜系合金（B95）；

第四组——各种特殊合金。

前三组用于机械制造的结构合金，它们的强度随着组的顺序而增大；第四组包括具有耐热性或其他特殊性能的特殊合金。

在第一组（阿维合金）的三个合金中都含有镁和硅，并形成 Mg_2Si 化合物。这个化合物与铝形成二元共晶系，在共晶温度时 Mg_2Si 在铝中的最大溶解度为1.85%，并随着温度的下降而降低。当镁和硅的比例正好相当于组成化合物 Mg_2Si 时（Mg为0.7%时Si必须约为0.4%），合金的强度不大、抗蚀性高和压力加工性良好，优于其它的热处理强化合金。硅含量超过

① 这些合金在热处理时发生的转变，将在第四章内详细研究。