

技術資料 No.69

美國鑄造學會訓練及研究學院金屬鑄造技術叢書

感應電爐熔解原理

翁世樂



中華民國鑄造學會編印

美國鑄造學會訓練及研究學院金屬鑄造技術叢書

感應電爐熔解原理

翁世樂

中華民國鑄造學會編印

技術資料 No.69

感應電爐熔解原理

譯著：翁 世 樂 (金屬工業研究所研究員)

發行：中華民國鑄造學會

理事長：齊 世 基

高雄市高楠公路1001號

編輯：中華民國鑄造學會出版委員會

印刷：佳興印刷局企業有限公司

高雄市前鎮區一心一路140號

電話：(07)777867・778363

中華民國六十七年十二月

目 錄

轉變電能成熱能.....	1
集膚效應 (The Skin Effect)	5
爲何會發生集膚效應.....	7
感應爐的攪拌.....	8
交流電流.....	9
感應爐功率.....	14
阻抗 (Impedance) , 電抗 (Reactant) 和功效因數 (Powerfactor)	15
感應爐的設計與結構, 無心式 (Creless) 和槽形感應電爐 (Channel Induction Fuyance)	23
感應爐中之輔助設備.....	39
感應爐之熔煉.....	42
原料之選用.....	42
感應爐煉鋼.....	50
碳的沸騰 (Carbon Boil) , “ 死熔解 ” (Dead-melting)	51
黃銅 (brass) 和青銅 (bronze)	54
感應爐之加料方法.....	54
爐子功率和溫度.....	55
感應爐操作效率.....	55
感應爐的雙重熔解和金屬液的保存 (Duplexing and Holding)	57
爐襯耐火材料.....	57
耐火材料的物理性質.....	63

感應電爐熔解原理

轉變電能成熱能

(1)

在鑄造上所謂熔解，就是增加金屬的熱含量，使其轉變成液態，熔解時所需的能量，有各種不同的來源，如氣體、油、煤炭、焦炭等物質燃燒所產生的熱能及電能等。

通常利用電能來熔解金屬的爐子有兩種，即直接電弧爐和感應爐。

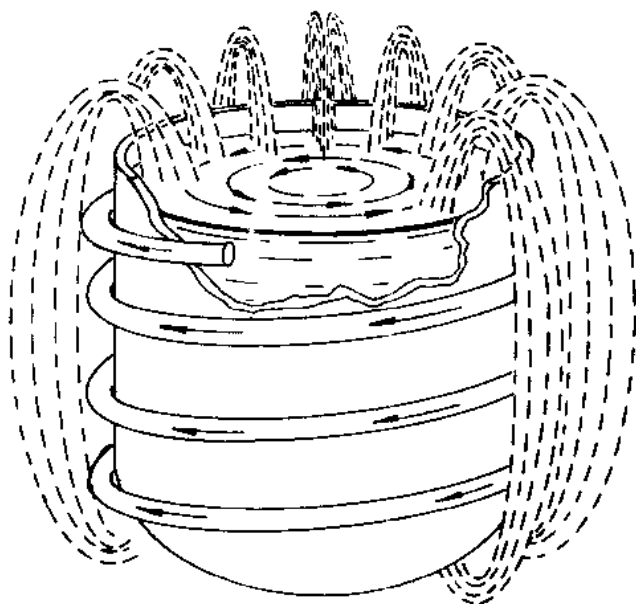
本書僅討論感應爐。

(2)

接著我們要討論利用感應爐來熔解金屬時的 4 個基本步驟。首先我們應知道此 4 個基本步驟為：

1. _____。
2. _____。
3. _____。
4. _____。

電流流過線圈，
產生磁場
電流流過被熔解料
被熔解料之受熱



(3)

現在我們逐一來討論此 4 個步驟：

第 2 個步驟為產生磁場，此磁場之生成是由於_____。

流過線圈的電流
所感應

(4)

