

高等學校教學用書

平爐快速煉鋼原理

П. В. УМРИХИН, Н. П. КОКАРЕВ 著
黃 希 祐 譯

高等教育出版社

高等學校教學用書



平爐快速煉鋼原理

II. B. 吳蒙里亨 著
H. II. 可卡烈夫
黃希祐 譯

高等教育出版社

本書係根據蘇聯國立黑色與有色金屬冶煉科技書籍出版社(Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии)出版的吳蒙里亨(П. В. Умрихин)及可卡烈夫(П. И. Кокарев)合著的“平爐快速煉鋼原理”(Основы скоростной маргеновской плавки)1951年版譯出。原書經該出版社介紹可為高等工業學校冶金系高年級學生的參考書。

本書是著者在蘇聯烏拉爾多科性工學院平爐煉鋼高級幹部進修講習班的講課材料。書中講述了近代平爐煉鋼操作過程及爐子熱工方面的重要理論及這些理論與實踐的結合。並指出研究平爐煉鋼的正確方向。本書可供高等冶金學校講授平爐煉鋼的參考，同時也是工廠工程師技術員進修的良好讀物。

本書由重慶大學冶金系黃希詰同志譯出。

平爐快速煉鋼原理

書號99(課94)

吳 蒙 里 亨 著

黃 希 詰 譯

高 等 教 育 出 版 社 出 版

北 京 城 磚 廠 一 七 〇 號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

新 華 書 店 上 海 發 行 所 總 經 售

商 務 印 書 館 印 刷 廠 印 刷

上 海 天 通 美 路 一 九 〇 號

開本787×1092 1/25 印張6 1/12.5 字數 105,000

一九五四年十月上海第一版 印數 1-2,500

一九五四年十月上海第一次印刷 定價 洋9,000

原 序

“…斯達漢諾夫運動是新的更高的技術定額底表現，它是只有社會主義才能造成，而非資本主義所能達到的那種高度勞動生產率底模範。”^①

近代冶金工業發展的主要方向是作業的強化。

作業強化的基礎是先進的人們，革新者，斯達漢諾夫工人們及工程師們在 1935 年就打下了的，他們找出了很大的潛力及指出可能繼續提高冶金設備的生產力。

尙在斯達漢諾夫運動開始時，斯大林同志就稱它是現在的最重大及不可遏止的運動，它是社會主義建設歷史中最光輝的一頁。

在戰前的斯大林五年計劃的光輝成就上及偉大衛國戰爭歷史性的勝利中斯達漢諾夫運動起了很大的作用。

在戰後的年代裏，斯達漢諾夫運動提高到新的及更高的階段。斯達漢諾夫工作者不斷地增多，為轉變到集體的斯達漢諾夫工作及變成斯達漢諾夫的地區，車間及企業而進行着緊張的鬥爭。

快速煉鋼工的名字聞名於蘇聯國內的每個角落，他們的經驗普遍地載於出版的各種專門的小冊子內，其中敘述了平爐快速熔煉的工作方法及特點。

斯達漢諾夫勞動方法發展中的新階段是學者和生產革新者的友誼合作，其方向在於研究，從理論上來論證及綜括斯達漢諾夫的煉鋼方法。

本書著者的目的是想根據自己的研究，烏拉爾工業學院爐氣熱工及煉鋼教研組工作人員發表的著作與其他著者的作品以及工廠的生產

① 見斯大林著，列寧主義問題中譯本，外國文書籍出版局印行，1952 年版，第 654 頁。

資料來敘述平爐快速煉鋼的原理。

本書是從理論及實踐觀點就裝料速度、爐子的熱狀況及熔池內物理化學過程發展三方面來闡明加速爐料的加熱及熔化問題，加速熔化期內的造渣工作，降低熔化過程中泡沫的形成，加速整個熔煉期內的去碳，去磷及去硫工作，及和其有關的平爐熔煉過程的強化問題，改善平爐熱工的問題。

書中與實踐相結合的理論是兩年內著者在烏拉爾多科性工學院平爐車間高級幹部進修講習班的講課材料。

這些材料曾經從平爐煉鋼的實踐觀點，來討論過。

書中所講述的原則，例如爐料的合理分佈，早期造渣及高速度的脫碳，УПН-К 噴嘴的應用，格子磚受熱面積的增加，平爐內“抽力”的控制等以及它們在生產上的實現都曾使熔煉時間的縮短了，改善了爐子的熱工及縮減了燃料的消耗量。

