

【苏联B.И.多巴特金者

亦士晋等译

铝合金铸锭

中国工业出版社

本书根据苏联冶金科技书籍出版社出版的 В·Н·多巴特金著
“鋁合金鑄錠” (“Слитки алюминисвых сплавов”) 1960 年版
譯出的。

书中敘述了鋁合金鑄造工艺的現狀，在工业生产条件下浇
鑄的鑄錠的結構和結晶規律性。介紹了用連續鑄造方法浇鑄鋁合
金錠的經驗，并提出了提高鑄錠质量的建議，等等。

本书适合于有色金属工厂和研究部門的工程技術人員使用，
也可以供有关高等学校師生參考。

参加本书翻譯工作的有：乔玉普、仇英华、蔣香泉、张淶
泉、張振祿、謝維三、洪永先、刘启文、王錕、潘志文。全书最
后經潘志文和张淶泉校訂。

В. И. ДОБАТКИН
СЛИТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ
МЕТАЛЛУРГИЗДАТ
СВЕРДЛОВСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
СВЕРДЛОВСК 1960

* * *

鋁 合 金 鑄 錠
乔玉普 等譯，张淶泉 等校

*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊編輯室編輯

(北京灯市口 71 号)

中国工业出版社出版 (北京德勝門外 10 号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第 110 号)

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 · 各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $5 \frac{1}{16}$ · 字数 131,000

1964 年 3 月北京第一版 · 1964 年 3 月北京第一次印刷

印数 0001—2,500 · 定价 (科七) 0.90 元

*

統一書号：15165 · 2822 (冶金·481)

序 言

本书是作者在鋁合金鑄錠的結晶和結構方面的研究總結。

許多研究是在最近几年生产实践需要的直接促使下完成的。个别研究通常是在解决掌握新技术、提高这种或那种制品质量、消除大量废品等方面的具体問題时进行的。在进行这些研究时，作者对所提出的問題沒有局限于只解决生产上的問題，而是尽可能地对所遇到的現象，力求获得充分的了解，逐渐建立了关于鑄錠的复杂形成过程各个方面的概念。我們认为，这种概念对上述过程的解释，比根据各种文献現有資料所能做的論述，要更为完整和更为正确。

当然，本书內容远远沒有解决鋁合金鑄錠的結晶和結構的全部問題。并且，如果在作者进行研究的同时，要不是其他工厂和研究院也进行了广泛研究的話，那么，甚至本书所涉及的那部分問題的解决也是不可能的。

作者希望，本书所确立的一些規律性，将有助于新研究的正确安排和順利发展，从而有助于鋁合金制品生产的技术进步。

作者对 B.K.季諾維也夫、B.И.庫拉柯夫、A.B.波利揚斯基、P.M.西索娃、Л.Ф.斯波魯堅內依和 И.Л.鉄依捷尔在組織和进行研究中所給予的帮助，以及 Б.М.克謝諾方托夫对草稿的評論，表示感謝。

目 录

序言

緒論

第一章 鋁合金鑄錠連續鑄造的現狀	6
鑄造用靜置爐	7
鑄造機類型	8
結晶槽	11
鑄造制度	14
第二章 鑄錠的結晶和冷卻速度	17
液穴的深度和形狀	18
連續鑄造時鑄錠的結晶綫速度	21
鑄錠的過渡區和隨後的冷卻速度	24
論確定鑄錠結晶殼厚度或鑄錠結晶時間的各種 計算公式的一致性	26
第三章 對液穴中熔體溫度的研究	31
第四章 鑄錠中金屬間化合物的一次晶	42
AK4 和 AK4—1 合金鑄錠澆口組織檢查的試驗	43
金屬間化合物一次晶的局部偏析	46
鑄錠中金屬間化合物一次晶形成的條件	49
超共晶硅鋁明合金鑄錠的結晶	53
第五章 鑄錠敞露液面的結晶	57
對純鋁鑄錠的研究	57
對AMn合金鑄錠澆口部的研究	63
對Al6和B95合金鑄錠澆口部的研究	67
第六章 晶粒大小和樹枝晶枝叉的尺寸	73
柱狀組織區	73
從柱狀結晶過渡到等軸結晶的條件	77
晶粒度與鑄造條件和合金成分的關係	81

