

第一次全苏連續鑄錠會議文件汇编

连续铸锭论文集

苏联科学院 編

冶金工業出版社

第一次全苏連續鑄錠會議文件汇编

連續鑄錠論文集

苏联科学院 編

冶金工业出版社

連續鑄錠論文集

苏联科学院 編

編輯：杜华云 設計：朱駿英 校對：趙崑方

—— * ——

冶金工业出版社出版（北京市灯市口甲45号）

北京市書刊出版業營業許可証出字第068号

通州区印刷厂印 新华書店发行

1959年7月第一版

1959年7月第一次印刷

印数5,000册

$89.0 \times 116.5 \cdot \frac{1}{32} \cdot 320,000$ 字 • 印張 $11 \frac{22}{37}$ •

—— * ——

統一書号15062 • 1508 定价 1.40 元

出版者的話

在当前鋼鉄生产大跃进中的主要矛盾就是軋鋼生产力落后于炼鋼，在軋鋼这一关中开坯能力也嫌不足，因而采用連續鑄錠法对提高鋼材产量将有很大的实际意义。此外，連續鑄錠是一种新技术，此法比普通浇鑄法具有很多优点，如可直接由鋼水得到供下步加工用的鋼坯並能提高軋材的合格率等等。

本論文集是根据苏联 1955 年 10 月全苏第一次連續鑄錠會議文件汇编譯出。其中部分文章曾先后以专刊形式出版过。为了完整起见，这次也将該部分文章收集在本論文集中。目前我国許多工厂正在試驗連續鑄錠法。很需要这类参考資料。为了满足这一要求，我們特将全苏連續鑄錠會議文件汇编組織翻譯出版，以供我国冶金工作者参考。

目 录

連續鑄鋼會議的任务…И. П. 巴尔金院士的开幕詞……………	1
連續鑄鋼过程的研究…В. С. 魯捷斯和Л. П. 耶夫捷也夫…	2
連續浇注鑄坯之质量研究……………Н. А. 尼科萊也夫…	60
新土拉冶金工厂連續鑄鋼裝置的构造…В. П. 德魯日尼…	76
「紅索尔莫沃」工厂 連續鑄鋼裝置之工作……………А. В. 赫里普柯夫…	82
連續浇注金屬质量的研究……………Н. А. 柯曼金…	89
連續浇注特殊鋼及碳素鋼的特征……………М. С. 鮑 依琴柯…	102
中等产量的平爐車間高尔达 滨式連續鑄鋼裝置 的 設 計……………Г. А. 高尔布茲…	120
用 ПНЛ 型鑄鋼机 浇鑄不銹鋼……………Б. З. 柯諾諾夫…	125
輸送式連續鑄鋼机……………М. Ф. 高尔达宾…	138
不經中間加热进行橫軋用 小断面鑄坯的連續浇注法……………А. С. 尼基弗洛夫…	148
工业性連續鑄鋼裝置的标准結構……………В. В. 弗里馬赫特…	155
在工业中采用連續鑄鋼代替普 通鑄錠的試驗結果 及 其 远 景……………Л. И. 莫罗津斯基…	162
影响凝固层滑动的連續鑄 鋼工艺的几个基本因素……………И. Я. 格拉納特…	176
傾斜式連續鑄鋼法……………Е. С. 别尔明欽…	189
連續浇注的鑄坯成型特点……………О. Д. 吉盖里…	199
在連續浇注中的氧氣切割……………О. Ш. 斯彼克托尔…	216
連續浇注条件下鋼水的結晶与特性……………А. П. 布罗諾夫…	231
連續鑄坯內的气体和非金屬夹杂物……………В. И. 亚沃斯基…	245
对凝固期中鋼的机械性能的研究与 連續鑄鋼时热裂紋形成过程的分析…Л. М. 波斯特諾夫…	261
	Б. Б. 古良耶夫

