

金属学与热处理手册

第四分册

半制品的结构、性能和热处理

冶金工业出版社

75.172
115
=4

金屬学与熱处理手册

第四分冊 半制品的結構、性能和熱处理

Н.Т.古德佐夫

М.Л.別倫施捷茵 主編

А.Г.拉赫施迪特

北京編譯社 譯

吳 兵 校

冶金工业出版社

本書內容包括金屬與合金的研究試驗方法、鋼的結構和現代的狀態圖。根據各國最近的科學成就敘述鋼的熱處理，其中包括熱處理方法的分類、加熱與冷卻時的轉變、等溫轉變等。對蘇聯工廠廣泛採用的熱處理和表面化學熱處理分別作了研究。

書中列舉了各種鋼特別是合金鋼的詳細特性數據。用了較多的篇幅介紹現代機械製造工業部門必需的具有特殊物理性能和化學性質的鋼與合金。闡述了熱處理的設備與工藝。詳細論述採用成套設備及建立流水作業線時使用的進步的處理方法。

本書適合冶金和機械製造廠、實驗室、科學研究機關的工程技術人員和高等學校學生閱讀。

全書分十一篇，約有 126 萬字，是由幾個單位共同翻譯的。由於篇幅較大，而且譯者脫稿時間先後不一，不能同時合訂出版。為了及時滿足廣大讀者需要，本書中譯本分十一冊出版。各分冊內容如下。

第一分冊——試驗與研究方法。

第二分冊——鋼的結構。

第三分冊——鋼的熱處理。

第四分冊——半制品的結構、性能和熱處理。

第五分冊——表面處理。

第六分冊——建築鋼。

第七分冊——機械製造鋼。

第八分冊——工具鋼。

第九分冊——特殊鋼與特殊合金。

第十分冊——鑄鐵的成分與性能。

第十一分冊——熱處理車間的設計原理與典型設備。

目 录

第四篇 半制品的结构、性能和热处理

第29章 鑄鋼的結構、性能和热处理 (鋼錠和鑄件)	1
总 論	1
鋼的澆鑄	1
鋼錠	2
鋼錠模	3
鑄件	4
1. 鑄鋼的結構	5
鋼的結晶	5
鑄鋼的組織	11
鑄鋼的物理不均勻性	15
鑄鋼的化学不均勻性	20
2. 鑄鋼的性能和热处理	27
鋼在鑄造状态和鍛造状态机械性能的对比較	27
鑄造用鋼	30
鑄鋼的热处理及其机械性能	33
鑄件鋼的机械性能	43
鑄造用鋼的工艺性能	46
第30章 条材的热处理	50
1. 选择条鋼热处理规范的条件	50
2. 热处理的规范	51
3. 条材的热处理规范	53
碳素結構鋼的热处理规范	53
合金結構鋼的热处理规范	57
滾珠軸承鋼的热处理规范	66
彈簧鋼的热处理规范	69

碳素工具鋼的热处理规范	73
合金工具鋼的热处理规范	76
高速鋼的热处理规范	81
不銹鋼和耐酸鋼的热处理规范	83
磁性鋼的热处理规范	88
4. 鋼在热处理时發生缺陷的防止和补救方法	90
鋼的脫碳	90
鋼的氧化	91
过热	92
硬度不合格	92
裂紋	93
第31章 鋼鍛件的結構、性能和热处理	99
1. 白点	99
2. 髮裂	102
3. 目見夾渣	103
4. 結構鋼鍛件断口的結構	104
5. 表面的網狀裂紋	105
6. 与鍛造加热的条件有关的內部和外部裂紋	106
7. 鍛件的淬火裂紋和防止裂紋产生的方法	107
8. 鍛件热处理的特点	108
9. 根据ГОСТ2334—50的規定对一般用途合金鋼鍛件的基本要求	115
分 类	115
根据ГОСТ2335—50的規定直徑或正方形每边尺寸在750公厘以下、重量不超过 50 吨的大型碳素鋼鍛件以及横截面面积不超过 5600 公分 ² 的其他特型鍛件的特性	115

