

基本書

17221

高等學校交流講義

鑄造合金及熔化

上 冊

清華大學王遵明編

(內部交流 * 僅供參考)



中華人民共和國高等教育部教材編審處



鑄造合金及熔化

上 冊

書號(8073)

新 華 書 店 總 經 售

商 務 印 書 館 上 海 廠 印 刷

一九五五年一月上海第一次印刷

印數 1—1,000

字數 179,000

定價 羊 11.300

鑄造合金及溶化

目 錄

緒 論	1
第一章 合金的流動性, 流動性的一般理論和測定方法	3
第二章 鑄鐵 鋼和有色合金的流動性	12
第三章 合金的加縮	20
第四章 收縮孔	30
第五章 應力	36
第六章 黑色合金和有色合金的偏析	46
第七章 鑄件設計的基本原理	49
第八章 依機械力量將鑄鐵件分類	55
第九章 石墨化理論和灰口鑄鐵的組織	61
第十章 雜質對灰口鑄鐵的組織和性質的影響	66
第十一章 合金灰口鑄鐵	76
第十二章 冷卻速度對灰口鑄鐵組織形式的影響	86
第十三章 鑄鐵的過熱和在液體狀態時的處理對它的組織和性質的影響	91
第十四章 孕育鑄鐵	93
第十五章 獲得高性能鑄鐵的方法	103
第十六章 具有特殊性質的灰口鑄鐵	104
第十七章 灰鑄鐵件的熱處理	107
第十八章 鑄件中鋼結晶的特點	111
第十九章 鑄件用鋼的名稱和性質	117
第二十章 碳鋼鑄件	121
第二十一章 合金鋼鑄件	125
第二十二章 鋼鑄件的熱處理	132
第二十三章 鑄鋼的澆注系統	137

第二十四章	冲天爐過程的理論基礎-----	143
第二十五章	冲天爐的佈置-----	155
第二十六章	冲天爐中熔化過程的進行和它的控制-----	164
第二十七章	特種冲天爐的熔化的特點-----	174
第二十八章	反射爐中鑄鐵的溶化-----	181
第二十九章	鑄鐵熔化的雙聯法-----	185
第三十章	在馬丁爐中熔煉-----	191
第三十一章	在貝色麥爐中熔煉鑄件用鋼-----	202
第三十二章	在電弧爐中熔煉-----	208
第三十三章	在無心感應電爐中熔煉鋼-----	217
第三十四章	雙聯法和三聯法-----	220

緒 論

人民政協全國委員會在慶祝中華人民共和國成立四週年的口號中說，全國人民一致努力，為實現第一個五年計劃的基本任務而奮鬥。又說，集中主要力量發展重工業，建立國家工業化和國防現代化的基礎。重工業就是冶金工業、機械工業、燃料工業和化學工業。幾乎每一件機械都包含鑄件。平均來說，鑄件佔機械的重量的百分之四十至八十。兵工船隻，動力設備，家庭用具，化工設備，大量的使用鑄件。人們每年生產的鑄件，四倍於棉花，超過洋灰的四分之一。首先是灰口鑄鐵，其次是鑄鋼和可鍛鑄鐵。灰口鑄鐵佔鑄件的十分之七八，鋼鑄件可至十分之二三，可鍛鑄鐵不及十分之一。當然因為它們具有一定高度的機械性質，也因為它們的原料充足。我國和蘇聯的工作者指出，我國鑄造鐵鑄件，早於歐洲西部一十餘年。球墨鑄鐵的產量，每年增加近十倍，將要超過可鍛鑄鐵。

有色合金鑄件，如銅合金、鋁合金、鎂合金，成本較高。採用它們之時，除了考慮普通的機械性質以外，還考慮到它們的耐磨、抗蝕、傳熱、傳電、比重輕或顏色等特性。

先講各種鑄造合金的鑄造性質。討論它們的流動性、收縮現象、結晶情況。分析合金的物理和化學性質對這些鑄造性質的影響。分析造型方法、澆鑄方法對這些鑄造性質的影響。根據這些指出如何選擇鑄造合金的成分，和安排造型、澆鑄方法，以避免或減輕縮孔、縮鬆、熱裂痕、冷裂痕、餘應力、偏析等缺點，從而獲得健全的、經濟的鑄件。