树枝晶枝叉的尺寸	88
鑄錠中的光亮晶粒	90
鑄錠中的孤立树枝晶和显微組織不均一性	94
第七章 論鑄錠的最好組織	98
鑄錠結晶过程的基本規律	98
鑄錠的結晶方式	101
鑄錠組織的选择	103
第八章 区域偏析和局部偏析	107
区域偏析的机理和原因	108
連續鑄造鑄錠內的偏析	112
第九章 鑄錠裂紋	123
裂紋形状	123
工业純鋁鑄錠的裂紋	128
杂质对某些鋁合金热裂紋倾向的影响	133
第十章 氧化膜	138
第十一章 鑄錠結構对变形制品质量的影响	145
参考文献	153

緒 論

鋁合金在蘇聯國民經濟中，具有越來越巨大的意義。只要指出鋁合金在工業產量方面、在各種有色金屬合金中牢牢地佔據首位，便足夠了。

用於製造板材、管材、擠壓型材、棒材、綫材、鍛件和模壓件的各种變形合金，占鋁合金全部生產量的主要部分。應當指出，變形鋁合金近年來不僅產量有很大增加，而且品種也擴大很多，大型和複雜形狀的新產品也試制成功。與此同時，大大提高了對製品質量的要求，尤其提高了機械性能的保險指標，對重要的製品規定了橫向性能，對斷口上的晶間分層程度作了限制，等等。

工作經驗表明，鑄錠質量是變形鋁合金工業順利發展的決定性因素。因此，對於鑄錠的結晶和結構領域方面的研究，曾經給予了極大的注意。關於鋼錠方面所積累起來的大量資料，在極大程度上減輕了這方面的研究工作。

可以毫不夸大地說，關於鋼錠結晶和結構的理論，主要是由俄國的學者建立的。揭開大馬士革鋼秘密的П.П.阿諾索夫〔1〕，第一次對金屬組織應用了科學的研究方法，並且確定了鋼製品最終性能與鑄造毛料組織之間的聯繫。他証實了鋼的組織取決於它的化學成分、熔煉制度和鑄錠結晶條件。阿諾索夫制得的製品，在那個時候就其性能來說，是最完善的。雖然現代使用的各種鋼能夠用更為簡單的大規模生產方法制得，並且具有更寬的性能範圍，但是到目前為止，大馬士革鋼仍然引起人們的極大興趣。正如И.Н.波憂切夫〔6〕曾經指出的，大馬士革鋼表明俄國學者對鋼質量的觀點的發展過程。

A.C.拉甫洛夫和H.B.卡拉庫赤基研究了大型工業鋼錠，發

現了鋼的偏析現象并改善了鑄錠的生產工藝。拉甫洛夫提出了在加热的并緩慢沉入水中的模子內鑄造鑄錠的方法。這種方法被称作水浸法而同样为大家所熟悉，在当时曾經被用来鑄造鎂合金和部分鋁合金鑄錠〔52〕。

偉大的俄國冶金學家 Л.К.切爾諾夫〔73〕對鋼錠在實際鑄造條件下的結晶情況，第一個給予了最完整而清晰的描述。他指出，鑄錠結晶時，晶體并不是以稜面完整的形狀，而是呈不連續的晶體或樹枝晶長大的。這種晶體在模子表面開始生長，并且它的成長主軸與冷卻面呈垂直分布。切爾諾夫研究了鑄錠中兩個主要組織區形成的規律性，這兩種組織區目前通稱為柱狀結晶區和等軸結晶區。他第一個建立了結晶過程包括兩個階段的概念：晶核（晶胚）產生階段和晶核長大階段。切爾諾夫關於結晶時採用壓力和使金屬流動等等的方法來改善鑄錠組織的觀點，後來得到了發展，并且導致了許多新的、更完善的鑄造優質鑄件的工業方法的出現。