第 四 篇

半制品的结构、性能和热处理

第 29 章 鑄鋼的結構、性能和热处理 (鋼錠和鑄件)

总 論

現代的技术上所用的鋼，几乎都是在液体状态中获得的，所以都要經過鑄造和凝固（結晶）的阶段。

用鋼錠模（形状簡單的金屬模）鑄造并在其中凝固随后利用軋制或鍛造的方法进行热压力加工的鋼塊，称之为鋼錠。

用特制的鑄型（一般是砂型）鑄造并在其中凝固后直接制成机器或建筑物的零件而不必經過压力加工的鋼塊，称之为鑄件（异型鑄件）。

鋼 的 澆 鑄

鋼錠按其重量可分为：a) 小型鋼錠——2吨以下；б) 中型鋼錠——2吨至8吨；в) 大型鋼錠——8吨至50吨；г) 特大型鋼錠——50吨至250吨。往鋼錠模中澆鑄鋼水时，必須采用底注

式包子。

澆鑄鋼水有三种方法：1)上鑄法；2)下鑄法；3)流水作业澆鑄法（連續澆鑄法）。

采用上鑄法时得到鋼錠表面的質量常常很差(尤其是下部)，因为鋼水流冲击鋼錠模的底部引起金屬的飞溅和氧化作用。为了減輕冲击的力量，可以通过中間漏斗，如果是大型鋼錠的話，則可以通过一个中間鋼水罐进行澆鑄。上鑄法是在制造数量不多的大型和特大型鋼錠时采用的。

采用下鑄法时，鋼錠表面的質量得到改善，但鋼中所含的非金屬夹杂物可能略有增加。在制造大量小型和中型鋼錠时采用下鑄法；在这种情况下，金屬通常在容量大的熔爐中进行熔煉。

在仔細执行全部工艺操作的条件下，用上鑄法和下鑄法澆鑄的鋼錠实际上質量都一样。

流水作业澆鑄法是把鋼水注入一个用水冷却的結晶器內，然后連續地或定时地从結晶器中取出凝固的鋼錠。在澆鑄进程中鋼錠可以被切成一个个小塊。

連續澆鑄法（流水作业澆鑄法）能提高生产率，改善毛坯的質量，增加成品率。

鋼 錠

鋼錠按其用途可分为：鍛造鋼錠和軋制鋼錠（条錠、板錠、管錠、輪胎鋼錠）。

鋼錠按截面形狀可分为：圓鋼錠、多角鋼錠（4角、8角、12角和多角）、矩形鋼錠。

根据金屬的脫氧程度可分为鎮靜鋼鋼錠、沸騰鋼鋼錠或半鎮靜鋼鋼錠。

鍛造鋼錠（ГОСТ 3042—45）截面的形狀是帶圓角和凹稜的8角形，有时是12角形。

这些鋼錠中部的高度与半高度处內切圓的直徑之比，小型鋼

錠約为2.5，中型鋼錠約为2.0至2.4，大型鋼錠約为2.0，特大型鋼錠則为2.0至1.8。

这些鋼錠都是上大下小的，每一边的錐度为2~2.5%或更大。

鎮靜鋼的軋制条錠往往是制成方截面的，并帶有圓角，鋼錠的高度与半高度处內切圓的直徑之比，通常为2.8~3.3，小型鋼錠的这个比值还要大些。鋼錠在上大下小的情况下，錐度为2.5~3.0%，如在上小下大的情况下，以及用下鑄法澆鑄时，錐度則为0.8~1.2%。