於此，著者向日日尼—沙爾金冶金工廠的列汶(Л. И. Левин)博士及下列工廠：日日尼—西爾根工廠(Нижне-Сергинский)日日尼—沙爾金工廠(нижне-Салдинский)，雷斯汶工廠(Льсьвенский)，別特洛夫斯克—查巴依卡爾工廠(петровск-Забайкальский)，伊惹夫工廠(Ижевский)，西洛夫(А. К. Серов)工廠的全體人員致以深厚的感謝，他們供給了某些生產上的資料。

對於平爐快速熔煉理論及實踐的簡述，這還是第一次的嘗試，因此本書不能說沒有缺點，著者將以極大的感謝來接受讀者同志提出的指教。

П. Б. 吳蒙里亨

Н. И. 可卡烈夫

目 錄

原序	
緒論	1
第一章 裝料及爐料的加熱	5
平爐熔煉的各時期	5
爐料加熱的理論	5
爐料的加熱和爐料在爐內佈置次序的關係	8
裝料時期內爐料的“凍結”是爐料加熱不夠的因素	10
爐料的加熱和裝料速度的關係	14
第二章 爐料的熔化	21
金屬爐料熔化的階段性	21
液體金屬內的對流及其在加速熔化方面的作用	25
第三章 造渣	33
造渣的來源	33
熔煉過程中造渣的示意圖	34
加速爐渣溶解石灰的爐渣的成分	37
爐料內的石灰石量	40
造渣的控制	41
第四章 平爐內的氧化及還原反應	45
金屬的去磷	45
錳的氧化及還原	51
脫炭	55
金屬的去硫	63
第五章 平爐的熱工	67
平爐的加熱能力	67
爐子熔煉室內的熱交換	71
燃料的利用係數	81
第六章 平爐蓄熱室的熱工	85
蓄熱室構造上的缺點	85

蓄熱室格子磚的熱交換	88
蓄熱室格子磚的阻力	94
新類型的格子磚	101
第七章 平爐的爐頭及噴嘴	105
由火苗理論引出的一些原則	105
平爐爐頭及噴嘴之發展	107
第八章 平爐的氣體力學	115
通道及室內的阻力	115
平爐構造上的缺點	119
阻力及抽力的計算方法	120
第九章 平爐熱工的調整及自動控制	130
自動化平爐熱工的改善	130
平爐熱工控制上的缺點	130
平爐熱狀況及氣流狀況的選擇	133
參考書刊	140

平爐快速煉鋼原理

緒 論

煉鋼事業的發展是和俄羅斯人民的優秀代表者的名字分不開的，他們的卓越工作載於俄羅斯的科學歷史中。

偉大的學者羅蒙洛索夫 (М. В. Ломоносов) 的作品“冶金或探礦的基本理論”在 18 世紀的前半期，對於俄國冶金的創立有很大的影響，他在這篇作品內首先講到冶金及其有關係的探礦事業的科學理論。

在 18 世紀的後半期，卓越的探礦專家牙爾澤夫 (А. С. Ярцев) 在煉鋼上有許多新的改進。

阿洛聶茲 (олонецкий) 及烏拉爾 (уральский) 冶金工廠的領導建設者根據俄國探礦工廠的歷史寫了一篇名叫“俄國的探礦史”的文章。

卓越學者及工程師：阿洛索夫 (П. П. Аносов) 俄普荷夫 (П. М. Обухов)，伊日洛司可夫 (А. А. Износков)，果良伊洛夫兄弟 (Горяинов) 的勞動事業，在 19 世紀煉鋼生產的發展上有很大的作用。

阿洛索夫獨自完善地製定了普拉特鋼 (Булатная сталь) 的生產方法，此種鋼的性質是優於歐洲其他國家的刀劍鋼。阿洛索夫是優質鋼的創造者。在他的作品內製定並公佈了鋼生產的各個階段：熔煉，澆鑄，鍛造，退火，淬火，回火，機械加工，根據肉眼構造，顯微構造及機械性能來控制鋼的品質。

