

鋼的連續澆注

М.С.Бойченко 等 著

И.П.Бардин 編 審

馬 成 德 譯

鞍鋼編輯委員會

目 錄

引言.....	1
外國的連續注錠.....	2
蘇聯的連續注錠.....	7
黑色冶金中央科學研究院的半連續注錠的實驗型設備.....	7
「紅十月」工廠的半連續注錠的實驗工業型設備.....	10
新杜里斯克 (HTM3) 冶金工廠的連續注錠設備.....	10
「紅色索爾莫沃」工廠的連續注錠設備.....	14
黑色冶金中央科學研究院設計的連續注錠操作的技術經濟優越性.....	19
連續注錠操作的發展前途.....	20
參考文獻.....	20

著 者 М.С.Бойченко, В.С.Рутее,
Н.А.Николаев
編 審 И.П.Бардин
原著出版 蘇聯科學院 (莫斯科—1956年)
翻 譯 馬 成 德
編輯出版 鞍鋼編輯委員會 (1956.7.25)
工 本 費 每冊一角五分

鋼的連續澆注

引言

還在前一世紀，用連續澆注鋼錠，從液體鋼直接得到鋼坯或製成品的可能性的想法就已經產生了。在一八五八年，貝斯麥耳曾提出過直接從液體鋼澆注鋼坯經過軋制取得薄板的方法，可是在實踐中這個方法沒有得到實現。

數十年來，爲了從有色金屬和鋼得到鋼坯或者製成品，對採用一切可能的構造的鑄鋼機械，進行了大量的試驗研究。

從液體鋼得到鋼坯的最合理的，並且在實際中已被實現了的方法，就是連續澆注鋼錠的方法。

連續澆注鋼錠的方法包括：液體鋼澆注在被冷卻的模子（結晶器）的上部，再從它的下部，用機械連續拉出局部地或全部地凝固了的鋼錠，這就是鋼坯。當完全凝固之後，在傳送過程中，用氧氣燃燒器或機械的方法，將鋼坯切成定長。

在一般的生產方法中，鋼錠的長度相當於鋼錠模的長度。

而在連續澆注鋼錠的方法中，鋼錠的長度可以超過結晶器長度的數倍。

在鋼錠模中注成的每一個鋼錠的上部，都有富集着偏析物和有害的縮孔帶，這一部份是應該被切除的。在一般的炭素鋼錠或者合金鋼中，切頭切尾的廢棄品佔12~25%。

在連續澆注中，鋼錠是循序漸進的連續的增長，因而保證着縮孔僅僅集中在鋼坯澆注終了時的最上部，從而顯著的降低了廢棄品。

金屬連續澆注，可以鑄成較小斷面的鋼錠，就是說，可以從液體鋼直接得到這樣一種鋼坯，它可以用軋製、鍛壓和沖壓的方法進一步加工爲成品。

在現代化的冶金工廠中，鋼坯生產程序一般

的包括下列各環節：

1. 在爐子中冶煉金屬（馬丁爐、電爐、轉爐等等）。
2. 把金屬出在鋼罐中。
3. 把盛有液體金屬的鋼罐移送到錠模。
4. 向錠模澆注。
5. 運送錠模去脫模間（直立脫模機）。
6. 從錠模中取出鋼錠。
7. 運送鋼錠到均熱爐中去。
8. 均熱鋼錠。
9. 從均熱爐把鋼錠送至壓軋機（初軋機、板坯機）。
10. 在初軋機或板坯機把鋼錠軋成鋼坯。
11. 清理和檢驗鋼坯，運送去倉庫。

在連續鑄錠中，鋼坯製造的全部程序包括以下的環節：

1. 在爐子中冶煉金屬；
2. 把金屬出在罐中；
3. 把盛有金屬的罐移送到鑄錠機械；
4. 向機械中澆注；
5. 運送到加熱爐以便軋成最後的成品。

由此，就取消了一些貴重設備的必需性（壓軋機、均熱爐、脫模機械、某些運輸機械、錠模、大底盤、保溫帽），從而顯著地降低投資費用。

由於消滅了整修注坑，脫除鋼錠，在壓軋機上軋鋼錠中的繁重的體力操作，使生產程序顯著的縮短。由於取消了軋製前的鋼錠均熱和再熱，減少了燃料消耗，消除了一系列的從注坑到壓軋機的鋼錠輸送作業。

由於全部作業程序的機械化和自動化——從澆注到作出鋼坯，切成定長——改善了勞動條件，提高了生產文明。對於連續注錠的聯動機的管理，較之取得半成品的一般技術操作需要較少的服務人員。

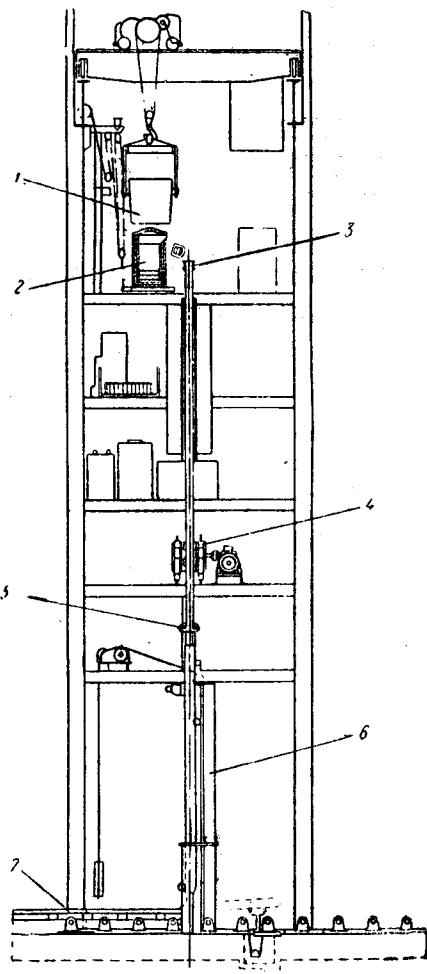
由於從連續注錠所得到的鋼坯，具有較之一般鋼錠為小的橫斷面，和被強烈的冷卻，就使得金屬無論在鋼坯縱向，或者橫斷面，都顯現出它的化學成份的很大的均勻性。

連續注錠操作的巨大的技術經濟的和冶金的優惠性，成為蘇聯和外國的冶金工業中，廣泛組織試驗工作的基礎。

外國的連續澆注鋼錠

根據文獻資料編制的表1，指出在各國工作的連續注錠設備的數量及其具體情況。

從表1可以看到，在美國、英國、加拿大、



圖形1 在比維爾弗爾斯的連續注錠設備(美國)

- 1—罐；2—感應電爐；3—黃銅結晶器；
4—拉軋；5—乙炔燃燒器；6—翻鋼機；
7—軋道。

法國、西德、德意志民主共和國、瑞典、奧地利都有連續注錠的設備；在意大利、瑞士、日本正在建設中。

一九四六年在美國，巴布考克和維里考克斯協同里巴布布里克·斯帝爾·高爾波列申等公司，在比維爾——弗爾斯建造了連續注錠的設備。該設備佈置在帶有注錠平台的塔式建築物內（圖形1），鑄錠平台高出車間地平面23公尺之[1]。

在電弧爐中煉制出來的鋼，用鋼罐1送到注錠平台，倒入容積為2.3噸的感應爐內2，以便在澆注過程中保持一定的溫度。鋼從感應爐內經過爐嘴和杯狀的中間注鋼裝置，注入固定的向上垂直的高為2.5公尺的水冷黃銅結晶器3。為着不使鋼氧化，在結晶器上部加入惰性氣體——氬。為了減少摩擦，用肥皂清刷結晶器。

為了保持鋼坯整個斷面的均勻溫度，鋼坯在二次冷卻帶進入冷卻過程。在拉引軋軋的下部用乙炔焰將鋼坯切成定長的形狀。

切斷的鋼坯，用翻鋼機6翻到水平位置，沿傳送軋7送到倉庫。

稍後，顯然是由於不便於將液體鋼水送到23公尺之高，而將容積7噸的電弧爐直接建設在鑄鋼平台上代替了感應電爐。

這個設備在兩年工作中（1948~1950）澆注了約600噸的炭素鋼和少量的不銹鋼18-8。圓鋼坯和方坯的斷面尺寸是100~175公厘，矩形坯斷面為115×225公厘。