管錠具有圓形截面，它的錐度最小。板錠的截面是矩形的或近似橢圓形的，截面長短边之比通常为2.3~2.5，高度与截面短的一边之比为3.5~4.0。

沸騰鋼錠只用于制造軋材。中等重量的鋼錠，其高度和直徑之比在2.3~3.5范圍內，小型鋼錠，这个比值增大到5~7。沸騰鋼錠一般是上小下大的，鋼錠的錐度小型鋼錠为1~1.2%，大型鋼錠小于1%。

鎮靜鋼錠的保温收縮头，占鋼錠体积的15~20%。沸騰鋼錠就沒有收縮头。

上鑄的鋼錠，为了减少飞溅的現象，故将其底部做成圓角。底部的体积为鋼錠体积的2~5%。

研究的結果証明，錐度增至10~15%，可以改善鋼錠軸向部分的结构。

鋼 錠 模

鋼錠模有下列几种：

1)封底型鋼錠模，这种鋼錠模是連底板鑄在一起的，在底板上有一个孔，供下鑄时用，或供安装襯板用，以防止从上面澆鑄时受到鋼水流的冲刷。

2)开底型鋼錠模，这种鋼錠模有单独制造的底板，或把几个鋼

錠模同时装在一个总的下鑄式底板上。

保温帽有下列几种：

a) 可卸式外部保温帽，装在小型或中型鋼錠模上；

б) 可卸式内部保温帽，装在大型鋼錠模内所需的高度处；

в) 固定式内部保温帽，与上述«а»和«б»的情况不同，这种保温帽是与鋼錠模成一体。

鋼錠模的壁厚应当根据下列关系来选定：

鋼錠的重量(吨)	2吨以下	2~8吨	8~50吨	50吨以上
鋼錠模的壁厚与 鋼錠平均直径的 比例	0.25	0.22	0.18	0.13

鋼錠模上部的壁厚一般比下部薄；沸腾鋼鋼錠的鋼錠模壁厚要小于鎮靜鋼鋼錠的鋼錠模。

根据 Гост 3042—45 的规定，鋼錠模最好采用下列化学成份的鑄鉄制造（表 1）。

表 1

制造鋼錠模用的鑄鉄的化学成分

用 途	鑄 鉄 的 成 分 (%)				
	C	Si	Mn	P	S
				不 超 过	
重 4 吨以下鋼錠用的 鋼錠模和底板	3.3~3.8	1.15~1.35	0.6~0.8	0.1 ~0.18	0.06
重 4 吨以上鋼錠用的 鋼錠模和底板	3.3~3.5	1.6~2.0	0.6~0.8	0.1 ~0.18	0.06
内部保温帽用	—	1.75~2.25	1.0以下	0.18	0.10

鑄 件

各种异型鋼鑄件是在砂型内，有时或在金屬型（鑄鉄型）内澆鑄成的。为了把鋼水注入型腔内，需要采用一套沟道系統，通

常就称之为澆鑄系統。

为了消除縮孔，在鑄件的肥厚部分应設置冒口。为了防止产生疏松，在鑄件壁上采用加厚的搭接段(使其向冒口方面加寬)，还加用冷鉄。此外，在选择澆口的注入部位和設置冒口的部位时，应保証得到一定方向的凝固。

在热处理之前，应当用气割或其他方法把澆口和冒口从鑄件上切除。

1. 鑄鋼的結構

鋼 的 結 晶

鋼錠和鑄件的凝固开始于金屬与模子的接触表面上，然后順序向內部扩展，一直到由各个冷却表面所形成的凝固層在軸心部分会合时为止。鋼錠凝固的示意圖如圖 1。

測量正在凝固中的鋼錠的溫度可以証明，早在鋼錠完全凝固以前，金屬的过热已經从鋼錠整个体积中排除。在鋼錠凝固的大部分期間，正在凝固的鋼錠的中部保留着接近于結晶溫度的液态金屬，这些金屬同时被濃縮的鋼流摻混着。鋼錠的凝固过程主要决定于結晶热的排出速度。在表面地区結晶热的排除速度較快，金屬的过渡地区处于液体状态的时间就要長些，至于中心地区处于液体状态的时间就更長了。为了讓某一特意选定的金屬層凝固，就必须使之与邻接的、在前一时期已凝固的金屬層有可能从正在凝固的金屬層中排除其結晶热。