連續鑄鋼會議的任務

——И. П. 巴尔金院士的開幕詞——

根据苏联部长會議副主席 И. Ф. 捷沃西安同志的委托，由 А. М. 薩馬林、Н. А. 布洛欣、К. И. 郭斯捷夫、А. Ф. 梅尔茨莫夫，П. Н. 庫什尼尔、А. П. 普罗諾夫，Б. В. 費契列夫和 В. И. 雅沃依斯基組成的委員會，了解了連續鑄鋼的科学研究結果和連續鑄鋼机的使用結果。

为了在日常生产中采用新的先进鑄鋼方法，当然还須要解决許多复杂的課題。然而，我們今天可以說通过苏联冶金工作者的努力，业已証明了实现連續鑄鋼在技术上是可能的。

由于沒有在各研究組之間組織經驗交流，研究工作者力量分散，而且几乎完全沒有进行理論性的研究工作，以致拖延了获得良好結果的时间。应尽快消除这些缺点。

在苏联部长會議副主席 И. Ф. 捷沃西安同志召开的專門會議上听取了委員會的報告。为了广泛地交流經驗，确定下一步的科学研究方向，委托苏联科学院来召集这次連續鑄鋼會議，并責成由薩馬林，П. Е. 索科洛夫，А. А. 哈巴赫帕舍夫，郭斯捷夫，В. С. 魯捷斯，А. А. 柯托甫 失濶夫和 Ю. Н. 柯热甫尼濶夫組成的組織委員會作會議的筹备工作。

在上述會議上，捷沃西安同志指示各个部，要在今年第四季度結束对現有鑄鋼机所进行的研究工作，并应向我国各鋼厂提出有关使用何种型式鑄鋼机和浇鑄方法的建議。这项指示就决定了这次會議的工作方向和內容。

首先，必須詳細而客观地闡述已取得的成果，以此交流过去一段的工作經驗；其次是根据所得到的成果鑑定連續鑄鋼机的各部分結構和浇鑄方法，从而确定它們是否适于在工业上应用；再次是拟定下一步的研究大綱，以改进浇鑄方法，改进机器和消除連續鑄鋼机上浇得的鑄錠的缺陷。

連續鑄鋼过程的研究

B. C. 魯捷斯和 Л. П. 耶夫捷也夫

中央黑色冶金科学研究院

中央黑色冶金科学研究院曾对連續鑄鋼过程的掌握进行了研究。在研究工作中，确定了过程主要参数（浇鑄速度、液相深度、浇鑄金屬的溫度、鋼号、冷却强度等）之間的相互关系。熟悉这些主要参数即可着手設計和建造工业性的連續鑄鋼設備。新土拉冶金工厂及「紅索尔莫沃」工厂第一批工业性装置的工作經驗証实，以前所得到的过程规律性是正確的，同时在掌握上述設備的过程中，也发生了一些新的問題。

其中主要問題之一是，將浇鑄速度提高到一定的限度，以保証在較短的時間內浇鑄較大量的液体金屬，也就是提高設備的生产能力。浇鑄速度的提高会引起連續鑄坯中液相深度的增加、結晶綫的改变（即結晶器出口处鑄坯凝固表层厚度的縮小）、鑄坯表面与結晶器器壁之間的摩擦值的改变等等。

急剧冷却可保証得到細粒組織的鑄坯，但另一方面，鑄坯的激冷将引起內裂縫的形成。这样，为了拟定最优越的連續鑄鋼工艺过程，必須确定操作过程中所有的重要参数——浇鑄速度、冷却强度等——与所得之連續鑄坯质量之間的相互关系。要解决这些任务，不进行广泛的連續鑄鋼过程的理論研究是不行的。

工作經驗指出，在研究过程中主要方向应当是研究鋼的結晶与热交换的条件。了解了这几点即可提高浇鑄速度，改善鑄坯质量，制造构造合理、寿命較长和二次冷却操作正确的結晶器，从而保証設備生产率提高。