當澆注圓形鋼管坯時，其收得率為鋼水重量的90%（根據文獻資料），而用一般的方法鋼管坯只達鋼錠的70%。

前邊所說的斷面尺寸的注鋼速度是1.2~1.8公尺/分，設備生產率是10~12噸/小時。

連續澆注的鋼坯軋成了鋼條、無縫管、薄鋼板和盤條。其成品質量並不遜於用一般方法所制成的成品質量。

從1950年以後公佈的資料看來，巴布考克和維里考克斯廠採用了新的澆注方法，就是澆注時液體金屬流是連續地均勻地，而在結晶器中，金屬水平面則不斷下降和上升，從而改變了鋼錠拉出的速度。作業週期分作兩個階段：拉出速度高出規定的平均速度的拉出階段，和鋼錠移動停止或者減到最小的移動速度階段。

因而，在拉出階段當規定的平均拉出速度為1公尺/分時可以繼續十一秒鐘，停止階段為八秒鐘。在這個情況下，金屬水平面的差數約130公厘。

其目的在於在停止移動期間，得以在結晶器中形成堅硬的鋼錠外殼而採用的這種工作制度，也就消除了當在拉出階段時斷面破裂的可能性。

為了確切的調整整個周期和各階段的水平面的差數，同時也為了保證金屬從罐均勻地進入結晶器，而採用了自動的現在的這種機械。

1949年美國建設了第二個連續鑄錠的實驗設備，它是根據雲岡斯路西的專利發明建設於阿列根·魯竹木·斯帝爾·高爾波列申工廠。

該設備位於高17公尺的塔式建築物內，它有三個工作台：上台設有金屬接收器，中間罐和結晶器；中台設有冷卻系統和提軋，下台設有切剪設備和傳送設備。

用紅銅鑄造的重型結晶器長600公厘，帶有鍍鉻的內層表面。為了當鋼錠發生扭曲時能自動調整設備，藉助於圓形支架能在20~50公厘範圍內往復移動，其向下的速度相等於鋼錠移動的速度，而向上的速度則大三倍之多。

用三噸電弧爐煉制金屬供給澆注設備。液體鋼從帶有感應電熱的鋼罐，經過帶有注棒塞的中間罐進入結晶器。用丙烷燃燒預防金屬在澆注設備中和結晶器中被大氣所氧化。用注油器以籽油清刷結晶器牆壁。

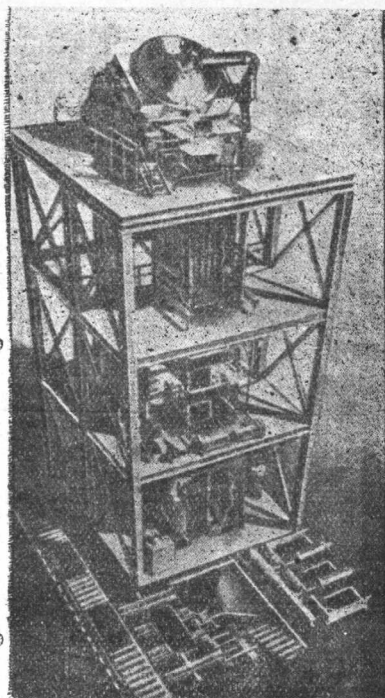
鋼坯從結晶器出來進入二次冷卻帶。用水冷卻表面。按照鋼的成份和澆注鋼坯的斷面調整冷卻程度。用兩對軋子拉出鋼坯，並在移動過程用乙炔焰切成定長。

以澆注炭素鋼和不銹鋼的方坯（93×93公厘），圓坯（直徑137公厘，225公厘）和矩形坯（75×380公厘）試驗了該設備。

已達到的最大的澆注速度波動於：從直徑225公厘或者是斷面積75×380公厘的鋼坯每分鐘0.5~0.75公尺，到直徑137公厘或者是斷面積為93×93公厘的鋼坯每分鐘1.2~1.5公尺。設備能力是10~15噸/小時。估計加大鋼坯斷面到1000公分²時，設備能力可達到17噸/小時。

加拿大的阿特拉斯斯帝爾工廠的澆注斷面積140×545公厘的板坯的連續注錠工業設備，是在1953年終開工的。這個設備也可以澆注斷面積

100×100公厘的和更大的方坯。該設備高16.6公尺。澆注台高出車間地平面9.3公尺。設備的一部份置於深7.3公尺的池內（圖形2）。



圖形 2 阿特拉斯斯帝爾（加拿大）工廠的連續注錠設備

鋼從電弧爐出到容積35噸的罐內，罐內加熱到1300℃。為了減少熱損失用有蓋的鋼罐。在澆注台上鋼罐機械安裝在可動的支架座上。在罐蓋裡有石油噴霧器以保持澆注過程中金屬的適當溫度。噴霧器裝置在罐嘴之前，同時也使之攪拌鋼液，從罐嘴除去渣子（圖形3）在罐嘴之前裝有滯留渣子的隔板。

將罐傾斜金屬從罐嘴流入中間澆注裝置，該中間罐也預先加熱到1300℃。澆注設備用隔牆分開，在第一個部位將渣子滯留起來。經過第二部位的底部出口，金屬離開渣子進入結晶器。為了防止金屬在澆注設備中和在結晶器的上部被大氣氧化而使用丙烷。在澆注設備中用澆口斷面及金屬水平面調整澆注速度。

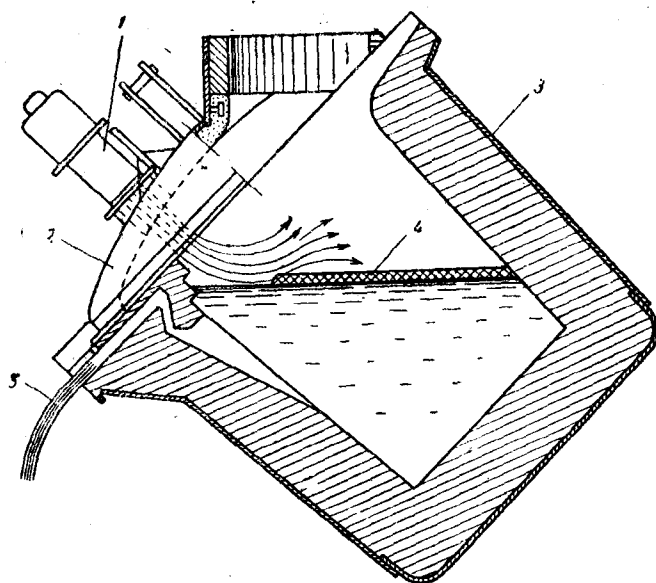
在拉引鋼坯時，用和拉引裝置協調同步的機械聯結着結晶器往復移動：按照鋼坯移動速度，結晶器可向下移動19公厘，而向上則很快。結晶器的工作周面全部用植物油清刷。

表 1

各國連續注錠的設備情況 (根據文獻資料)