在講各種鑄造合金時，時間的長短大致和它們的重要性成比例。灰口鑄鐵是主要的。清晰地闡明石墨化和主要雜質。相當詳盡地討論改進灰口鑄鐵的各類方法，包括使用合金、調節厚度、使用孕育，以至熱處理。從石墨化看來，灰口鑄鐵和白口鑄鐵是一種極化的兩端。

在已經建立的灰口鑄鐵的理論的和實際的基礎上，將球墨鑄鐵和可鍛鑄鐵合為一部分討論，繼續發展石墨化的理論，包括凝固時的石墨

化和熱處理時的石墨化，敘述和解釋各種球墨鑄鐵和可鍛鑄鐵的性質和用途，生產方法和生產原理。

作為一部份討論鑄鋼，系統地處理結晶過程，碳鋼和合金鋼的性質，用途，生產過程。

各種鑄造有色合金，合為一部份討論。將極大部份的時間，放在主要的有色合金，和鑄造它們的主要方法上。

十分之八九的灰口鑄鐵，可鍛鑄鐵，球墨鑄鐵，是在冲天爐裡熔化的，首先，冲天爐熔化的成本特別低，其次它能滿足極大部份的要求。我們將清晰地講到現代冲天爐的各方面：構造，熔化過程，熔化原理，熔化原料，控制方法，和改進的方向。反射爐和雙聯法，用於大部份可鍛鑄鐵和一部份灰口鑄鐵。我們也將講到這些熔化方法的主要情況。

敘述和說明鋼的熔化時，不能如講鐵的熔化時那般詳明。但將分章說到馬丁爐，貝色麥爐，電爐，等熔化方法。說到各種爐的構造，熔化和精煉，並比較它們的優點缺點。

在有色合金的熔化那一部分，將大部分的時間，放在它們的主要熔化方法上。也討論有色合金的一般特性。

課程分為二學期，各部份的講課次序，將依照同學需要的先後，系統性，時間條件，來安排。

第一部分 合金的鑄造性質

合金的鑄造性質，主要是流動性，收縮，可能發生裂痕，可能吸收氣體，偏析等。尋常灰口鑄鐵的鑄造性質，是特別優良的，因為它接近共晶成份，也因為它含石墨。

第一章 合金的流動性，流動性的一般理論和測定方法

流動性和它對鑄件性質的影響

流動性是指熔化了的金屬，充滿型的能力，在形狀上鑄件清晰地符合型的能力。流動性高，不但避免了不充滿的現象，且使氣體和金屬包含物易於從金屬中跑掉，減少了金屬中的氣眼砂眼，幫助獲得健全的鑄件。一些實驗指出，好流動性就使鋼的收縮孔集中到冒口裡，而不在鋼鑄件裡留下許多分散的結晶間的收縮孔。

影響流動性的因素，可分下列項目：

- (甲) 液體合金的物理的化學的性質，如成分，粘性，表面張力，有無表面膜，浮遊的包含物，氣體，結晶的特點，熱容量，傳熱率，澆鑄溫度，液線和固線間的距離。
- (乙) 型的物理的化學的性質和鑄造型的，澆鑄的技術安排，如型的成分，水分，通氣性，金屬對型的潤濕可能性，發生氣體的可能性，強度，傳熱率，型的形式，澆鑄系統，型的表面情況，澆鑄速度，金屬壓的高度。

粘性

粘性是指液體（合金）各層間相對移動時的內阻，以基那^{×秒/公分²}計算。由斯托克斯公式，可以測定液體的粘性。

$$V_1 = \frac{2}{9} g \frac{1}{\eta} r^2 (\sigma_M - \sigma_{BKII}) \quad \frac{\text{公分}}{\text{秒}}$$

V_1 包含物的浮出速度 公分/秒

g 重力加速度

r 色含物的半径, 公分.