圖 2 所示为重 8 吨的鋼錠和鋼錠模根据在高度一半的截面上測量溫度所得的結果作出的溫度場。圖上的每一条曲綫表示在相应的时刻鋼錠和鋼錠模內溫度的分布。这个曲綫圖是鋼錠凝固热学条件的典型范例，圖上清楚地示出凝固过程的順序。圖 3 示意地表明了該鋼錠的热平衡。过热的热量数值很小，而結晶热和从鋼錠固体部分排出的热量彼此大致相等。从鋼錠中排出的热量大

部分积聚在鋼錠模內（70%），其余部分的热量則从鋼錠模的表面通过輻射和对流而消散，但其中通过对流作用而消散的热量所占比重較小。

凝固的速度依热量从表面排除的速度而定，而热量从表面排

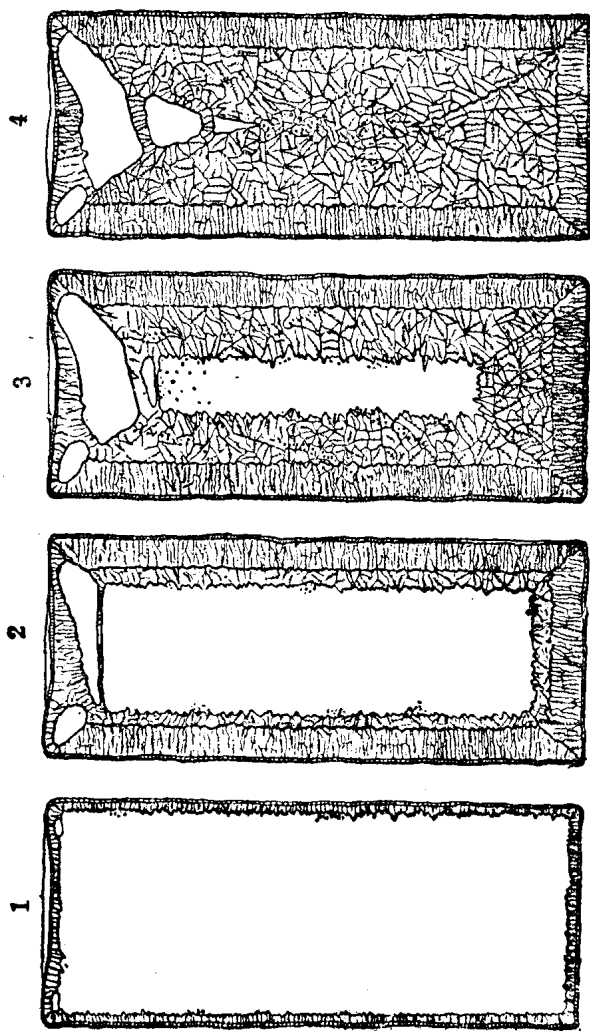


圖 1 鋼錠順序結晶的示意圖

除的速度首先决定于鋼錠模材料的热导率。圖 4 的曲綫表明扁平的鋼鑄件在鑄鐵模和砂型中凝固的过程。曲綫圖的座标是无因次的，以便可以把各种不同重量鑄件的数据加以比較。