地 址	開工日期	設備型式	設備簡要情況	注流數量	設計的和已達到的澆注速度或者生產率	煉制金屬的爐子設備	連續注錠的品種	鋼坯斷面和尺寸
美國 在比維爾-弗爾斯的巴布考克和維里考克斯工廠	1946	實驗型, 根據維里亞斯設計圖	容納於高 23 公尺的塔樓內。結晶器是黃銅的, 固定不動。金屬液面在結晶器內的搖動是自動化的, 高 ~2.5 公尺。切剪用氣體燃燒。按照鋼的品種和鋼坯斷面積, 用水或者用空氣進行二次冷卻。用氬作為氣體保護層	1	設計速度 2.4 公尺/分已達到的生產率 10~12 噸/小時	電弧爐 5~7 噸	炭素鋼、低合金鋼、不銹鋼	橢圓形 115 × 225 公厘, 矩形 75 × 375 和 125 × 375 公厘 正方形 150 × 150 和 175 × 175 公厘
美國 在約德爾夫里特的阿列根魯德木斯帝爾高爾波列申	1949	實驗型, 根據阿列根-路設計圖	容納於一部份在車間地下面之上, 一部份在地下室。設備高 17 公尺, 結晶器是鋼的, 高 600 公厘, 能往復移動。用水進行二次冷卻。切剪用氣體以手工進行。用丙烷保護大氣。清刷用植物油	1	已達到的生產率 10~15 噸/小時	感應電爐 3 噸	炭素鋼, 包括不銹鋼在內的各種合金鋼	板坯 75 × 390 公厘 正方形 93 × 93 公厘 137 和 225 公厘
加拿大 在奧也林德的阿特拉斯帝爾	1953	工業型, 根據云崗斯-路設計圖	設備高 16.6 公尺, 其中在地下 7.3 公尺。結晶器是鋼的, 高 600 公厘, 有往復移動裝置。用噴霧水進行二次冷卻。切剪是自動化的。有兩個燃燒器。用丙烷保護大氣層	1	設計生產率 40~50 噸/小時 已達到 24~27 噸/小時	35 噸的電弧爐	主要是不銹鋼	板坯 140 × 545 公厘
英國 在巴爾洛烏的巴爾洛烏斯帝爾工廠	1952	工業型, 根據云崗斯-路設計圖	沒有具體資料	1	設計澆注速度 25 公尺/分 已達到 6~12 公尺/分	5 噸的電弧爐	炭素鋼	鋼坯斷面 1.25 公分 ²
英國 在舍非爾德的維里牙木斯澤索	1954	工業試驗型, 根據 BISRA 的設計圖	結晶器在彈簧上, 沒有詳細資料	2	0.76 公尺/分	1.5 噸的電爐	高速切削鋼、不銹鋼和其他各種鋼	正方形 100 × 100 公厘
英國 在舍非爾德的 BISRA	1955	實驗型, 根據 BISRA 設計圖	結晶器在彈簧上, 沒有詳細資料	1	4.45 公尺/分 或者 30 噸/小時	不詳	低合金鋼	正方形 100 × 100 公厘 板坯 65 × 230 公厘
英國 在布來德弗爾德的勞木爾工廠	1946	實驗型, 根據勞木爾設計圖	沒有具體資料	1	按照不同的鋼種和斷面, 從 0.6 到 1.5 公尺/分	同上	全部是高級合金鋼	φ 65~115 公厘 正方形 100 × 100 125 × 125 公厘 板坯 75 × 350 公厘
法國 在阿里瓦爾建設的冶金工廠	1953	工業型, 根據路西-雲岡斯設計圖	同上	1	設計的 10 公尺/分	同上	炭素鋼	正方形 75 × 75 公厘 矩形 75 × 125 公厘
法國 在德森恩	1953	不詳	同上	4	設計 450 公厘/分	同上	同上	正方形 240 × 240 公厘

地 址	開工日期	設備型式	設備簡要情況	注流量 數量	設計的和已達到的澆注速度或者生產率	煉制金屬的爐子設備	連續注鋼的品種	鋼坯斷面和形狀尺寸
法國 在烏德若的 雷爾切拉工廠	1953	工業型	設備部份容納於地下、部份在地上的建築物內。結晶器的牆壁是鍍鉻的，高685公厘，用水進行二次冷卻，切剪是用水力剪斷鋼坯	2	0.6~0.9公尺/分 生產率 25噸/晝夜	1.5噸的感應電爐	全部是標準的合金鋼和特殊鋼	橢圓形 60×80公厘（雙流） 88×105公厘（單流）
西德 在胡金根的 曼羅斯曼丁 維爾克	1950	實驗型，根據雲崗斯設計圖	設備高16.5公尺其中地下6公尺。結晶器有往復移動裝置	1	0.5~1.2公尺/分 10噸/小時	鑄槽容積5~7噸	作管子的低合金鋼	∅130公厘 長方形140×180公厘
同上	1954	工業型，雲岡斯圖	不詳	4	48噸/小時	不詳	低合金電爐鋼	200×240公厘
西德 在明日的列 尼舍洛林維爾克	不詳	不詳	不詳	2	不詳	不詳	不詳	不詳
德意志民主共和國 德林工廠	—	實驗型	半連續注錠，結晶器高1260公厘，有往復移動裝置。澆注鋼錠長6~6.5公尺	3	1.0~1.5公尺/分	50噸電爐	炭素鋼合金鋼	∅130公厘 正方形130×130公厘
瑞典 在埃斯金頓的 尼必布魯克 工廠	1954	工業型路西雲岡斯設計圖	設備高18公尺，部份在地上，部份在地下。結晶器有往復移動裝置	1	設計速度 4.5公尺/分	不詳	同上	∅150公厘 正方形88×88公厘 板坯63×375公厘
意大利 烏丁工廠	建設中	工業型，路西設計圖	沒有具體資料	1	設計速度 32噸/小時	不詳	炭素鋼	正方形 125×125 175×175公厘
瑞士 留切倫工廠	建設中	工業型路西德西曼設計圖	水平狀態的機器	1	設計速度 20公尺/分	不詳	炭素鋼	正方形 75×75 100×100公厘
奧地利 在卡布芬堡的 表列爾工廠	1952	表列爾型	不詳	2	每月 300噸	七噸電爐	合金鋼 不銹鋼	正方形 100×100公厘 150×150公厘 ∅100 150公厘 板坯寬 450公厘以上
阿根廷 在布宜諾斯艾立斯的山塔路沙S.A.工廠	建設中	工業型，路西設計圖	不詳	2	設計速度 10公尺/分	不詳	炭素鋼	正方形 75×75 100×100公厘
日本 大板工廠	建設中	工業型路西雲岡斯設計圖	不詳	1	同上	不詳	炭素鋼 合金鋼	板坯 75×375公厘 ∅50~200公厘 正方形50×50~200×200公厘



圖形 3 阿特拉斯斯帝爾工廠的注鋼罐

1—噴嘴；2—罐蓋；3—外殼；4—渣子；5—金屬流。

結晶器用銅鑄造，長~600公厘，重0.5~1.5噸，這些數據取決於鋼坯尺寸，牆壁厚150公厘，結晶器內部表面鍍鉻。

鋼坯從結晶器出來時用水冷卻，然後用兩個能隨鋼錠移動的乙炔焰切剪器切成鋼坯。

澆注斷面積 140×545 公厘的板坯，其平均速度為700~800公厘/分，或者是24~27噸/小時；一晝夜生產能力為134~150噸。

具有800℃的溫度的鋼坯用特別的運送設備，從地下室送往倉庫或者送往軋鋼機的加熱爐；在這種情況下加熱約需一小時左右。

在軋徑為660公厘的軋鋼機上軋制厚140公厘到厚60公厘的不銹鋼板或者帶鋼。在溫度1030~1050時，把鋼板坯置於火焰處理的自動化設備上，清理在軋鋼機軋制後殘留在表面上的缺陷。用金鋼砂清理和加熱後，在旋轉式機床上軋成厚板，在這裡一次軋成厚60公厘到1.6~4.6公厘的薄板。該設備現處在掌握熟練階段。

在英國，不列顛鐵鋼研究機關(BISRA)的物理實驗所，在實驗型的設備上作了大量的連續注錠的研究工作。他們研究了在結晶器中引起鋼錠外殼破壞的一些因素，也研究了連續注錠的熱操作過程〔4〕。

為了消除在拉出過程中鋼錠外殼破裂，研究

了有彈性支架的結晶器的方法。

具有彈性支架的結晶器的實驗型設備，已應用在舍非爾德的維里亞木斯澤索工廠，于1954年開始建設。

服務於該澆注設備的熔煉爐的容積為1.5噸，鋼坯斷面 100×100 公厘，品種為高速切削鋼和不銹鋼以及其他高級合金鋼，用拉軋拉出鋼坯，用火焰燃燒切剪。為了提高生產率，裝置了兩個結晶器，它是同時由一個鋼罐經過中間澆注設備供給鋼水的。用中間澆注設備的適當的傾斜度的方法，達到在兩個結晶器中金屬的均勻分佈。

1952年在巴爾洛烏工廠，建設了澆注小斷面的圓坯和方坯的設備，用作軋制小型鋼材。結晶

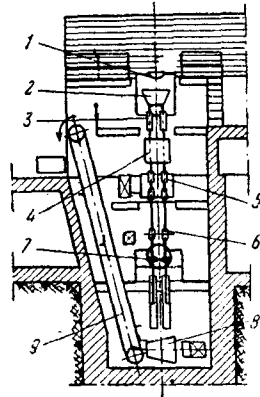
器是往復移動的，達到的澆注速度6~12公尺/分，設計速度是25公尺/分。該設備是單注流的，由五噸電爐供應金屬。根據現有資料，知道這個設備到1955年初澆注了五十萬以上的米度單位的鋼坯。