σ_M 金屬的密度

σ_{BKL} 色含物的密度

η 動力粘性 ДИНАМИЧЕСКАЯ ВЯСКОСТЬ, 克/公分秒
或基那 秒/公分²

水, 渣和一些鑄造合金的粘性如下:

物	溫 度	動力粘性 η	動力粘性/比重 η/ρ
水	20°	0.0105	0.0105
渣	1300—1400°	0.5—3.0	
汞	熔點上 不速	0.0210	0.00105
純鐵	熔點上 不速	0.040	0.00556
鋼 0.30% C	1535° 熔點上 25°	0.0285	0.00407
鋼 0.30% C	1555° 熔點上 45°	0.0260	0.00375
鋼 0.30% C	1610° 熔點上 100°	0.0230	0.00339
鋼 0.45% C	1550° 熔點上 55°		0.0055
可鍛鑄鐵 3.1% C	1340° 熔點上 30°	0.0265	0.00379
	1405° 熔點上 125°	0.0190	0.00276
灰口鑄鐵 4% C	1250° 熔點上 100°	0.0210	0.00317
灰口鑄鐵	1200—1400°	0.02—0.04	

由表可見, 液體金屬的粘性和水的粘性相近, 而渣的粘性特別大。液體的流動速度增加, 則液體的流動方式, 要由層流改為混流。混流時, 液體損失些能力, 那時金屬流中形成漩渦, 阻力依速度的平方增加, 從而減低了些液體的流動性。由層流改為混流的臨界速度, 是和粘性有關係的。

$$R = \frac{V d \sigma}{\eta} = \frac{4 V r \sigma}{\eta}$$

R 萊諾爾得數 ЧИСЛО РЕЙНОЛДСА

∇ 臨界速度

d 直徑

σ 密度

r_1 水力半徑，類似折合厚度，故等於 $d/4$

格爾拔維支將鑄鐵的萊諾爾得數作為 2300，粘性作為 0.02—0.04 他得到

$$\begin{aligned}\text{臨界速度} &= \frac{2300}{4r_1} (0.02 \text{—} 0.04) \\ &= \frac{2300}{4r_1} (0.003 \text{—} 0.006) \\ &= \frac{1.7}{r_1} \quad \frac{3.4}{r_1} \quad \text{公分/秒}\end{aligned}$$

以壁厚 2.5 公厘鑄件為例 r_1 是 0.125 公分，臨界速度是 135—27 公分/秒。這數目比實際用的澆鑄速度小。這例還是極薄的鑄件，可見鑄造合金在型中的流動率是混流式的。

倘若液體中有浮遊的色合物，液體的粘性就要改變，當色合物所佔的體積百分比不太大時。

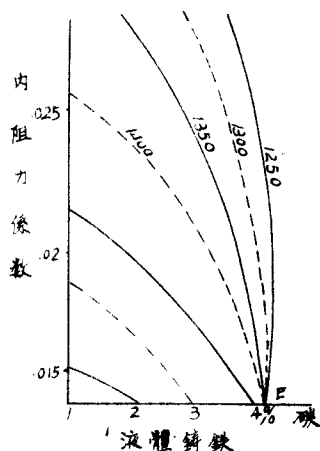
$$\eta_1 = \eta(1 + 2.5\phi)$$

η 是原液的粘性 η_1 是帶有浮遊色合物的液體的粘性。中是浮遊物所佔的體積的比率。

鑄造合金的溫度增加則它的粘性減低，參照下頁右圖共晶成分的合金（包括鑄鐵）粘性最小，流動性最大，由圖可見，共晶成分的鑄鐵的粘性最小，它的粘性，幾乎和過熱程度無關係，對於次共晶合金，過共晶合金，則增加高於液線的過熱度，就迅速地減低了粘性，在鑄造工作中，不宜於為了提高流動性而過分地提高溫度，因為過分高的溫度要使金屬吸收大量的氣體，造成對型的燒傷，可能對鑄件引起氣體的或收縮的多孔性，可能對鑄件引起裂痕等，在澆鑄鐵碳合金的工作中，使用的過熱溫度是 50—250°；在澆鑄有色合金的工作中，