Н.И.別利亞也夫〔5〕對鑄錠的結晶構成進行了極有意義的研究工作，他為了顯露晶粒的形狀和樹枝狀結構，初次對磨光顯微切片採用了腐蝕方法，并且樹立了鑄錠宏觀組織的概念。它指出了宏觀組織與顯微組織的聯繫，詳細研究了鑄錠的結晶條件和它的組織對鍛件最終組織和性能的影響。

鑄錠結晶理論在許多蘇聯學者的著作中得到了進一步發展。應當指出以下諸人的著作：А.А.包契瓦爾，他創立了鑄造性能理論〔9〕和共晶結晶理論〔8〕，并解釋了鑄錠的許多結構特點〔7〕；Н.Т.古得佐夫，他是斷續結晶理論的建立者〔25〕；С.С.施坦恩別爾格，他發展了晶體掉入鑄錠的概念〔75〕；以及В.О.憂干-陶恩〔19〕、И.Е.戈爾斯柯夫〔23〕、А.Г.斯巴斯基〔62〕、Б.Б.古利亞也夫〔27〕和其他學者〔22, 49, 57〕的著作。研究液態合金組織〔28, 39〕和晶核在液體金屬內形成〔29, 71〕和長大〔2, 76〕的那些著作，對正確理解鑄錠的宏觀組織和晶粒大小的變化規律，有着很大意義。有關樹枝狀結晶的文章〔58, 68〕促進了對鑄

錠显微組織的科学分析。但是，目前的一些看法使有关鑄錠的結晶机理，在其中形成組織区和其他宏观不均一性的許多原則問題仍然发生爭論。在討論“鋼”杂志〔31〕組織的关于产生“晶雨”可能性的問題时，爭論更大。产生观点上的重大差別，在很大程度上是由于在生产条件下对鑄錠鑄造参数和鑄錠組織同时进行研究的材料不充分的原因。由С.М. 沃罗諾夫〔17〕、В.А. 李万諾夫〔41〕和其他人在涉及鑄錠采用連續鑄造方法方面所进行的广泛研究，部分地填补了这一空白。这种先进的鑄造方法，是目前生产鋁合金鑄錠的唯一工业方法。最近几年来，連續鑄造工艺有了很大改进，从而保证了产量显著提高，鑄造出了大断面鑄錠，提高了鑄錠质量。应当指出，В.А. 李万諾夫，Р.И. 巴尔巴涅尔，В.З. 扎哈罗夫，М.Г. 卡歇也夫，И.Л. 鉄依捷尔，Ф.В. 图梁金，И.Н. 弗利得良杰尔以及許多工厂和研究院的其他工作人員，在这一工作中起了很大作用。罗特〔90〕，卡斯特朗〔84〕，弗利特茲連〔81〕，留伊斯〔85〕及其他外国研究者，对发展連續鑄造理論和技术方面，作出了巨大貢獻。連續浇鑄方法在鋼錠生产中，正在成功地和广泛地得到应用〔12〕。

連續鑄造时固定不变的結晶条件，有助于研究鑄錠的組織，虽然这些条件誠然不会使結晶过程的复杂性比实际的有所減輕。

对連續鑄造的鑄錠結晶过程进行的最初研究工作，获得了某些重要的結論〔41，17，32〕。它們表明，对于任何断面的鑄錠，都可以計算出結晶速度。最重要的参数是鑄錠冷却条件、鑄造速度、鑄錠断面尺寸和合金的物理性能。业已証明，树枝晶枝叉和二次結晶产物的細化程度同結晶速度成直綫关系。对于在溫度区間內結晶的合金來說，由液态到固态的过渡区的大小和形状具有决定性意义。鑄錠內区域偏析的发展、疏松的产生、二次結晶产物的形成特点，都与过渡区的大小有关。

但是，正象其他鑄造方法一样，連續鑄造方法开始也沒有找到保证获得晶粒均匀和稳定的組織的条件。此外，关于在連續鑄造的鑄錠中获得細晶或粗晶組織的合理性問題，过去也沒有一致