在法國翁若的賀里切爾工廠具有兩個注流的設備，於1953年三月開始工作〔6〕。由1.5噸容積的感應電爐供應金屬。從爐嘴將金屬倒入經過預熱的澆注設備中，從澆注設備的底部注口注入鍍鉻的銅制牆壁的長為685公厘的結晶器中。結晶器要進行清刷，用丁烷作為保護氣體。

該設備部分裝在車間地平面以上，部分在地下（圖形4）。在二次冷卻系統之下裝置有兩對軋子，用以拉出鋼錠。和目前所有的連續注錠設備的區別，就是用水力切剪機切斷鋼坯。在地下室有整理鋼坯的設備和運送鋼坯到地平面上去的升降起重機。

該設備可以同時澆注兩個斷面 60×80 公厘的橢圓形鋼錠，或者一個斷面 88×105 公厘的橢圓形鋼錠。斷面積 60×80 公厘的鋼坯拉出速度是0.6~0.9公尺/分；設備生產能力為25噸/晝夜。六個人組成的小組服務於該設備。

該設備澆注一些很高級的合金鋼：工具鋼、含鉬的不銹鋼、耐熱鋼、高速切削鋼、磁性鋼等



圖形 4 霍里切爾（法國）工廠
連續注錠的設備

1—高頻率的爐子（1.5噸）；2—澆注裝置；3—結晶器；4—二次冷卻系統；5—拉軋；6—導軋；7—水力切剪；8—鋼坯的水平輸送機；9—鋼坯的上升輸送機。

等。人們認為，即使連續注錠的設備能力很小，這些貴重的鋼用連續注錠也是有利的。例如，生產一噸直徑 10 公厘的汽閥鋼需要1800公斤的鋼錠，而在用連續注錠的方法只需要1300公斤。

在德國，連續注錠的實驗在第二次世界大戰之前就已經開始了的，戰後最初在沙倫道爾夫的工廠云崗斯重新開始了實驗，以後在胡金根按照云崗斯的設計圖建設起來該設備〔2〕。

在沙倫道爾夫的工廠，帶有長 300 公厘的結晶器的實驗設備於一九四九年開始工作。鋼是由小貝氏轉爐供應的。澆注了直徑100~250公厘和斷面 80×80公厘，80×245公厘和100×100 公厘的500噸鋼坯，約 160 噸鋼坯製成了鋼管和鋼條。

澆注直徑 100 公厘的鋼坯，速度是 1.5 公尺/分，設備生產率為6噸/小時。

在沙倫道爾夫工廠所建設起來的該設備的試驗工作經驗的基礎上，於1950年在胡金根建設和投入使用的設備，高 16.5公尺，其下部置於車間地平面以下 6 公尺。

到1950年末，該設備澆注了數百噸直徑 130 公厘的鋼坯，其速度是850~1200公厘/分，以及斷面為140×180公厘的鋼坯的速度是500~900公厘/分；設備生產率將近10噸/小時。

根據近來的消息，胡金根工廠於1954年投入使用新的工業型的四個注流的設備，用以澆注斷

面200×240公厘的低合金鋼的鋼坯。設計的生產率是 48 噸/小時。在明汗的列尼斯洛林維爾克工廠也有類似的雙注流的連續注錠設備。

在奧地利：克來聶爾和塔爾曼在卡普芬堡的表列爾工廠的實驗設備，進行了連續注錠的試驗，該設備帶有固定的垂直水冷式的結晶器。各種牌號的鋼每爐重量不多於二噸，澆注直徑80~90公厘和130公厘的、速度為 600~2000公厘/分的鋼坯。進行了操作中熱效應和鋼錠結晶的研究。設備生產率為3.5噸/小時。

1952年在這個工廠建設了新的雙注流的澆注設備，用以澆注斷面 100 和 150 公厘的方坯和圓坯，以及寬在450公厘以上的矩形坯。

由七噸電爐供應金屬，每月生產出結構合金鋼、不銹鋼和其他牌號的鋼坯約300噸。

在瑞典，尼比布魯克工廠，建設了連續注錠設備，用不銹鋼澆注圓坯方坯和板坯，制造薄板和鋼管〔7〕。從爐子用鋼罐把鋼水送到高18公尺的機器上。

三個工人服務於該設備。

上邊所敘述的外國的連續注錠設備，大多數是生產斷面較小的圓坯和方坯，合金鋼佔多數。設備生產率是不大的，因而它用小容積的電爐供應鋼水。只是在最近幾年外國才開始澆注大型的矩形坯——板坯，以便提高設備生產率。

蘇聯的連續注錠

在蘇聯，數個科學研究院和工廠進行着關於連續注錠的研究工作。建設和開動了垂直式的和傾斜式的實驗型和工業型的設備，這些設備帶有固定的和可動的結晶器，鋼坯移動是連續不斷和周期循環的。

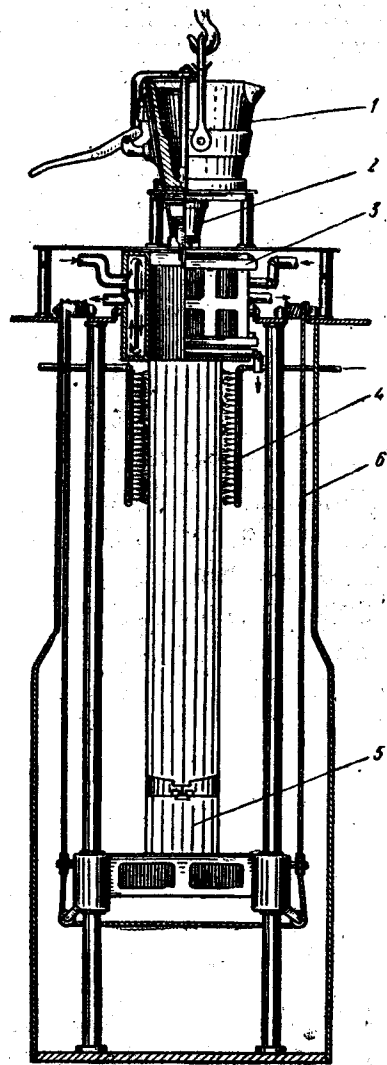
黑色冶金中央科學研究院於1944年開始了連續注錠的研究工作。

黑色冶金中央科學研究院的連續注錠的方法，是從鋼罐的注口經過中間澆注裝置，注入垂直的帶有銅壁的水冷式的結晶器。

黑色冶金中央科學研究院的 半連續注錠的實驗設備

黑色冶金中央科學研究院曾經逐次的建設了和實驗了幾個半連續注錠的設備，該設備拉出鋼

錠是用螺旋式和鋼索式的機械。



圖形 5 蘇聯黑色冶金中央科學研究院的鋼索傳動的半連續注錠的實驗設備：

- 1—盛金屬的罐；2—澆注裝置；
- 3—結晶器；4—二次冷卻系統；
- 5—結晶拉頭（Затравка）；6—鋼索。

該設備裝置帶有鋼索式機械的構造，見圖形 5。

由容積為 1.5 噸的電弧爐供給金屬，鋼錠長 3.5 公尺。在該設備上曾經多次實驗了圓錠（100, 150, 200, 280 公厘），方錠（100, 150, 200, 300 公厘）和矩形斷面錠（150×200, 150×300, 200×300, 150×500, 100×800 公厘等等）的研究，鋼種是炭素鋼和合金鋼。從而確定了這些鋼

種和形狀的連續注錠操作的基本參數。擬制和試驗了各種機械和部件的構造，其中特別重要的是結晶器。

在黑色冶金中央科學研究院的實驗設備上進行研究的結果，取得了有用於設計半連續的和連續注錠的工業設備的基本資料。

鋼錠形狀的選擇

研究證明：對連續注錠最合適的是扁平鋼錠—板坯。

這種形狀能保證很高的澆注生產率，因為在同樣的拉出速度下，矩形鋼錠所使用的金屬多於側面和直徑等厚於該矩形的方形錠和圓形錠所使用的金屬。

圓形錠具有的冷卻表面對比於其斷面積是較小的，較之同樣斷面積的扁平錠的凝固時間則很多。圓形錠的凝固的表面層同樣是弧狀的，而該弧狀阻礙着內層的結晶收縮，從而當強烈冷卻時容易形成高熱的內部裂紋。