研究題目：研究連續浇鑄时鋼的結晶和热交换的第一阶段，包括有下列題目：

1. 研究連續鑄坯与結晶器之間的热交换和結晶器通道中水的流速、結晶器工作壁的錐度以及浇鑄速度之間的關係。

2. 研究二次冷却区内鑄坯与水之間的热交换条件。

3. 研究連續浇鑄过程中鋼的結晶条件。

研究方法：根据所提出的題目，采用了下列研究方法。

1. 利用測量結晶器銅壁溫度，或者測量通过結晶器的冷却水的消耗量及其加热溫度的方法，測定結晶器中的散热量。

2. 測量二次冷却区的耗水量及水的加热溫度，以确定二次冷却区的散热量。

3. 用試驗的方法測定連續鑄坯中液相深度和結晶綫，以研究鋼的結晶条件。

連續鑄坯中液相深度及

結晶綫的确定①

采用两种方法确定液相深度和結晶綫：射綫照相法及測量鑄坯內部溫度的方法。

射綫照相方法包括在浇鑄末期在鑄坯中加入一定数量的放射性同位素：磷 P^{32} 或硫 S^{35} ，同时兑入液体鉛（图1）。从鑄坯上切得橫向和縱向試样，磨光以后，摄取其射綫照片，即可确定結晶綫在鑄坯高度上和橫断面上的位置。可按切割鑄坯过程

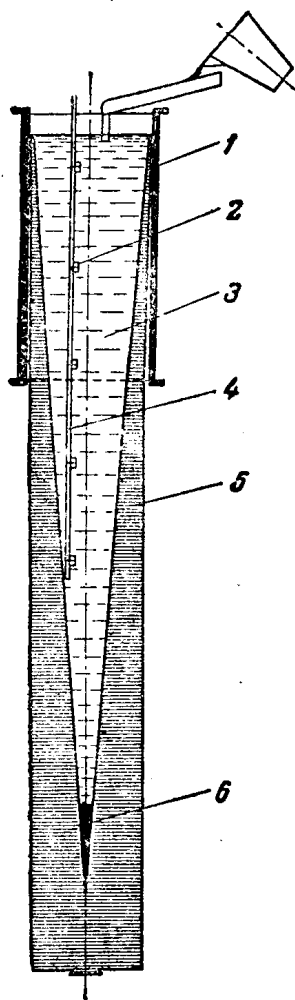


图 1. 鑄坯中加入鉛和放射性同位素磷以确定液相深度和液相形状
1—結晶器；2—同位素磷；3—鋼水；4—鉄杆；5—凝固硬壳；6—鉛

① 中央黑色冶金科学研究院、新土拉冶金工厂及【紅索尔莫沃】工厂。

中所发现的鉛的分布位置来确定液相的深度。

第二种方法，是用装置在引坯中的鉑—鉑銻热电偶測量結晶鑄坯内部的溫度。热电偶的接头 距引坯 300—400 公厘，并用石英套保护。热电偶的电极安在外部衬有耐火材料的鋼管内。后来用中央黑色冶金科学研究所研究出的 ЦНИИЧМ—1 型电极制做热电偶。在这种情况下，接头上沒有保护套，在浇鑄过程中直接与液体金屬接触。用专门的仪表记录热电偶的讀数。按溫度—時間