表 1

变形铝合金的化学成分

台 金 牌 号	台 金 组 元 含 量 (%)						杂质含量(% , 不大于)					
	Cu	Mg	Mn	Fe	Ni	Si	Zn, Cr, Ti	Fe	Si	Mn	Zn	Ni
Д1	3.8~4.8	0.4~0.8	0.4~0.8	—	—	—	—	0.7	0.7	—	0.3	0.1
Д6	4.6~5.2	0.65~1.0	0.65~1.0	—	—	—	—	0.5	0.5	—	0.3	0.1
Д16	3.8~4.9	1.2~1.8	0.3~0.9	—	—	—	—	0.5	0.5	—	0.3	0.1
AK5	0.2~0.6	0.45~0.9	0.15~0.35	—	—	0.5~1.2	—	0.5	—	—	0.2	0.1
AK6	1.8~2.6	0.4~0.8	0.4~0.8	—	—	0.7~1.2	—	0.7	—	—	0.3	0.1
AK8	3.9~4.8	0.4~0.8	0.4~1.0	—	—	0.6~1.2	—	0.7	—	—	0.3	0.1
B95	1.4~2.0	1.8~2.8	0.2~0.6	—	—	—	$\left. \begin{array}{l} \text{Zn}5.0\sim7.0 \\ \text{Cr}0.1\sim0.25 \end{array} \right\}$	0.5	0.5	—	—	—
AK2	3.5~4.5	0.4~0.8	—	0.5~1.0	1.8~2.3	0.5~1.0	—	—	—	0.2	0.3	—
AK4	1.9~2.5	1.4~1.8	—	1.1~1.6	1.0~1.5	0.5~1.2	—	—	—	0.2	0.3	—
AK4-1	1.9~2.5	1.4~1.8	—	1.0~1.5	—	—	Ti0.02~0.10	—	0.35	0.2	0.3	—
AMn	—	—	1.0~1.6	—	—	—	—	0.7	0.6	—	—	—
AMr	—	2.0~2.8	0.15~0.4	—	—	—	—	0.4	0.4	—	—	—

注: 某些熔次与表内所示含量有出入时, 在书内单独列出。

的意見。对于采用連續鑄造方法后在鑄錠中特別經常出現局部偏析的金属間化合物一次晶的产生問題，还不很清楚。而金属間化合物粗大晶体的聚集，是降低鋁合金半成品质量的主要缺陷之一。采用連續鑄造，一方面保證了成品性能普遍提高，但另一方面，不仅不能減少，反而加剧了变形制品的某些特殊缺陷，尤其是粗大区域再結晶、模压件断口上晶間分层等等的产生。这一切都說明，必須进一步研究鑄錠在連續鑄造时的形成过程和鑄造金属的組織和缺陷。本书总结了連續鑄造的工业实践經驗，同时也引述了上述这方面研究的某些成果；对鋁合金鑄錠一次結晶和主要組織缺陷产生条件的研究給予了特別注意；与此同时，試图对鋁合金工业鑄錠的組織和它对制品性能的影响作一总的描述。

由于涉及到各个方面，本书提到了相当数量的变形鋁合金。对于其中某些合金列出了研究熔次的实际成分，而另外一些合金則是指在技术条件允許范围以內的标准成分。本书提到的各种合金成分的允許含量列于表1。

第一章

鋁合金鑄錠連續鑄造的現狀

連續鑄造的工業生产工艺，是在二十年期間內發展起來的。連續鑄造法最初用來生產圓鑄錠，其中用水直接冷卻鑄錠的最先進的鑄造方案得到了推廣。在圓鑄錠連續鑄造工艺的進一步發展中，遇到了嚴重的困難，即主要是產生內部裂紋的困難。