由於流過線圈的電流感應而生成磁場，此磁場通過被熔解之金屬而生成感應電流，因此在被熔解料中有_____流過，此即第 3 步驟。

電流

(5)

第 4 步驟中，被熔解金屬所以能受熱而熔解，乃因有感應電流通過的緣故

(6)

為何電流流過金屬，就會使金屬受熱呢？

因為電流與金屬中電子的運動有關，曾經有人把電子運動時所產生的熱效應解釋如下：

電子相當於一堆石頭由山坡滑下來，在下滑的途中這些石頭會與樹木相碰撞，而失去部份能量。

在金屬中，樹木相當於靜止的金屬原子，當電子流過金屬時，電子

損失部份能量

(1)不會損失能量

(2)損失部份能量（此能量轉移給原子）

(7)

當電流流過金屬時，金屬原子開始振動，而此原子之振動能量會以熱能的方式顯示出來。

(8)

如果金屬對於電子的流動不產生阻力時，電子就不會與金屬原子碰撞，因此也不會有熱效應發生。

(9)

在感應爐中金屬料所以能被加熱是因為金屬對於電子的流動產生_____。

阻力

(10)

感應爐中，磁場並不直接產生感應電流，事實上由磁場所生成的是感應電壓。

(11)

電壓類似於水壩中的水如果閘門不打開的話（相當於沒有電路的存在）就沒有水流，因此能量無法藉水的流動而傳遞。

電壓

下列何者與水壓類似：

(1)電 流

(2)電 壓

(12)

下列敘述何者為正確：

- (1) 電流為電壓之驅動力
- (2) 電壓為電流之驅動力

電壓為電流之驅動力

(13)

下列何者與實際能量傳遞，關係較為密切：

- (1) 電 壓
- (2) 電 流

電流

(14)

在感應爐中，磁場穿過金屬料，而使金屬料產生感應電壓，若有電路存在，則會有電流發生，假如沒有電路存在，金屬中仍可測得電壓之存在。因此在感應爐中，下列何者對磁場的描述是正確的。

磁場產生電壓，因電壓而產生電流

- (1) 磁場直接產生電流
- (2) 磁場產生電壓，因電壓而產生電流

(15)

金屬料中，產生電流的原因是由於磁場的作用而使金屬料產生_____。金屬料受熱是因為金屬料對於電流產生_____。

電壓
阻力

(16)

現在讓我們來討論，在下列兩種不同型式的感應爐中，磁場通過金屬料的方式

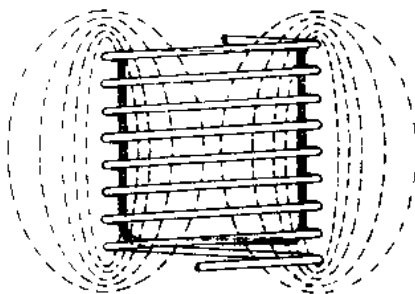


圖 A

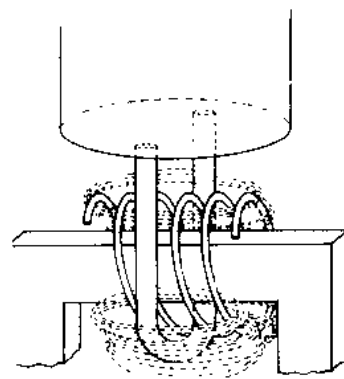


圖 B

上圖中，圖 A 的磁場會通過爐子的主體 (main body)。

圖 B 中的磁場會通過爐子底部的 U 形槽 (U-Shaped-Channel)。

(17)

當爐子底部有U形槽時，整個金屬料所以能夠有效地受熱，部份原因是在U形槽內產生高電流，且產生的熱能會傳導到整個金屬料。同時，感應爐中的磁場會使已熔解部份的金屬產生激烈的攪拌，加速未熔部份的熔解。如果磁場不穿過金屬料，則就不會有加熱和熔解的現象。