俄普荷夫發明的煉鋼方法能製造出很高品質的鋼，超過了國外鋼最好的種類。

伊日洛司可夫在索爾莫夫 (Сормовский завод) 工廠建造的平爐是歐洲第一批平爐之一 (1870 年)。果良依洛夫兄弟製定了 (1893 年) 及

首先在葉卡吉里諾斯拉夫 (Екатеринослав) 的亞歷克山德洛夫工廠 (Александровский) (現名特聶伯洛彼德洛夫 Днепропетров 工廠) 內完成了廢鋼礦石法的熔煉工作。

偉大學者冶金家捷爾諾夫 (Д. К. Чернов) 的發現是根據物理及物理化學的定律把鑄鋼由工藝過程轉變為科學的探討。

俄國學者巴衣可夫 (А. А. Байков), 格魯蒙-格爾日馬依諾 (В. Е. Грум-Гржимайло), 卡爾拉烏荷夫 (М. М. Карнаухов), 斯達爾克 (В. В. Старк), 沙馬林 (А. М. Самарин), 特魯賓 (К. Г. Трубин), 易新 (О. А. Есин) 等的作品創立了近代最先進的煉鋼理論。

同時, 俄國學者完成了許多冶金熱工範圍內的研究, 奠定了煉鋼生產的一般進步。

科學院士巴浦洛夫 (М. А. Павлов) 的作品豐富地概括了平爐方面的世界各國的資料, 奠定了鋼冶金在科學及實踐上的繼續發展。

教授博士索可洛夫 (И. А. Соколов) 在烏拉爾進行的平爐研究工作應該認為是卓越的作品。

格魯蒙-格爾日馬依諾教授的工作在冶金熱工的發展上起了很大的作用。

想像平爐為一熱能機器, 及因改善熱能的供應可能使爐子達到強化的觀念是由工程師斯卡烈托夫 (Н. А. Скаретов) 建立的。許多俄國學者根據這個觀念進行了許多關於改善平爐熱工的研究。

在這些研究內, 根據熱能傳導及氣體力學學說的成就完成了理論的基礎, 在蘇聯的專門文獻中命名為“爐子的一般理論” [1]。這個一般的理論是和當時爐子建造中起主要作用的水力學理論是不同的, 在其內完全確定了氣體的強制運動, 熱傳遞的改善及和其有關的爐子工作強化的方針。

在斯達漢諾夫運動的頭幾年裏提出的所謂“熱量理論”, 其實就是建立在“爐子的一般理論”的原理上的, 不過引入了工程師斯卡烈托夫,

教授西米克 (И. Д. Семин) 發表的補充原則。但是他們根據的是不正確提法,沒有考慮到證實這些原則的所有條件及因素。例如,提高平爐的加熱能力是無可爭辯的要求,但假若未能保證熔煉室內熱交換及燃料燃燒的可靠條件,則這種增加是不可能達到目的的。在特殊情形下及僅當加速燃料燃燒的條件能保證時才可能允許依靠熔煉室的長度增大爐子寬度的。在各方面具有很大作用的這些理論原則,沒有考慮到所有其他條件及因素時,是和實踐有歧離的,這可能確定“能量理論”立場的缺點。

根據利用相似理論及模型製作的方法,克爾皮且夫 (М. В. Киричев) 科學院士的新進步經驗在熱工過程的科學研究方法內起了很大的作用。

因此煉鋼生產的進步發展是奠立在熔煉操作及熱工方面最先進理論的製定。

快速煉鋼工:馬查伊(Мазай),可洛瓦洛夫(Коновалов)卡伊可夫斯基(Чайковский),巴者托夫(Базетов),且斯洛可夫兄弟(Чесноков)舒波景(Субботин)任魯洛夫(Зинуров),波洛托夫(Болотов),卡雷洛夫(Казыров),亞莫索夫(Амосов),斯克里普尼可夫(Скрипников)古且林(Кучерин)等由於自己革命式的變革使熔煉過程強化打破了煉鋼生產上現有的標準。他們改變了熔煉的操作及熱工,確定了完全可能及合理地強化脫碳的過程,獲得優良品質的鋼。

偉大的衛國戰爭時期及戰後的斯大林五年計劃裏,煉鋼產品品質的提高及作業的強化方面有很大的成就。在這些成就裏面必須提到的有大容量(185—200噸)鹼性平爐內高品質合金鋼熔煉的掌握,利用最大量合金鋼廢品的熔煉,快速煉鋼法的推廣,平爐上自動化裝置的應用及其他許多成就。