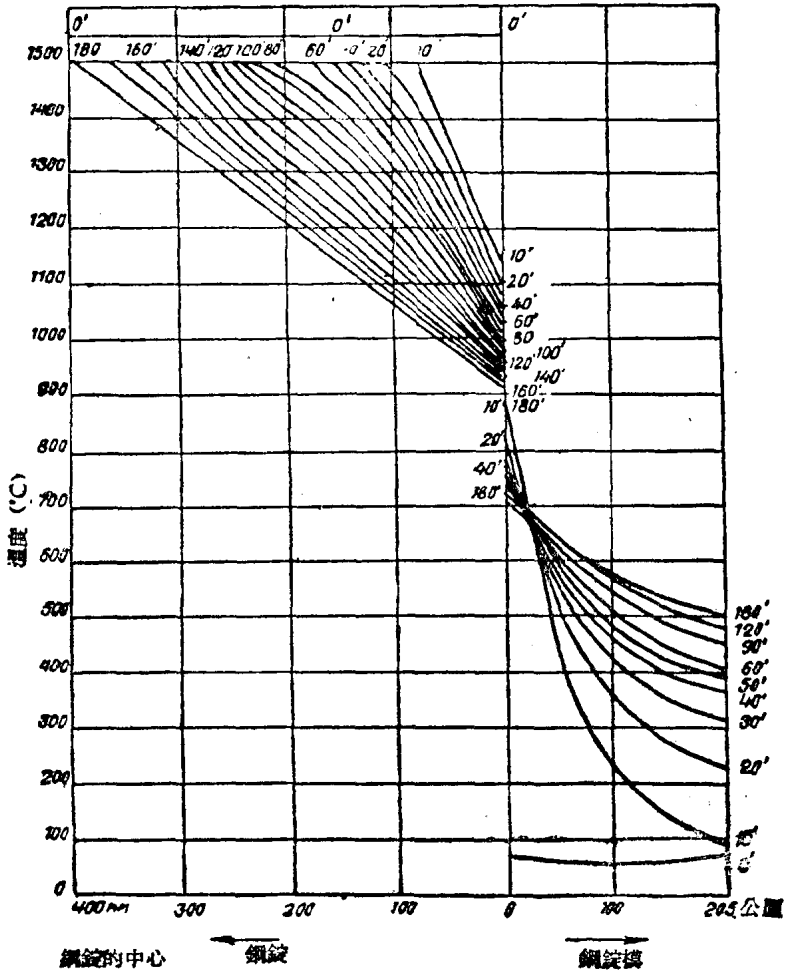


圖 2 重8000公斤的鋼錠中和鋼錠模中高度中部处的温度場。曲綫旁的数字代表時間（分鐘）
（塔格耶夫[B. M. Tagеев]，古里亞耶夫）

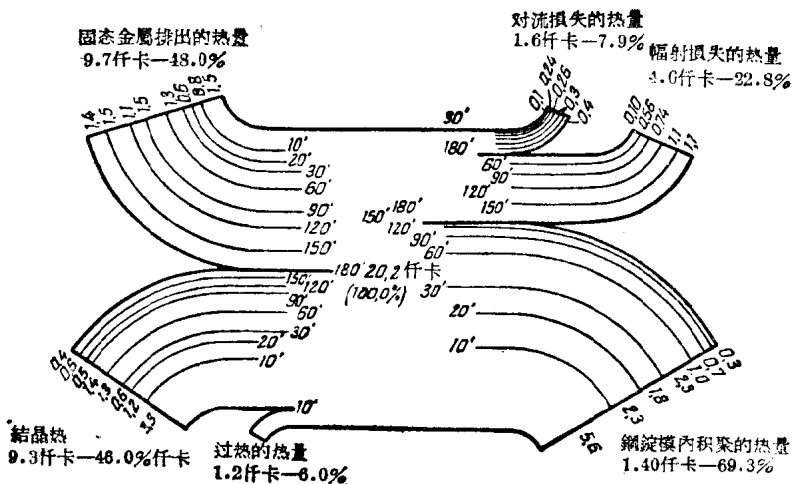


圖 3 重8000公斤的鋼錠在凝固時間內的热平衡。曲綫圖中部曲綫旁的数字代表時間(分鐘)，兩端曲綫旁的数字代表热量(卡)(塔格耶夫，古里亞耶夫)