使用的過熱溫度是 25—100°

倘若從澆鑄到凝固的時間够長，粘的合金也能够完全充滿型，可見只說粘性自己它是不會影響測定流動性用螺旋的長度的，粘性所以影响到流動性。就是因為合金逐漸在冷卻凝固。合金的傳熱率大，澆鑄時迅速冷卻，因而增加粘性並減低流動能力，所以倘若合金充滿型的時候還是液體，合金的粘性就不影响到它充滿型的程度。祇當金屬在型中迅速冷卻，進行充滿的時間甚短，粘性纔有顯著意義。



祇當金屬在型中迅速冷卻，進行充滿的時間甚短，粘性纔有顯著意義。

粘性影响到氣體，包含物是否容易從合金中浮出，即影响到鑄件的健全程度。

矽，錳，磷減低鑄鐵的粘性，硫却增加它。

表面張力

表面張力就是熔化了合金企圖縮小它的面積的力量以基那/公分計算。一些液體的表面張力如下：

水	錫	銅	39% 磷如鑄鐵	22% 磷如鑄鐵	0.3% 碳鋼
20°	232°	1181°	1300°	1420°	1520°
81	526	1103	1150	1500	1500

表面張力減小，則流動性增大。（但由下文可以見到，表面張力對流動性的影响是有限的）。倘合金的成分接近共晶成分，則表面張力較小，倘合金表面有薄膜，並且這薄膜能够濕潤型，則表面張力較小。涅克富梯說，倘鑄鐵熱過液線的溫度增加，則表面張力減小；但格爾梭維支教授說，鑄鐵的溫度增加，則表面張力增加，兩人各舉出

數據，改變合金的成分，則它的表面張力也改變。

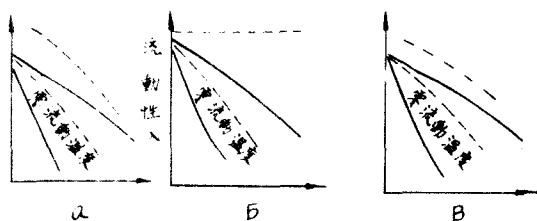
根據斯伯斯基教授的著作，以灰口鑄鐵為例，設表面張力是 980，假設 θ 有極端的數值 180°，則依圖 1 細管的公式

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{r \gamma} \approx \frac{0.3}{r} \text{ 公分。}$$

h 是高度 σ 是表面張力 r 是半徑 γ 是比重

g 是重力加速度，當毛細管的半徑是一公厘時，平衡高度 h 是 3 公分，同理對鋁說，因 $\sigma = 520$ 故 $h \approx \frac{0.4}{r}$ ，由此可見，表面張力對合金的流動的阻礙，是很有限的，倘若型的花紋較細，則合金的表面張力和表面膜的影響較大。

倘合金表面形成薄膜，則合金流動之時，不僅要克服表面張力，也要克服氧化膜的阻力，氧化鋁的膜較韌。馬拉霍夫斯基的實驗可以作為參考，克服鋁上膜所需壓力，約為克服鋁的表面張力所需壓力的三倍，涅亨得支說，鋁的表面張力是 300 基耶/公分，而被覆氧化膜 Al_2O_3 的鋁的表面張力是 840。



實際流動性和真正流動性當合金的流動性剛剛是零之時，它的溫度在液線和固線之間，也就是說，當合金已經開始凝固，合金還具有一些流動性。

依照上 A 圖，將不同成分的合金加熱到零流動溫度之上的一定的過熱程度，這種流動性，涅亨得支教授叫做真正流動性。依照上 B 圖，將各合金加熱到同一較高的溫度，這種流動性，叫做實際流動

性。依照前頁B圖，將各合金加熱到液線之上一一定的溫度，這種流動性，涅亨得支教授叫做暫定真正流動性，格爾板維支教授叫做真正流動性。我們採用最普通的說法，即B圖所講的實際流動性，和B圖所講的真正流動性。

關於流動性的公式

格爾板維支，將涅亨得支的公式，稍稍更改，得公式如下：

$$\lambda = \sqrt{t} = K_1 \sqrt{\frac{Rd}{\alpha} \frac{c(t_M - t_0) + mL}{t_M - t_0}}$$