圓形錠的結晶在鋼錠中心的不大的範圍內終止，因而金屬收縮的偏析所形成的一切缺陷，都集中在中心（圖形 6）。

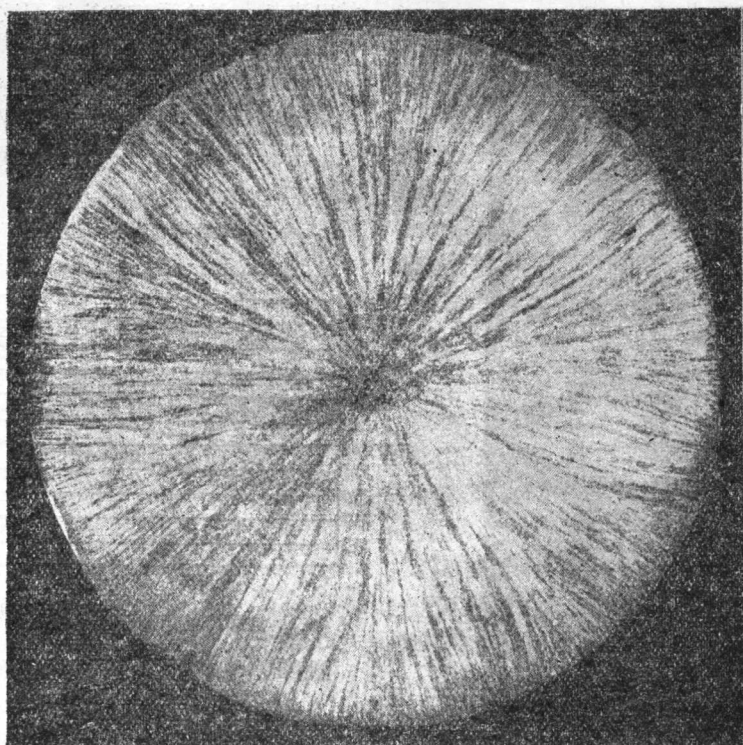
如同通常的用鋼錠模澆注鋼錠一樣，在造成外部縱向裂紋方面，圓形錠同樣是最不合適的一種形狀。而在方形錠也在較小的程度上出現這種情況。但是方形錠比圓形錠堅固性較小，由於壓凹面能緩和內部應力，減少着發生內部裂紋的危險性。

為着消除圓錠和方錠固有的缺陷，在許多國家（在美國〔1〕，在法國〔6〕），在連續注錠時改用橢圓形錠。

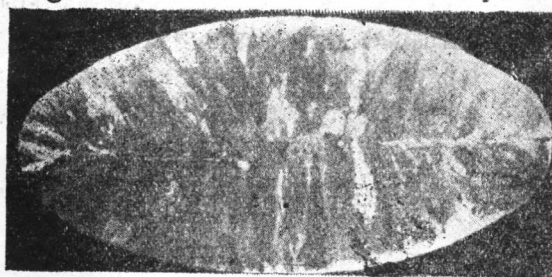
橢圓形有兩個相對的緩衝側面，因而減少了產生內部裂紋的危險性。柱狀晶體的生長，是在它們彼此接觸的瞬間，垂直於鑄件表面生長起來的。在橢圓形鋼錠中結晶不是終止在一點上，而是沿着長軸。晶體在不同的時間和不同方向達到這條中心線，因而在這種形狀中晶體的結合線表現得不很明顯（圖形 7）。

這種形狀的鋼坯可以軋成型鋼，也可軋成薄板、鋼帶。但是這種形狀有許多缺點：結晶器的製造有困難，軋製時在連續式加熱爐（Методический печь）內加熱鋼坯不方便。

扁平形狀不僅在凝固速度方面，而且在減少



圖形 6 由1X18-9T連續澆注的圓形錠的低倍組織



圖形 7 由不銹鋼連續澆注的橢圓形錠的低倍組織

造成內部裂紋方面都是較好的。板坯的兩個寬面很少阻礙收縮，從而未必能造成內部裂紋。在凝固結尾，生成的結晶體不是密集在一點，而是沿着中心線（圖形 8）；收縮的缺陷或者不發生，或者分散開，因而減少了收縮的危險。

扁平形狀鋼錠的寬厚度選擇合適時，可以用來作為軋制薄板和型鋼的鋼坯。

黑色冶金中央科學研究院的 結晶器的構造

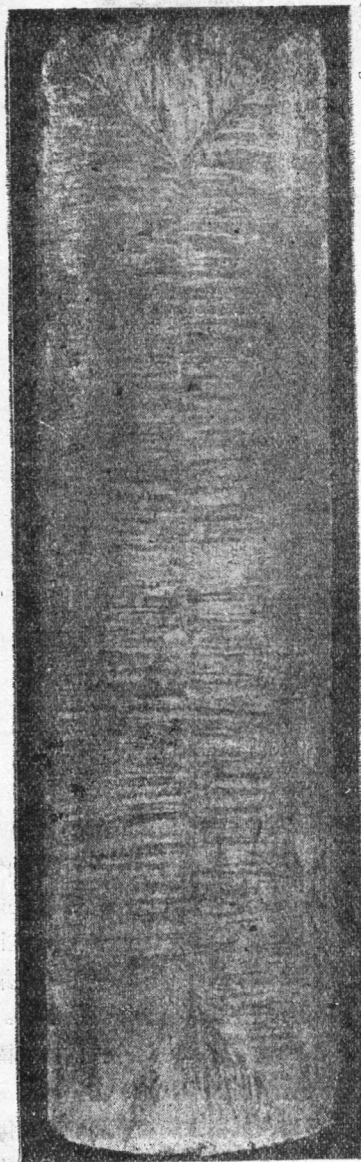
澆注圓形鋼坯的結晶器是由無縫銅管，或

者是由厚度 4~6 公厘的銅板制備的空心圓筒。外層的銅的圓筒加強着這個內面圓筒，在內面圓筒和外層圓筒之間通進循環水，循環水是從結晶器的下部到上部。為了消除熱膨脹時的縱向變形，在銅管的下面沒有對外層圓筒的堅固的支撐。

澆注扁平錠和方錠的結晶器的構造是比較複雜的（圖形 9）。在這種情況下結晶器是由四個獨立的牆壁組成的。每個牆壁由兩塊堅固聯結的板組成——內面是銅的，外面是鋼的。在銅的和鋼的兩塊牆板之間有通道，這裡通循環水，水是由水泵經過下部的聚集管進入由上部的聚集管排出。所有四個牆壁裝配在特殊的構架上，在構架上裝着輓床，結晶器可以沿着按裝在注錠台上的軌道而移動。

這種構造的結晶器，冷却水的消耗是 45~60 立升/秒（澆注斷面 $150 \times 500 \sim 600$ 公尺板坯時），給水的壓力是 5~6 大氣壓；在通道中水流速度是 6~7 公尺/秒。

為着提高熱傳導的強度，應該減小鋼錠表面和結晶器之間的空隙，如同實驗中已指出，在結



圖形 8 由 1X18H9T 連續澆注的板坯的低倍組織

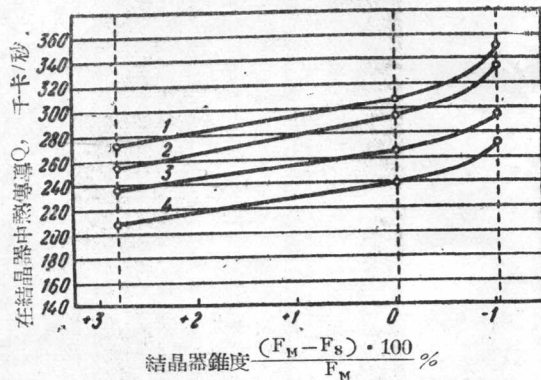
晶器中從金屬水平面起其距離在 $\sim 150 \sim 250$ 公厘上所產生的空隙。