因此，大約在十年以前，曾經討論了關於採用水浸法生產易產生裂紋合金的圓鑄錠的問題。並且，這個方法在某一時期曾被用來成批生產重要用途的直徑 400 毫米 Д16 和 АК4—1 合金鑄錠。這是對合金工艺性能和鑄錠結晶過程了解不夠的一種做法。雖然這些問題現在還沒有全部解決，需要進一步深入研究的，但已積累的經驗使人確信，連續鑄造法對生產直徑達 1000~1200 毫米的圓鑄錠，是大有前途的。目前成批生產的各種合金圓鑄錠，直徑達 600 毫米，某些合金達 800 毫米。已經制定出了生產更大斷面的鑄錠的鑄造工艺。

空心鑄錠的連續鑄造，比實心圓鑄錠的鑄造要稍晚些〔34〕。隨着鑄造方法的改進，也擴大了空心鑄錠的品種。目前成批生產的鑄錠，直徑由 150 至 800 毫米，壁厚由 40 至 250 毫米。更大斷面鑄錠的試鑄結果表明，有可能顯著地增大用連續鑄造法生產的空心鑄錠的尺寸。

在採用連續鑄造法生產軋制用的扁鑄錠〔42〕時，一些大的技術困難得到了克服。在試制的最初階段，高強度（Д16）硬鋁合金鑄錠的斷面尺寸未超過 200×950 毫米，寬與厚之比為 4~5 倍。由於直接在鑄造時或鑄造後產生裂紋的緣故，沒有鑄成更寬的鑄錠。目前在成批生產中鑄造的鑄錠，其斷面為 200×1400 毫米，寬與厚之比為 7，並能生產比例較小的更大的鑄錠。用低成分合金能鑄造斷面更大的鑄錠。高強度 B95 合金鑄錠，很長時

間是用水冷結晶槽并往鑄錠上吹壓縮空氣進行鑄造的。只是在不久之前才成功地採用了直接用水冷卻 B95 合金扁鑄錠的鑄造工藝。

採用連續鑄造使鑄錠的整個生產工藝過程發生了根本變化，并使鑄造車間改變了面貌。熔煉爐、靜置爐和鑄造機已經開始設計并且構成一個統一的熔鑄機組。自然，這就深刻地影響了鑄造車間的平面配置。按流水作業原則組織的機械加工工段也發生了很大變化。

我們不準備談鑄造車間工藝過程的所有環節，這裡只想簡單提一下同鑄造鑄錠有直接關係的那些工藝和設備的發展及其現狀。

鑄造用靜置爐

在開始採用連續鑄造階段，靜置爐的容量不大，照例是做成迴轉式的，通過上部敞露流口流出金屬。鑄錠尺寸增大、產量增加和熔煉技術的發展，決定了增大靜置爐的容量。

靜置爐容量的大小，還不能決定它的生產能力，後者是由鑄錠的重量和鑄造機的數量決定的。誠然，鑄造機數量在某種程度上受靜置爐外廓尺寸的限制，或者更確切地說，受可能的澆鑄工作面大小的限制，但是，必要時依靠最經濟地配置鑄造機，可以增加它們的數量。靜置爐的容量實際上是按熔煉爐的容量選擇的，特別是當它們作為一個熔鑄機組配置在一起時，更是如此。爐子的容量是根據車間的和計劃中規定的各組合金的總產量而計算的。計劃中規定的各種合金數量很多時，最好同時能夠在不同的爐子中生產五組主要合金（軟合金、硬鋁、B95、AK4 型合金和高鎂鋁合金）。如果沒有這種可能時，那麼由於熔煉爐和靜置爐要經常洗爐而不得不造成很大損失，或者使這種或那種合金在同一時期內進行熔煉而過多地增加在製品的生產。