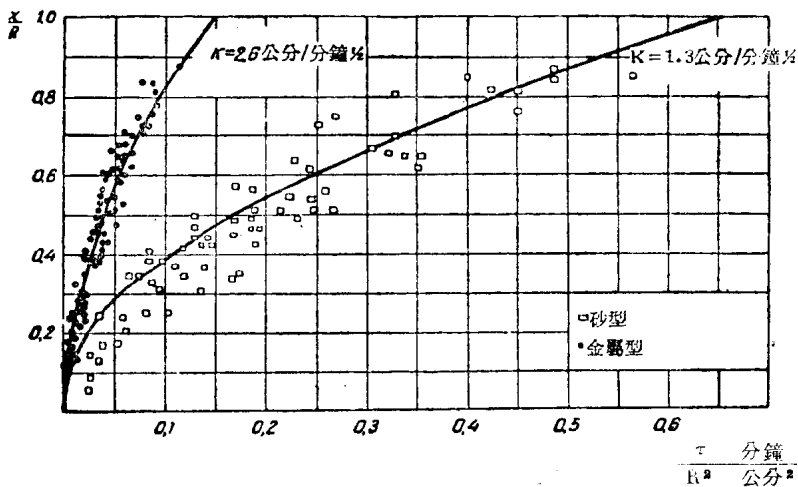


圖 4 鋼在鑄鐵型和砂型內凝固

X——固态層的厚度； τ ——時間；K——凝固系数；
R——鑄件的一半壁厚

凝固的速度（結晶的速度）可从下式求出：

$$U = \frac{K^2}{2x},$$

式中 U ——凝固速度； x ——由表面到測定凝固速度的点之間的距离（固态層的厚度）； K ——凝固系数。

圖 5 为几何形状不同而直徑和厚度相同的各种物体，如球体（立方体）、圆柱体（稜柱体）和平壁体凝固的对比。球体表面积与体积之比最大，因此凝固最快，其次是圆柱体，再其次是平壁体。

不論形状簡單或形状复杂的鑄件，都可以将它分成若干个形状与球体、圆柱体和平壁体相接近的單元。

每一个單元的凝固時間可按下列公式計算：

$$\tau_3 = M\phi R^2,$$

式中 τ_3 ——完全凝固的时间（分鐘）； M ——系数，依鑄型的材

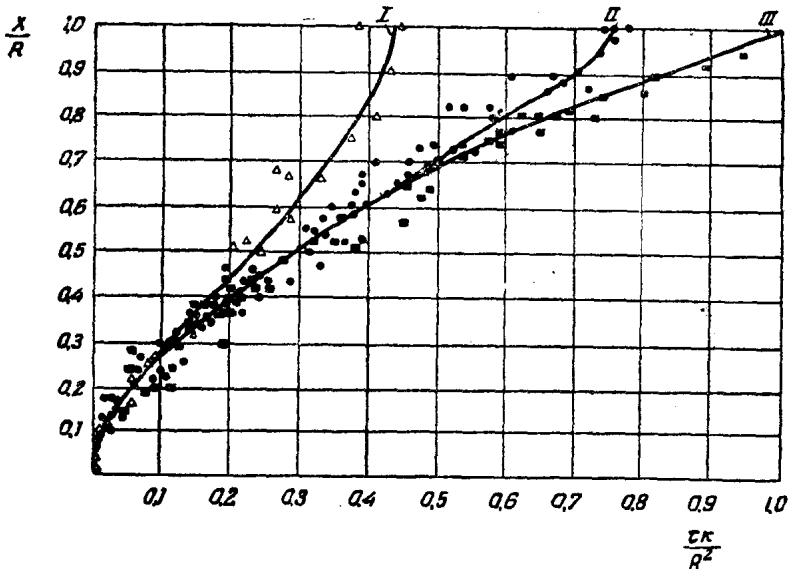


圖 5 各种形状物体的凝固过程

I—球体（立方体）； II—圆柱体（稜柱体）； III—平壁体

料而定，鑄鐵型為 0.148分鐘/公分^2 ，砂型為 0.592分鐘/公分^2 ； ϕ ——係數，依鑄件的構形而定，球體為 0.47 ，圓柱體為 0.76 ，平壁體為 1.00 ； R ——該單元厚度的 $\frac{1}{2}$ 或半徑（公分）。