爲了消除氣體空隙的有害影響，曾經採用了帶有「相反的」圓錐度的工作孔穴（下面的斷面小於上面的斷面）。研究熱變化指明：結晶器的下部斷面積較之上部斷面積減少從 $+3.21\%$ 到 -1.06% ，當拉出速度 500 公厘/分時，在結晶器中的熱傳導可以從 208 千卡/秒提高到 267 千卡/秒，或者是提高 28.5% （圖形10）。在這種情況下，從結晶器中出來的鋼錠外殼厚度從 29 到 37 公厘。採用帶有「相反的」圓錐度的牆壁，可以提高

拉出速度，消除縱向的外部裂紋和改進鋼錠形狀。

爲了在連續澆注中提高拉出速度採用長爲 1500 公厘的結晶器。

帶有「相反的」圓錐度的結晶器得到了良好的結果，並且目前在「紅十月」，新杜里斯克，「紅色索爾莫沃」等廠的連續注錠設備上應用着。



圖形10 結晶器牆壁錐度對導熱強度的影響

1—拉引速度 800 公厘/分；2—拉引速度 700 公厘/分；3—拉引速度 600 公厘/分；4—拉引速度 500 公厘/分。

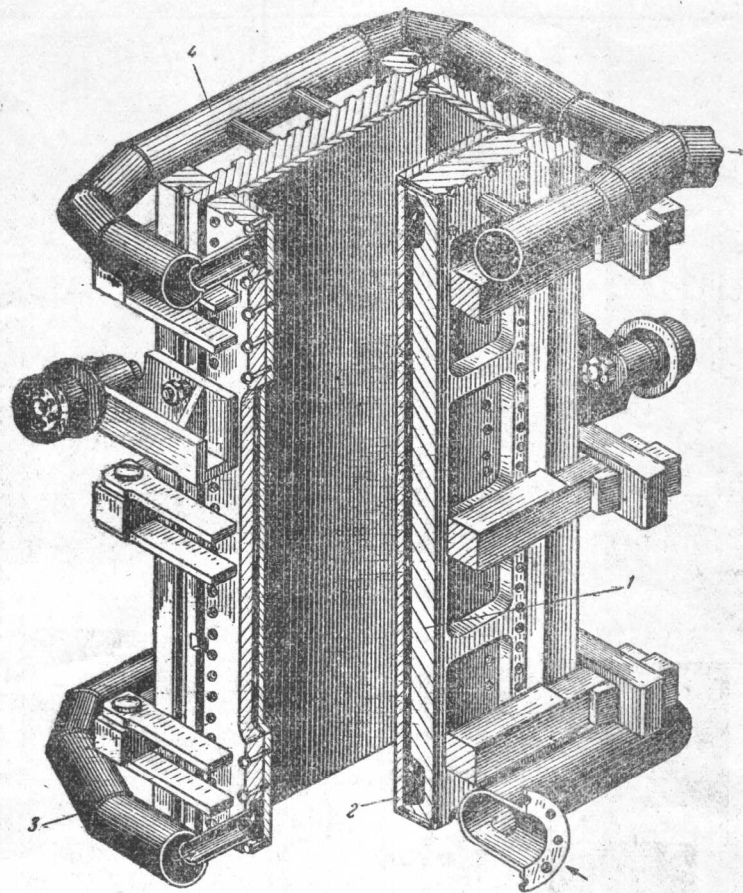
結晶器的鋼質牆壁已達到的壽命是澆注 $1500 \sim 2500$ 噸鋼。這個使用壽命對於工業應用應該認爲是十分滿意的。如果考慮到，磨損的僅是結晶器的鋼板，而其他部件的使用時間則是更長的。

「紅十月」工廠的半連續注錠的實驗工業型設備

第一個半連續澆注不銹鋼和耐酸鋼板坯其斷面爲 $150 \sim 180 \times 600 \sim 800$ 公厘的實驗工業型設備，在「紅十月」工廠建設於 1951 年。該設備的鋼錠移動是由帶有螺旋式機械的兩部機器組成的，能够澆注前述斷面的長達 7 公尺的板坯，從鋼罐的注口進行澆注，一部機器注完之後再澆注第二部機器。在這部設備上澆注斷面 150×600 的 $1X18H9T$ 鋼的板坯，其速度達到 $1100 \sim 1200$ 公厘/分（ 720 公斤/分或者 42 噸/小時）。

新杜里斯克冶金工廠（HTM3）的連續注錠設備

新杜里斯克冶金工廠於 1953 年十二月開動了



圖形 9 澆注板坯的結晶器的構造

1—鋼板；2—銅板；3—底部聚集管；4—上部聚集管。

連續注錠的設備。設備的設計是由鋼設計院和黑色冶金中央科學研究院共同完成的。

該設備可以澆注矩形鋼錠——寬達 600 公厘和厚達 200 公厘的板坯，以及圓形錠和方形錠。

連續鋼錠中液相的擴張深度是確定設備高度的主要條件。從結晶器中的金屬水平面到切成定長的連續鋼錠切剪的地方，其最低距離取決於液相的深度。

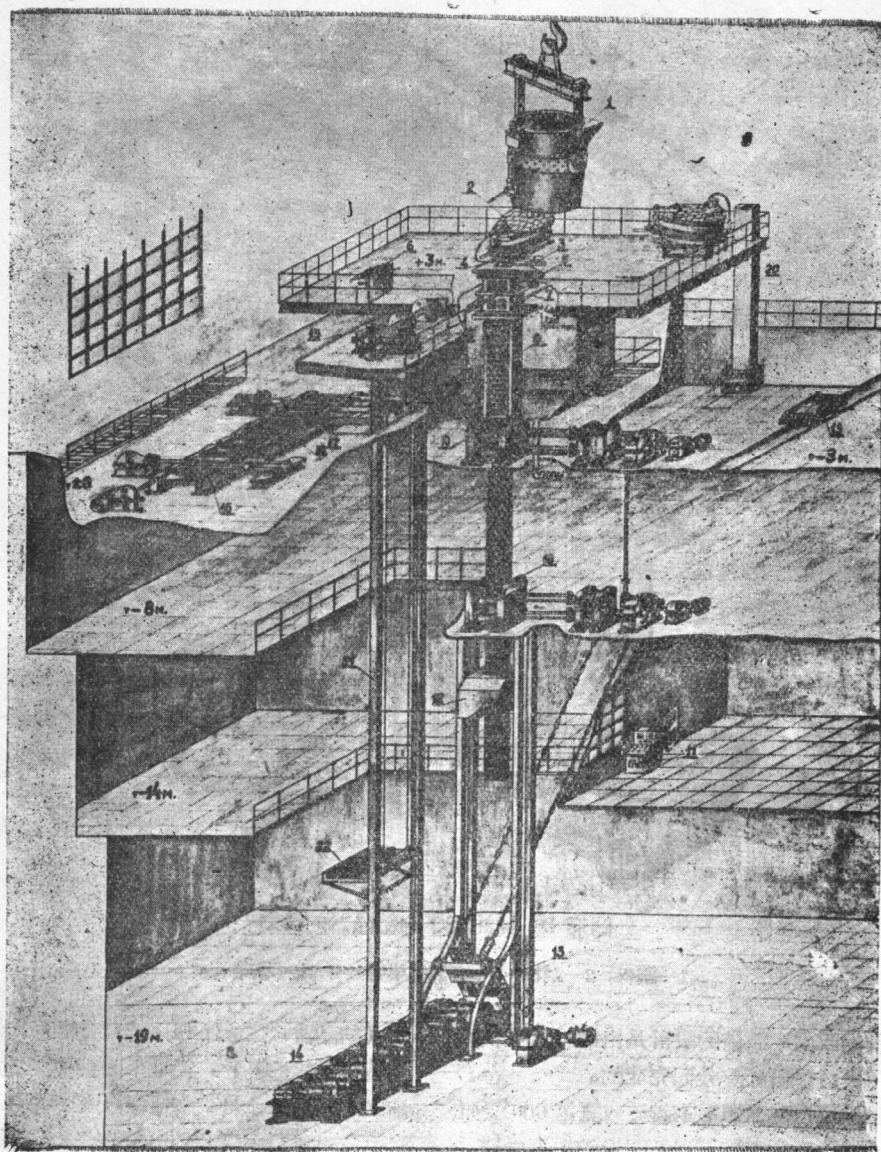
在使用硫和磷放射性同位素以測定液相深度的研究經驗指明，鋼錠中液相深度取決於鋼錠斷面的形式和尺寸、拉出速度、鋼的品種和二次冷卻的強度。