由於這些偉大的成就,蘇聯的冶金事業光榮地接受了戰爭的嚴重考驗。

在戰後斯大林五年計劃的年代裏，蘇聯的冶金進入了高速度的發展。

布爾加寧同志（Н. Н. Булганин）在偉大十月社會主義革命的 33 週年紀念會上的報告內談到“黑色冶金發展的五年計劃的任務已超額完成。按五年計劃，1950 年應生產的黑色金屬比 1940 年要大 35%。本年十個月內黑色金屬的生產超過了戰前水平 44%，其中生鐵 28%，鋼 48%，壓延 58%”。

斯大林同志在蘇聯煉鋼冶金家面前提出了偉大的任務——提高鋼的生產力每年達到 6 千萬噸鋼。此任務之完成除掉有一系列之措施外，亦應在改善及強化冶金過程的方針方面求解決。

第一章 裝料及爐料的加熱

平爐熔煉的各時期

鹼性平爐熔煉的規程內常研究下面的各時期：補爐、裝料、熔化、精煉（去磷、去硫及脫氧）及出鋼。

實際上，進行熔煉時，這種時間的區分並未存在，平爐熔煉的近代操作特別證實了這點，它規定一個時期必然地包含其他一個時期。例如，補爐實際上是在精煉末期及出鋼時期內進行，及在下次熔煉爐料裝入的開始時結束；實際上熔化時期一般是從爐料裝入時就開始的，而精煉（去磷、脫碳及去硫）則在熔化時期內開始的。

因此，在每個時期內均包含了下一個時期的開端。

在爐子的好熱工下，同時由於作業的強化，此時期內又發展了下一時期，任何熔煉時期的縮短就是快速平爐熔煉的特徵。

爐料加熱的理論

爐料的加熱開始於第一批爐料的裝入，延繼於整個裝料期內。

因為加強爐料的加熱可以決定爐料熔化的速度及造渣速度，所以爐內爐料的加熱問題在縮短熔煉時間上是具有決定性意義的一因素。

實踐證明，在差不多相同的溫度狀況下，爐料的熔化速度和爐料儲聚熱量的速度有關，而此速度是決定於爐料加熱時熱能流動的大小。

熱能流動的數值和熱阻有關，即和下之比值

$$\frac{s}{\lambda_m}$$

有關，式中 s —金屬爐料層的厚度，公尺；

λ_m —有空氣間層爐料的導熱係數，卡/公尺·小時·度。

由上比值可見，增加爐料的導熱係數及減少金屬爐料層的厚度都

可使熱阻減小。爐料裝入的方法不同，爐料的導熱係數會發生變化，其值決定於爐料及其塊子間形成的空氣間層的導熱性[2]。空氣間層的導熱係數 λ_n 由空氣的真導熱係數 λ_a 及間層內由輻射作用引起之似導熱係數 λ_x ①組成即：

$$\lambda_n = \lambda_a + \lambda_x \quad (1)$$

λ_x 可近似地按下公式決定[3,4]：

$$\lambda_x \approx 0.198 \left[\frac{T}{100} \right]^3 x \quad (2)$$

式中 T —絕對溫度， $^{\circ}\text{C}$ ；

x —空氣間層的平均值②，公尺。

沒有一定規定的爐料層，其含有空氣間層的(爐料塊間的“孔隙度”)金屬爐料的導熱係數，可按照布德里(Д. В. БУДРИН)公式計算：

$$\lambda_{us} = \lambda_m \left[1 - \left(1 - \frac{\lambda_n}{\lambda_m} \right) P \right], \quad (3)$$

$$\lambda_{us} = \lambda_m \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{\lambda_m}{\lambda_n} - 1 \right) P} \right], \quad (4)$$