金屬由液體狀態過渡到固體狀態，與在所謂結晶核心的各點上形成各個晶體的過程有關。低於平均能量的自發形成的原子群或外界夾雜物的固體微粒，都可以作為結晶的核心。

晶粒只有在能夠把它所析出的結晶熱傳給某一其他物體的情況下，它才能由結晶核心長大。只有鋼錠模（鑄型）的表面或通過鋼錠模冷卻而已經凝固的金屬層的表面才存在着這種可能性。因此，只有在鄰接固體相邊界的液體層，結晶過程才能發展。

晶核的萌生速度決定於結晶的速度或凝固的速度。凝固的速度越大，晶核的萌生速度就越快，形成的晶粒尺寸也就越小。由許多晶核同時長大而成許多晶粒，這些晶粒互相會合，而在該地區凝固終了時，全部體積便都由晶粒所占。

根據科學院院士古德佐夫的理論，結晶過程是由鋼錠表面向

軸心部分順序進行的，但不是連續地進行，而是以交變和漸減的速度周期性地進行。每一個晶粒和每一個結晶地區就是這個過程的一個單獨時期。

圖6所示為重8噸的鋼錠（鋼錠的宏觀組織示於圖7和圖8）的含碳量、截面收縮率和非金屬夾雜物沾污程度沿徑向的變化曲線圖。圖上示出金屬成分和性能

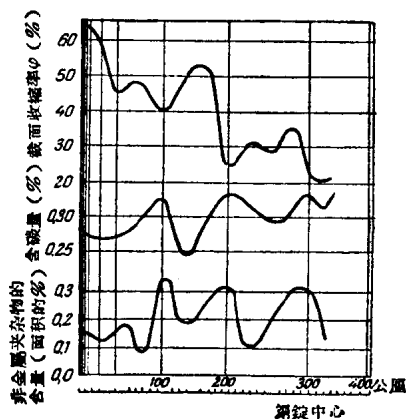


圖6 重8000公斤的鋼錠沿其半徑上金屬的性能、碳的含量和非金屬夾雜物的含量變化的周期性（古德佐夫、塔格耶夫、古里亞耶夫）

变化的周期性，这种周期性