(18)

雖然磁場是由穿過金屬料的作用力線 (force lines) 所組成，但是我們很難利用口頭來描述這些作用線如何使金屬料生成電壓，重要的是這些作用線確實會使金屬料受熱並使其熔解。

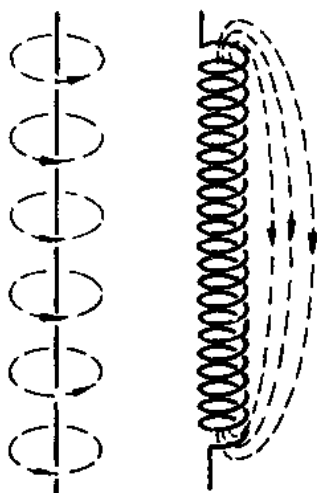
(19)

前面說過在感應爐中，產生磁場的原因是由於電流通過 _____ 所引起。

線圈

(20)

右圖是電流通過直導線和線圈時，所產生的磁場。當電流流過線圈時，其磁場為通過線圈內部的環形作用力線。

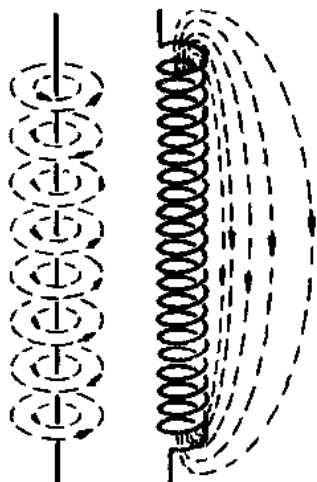


(21)

磁力線愈密集，磁場強度也愈大，比較下列何者磁場強度較大。

線圈中的磁場強度：

- (1) 等於與線圈等長的直導線的磁場強度
- (2) 大於直導線的磁場強度
- (3) 小於直導線的磁場強度



大於直導線的磁
場強度

(22)

利用線圈來取代直導線時，可以獲得更_____ (大 / 小) 的磁場。

大

(23)

金屬料中電壓的大小與磁場強度有直接關係，因此要想獲得高電壓，我們應該利用_____ (線圈 / 直導線) 來產生磁場。

線圈

(24)

電流通過導線時，產生磁場的效應，在工程上非常有用，現在我們沒有必要去瞭解為什麼會發生這種效應。

(25)

電流通過導線或線圈時，會有環繞着導線或線圈的磁場發生。如果把一塊金屬放在磁場附近，使磁力線穿過此金屬則金屬中會有一個感應電壓，結果就有電流流過此金屬。

(26)

在感應爐中，金屬料中的電流是由於_____ 的作用，而使金屬料產生感應電壓所致。

磁場

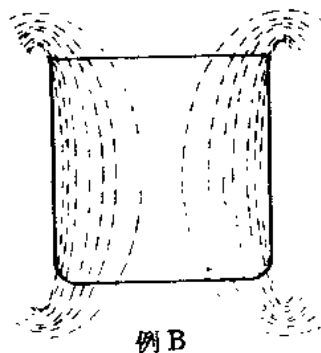
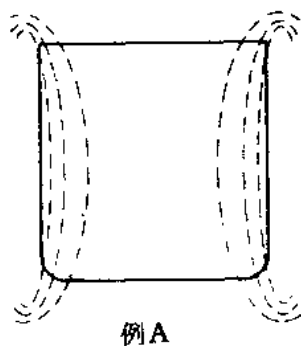
(27)

因此感應爐的熔解原理是：磁場的作用而使金屬產生感應電壓，而此感應電壓使金屬中有電流流過。

集膚效應 (The Skin Effect)

(28)