靜置爐在多數情況下都是固定式的電阻爐，而目前大多數熔煉爐則是用煤氣或重油工作的。最近對火焰加熱的靜置爐進行了

成功的試驗，并得到了应用。燃烧过程采用自动化，即使在火焰加热时也能很准确地控制金属温度和减少金属中的含气量。

由靜置炉往結晶槽中輸送金属可以用各种方法。最常用的方法是通过用鉄釵子堵塞的流口，釵子的端头纏有石棉绳。用这个釵子也可以控制放出的金属量。液体金属从流口出来，沿着很短的流槽直接流进結晶槽中，或者流进分配流盘中，从中再把金属送进若干个結晶槽內。采用这种浇注方法时，最好不用总的流槽，即将金属从单独的流口送到每个鑄錠的分配漏斗中，这样能降低金属从流口出来的流速，从而能减少氧化膜从金属表面落入熔体金属中的可能性。

为了使金属液流沿敞口流槽流动平稳，不致破坏表面的氧化膜，可以采用不同的方法。有时从流口到分配漏斗通过管子来輸送金属，管子上带有安在螺絲上的錐体閥，它可以改变管子下端的內径，从而調节金属流量。用这种方法可以防止液流氧化^[67]。如果保証金属流动平稳，那么在液流敞露时，也能消除氧化膜从表面落入^[65]。

从靜置炉往外輸送大量金属（鑄造大型扁鑄錠）时，可以采用虹吸管轉注方法。用改变真空度的办法能很准确地控制所供給的金属量。但是，它还不能消除液流表面的氧化，因为金属不能全部填满虹吸管。因此，正在进行虹吸轉注的改进工作。

鑄造机类型

有一个时候曾經对有关采用那一种类型的鑄造机最为合适的問題有过很大的爭論。虽然目前对这个問題的意見还不一致，但是，凭工作經驗能够更可靠地去鑑別各种类型鑄造机的优缺点。鑄造机工作的可靠性，不仅取决于它的类型，同时也取决于机器的结构和各部件的制造情况以及对鑄造机維護的质量。

在使用輥式鑄造机和带液压、鋼绳或鏈带传动升降台的鑄造机方面有着很多的經驗。螺絲传动的鑄造机，由于鑄造长鑄錠比較麻煩，沒有得到广泛应用。

輥式鑄造機(圖1)廣泛用來生產直徑400毫米以下的圓錠。這類鑄造機的優點是：鑄造速度穩定，能生產長度很大的鑄錠，製造費用小。使用輥式鑄造機時，用加深鑄造坑的辦法能增加鑄錠的長度。因為這種加深不太困難，鑄錠的長度實際上是由車間的高度決定的，即由能否從鑄造坑中將鑄錠取出和把它們放置在料架上決定的。目前在很多工廠用輥式鑄造機鑄造的鑄錠，長度可達7~8米。輥式鑄造機的缺點是，為了消除鑄錠的彎曲而去調整它相當麻煩。

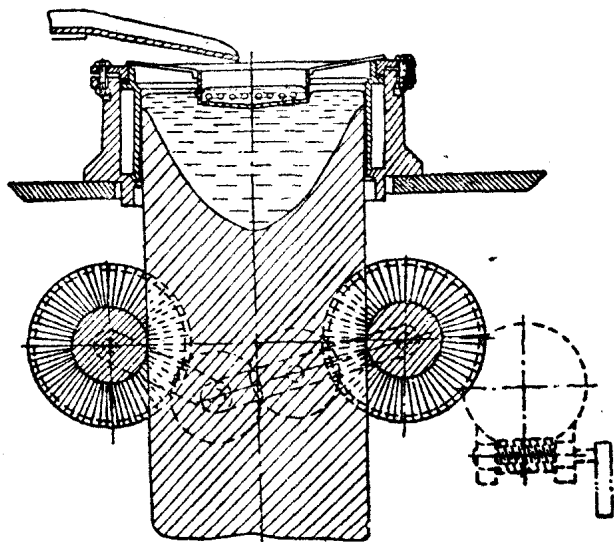


圖 1 輥式鑄造機

生產直接用水冷卻的鑄錠時，在鑄造過程中切斷鑄錠沒有得到廣泛應用。顯然，應當在機械製造技術在解決改進鑄造機課題方面做得不夠，或者在鋁工業鑄造車間的生產發展有其特點這方面，找出這個原因來。各類產品所用的鑄錠，都是按熔次生產的，這樣能簡化加工各個階段產品的質量檢查。一個熔次的金屬從靜置爐出來不是澆鑄在一個，而是若干個結晶槽中的。每個熔次一般能鑄中等尺寸的鑄錠3~4個熔次。因而，鑄錠在鑄造過