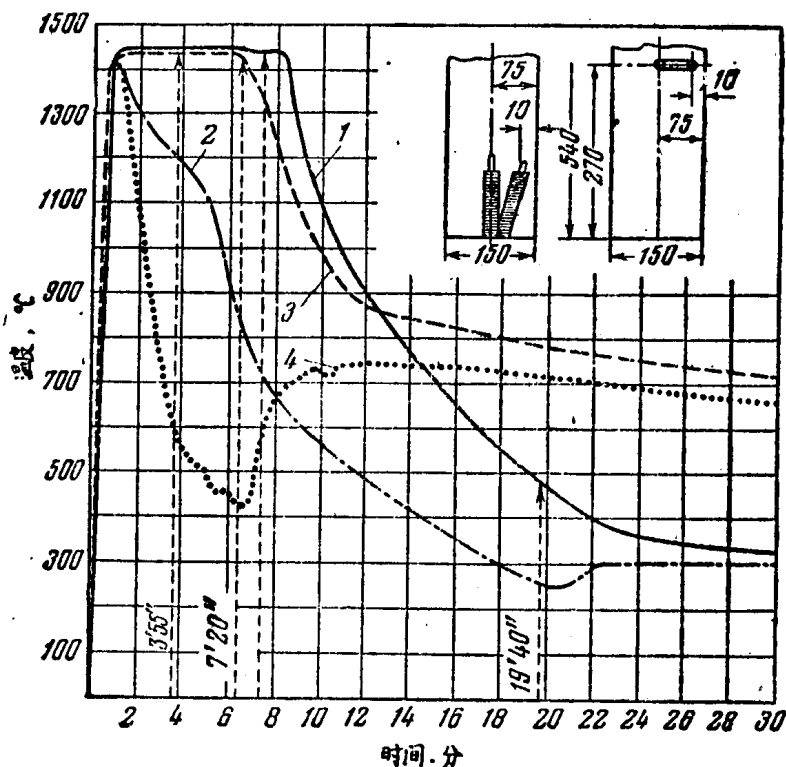


图 2 热电偶在鑄坯内部的布置簡图及金

屬溫度与時間的关系

1X18H9T 不銹鋼№28鑄坯

1—中心；2—表面；7'20"—浇鑄時間；19'40"—二次冷却時間，

Y8TA 鋼№88鑄坯；3—中心；4—表面；3'55"—浇鑄時間；

6'30"—二次冷却時間

座标上曲线的拐点确定鑄坯完全凝固的时间（图2）。

所进行的試驗結果确定，扁坯完全凝固的时间，例如3号鋼，在鑄坯厚度为150公厘时是6分鐘，并在一定的鑄坯冷却条件下，液相深度与浇鑄速度成正比，即

$$L = 6 \cdot v. \quad (1)$$

式中 L ——液相深度，公厘；

v ——拉坯速度，公厘/分鐘。

由測量鑄坯内部（沿其軸心）溫度的方法所得到的完全凝固时间，和用放射性同位素和鉛所得到的液相深度的結果是很符合的。設完全凝固时间为6分鐘，当拉坯速度为315公厘/分鐘时，所得到的液相深度为1890公厘，当拉坯速度为500公厘/分鐘时，液相深度为3000公厘，拉坯速度为600公厘/分鐘时，液相深度为3600公厘，拉坯速度为700公厘/分鐘时，液相深度为4200公厘。用射綫照相法得到的液相深度，在上述拉坯速度下，分别为1900，3030，3630及4160公厘。根据厚度为150公厘的3号鋼鑄坯完全凝固时间的試驗数据来看，平均結晶速度等于12.5—14.6公厘/分（0.156—0.244公厘/秒）。

当研究連續鑄鋼工艺过程时，結晶器出口处鑄坯凝固层的厚度有很大的意义。用射綫照相法确定凝固层厚度的結果指出，結晶器出口处凝固层的厚度随着浇鑄速度的增加而减小。这样，当浇鑄厚度为150公厘的3号鋼扁坯时，結晶器出口处凝固层厚度为：

浇鑄速度（公厘/分）	凝固层厚度，公厘	
	宽面	窄面
400	50	40
550	46	37
700	42	33

上述情况下，宽面长度与窄面长度之比在3.2—4.0范围内。

由所列出的数据看到，窄面凝固层厚度比宽面小些，这是由于凝固时鋼发生收縮，鑄坯与結晶器之間，形成空隙的条件不同所造成的。沿窄面的空隙形成的比宽面早。随着宽面长度与窄面

长度比值的减少,宽窄边凝固层厚度差异减小。当比值等于2时,得到下列结果:

浇铸速度 公厘/分	凝固层厚度, 公厘	
	宽面	窄面
315	50	49
600	34	32

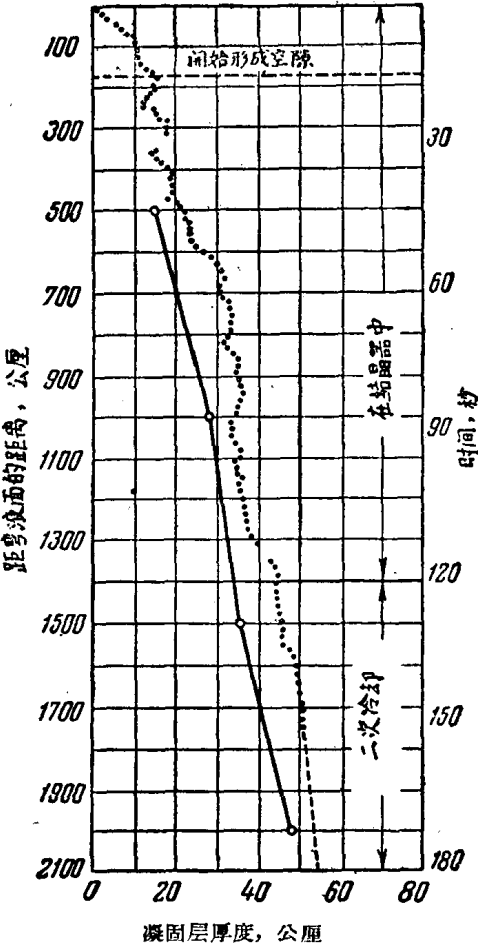


图 3 3号钢铸坯断面为150×475公厘, 浇铸速度为700公厘/分, 铸坯高度上凝固层厚度的变化
虚线——宽面; 实线——窄面

由上述数值可以确定, 3号钢凝固层厚度与单位时间内结晶器的散热数值及铸坯断面周边间的下列相互关系。

$$\delta = \frac{Q}{11.5vP} \quad (2)$$

式中 δ ——凝固层厚度, 公厘;
 Q ——散热值, 大卡/秒;
 v ——浇铸速度, 公尺/分;
 P ——铸坯周边, 公尺。

确定150×600公厘1X18H 9T 不锈钢铸坯凝固层厚度的结果, 也说明凝固层厚度随浇铸速度的增加而减小。拉坯速度由500公厘/分提高到1200公厘/分时, 结晶

器出口处凝固层厚度由 50 减少到 20 公厘。

根据所列出的资料可以得出,断面厚度为150公厘的3号鋼扁鑄坯,当浇鑄速度为 400—700公厘/分时,宽面的平均凝固速度变化为 15.4~22.7公厘/分,而窄面变化为 12.3~17.8公厘/分。浇鑄 150×600 公厘的 1X18H9T 鋼鑄坯时,当拉坯速度为 500—1200 公厘/分时,平均結晶速度为 17.8~17.1公厘/分。

所列出的 1X18H9T 鋼和 3 号鋼鑄坯,其宽面长度与窄面专度之比值為3.2—4.0。当此比例值减少到 2.0—2.4 时。3 号鋼平均凝固速度增加到 17.4~20.7 公厘/分(浇鑄速度为 500—600 公厘/分)。

鑄坯由結晶器抽出后,結晶速度逐渐减小,这可以由表示高度的凝固层厚度沿着鑄坯的变化曲綫图中看出(图 3)。

除此之外,由此图中还可看到,結晶綫并不是平坦的曲綫或平直的表面,而是有凸起或凹陷的,这是由于結晶器中鑄坯冷却的不均匀、液体鋼流冲刷的作用、初晶形成的速度不同,以及介质的物理状态等不同的原因所造成。在不銹鋼鑄坯中,凝固层厚度的变化特别不均匀。而在鑄坯凝固末期,結晶綫的不均匀性則逐渐减小。

确定連續鑄坯中結晶綫和液相深度的結果,可以得出下列的結論:

1. 液相深度的数值与拉坯速度成正比。
2. 在結晶器出口处鑄坯凝固层厚度随着拉坯速度增加而减小。
3. 宽面长度与窄面长度之比值愈大,則宽面凝固层厚度比窄面凝固层厚度亦就愈大。
4. 結晶器中鑄坯凝固层的平均結晶速度高于整个鑄坯的平均結晶速度。
5. 沿着鑄坯高度的凝固层厚度的变化是不均匀的。鑄坯凝固末期結晶綫逐渐趋向展直。

結晶器与二次冷却区热交换的研究,

結晶器的热工条件

結晶器中的散热量与其通道中水的流速和澆鑄速度之关系。将 3 号鋼及 1X18H9T 鋼澆成 150×500 及 150×600 公厘扁鑄坯时,对結晶器热交换与其通道中水的流速及澆鑄速度的关系进行了研究。

根据測量結晶器中水的耗量及水的加热溫度确定了散热量。耗水量用裝置在排出管上的流量板及环形无标度的流量計进行測量,后一种流量計上带有将讀数传送到第二个仪表的感应传送器或 ДПЭС 型浮子式差示讀数的压力計。結晶器进水和排水系統安装有鉻鋁鉄合金—鋁鋁矽鎂合金差示热电偶,其据有很小的慣量,对測量結晶器进出水溫度差有很大灵敏度。根据上述的測量,可以按下面公式計算出单位時間內結晶器总的散热量。

$$Q = CWr\Delta t。$$

式中 C ——水的热容量,大卡/公斤·°C;

W ——水耗量,立升/秒;

r ——水的比重,公斤/立升;

Δt ——結晶器中水的溫升,°C;

Q ——散热量,大卡/秒。

試澆 3 号鋼时所得到的結晶器中水加热溫度的变化与其通道中水流速(或結晶器耗水量)的关系的数据列于表 1 和图 4 澆鑄金屬的溫度等于 $1560-1590^{\circ}\text{C}$ 。

由列出的試驗数据得出,随着結晶器通道中水流速的減慢(或水耗量的減少),水的受热溫度不断升高;但散热强度实际上並沒有改变,因为冷却水加热溫度的升高抵償了水耗量的減少。例如,在以 400 公厘/分的速度經過 150×600 公厘断面結晶器进行澆鑄的情况下,冷却水流速由 5.27 降低到 2.94 公尺/秒时,水的溫升由 8.2° 提高到 13.8°C ;澆鑄速度为 480 公厘/分时,經過 150×500 公厘断面結晶器的冷却水,流速由 5.64 降到 3.85 公尺/秒

时，水的温升由 5.3°C 提高到 8.2°C。在第一种情况下，散热量波动在 308—237大卡/秒范围内。在第二种情况下散热量波动在 232—246大卡/秒范围内。铸坯宽度由 600 公厘减少到 500 公厘时，对于结晶器中水的受热温度没有很大的影响。

表 1

浇铸 3 号钢时结晶器中之散热量

浇铸速度 (公厘/分)	通道中水的流速 (公尺/秒)	水的温升 (°C)	散热量 大卡/秒
400 (铸坯150×600)	2.94	13.8	287
	3.78	10.6	234
	5.27	8.2	103
	3.20	9.5	207
450 (铸坯150×500)	3.85	8.0	240
	4.50	7.0	244
	5.13	5.8	232
	5.60	5.5	243
480 (铸坯150×500)	3.85	8.2	246
	4.50	7.0	245
	5.13	5.8	244
	5.64	5.3	232