λ 是螺旋的長度，解釋見下。 $\sqrt{t}$ 是金屬在型中的平均流動速度公分/秒。 t 是時間，秒。 R 是鑄件的折合厚度。 d 是密度，克/公分³。 α 是傳熱係數，卡/公分²秒度。 c 是金屬的熱容量。 $t_M - t_0$ 起出開始不流動的過熱度。 M 在零流動溫度時固體的相對分量。 L 結晶潛熱。 $t_M - t_0$ 改變中的金屬溫度與型溫度之差。 K_1 是常數。

這個公式，只是一個近似的公式。

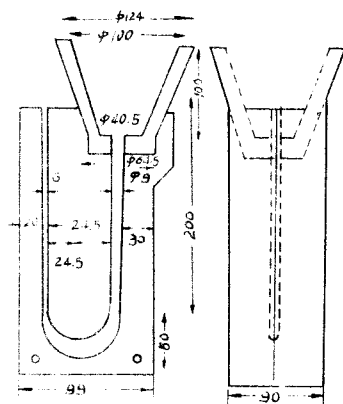
(甲) 公式說，過熱程度高，則流動性大。

(乙) 流動性和澆注溫度作直線式關係，其傾斜度與熱容量有關。但前面已經說過，倘過熱太多，就容易引起收縮的多孔性。並且初結晶更大，從而損壞鑄件的品質。

(丙) 熱容量，密度，潛熱增加，則流動性增加。

(丁) 流動性和澆鑄溫度，零流動溫度之差有關。

螺旋的長度，不僅決定於上述因素，例如，在型的內面刷上石墨，或噴上油，則長度增，澆鑄時型與金屬之間的氣體薄層阻碍金屬流入砂粒間，從而減低了阻力，提高了流動性。

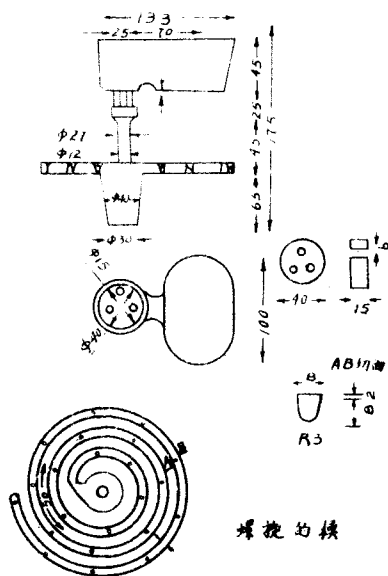


U形試樣的金屬型

技術的試樣

測定流動性用最通行的技術試樣，是螺旋形，下頁圖螺旋每一切面的面積是0.56平方公分。切面是梯形，以便於造型，篩板帶三個小孔，直徑各六公厘，篩板是油砂芯。在螺旋上每隔50公厘長度，留有小凸點。這樣的一個技術試樣約重三公斤半。顯然，螺旋形試樣的優點之一，就是在較小面積的砂箱中，包藏很大長度的試樣。

測定鋼的流動性，也採用U形試樣。它的形狀，見上方圖，一般說來，在各種不同的情況中，作為研究工作的工具用，螺旋形是最合適的試樣。但在生產情況下，作為日常控制用的工具，螺旋形試樣有些缺點，它要使用比較大量的砂，螺旋形砂型必須放平，否則就要使結果不準確。它耗費金屬較多，用勺從爐中取這樣多的鋼是較困難的。因此，作為已知的牌號的鋼的熔煉控制，用U形試樣較為方便。