在這些經驗基礎上確定，當鋼錠的最大斷面鑄速為 1.5 公尺/分時，從結晶器到切剪處應該是 12 公尺。考慮到鋼錠在向下移動中切剪和按裝設

備（結晶器，二次冷卻系統，拉軋，火焰切剪，翻鋼機，傳送輦），從地平面到注錠平台全部設備之高應為 22 公尺。在這樣高度下從兩個工程方案中——塔式的和地下式的——選擇了地下式的。

地下式的方案可以將幾乎全部的設備按裝在坑池內，並且是和高出車間地平面帶有階梯構架的鑄錠台在一起的。在這種情況下，可以很容易的將新設備容納於現有的車間，而不須重加改建。從而也就產生了使用一般煉鋼車間的起重機，把盛有鋼水的罐送到注錠台的可能性。

HTM3 的設備按裝在原有車間的鑄錠跨間之側。主要機器裝置在深 19 公尺的坑池內（圖形 11）。附有結晶器和澆注裝置以及操縱台的注錠台，設在高出車間地平面 3 公尺之上。其他設



圖形11 新杜里斯克 (HTM3) 工廠的單注流的連續注錠設備的全景：

- 1—10噸的注鋼罐；2—2噸的中間注鋼罐；3—結晶器的自動清刷裝置；4—注口電熱器；
5—結晶器；6—一號操縱台；7—往復移動機械；8—二次冷卻；9—一號拉軋機架；11—
二號操縱台；12—火焰切剪；13—承受翻鋼機的裝置；14—傳送軋道；15—升降機械；16—
撥出機；17—押出機；18—堆置場軋道；19—拉頭 (Затравка) 輸送小車；20—結晶
拉頭；21—升降機；22—升降機小車。

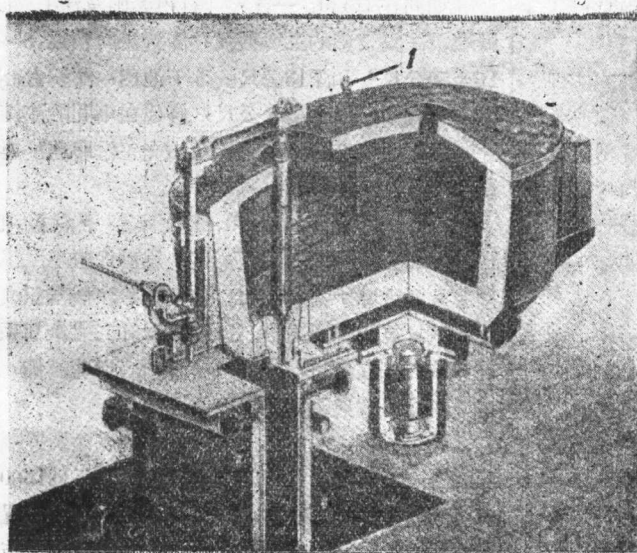
備放在四層的地下坑池內。

用帶有塞棒的十噸鋼罐進行澆注。

在澆注之前，向長1500公厘的結晶器內，引入結晶拉頭 (Затравка) 至700公厘處組成結晶器的底；結晶拉頭由兩部分組成，它的全長是

5.3公尺。

從鋼罐向結晶器注入鋼水，是經過容積為1.5噸帶有塞棒的中間罐實現的 (圖形12)。爲了減少熱損失，用蓋蓋起中間罐，在使用之前用煤氣加熱到900~1100℃。塞棒的注口座帶有利



圖形12 HTM3的連續注錠設備的中間罐
1—向變壓器

用電焊變壓器的電加熱器，因而能够採用小口徑注口使注出的鋼水流平靜而緊密。中間罐能滯留渣子和浮起非金屬夾雜物，這對於連續澆注操作有很大的意義。

在結晶器中形成的鋼錠在溝槽的幫助下——小燕尾（Ласточкина хвоста）——和拉頭相聯結。在結晶器中金屬達到一定的水平線（距頂端—300~400公厘）開動拉引機械，逐漸的加快到預定的移動速度。這時，拉頭和形成的鋼錠從結晶器中向下脫落並被拉出來。現時在 HTM3 的設備上正在試用着有往復移動的結晶器。

結晶器能下降40公厘，其速度相等於鋼錠移動的速度，上升速度則為三倍之多。從位於結構上部的特別裝置中，供給牆壁以熔化了了的石蜡以便清刷。採用往復移動的結晶器和清刷能够消除鋼錠外殼的橫裂。

從結晶器出來的帶有液體中心的鋼錠，進入二次冷卻帶，在這裡用水霧冷卻全部表面，大量的水是由特制的噴嘴供給的。從結晶器剛出來的鋼錠外殼有很高的溫度（~1200℃）並且不够堅固，為的是防止在鋼錠中心液體金屬柱的壓力影響下外殼結晶變形。因此，在二次冷卻帶的全長上（約3公尺）設有一些大輥，這些輥子裝配在寬軸承上的堅固框架上（圖形13），這可以消除

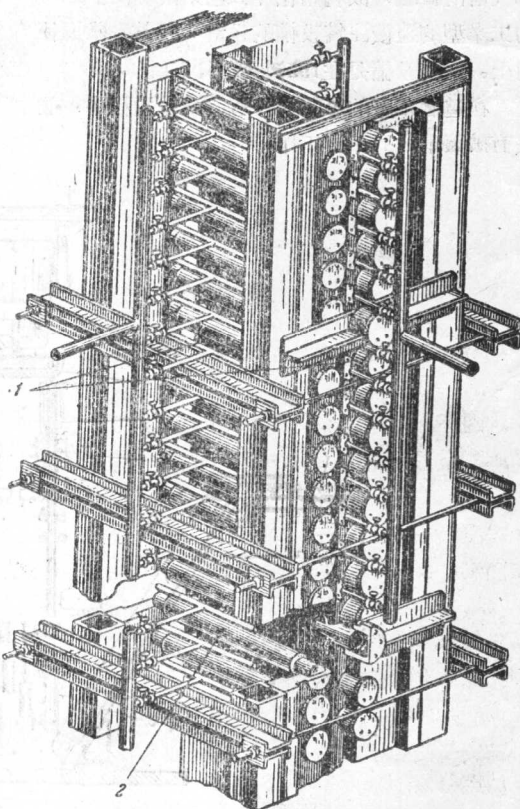
寬面向外彎曲同時冷卻着板坯表面。

鋼錠移動是由拉輥來實現的，拉輥是由位於記號（—3公尺）的二次冷卻帶之後的一部輥架，和由位於記號（—8公尺）的平台下部輥架組成的。為使上部輥架和下部輥架的輥子轉動速度相一致，由帶有錐形罩的垂直軸的傳動裝置聯結起來。

火焰切剪帶位於記號（—8公尺）和（—14公尺）的平台之間。

當拉頭的下部一經過切剪小車而其末端支持在翻鋼機吊斗的底座內的時候，拉頭的下半部就和其上部自動分開。

當鋼錠頂端達到切剪器，後者就和鋼錠聯在一起，並一同連帶向下在移動行程中進行切剪。切剪之後，切剪器放開並上升。一當切剪器位於距鋼錠頂端定



圖形13 HTM3連續注錠設備的二次冷卻系統

1—噴嘴；2—輥子。

長距離時，線路開關自動接通切剪的空氣缸，切剪聯結着鋼錠並進行重複的切斷作業。

被切成的鋼坯以及拉頭的上部和下部的清理方法如下：用電力推動翻鋼機的吊斗到鋼錠或者鋼坯的末端。被切斷的鋼錠用自身的重量壓在吊斗上並使之向下，臥置於安裝在坑池內的軌道上。用軌道把鋼坯從翻鋼機的吊斗取出並輸送到垂直的升降機，由升降機把鋼坯送到車間地平面之上。

切剪操作和從地下池向倉庫移送鋼坯，在HTM3工廠的設備上是自動化的。

在切剪帶鋼錠表面的溫度波動於850~900℃的範圍，而在向倉庫移送時的溫度在800~850℃的範圍。

「紅色索爾莫沃」工廠的連續注錠的設備

新杜里斯克冶金工廠的連續注錠設備的使用和設計的經驗，被利用在「紅色索爾莫沃」工廠的工業型的連續注錠設備的設計、調整和掌握使用上。這套設備是在1955年五月開工的。