为了确定浇铸速度对散热强度的影响，在浇铸 3 号钢时，曾进行了专门的试验。在同一炉钢的浇铸过程中，拉坯速度变化为 300—800 公厘/分。试验在两个不同锥度的结晶器中进行，结晶器锥度为：

$$\frac{F_H - F_B}{F_H} \cdot 100。$$

式中 F_H ——结晶器下部横断面积；

F_B ——结晶器上部横断面积。

当进行上述之试验时，结晶器采用了下面的锥度：

$$\text{№1 结晶器} \dots\dots \frac{F_H - F_B}{F_H} 100 = +3.21\%；$$

$$\text{№4 结晶器} \dots\dots \frac{F_H - F_B}{F_H} 100 = -0.02\%。$$

在这两种情况下，結晶器中的耗水量均为 60 立升/秒。

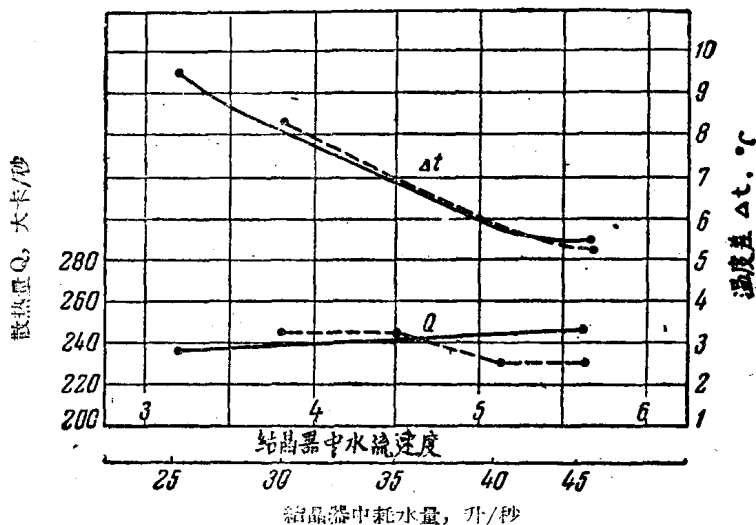


图 4 結晶器中耗水量与散热量的关系

虚线——金属温度 1590°，浇鑄速度 480 公厘/分；实线——金属温度 1560°，浇鑄速度 450 公厘/分

分析上述試驗的結果(图 5)指出，单位時間內結晶器散热量随着浇鑄速度的提高而增加，浇鑄速度由 300 增加到 800 公厘/分时，散热量提高了 110 大卡/秒，或是提高了 56~63%，但是当浇鑄速度接近于 800 公厘/分时，散热量增长的速度逐渐缓慢。

在 150×600 公厘結晶器中，浇鑄 1X18H9T 鋼时也得到了近似的數據。当浇鑄速度由 500 增加到 1200 公厘/分时，結晶器中的散热量由 360 提高到 567 大卡/秒。

由上述試驗数据也可以确定，結晶器工作壁錐度与散热量的关系：錐度由 +3.21% 变化到 -0.02%，也就是改变 3.23% 时，散热量可相应增加 30 大卡/秒，或增加 62800 大卡/公尺²·小时。散热强度随着結晶器工作壁向下收縮的錐度变化而增加的实际作用，可由按公式 (2) 計算結晶器出口处鑄坯凝固层厚度的結果加以鑑定。鑄坯凝固层厚度随着錐度由 +3.21% 变化到 -0.02% 而增加了 12—19%。

在整理用热工控制仪表测得3号鋼 (Cr.3) 在不同錐度的結晶器中和不同拉坯速度下的浇鑄过程的讀数之后所得到的数据, 很好地証实了此次研究浇鑄速度及結晶器錐度对于結晶器中散热