与鋼錠截面上組織的变化是相一致的。按照古德佐夫的概念，沿鋼錠半徑上鋼組織和性能变化的周期性是由于結晶过程的周期性而造成的。

鋼錠或鑄件的結晶过程可用下列方法控制：

1) 改变結晶的速度
(改变金屬的冷却条件)；

2) 引入人工結晶核心
(孕育处理)，或引入各种雜質使其吸附在正在長大的晶粒的表面上，因而阻止晶粒的成長。

鑄鋼的組織

組成鋼錠的各个晶体都有它一定的軸系，称之为枝晶。

枝晶中有：

a) 第一級軸或主軸，
它穿过晶体的中部；

б) 第二級軸，与第一級軸相垂直；

в) 第三級軸，与第二級軸相垂直；

г) 高級軸(如

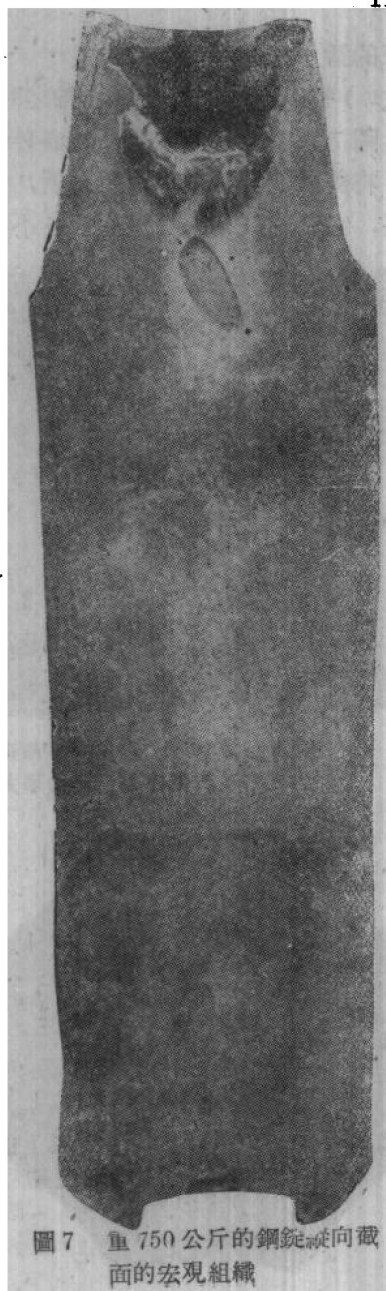


圖7 重750公斤的鋼錠縱向截面的宏觀組織

出来的話)；

д) 軸間空間——介于各軸之間的金屬体积。

圖 7、圖 8 和圖 9 所示为各种鋼錠縱向和橫向的宏觀組織。

將許多的實驗数据进行分析，就能把鋼錠的結構分为两个組織区，它們的枝晶的主軸位置各不相同。

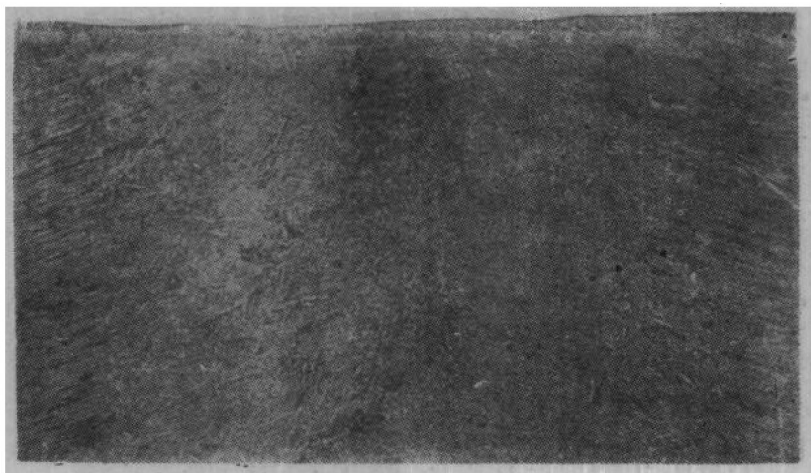


圖 8 重8000公斤的鋼錠縱向截面中部的宏觀組織
(古德佐夫、塔加耶夫、古里亞耶夫)

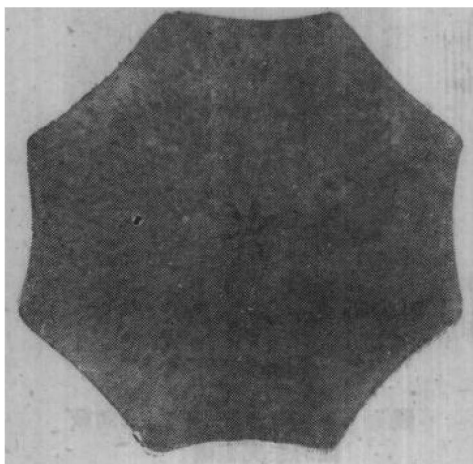


圖 9 重8000公斤的鋼錠
在其高度中部橫截
面上的宏觀組織
(古德佐夫、塔加
耶夫、古里亞耶夫)