下圖中為磁場通過同樣大小的金屬塊時，其磁力線的分佈狀況

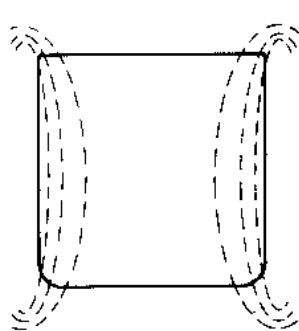


上圖中，何者磁力線密度較大

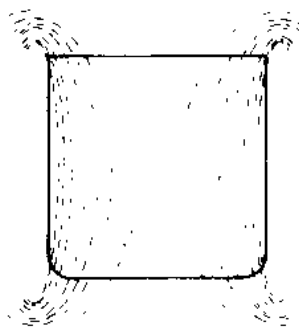
- (1)例 A
- (2)例 B

(29)

下圖中，由於通過金屬塊的磁場強度不同，因此通過此兩金屬塊的電流也不相同



電流較小



電流較大

磁力線密度較大時，所生成的電流

- (1)較 大
- (2)較 小

(30)

磁場強度之大小決定於磁力線密度，磁力線密度愈大時，磁場強度愈___。

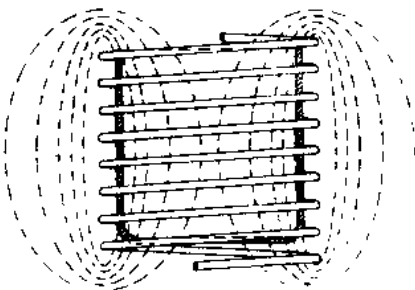
(31)

在某範圍內的磁場強度愈大時，電流愈_____。

(32)

右圖表示感應爐中，各不同部份的磁場強度，根據此圖下列敘述何者為正確

- (1)通過金屬料各部份的磁場強度皆相等
- (2)中心部份的磁場強度較大
- (3)靠近爐壁部份的磁場強度較大



(33)

所謂集膚效應 (Skin effect) 就是指爐子某些部份的磁場強度比別的部

例 B

較大

大

大

靠近爐壁部份的
磁場強度較大

份要來得大。

感應爐中，集膚效應發生在那個部份？

靠近爐壁的部份

(34)

由於靠近爐壁部份的磁場強度較大，因此這些部份的電流也較大，這就是所謂的_____效應。

集膚

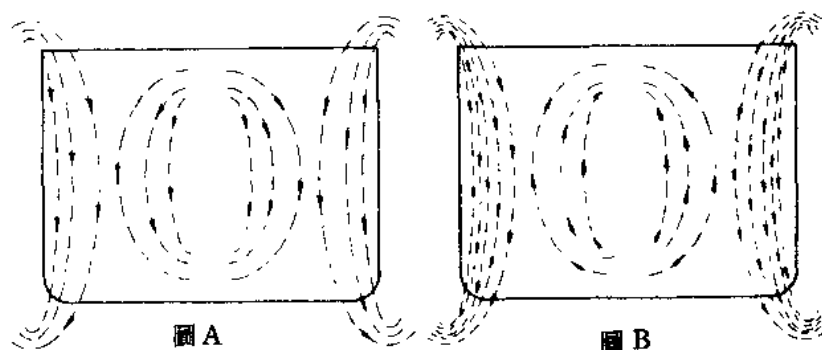
為何會發生集膚效應

(35)

只要電流流過金屬（不論是金屬線或是金屬塊）都會產生磁場。因此在感應爐中除了線圈會產生磁場外，金屬料也會產生磁場。

(36)

下圖表示感應爐中，線圈與金屬料所產生的磁場。注意其磁場方向



上圖告訴我們，當金屬料所產生的磁場方向與線圈之磁場方向相反時，就會發生集膚效應。如圖 B 所示

(37)

參考上圖圖 B，集膚效應看起來好像線圈所產生的磁力線因為金屬塊磁力線之作用而被往外推出，事實上這個原理類似於慣性作用，金屬塊之磁力線會反抗線圈磁力線通過此金屬塊。