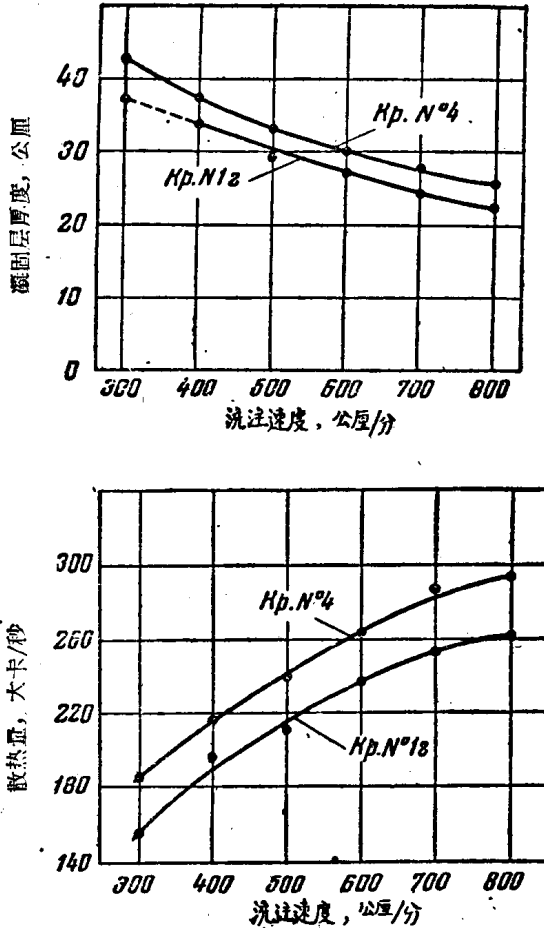


图 5 3号鋼浇鑄速度对結晶器出口处鑄坯凝固层厚度以及結晶器散热量之影响

量影响的試驗結果 (图 6)。

金屬水平面的波动及伴随凝固层破坏所产生的“悬挂”对結晶器散热强度有很大的影响。当“悬挂”时, 在凝固层破裂的地

方，液体金属与结晶器壁直接接触，因而散热量显著的增加，水的加热温度亦将增加 1.5 到 2.0°C。

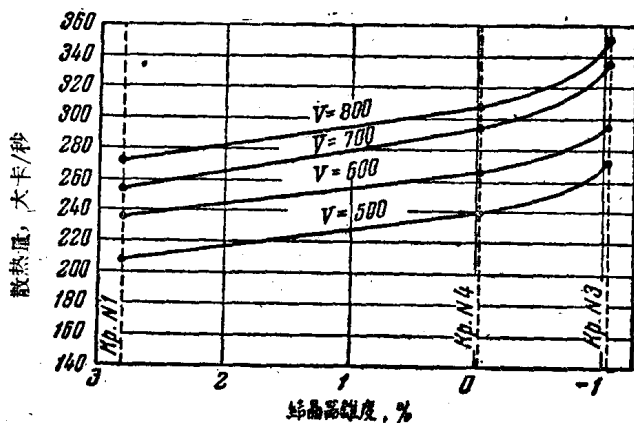


图 6 在不同的浇铸速度下(V , 公厘/分)结晶器中的散热量与结晶器锥度的关系

这样，根据研究结晶器通道中水的流速、浇铸速度及锥度对结晶器散热强度之影响的资料可以得出下列结论：第一，结晶器散热强度与结晶器通道中水的流速无关；第二，结晶器散热强度随着浇铸速度提高而增加，并随着结晶器工作壁由正锥形（上部面积比下部小）变为反锥形（上部断面大于下部）而增加。

结晶器的热工条件 是在断面为 150×530 公厘、长度为 1400 公厘的结晶器中铸钢时对结晶器的热工条件进行了研究，结晶器的铜壁是互相平行的（锥度等于零），厚度为 10 公厘。在铜壁上（一个宽面，一个窄面），安装了 29 个铜—铜镍热电偶，16 个装在宽壁上，13 个装在窄壁上。热电偶的数量及其沿壁高度上的布置和安装的方法的选定，应能保证满意地确定出温度沿着结晶器高度变化的特性（图 7）。宽面壁上 12 个热电偶接头与窄面壁上 9 个热电偶接头布置在距靠近铸坯这一侧的铜壁表面 2 公厘处。其余的热电偶接头则安装在距靠近冷却水这一侧的铜壁表面上 1 公厘处。热电偶的读数是借助于测量导线用 ЭПП—09 型自动记录的电子式电位表记录。