程中的切断,在这种情况下,不能形成一个完全的連續过程,而只能將間歇次数减少到 $1/3 \sim 1/4$ 。除此之外,大尺寸鑄錠不經均匀化进行切断有时是不可能的,因为应力会重新分布而产生裂紋。对中小断面(直径小于400毫米)的圓鑄錠來說,寻求有效的解决鑄造和切断相配合的問題毕竟是合理的。这样在連續鑄造过程进一步机械化和自动化的道路上,将向前迈进一步。

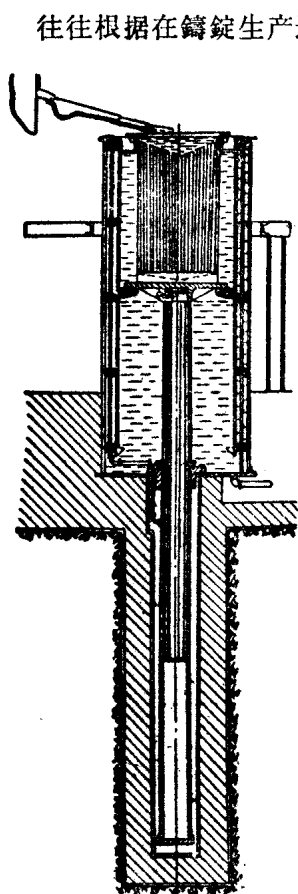


图2 液压传动鑄造机

往往根据在鑄錠生产过程中是否采用切断工序,而將連續鑄造分为連續鑄造本身和半連續鑄造两种。从生产过程的机械学观点来看,这样分法是有某些根据的。从鑄錠构成的冶金原理——评价生产过程的主要原理——观点来看,这种划分沒有意义。把鑄錠对鑄模以固定速度移动为特点的所有各种生产鑄錠的方法,列为連續鑄造法要更为正确。

截至目前为止,直径400毫米以下的圓錠較多地用輓式鑄造机鑄造,而較少用带升降台的鑄造机鑄造;直径大的鑄錠,特别是扁鑄錠,多半用带升降台的鑄造机鑄造。图2是液压传动鑄造机的略图,它属于装有鑄錠冷却水槽的初期鑄造机。后来采用往鑄錠上浇水的办法代替了这种水槽。

正在使用中的液压传动鑄造机用来鑄造长度不大于3米的鑄錠。經驗表明,由于調速器的制造质量,在这种鑄造机上所能达到的速度稳定程度

是不一样的。使用这种鑄造机时,在鑄造过程中(由于所鑄的鑄錠重量的变化)产生的速度波动,要比使用机械传动的鑄造机时大。对某些合金來說,这种波动可能

超过工艺所规定的速度允许范围，并引起裂纹废品增加。上述情况以及同建造生产长铸锭用的铸造机有关的一些困难，使得最近几年来将带升降台的铸造机只做成钢绳或链带传动的铸造机（图3）。

这两种类型铸造机，今后哪一种应用最广很难说。链带传动铸造机能保证底座移动速度有很好的稳定性。采用钢绳传动铸造机能使结晶槽最大限度地靠近静置炉的流口，使结晶槽配置紧凑。

研究用的铸锭是用各种铸造机铸造的：空心铸锭只用轆式铸造机，圆铸锭多半用轆式铸造机，但有几批铸锭是用液压传动铸造机，扁铸锭用液压和链带传动升降台的铸造机。

结 晶 槽

連續铸造时用的铸模，一般称作结晶槽。结晶槽固定在外壳或者冷却器上，后者形成一个用水冷却结晶槽外表面和把水排出直接浇在铸锭上的水套，并同时作为在铸造机固定平台上安置所有装置的基础（图4）。