(38)

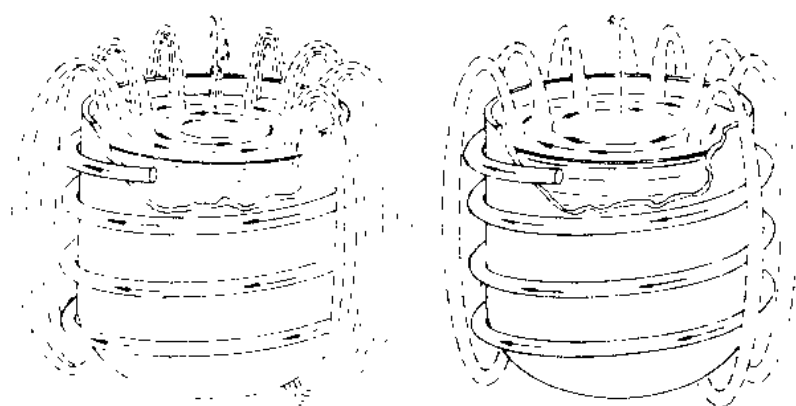
集膚效應是由於_____所產生磁場的反抗作用所引起。

金屬料

(39)

到底金屬料中應該產生怎麼樣的電流，才能反抗線圈的磁場呢？下圖為金

屬料中可能產生的電流方向



金屬料中的電流必須與線圈中的電流方向_____（相同 / 相反），才能產生反抗磁場來對抗線圈的磁場。

（ 40 ）

如果線圈中的電流為順時鐘方向，而金屬料的電流為_____方向時就有集膚效應。

（ 41 ）

因為金屬料中感應電流的方向與線圈中電流的方向相反，故在感應爐中有_____效應。

相反

逆時鐘

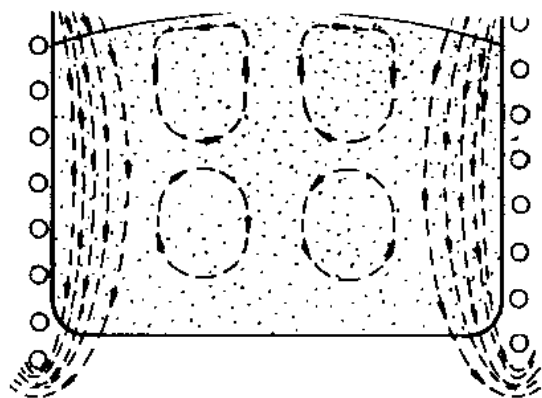
集膚

感應爐的攪拌作用

（ 42 ）

感應爐中的磁場不僅可以熔解金屬料，而且也有攪拌熔融金屬的作用。其攪拌的方向如下圖所示。

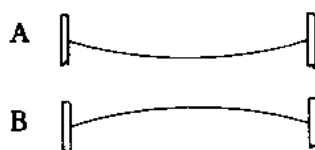
由圖可知，感應爐中熔融金屬的攪拌方向與金屬料中電流方向和磁場方向大不相同。



(43)

由於熔融金屬的攪拌作用，使金屬液表面呈特殊形狀。

下圖為金屬液表面形狀，你想何者為正確？



B

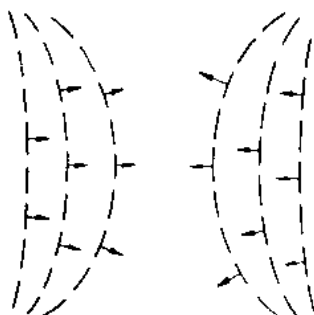
(44)

在感應爐中，金屬液表面呈“上凸”形狀是由於磁場的 _____ 作用。

攪拌

(45)