式中 λ_{us} —有空氣間層爐料的導熱係數，卡/公尺·小時·度；

λ_m —固體金屬的導熱係數，卡/公尺·小時·度；

λ_n —空氣間層的導熱係數，卡公尺·小時·度；

P —爐料塊子間的“孔隙度”(孔隙容積)%。

第一個公式(3)用以計算沿爐料層進行的熱能流動(圖1.a)(平行於空氣間層)，第二個公式(4)用以計算垂直於爐料層的熱能流動。(1經過空氣層，圖1.b)。

因為爐料塊的表面積有大部分彼此接觸，所以爲了大略計算爐料的導熱係數(λ_{us})，可假定， $\frac{2}{3}$ 的熱能沿平行於空氣間層的爐料流動，而

① 在上層爐料內由於爐氣的滲入爐料塊的間層內，必須要計入因對流作用的熱能傳遞。

② 在熔煉的實踐上， x 平均決定爲0.02公尺。

$\frac{1}{3}$ 的熱能沿垂直於空氣間層的爐料流動。

這樣的假定在某種程度上可以說是任意的，但如研究所指出，當裝料內主要係利用中等大小的爐料時，這種假定是完全可能的。

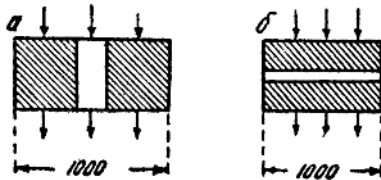


圖 1. 爐料內熱能的流動圖：

a—平行於空氣間層的熱能流動；b—經過空氣間層的熱能流動。

由上公式計算的結果可用爐料的導熱係數隨其塊子間的孔隙度及爐料加熱溫度而變化的圖解表出(圖 2)。

根據此圖可作出一般特性的結論，即：

1. 在同一的爐料塊間的孔隙度下，(P用百分數表示)，爐料的導熱係數隨溫度之升高而增加，這是因為爐料的空氣間層內熱能的輻射程度增高^①。因此由於爐料導熱係數的提高，爐料的加熱及其溫度的提高（甚至當爐料塊間的空隙度大，例如46%時）促進了爐料的吸熱能力。

2. 當爐料的溫度由800上升至1200°C時，由於爐料本身重量影響而發生的可塑變形^②。以及再加入爐內料批的壓力作用，而

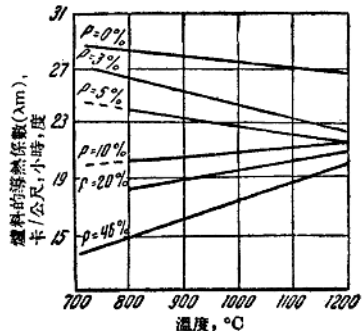


圖 2. 爐料的導熱係數和爐料塊間的孔隙度及溫度關係。

① 塊子間孔隙度在10—45%範圍內。

② 軟化開始前之溫度為1100—1200°C。

使爐料緊結，塊子間的孔隙度因而減少。可是隨塊子間孔隙度的減少，導熱係數相對地增加，因此，應重視裝料時爐料變緊密（下沉）發生的重大作用。

因此，金屬爐料的裝入應於每層爐料在必要的加熱下進行。為此，裝料期內必需有三四次的停歇。

爐料的加熱時間，從而裝料期的停歇時間的長短在每種特殊情形下決定於爐子^①的加熱能力，裝料速度及爐料的物理狀態。

米蘭·卡雷洛夫（Минан Казыров）快速煉鋼工在描寫他自己的工作方法時[5]特別提到裝料期內爐料的加熱：“用兩個裝料機分兩隊向工作門裝入不多於四箱的廢鋼後。再將爐料進行加熱”。

古且林（М. Кучерин）也同樣寫道[6]：“加速爐料的裝入，同時我們也不吝惜爐料預先加熱的時間”。

爐料的加熱和爐料在爐內佈置次序的關係

前已講到，爐料的熱阻 $\frac{s}{\lambda_{\text{ст}}}$ 和爐內爐料層的厚度 s 有關，即爐料層的厚度越小，此層的熱阻就越小，在同時提高爐料的導熱係數 $\lambda_{\text{ст}}$ 下，燒料就進行得越快。

上述情況易由分層地，均勻地及依次地裝入爐料而達到[7]，即從一個工作爐門依次地向其次一工作爐門進行裝料。

實際規定，由於爐料熱阻的不同，沿厚度不均勻分佈的金屬爐料（成堆狀的）促使爐料的加熱不均勻，因而增長爐料的熔化時間。

烏拉爾有名的快速煉鋼工人波洛托夫（П. Т. Болотов）[8]說道：“應使裝料時期的廢鋼均勻，不成堆地分佈於爐底上”。

斯克里普尼可夫（Н. Д. Скрипников）快速煉鋼工說[9]：“沿各爐門均勻地進行裝料。裝料工用裝料機撥平形成的料堆”。

快速煉鋼工卡雷洛夫（М. Казыров）的工作方法內指出：“裝料時要

① 在縮短補爐時間的條件下，最大熾熱爐底上的裝料伴隨有爐料的極強烈加熱。

注意爐內爐料的均勻分佈，因為爐料裝入的不均勻（裝成料堆）熔化時期以及整個熔煉的時間都大為增加”。

爐料內有導熱性小的非金屬部分（石灰石，鐵礬土，礦石）存在時，特別是當這些物質堆成一厚的間層時，嚴重地影響到爐料的導熱係數，從而影響及熱阻的增加。因此非金屬爐料在爐內放置的方法對爐料的加速加熱及熔化以及造渣的加速作用影響很大。