可以指出近十年来铸模据以改进的下列一些主要方向：

1. 最大限度地简化结晶槽和外壳装置；
2. 减小铸造圆铸锭的结晶槽的高度；
3. 采用異型结晶槽铸造扁铸锭。

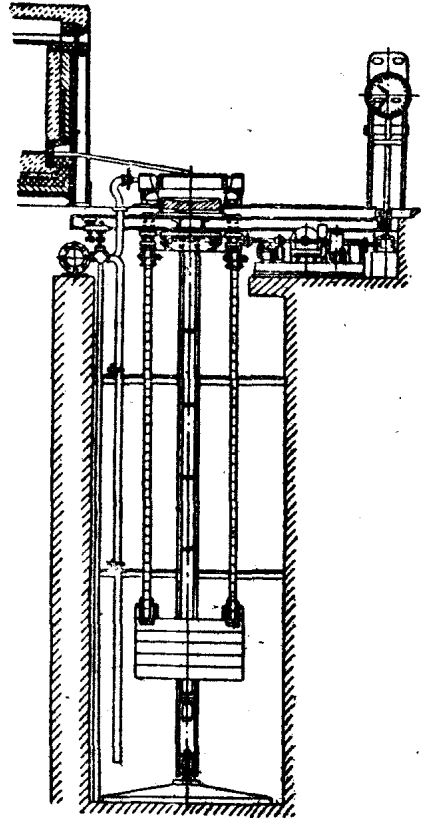


图3 链带传动铸造机

目前，在大多数情况下，结晶槽都做成空心圆柱体或角柱体形状，一端带有法兰盘，另一端有斜稜。法兰盘供用螺丝通过胶

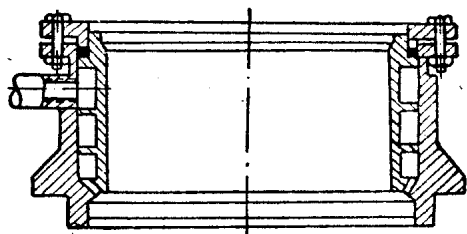


图 4 铸造圆铸锭用的结晶槽

皮垫往外壳上固定结晶槽用。斜稜能限制水孔或当水自流时把它引到铸锭上去。外壳底部的小槽，是水孔的三个面。斜稜对铸锭中心的倾角一般是 30 度。

生产大直径圆铸锭用的结晶槽，经常做成带有加筋螺丝，以减少结晶槽翘曲和延长其寿命。加筋螺丝还作为结晶槽和外壳之间水套内水的导向和提高其流速之用。

圆结晶槽内面形状，一般做成圆筒形。对结晶槽的内表面一般都很重视，其内表面的光洁度对铸锭表面具有决定性的影响。为了消除冷隔，采用减小结晶槽内径来加大其上部壁厚的办法。这种结晶槽内腔的上部呈截头圆锥体状，而下部则呈圆筒形。

结晶槽的有效高度是它的主要参数。随着结晶槽高度增大，铸锭冷却强度减小。这样能减少铸锭产生中心裂纹的可能性，同时能够提高容易产生裂纹的合金的铸造速度。此外，增加结晶槽的高度能降低铸锭的结晶速度和显著扩大由液态向固态的过渡区。在使用高结晶槽时，利用提高铸造速度的方法，可以得到如同使用矮结晶槽时一样的结晶速度。但是，在第一种情况下，由于过渡区尺寸大而引起树枝晶疏松增大，因此铸锭质量较低。

增大结晶槽的高度，可以减少产生中心裂纹，但同时相反地，会增加其他类型裂纹的出现。属于这样裂纹的，例如有圆铸锭的表面径向裂纹。这种裂纹是在表面温度接近于固相线温度的铸锭遇到水时和铸锭中心部分抵抗外层收缩的强度很大时产生的。淬火径向裂纹，可用提高铸造速度或减小结晶槽高度的方法来消除。结晶槽很矮时，即使铸造速度很慢，也不会出现这类裂