下圖為感應爐中，因磁場的作用而使爐內金屬料各部份所受力的方向



熔融金屬攪拌力的方向是：

(1)沿著磁場方向

(2)與磁場成直角的方向

與磁場成直角的
方向

雖然磁力線本身也代表作用於金屬料上力的方向，但是金屬液的攪拌力卻與磁力線的方向成直角。我們不打算對這種現象發生的原因，作詳細的解釋。雖然如此，這種現象還是非常有用的。

(46)

再複習一次，在感應爐中，如果線圈中電流方向是逆時鐘時，金屬料中的感應電流應為 _____ 方向。

作用於熔融金屬的攪拌力，其方向與磁場方向成 _____。

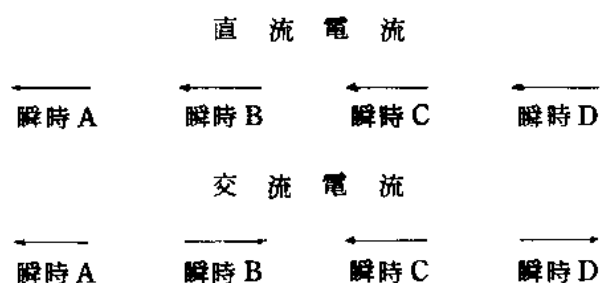
順時鐘
直角

交 流 電 流

(47)

在工業上使用的電流有兩種，即直流電流和交流電流。下圖為此兩種電流

流經一段時間後，其方向的變化情形



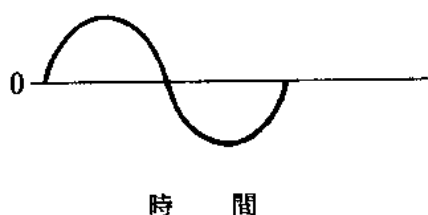
由上圖得知，交流電流與直流電流所不同的是電流的流動方向。在交流電流中，其電流的方向

迅速作交互反向
改變

- (1) 永遠維持不變
- (2) 迅速作交互反向改變

(48)

交流電流強度可以如下曲線來表示



上圖中，交流電流正好走了一個完整的週期，在此完整週期當中，電流有兩個極大值，此兩極大值電流之方向；

相反

- (1) 相 同
- (2) 相 反

(49)

家庭用電流通常每秒鐘有 60 個週數這是指 _____ (直流電流 / 交流電流) 而言。

交流電流

一個每秒 60 週的交流電流，一分鐘有幾個完整的週數？

3600

(50)

在交流電流中，不使用“週數”這個名詞，而以頻率 (frequency) 來代替，其實兩者都是相同的，當我們說一個交流 (A.C) 電流為 60 週時，即表示其頻率為 _____。

60

(51)

最近又以赫茲 (HZ) 來代替頻率，當我們說一個交流電流為 60 週時，即表示此電流為 60 _____。

HZ (赫茲)

(52)

在感應爐中，其電能是由交流電流所供給，也就是此電流的方向為交互反向改變。

(53)

因為交流電流的方向一直是在作交互反向改變。而這種電流特性，對於金屬料的加熱與攪拌到底有什麼影響。到目前為止，我們認為金屬料之受熱是因為金屬料對於電流的流動產生阻力。由此看來應與電流方向無關。而攪拌力方向決定於電流與磁場方向，當電流方向相反時，磁場方向亦隨之相反，因此攪拌力的方向仍維持不變。

(54)

感應爐之頻率或赫茲 (HZ) 可為：

60 HZ

180 HZ

540 HZ

和高達 10,000 HZ

感應爐之操作頻率為：

(1) 只能有一個頻率

(2) 根據爐子，可有各種不同頻率

根據爐子，可有
各種不同頻率

(55)

下表為冷金屬料以不同頻率熔解時之操作情況

高頻率	大塊料 小塊料	通常熔解情況良好
低頻率	大塊料 小塊料	熔解情況可能不錯，也可能很差

當很小塊的金屬料，以很低的頻率來熔解時，其熔解效率很差。

(56)