不同試樣的結果的比較

兩種鑄造合金的流動長度的比率，常和試樣的種類有關。試樣的種類改變，這比率隨之改變，涅寧得支比較了五種試樣的鋼的和可鍛鑄鐵的流動性。

浇铸方法

浇铸池带
角形浇口

浇铸斗带
角形浇口

浇铸斗带
或金属穴

浇铸斗

高浇铸斗

图形



螺旋长度

鋼 147

647

548

753

616

可鍛鑄鉄 933

1261

1230

1365

1314

可鍛鑄鉄的長度

6.3

1.9

2.2

1.8

2.1

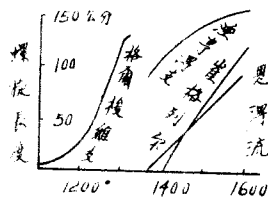
鋼的長度

第二章 鑄鐵、鋼、和有色合金的流動性

第一節 灰口鑄鐵的流動性

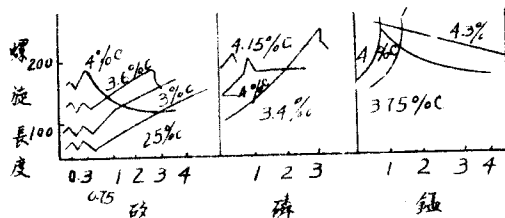
在第一章曾經說到，普通灰口鑄鐵的流動性是特別優良的，因為它的成分接近共晶成分。灰口鑄鐵的好流動性，使它容易充滿型，並造成對型準確的形狀。此外，使補給容易，氣體容易從合金中跑掉，因此，縮孔，氣孔，小孔，就難在鑄件中出現。

(甲) 溫度的影響，提高澆鑄溫度，就提高了鑄鐵的含熱量，因而提高了鑄鐵的流動性。因而澆鑄溫度的影響大，所以它是流動性的主要變數。平均說來，每提高 10° ，就增加橫断面50平方公厘的螺旋長度4公分。名家的實驗結果如右圖。



(乙) 成分的影響，根據博瓦理的研究，倘合金的凝固段較長，則合金的流動性較低。共晶成分的合金的真正流動性最大。凝固段較長時，樹枝狀結晶較發展。這些次共晶的奧斯騰體樹枝狀結晶阻礙了剩餘液體的流動，並且增大了傳熱率。因此，當次共晶鑄鐵10—20%成為固體之時，鑄鐵就已不能流動，而共晶鑄鐵則當30%，成為固體之時，纔不能流動。故碳分低的鑄鐵，含碳2%的，流動性最小。

共晶成分的鑄鐵的真正流動性最大，共晶成份的鑄鐵的實際流動性，尤其顯著地，是最大，因為



共晶成份的液線最低。依照類似的道理，許多實驗指出，碳，矽，磷，錳增加共晶鑄鐵的實際流動性。而減低過共晶鑄鐵的實際流動性。

由前頁圖可見各曲線中流動性的最大值並不相同。以其中關於磷的圖為例，倘用較高的澆鑄溫度，人們往往選擇高磷的成分，倘用較低的澆鑄溫度人們往往選擇高磷的成分，磷降低共晶溫度，減低粘性，增加液體鑄鐵對砂型的潤濕性，因此，幫助了更準確地鑄出鑄件的尖細處，極薄的鑄件，和藝術鑄件；用含磷較高的鑄鐵，其中磷高至1%（在關於砂的圖中，0.3%和0.75%兩處的最大值，現在尚難解釋）。鑄鐵中硫化錳的分量增加，特別當硫超過0.12%時則它的流動性大為減低，很容易引起注不滿和接縫（接火）。關於合金對流動性的影響，人們知道得不多，大致是，銅增加流動性，鎳無作用，鉻減低流動性。畢都里亞發現。

銘分	%	0.2	0.4	1	1.66	1.87	2.65	3.31
流動性								
螺旋長度，公分		72	60	64	60	47.5	42.5	35

鉻提高液線的溫度，並形成氧化膜。鉍，鈦，鋁也有同樣的不良作用，但少量的合金元素，對鑄鐵的流動性的影響，並不顯著。以上根據格爾梭維支。

(丙) 鑄鐵的液體狀態的影響
有些實驗指出，倘澆鑄溫度相同，則曾經過熱的鑄鐵的流動性較高。這現象的解釋是，過熱則熔解了液體鑄鐵中的固體微粒（包括石墨微粒）。孕育減低流動性，例如，一種鑄鐵在孕育前的流動性是62公分，在孕育後的流動性是46公分。用碳酸鈉洗淨鑄鐵中的包合物，就增加鑄鐵的流動性。