在這個工廠的車間建設這套設備過程中，並沒有破壞車間的正常工作。

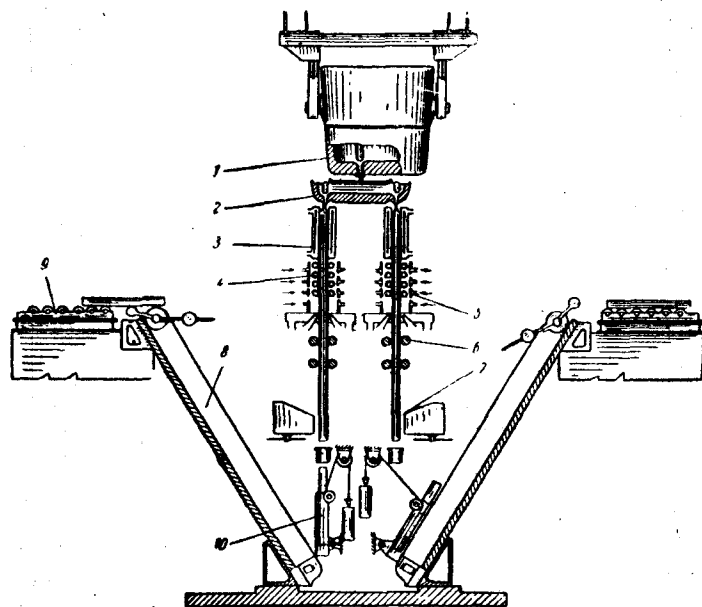
如同在HTM3一樣，「紅色索爾莫沃」工廠連續注錠設備的主要機械，佈置於面積為 $5 \times 10 = 50$ 公尺²和深13公尺的地下池內。注錠台高出車間地平面以上3.8公尺，修建在車間的注錠跨間內以便使車間原有的起重機能正常服務於連續注錠設備（圖形14）。

該設備預計由容積50噸的鋼罐，澆注斷面 175×420 公厘的劃一的矩形坯。為着保證澆注這樣重量的金屬，該設備是用兩個澆注機器組成的，並且每個機器有自己的結晶器和二次冷卻系統，彼此獨立的拉引機械和自動燃燒切剪設備，以及向倉庫移送鋼坯的輸送裝置。

金屬從鋼罐的主要注口注入中間澆注裝置，從這裡經過兩個注口，同時澆注於兩個長為1500公厘的固定的結晶器內。容積3.5噸的澆注裝置帶有具備電熱器的粘土石墨注口，和帶有為了防止向結晶器流入渣子的隔牆。

「紅色索爾莫沃」工廠的連續注錠設備，在每一行列有一個拉引軛架、擺式翻鋼機和傾斜的輸送帶，以便傳送鋼坯到車間地平面之上。這樣就可以減小設備的型式。

現時已經達到的澆注的直線速度是900公厘/分，設備生產率是45~55噸/小時。



圖形14 「紅色索爾莫沃」工廠連續注錠的雙注流設備圖

- 1—罐；2—中間澆注裝置；3—結晶器；4—預防鋼錠外殼膨脹的軛子；5—二次冷卻部份；6—拉引軛子；7—火焰切剪；8—輸送帶；9—接受台；10—翻鋼機。

連續注錠的金屬質量

結晶速度越高，鋼錠的結晶結構越細小，在組成結構的金屬全部體積內分佈的越細小均勻，金屬的機械性質越高。

澆注金屬於金屬模內鋼錠的高速度結晶，相對的只出現於與鋼錠模壁相接觸的鋼錠外部；向鋼錠中心，結晶速度不斷地降低。結晶主要的只是在徑向方向移動。

從得到理想的鋼錠質量的觀點必須具有這樣的條件，就是結晶移動趨向於接近中心軸的方向。具有很高的熱傳導性的有色金屬的連續澆注，然後隨之用水強烈的冷卻錠子的表面，就能夠接近這種理想的結晶條件；熱傳導的方向趨向於中心軸，液體金屬的「小圓穴」（Лунка）是不深的。消除了錠子中心部位的縮孔缺陷的形成。

輕金屬和合金的連續注錠操作的迅速應用能促進錠質量極大的改善。

但是為了中心導熱和淺平的結晶面的形成，甚至對於具有很高的熱傳導性的鋁及其合金，澆注速度都是不很大的（150~200公厘/分）。

鐵的導熱性比銅小十倍，比鋁小六倍。為了達到中心導熱和得到不深的小穴，鋼的澆注速度應該僅是一分鐘幾個公厘，但在實踐中這是既不可能，而在經濟上又是不利的。

因此，鋼的澆注，必須較之為了得到淺平的不深的小穴所需要的條件要快得多的速度。

澆鑄速度取決於鋼錠斷面的形狀和尺寸，現有設備已達到的速度在0.5~1.5公尺/分之間，而對於極小的斷面的鋼錠，其速度提高到每分鐘數公尺。在這種條件下，液體小穴的深度有數公尺之長。例如，我們的經驗指明：在澆注斷面150×500公厘、速度為700公厘/分的板坯於長為1.5公尺的結晶器內，在強烈的二次冷卻下（每一公斤鋼用五公升水），小穴的深度達到4200公厘，而在二次冷卻強度較小的情況下，其深度達到4700公厘。

因此，在一定程度上減少了鋼錠內部組織方面的某些優越性，也就是在低的拉出速度下，連續澆注輕金屬、有色金屬及其合金所能保證達到的那些優越性。如同在一般的錠模中澆注一樣，由於液體金屬難於供應鋼錠的下段，中心疏鬆狀

態的縮孔缺陷的出現和「橋」（Мостов）的形成成為可能。

但是，和高速結晶相聯的一些優越性，依然存在。在用連續注錠法所注成的鋼坯內，常發現有較小的晶體結構，結構組織的分佈較緻密和均勻，偏析元素現象的發展比一般的大鋼錠要小。由於偏析發展較小，中心疏松帶不能伴隨有偏析物的產生，因此中心疏松帶的危險性比一般鋼錠要小；為了獲得在質量上同一般鋼錠產品等價的產品，要求在軋制或鍛制時有較小的壓下量。

圓形錠和方形錠的質量

用連續澆注法得到的圓形錠和方形錠，其中心疏鬆度很大。這在蘇聯和外國所進行的許多工作中得到證明。例如，斯伯特認為〔2〕：連續澆注的方形鋼錠和圓形錠在中心疏鬆度方面，比一般的用不帶保溫帽的鋼錠模注成的鋼錠要好得多，但是比帶保溫帽鋼錠模注成的鋼錠則較壞，

圓形錠和方形錠中的中心疏鬆度，取決於二次冷卻的強度和拉出的速度。

在高強度冷卻下中心疏鬆發展較弱，但在橫斷面能形成裂紋。

在降低冷卻強度時，由於液狀小穴深度的稍許增加，中心疏鬆度就更加厲害（增加了組成「橋」的可能性）。

當減小鋼錠斷面積時，同樣增加着中心疏鬆度。這點可以解釋為，為了提高小斷面鋼錠的生產率就提高澆注速度，結晶面由較小錐度的模子取得，從而增加了組成「橋」的可能性。

連續澆注的鋼錠中比較大的斷面（ ϕ 280公厘，方形300×300公厘）的中心疏鬆度並不大於一般的鋼錠（圖形15），而這種鋼錠的特點就在於無論就其斷面或長度的化學成份都具有均勻性。

當熱軋或鍛制時，連續注成的鋼錠的中心疏鬆並不妨礙取得緻密斷面的成品。

斯伯特〔2〕，克拉依聶耳和塔爾曼〔3〕指出，對於炭素鋼的鋼錠，甚至在三至四倍的壓下量，足以得到斷面緻密的、機械性質和其他性質很好的軋制的或者鍛制的鋼坯。

經驗確定，由炭素鋼25或者Y7注成的方形錠和圓形錠，甚至在兩倍壓下量時，鋼坯中的疏鬆幾乎全部被消除，雖然鋼坯中心帶的機械性質