感應爐的加熱效應與流經金屬料中的電流強度有直接的關係，下表為電流流經不同長度的電路時，電流強度的比較：

++++++

電路很短

++++

電路介於
兩者之間

++

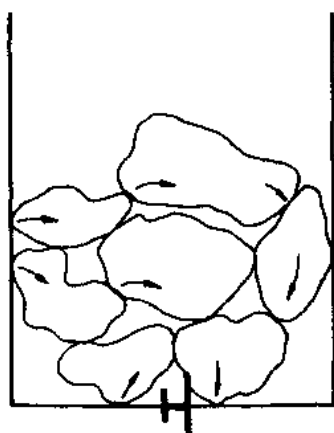
電路很長

電流所流經的電路愈長時，電流強度_____（愈大／愈小）。

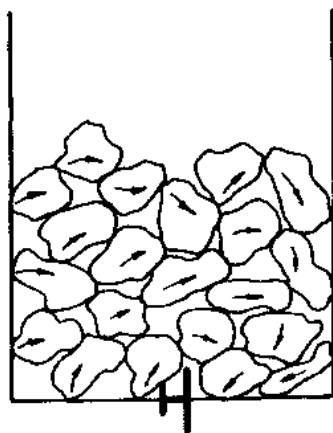
愈小

(57)

利用感應爐作熔解時，一定要有電流流經金屬料，因此金屬料本身構成一個電路，而此由金屬料所構成的電路，與金屬料之間的堆積狀況有關。下圖為使用不同大小的料塊所構成電路途徑之比較。



大塊料



小塊料

根據上圖，愈小塊的金屬料，其電路長度_____（愈長／愈短）。

愈長

(58)

在 60 HZ 的感應爐中，應避免使用比 8 吋～10 吋更小的料塊。除非能保證料的堆積狀況良好，而能縮短由金屬料所構成的整個電路途徑。

因此為了要使低頻率感應爐（低週波爐）能有高效率的熔解，對於金屬料的最小尺寸應該有所限制。

(59)

在低週波爐中，如果使用的料太小（8 吋～10 吋之下），而又不能保證料塊有良好的堆積狀況時，熔解就會發生困難。

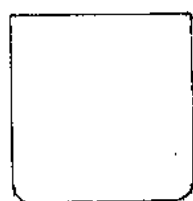
(60)

為何低頻率的熔解效率比高頻率差呢？

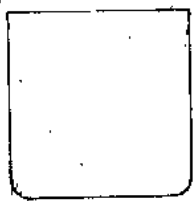
下圖可說明其原因，此圖為低頻率與高頻率之下集膚效應之比較。

頻率愈低時，集膚效應_____（愈大／愈小）。

愈小



低頻率



高頻率

(61)

頻率愈高時，集膚效應_____ (愈大 / 愈小) 。

愈大

(62)

如果先在爐內留存一些金屬液，再加入冷料熔解時，金屬液能夠克服由於不良集膚效應及金屬料太小時所發生之不良加熱效應。故能提高熔解效率。所以在低週波爐中僅當金屬料全部是冷料時，對於料的大小，方須作嚴格的限制。

(63)

作個複習，下列狀況會使熔解上發生困難

1. 操作頻率_____ (高 / 低)
2. 料的大小_____ (大 / 小)
3. 料的狀況_____ (冷料 / 金屬液與冷料) 混合

低，
小，
冷料

(64)

接著討論頻率與攪拌效應，如下表：

攪拌的程度	
+++	+++++
高頻率	低頻率

頻率較低的爐子，其攪拌作用：

- (1) 與高頻率時相同
- (2) 比高頻率時強
- (3) 比高頻率時弱

比高頻率時強

(65)

對於比較小的爐子，其攪拌作用可能會太強，而使金屬液濺出來，造成工作上的危險。比較大的爐子就沒有這種顧慮。

因此比較小的感應爐，使用_____ (高 / 低) 頻率最安全。

高