應遵照得到最小熱阻的原則分佈非金屬部分的爐料。這是可由減少裝料內的石灰石量及石灰石在爐料內的分散堆放（在兩端的爐坡及爐料的不同地方）或在石灰石與鐵礦石（廢鋼礦石法）良好混合下放置非金屬爐料達到此目的。

所有這些已為著者在工廠中進行的研究及快速煉鋼工們的實踐證實。

快速煉鋼工古且林（М. Кучерин）說道：“觀察指出，我們將全部石灰石裝成一層等於於爐內創造了一絕熱層，妨礙了爐料的均勻熔化，即延長了熔煉。因此我們將石灰石分佈於爐坡處”。

快速煉鋼工卡雷洛夫 [6] 作出同樣的結論“…石灰石裝入並加熱後，煉鋼工利用裝料機經過各爐門進行翻料，努力將爐料推向後牆處”。

或 [9] “開始裝料時，斯克里普尼可夫（Скрипников）同志在爐坡處裝上石灰石，然後用一層細爐料遮蓋爐底…。裝入輕型爐料 30—40 噸後，裝入一層石灰石（留下的），再裝一層輕料。其上裝入重型廢鋼”。

在漫爾赫-依舍契工廠進行作業的卜爾達科夫（Д. Бурдаков）工程師寫道：“石灰石沿整個金屬料上均勻而“分散”地裝入爐內”，即敘述了爐料內石灰石的散裝作業。

在古日尼契冶金綜合工廠內，製訂了規定裝料時爐料分佈的次序及爐料加熱的特殊規程 [11]。按照規程爐料裝入 8—10 層，對於每層爐料之加熱，裝料停歇 5—7 分鐘。為了使熔劑物質能更好的加熱，熔劑物質的裝入比金屬爐料的裝入速度要慢許多。

礦石及石灰石的混合分佈，以及於爐內藉裝於裝料機上的傾覆裝料箱來混合它們也幫助爐料的加速加熱。

裝料時期內爐料的“凍結”是爐料加熱不夠的因素

爐料“凍結”的過程和裝料期爐料的不正常加熱有關。這能有兩種情形發生：

(1) 當裝料進行快而爐子的加熱能力不夠時，裝入的爐料不能好好地被加熱，因而全部裝入的爐料是加熱不良或冷的狀態；

(2) 當裝料進行比較慢及爐子的加熱能力足夠時，裝入爐料的加熱及熔化均快。

在第一種情形下，當爐料的熱阻大時，裝料完結後，上層爐料迅速地加熱及熔化，然後液體金屬在下層的爐料塊上凝固（“凍結”）。

在廢鋼法裏，熔鐵在接近爐底的下層爐料內發生“凍結”，而在廢鋼礦石法內，從上面廢鋼塊熔化而來的金屬在上層爐料內發生“凍結”。在這種情形下，由於“凍結”的結果，上層的爐料塊鑄接在一起，形成一緊密的金屬外殼。（按生產者的說法，爐料表面“硬殼”），強烈地減慢生鐵兌入後的熔化作用，在這種情形下，有時生鐵的兌入有劇烈的反應發生，金屬及爐渣自爐內濺射出。

在第二種情形內，當每次加入冷料於金屬的熔化部分時，液體金屬在固體爐料塊上凝固，即得着類似爐料“凍結”的過程。

第一及第二種情形下的凍結影響了熔化時間的延長，這是由於消耗了時間去熔化爐料塊上“凍結”的金屬層。

金屬在冷固體爐料上“凍結”的機構在某些假定上可以認為是相似於注入鋼錠模內金屬初次結晶層的生成。

在爐料“凍結”的過程中，可按照有名的公式[12]：

$$x = k\sqrt{\tau}, \quad (5)$$

決定爐料塊上凍結層的厚度。