

序 言

最近 10~15 年以來，有關沸騰鋼生產的問題已引起了煉鋼工作者愈來愈大的注意。許多科學研究工作曾討論這方面的生產問題。討論如何生產健全的沸騰鋼鋼錠這一問題的著作特別多。

早在30年以前，這種鋼的生產即已經沒有多大困難了。

沸騰鋼的生產之所以不成為問題，是因為用這種鋼作成的製品經常是用在不重要的地方，而這種鋼本身又是屬於“商品鋼”一類的。

近代沸騰鋼鋼錠的生產和過去的實踐已大不相同，現在這種金屬主要是用熔池很深的大平爐來熔煉的。汽車工業方面對這種金屬的質量要求大大提高了，汽車工業要廣泛採用低硫（ $\leq 0.025\%$ ）沸騰鋼的冷軋鋼板來進行深沖與重深沖。

由於有必要提高初軋機和板坯軋機的產量，就使得沸騰鋼鋼錠的生產需要改為5噸到10噸的大鋼錠。這樣的鋼錠，凝固期長，促使其組織的與化學的不一致性有所發展。這些缺陷，再結合其他的難以避免的工藝因素，例如金屬的脫氧程度不足、氣體飽和度過大、溫度高、錳的含量高等，其情形就發展得特別嚴重，因而大大地降低了產品的成品率。因此，自從沸騰鋼改為大鋼錠以後，其原有的各種缺陷得到了大大的發展，以致預防鋼錠缺陷的形成竟成為一個重大的問題。

眾所周知，沸騰鋼大鋼錠的主要缺陷是：

1. 上漲高，因而在鋼錠頭部形成氣體空腔與疏松。
2. 蜂窩氣泡帶的位置靠近鋼錠表面。
3. 在鋼錠的不同高度與橫斷面上，化學不一致性很大。

上述第一個缺陷使軋成的鋼帶頭端因夾層而必須增加切損；第二個缺陷，常常使鋼錠的蜂窩氣泡早在加熱爐中或在軋鋼機的最初幾道压下時就暴露出來，這樣便產生了鋼錠表面與邊緣上的

缺陷；最后，第三种缺陷使大鋼錠头部的碳、磷与硫含量比該种鋼号所规定的要高得多。鋼錠中这一部份鋼的机械性能与所要求的性能有很大差異。

使鋼錠中形成各种气泡的种种气体，有关这些气体的互不一致的各种解释，本書不加以討論；但鋼錠形成时气体的形成、析出是与鋼錠中缺陷的发展有密切关系的，大多数冶金工作者对这些现象所一致同意的见解，本書則予以提出。

但是，鋼錠形成时气体的生成与析出也与鋼的成份、熔炼和鑄錠工艺及溫度等条件有关。

早在1878年，Д.К.切爾諾夫 (Чернов) [1] 就已指出：“不管同什么坏事做斗争，要胜利首先就要尽可能仔细地研究。那么很显然，研究鑄鋼块上的缺陷对于现代炼鋼工业具有多么重要的意义”。

科学院院士，А.А.巴依科夫 (Байков) [2] 把鋼錠結晶、液态鋼和已凝固的鋼中的非金属夹杂以及鋼中气体的研究列为首要工作之一。这些指示首先关系到沸騰鋼錠，因为它在鋼錠中，由于大量排出气体所造成的結晶和化学不一致性使鋼錠在加工成为成品时，大量的鋼損失了。

綜合研究熔炼与浇鑄的問題、鋼的凝固条件以及研究各种工艺因素的影响，对于寻求一条生产質量优良的沸騰鋼錠的最正确的途径，是大有帮助的。

将近15年来因研究这一問題所积累的丰富的实践資料加以总结，是非常有益和适时的。除一般的理論部分以外，为了詳細研究沸騰鋼中的結晶、偏析和气体，还采用了对比方法，将上述过程在鎮靜鋼錠与半鎮靜鋼錠中的发展情况加以評述。

作者不希望将有关沸騰鋼生产的全部問題詳尽无遺的加以闡述，然而作者認為，本書对炼鋼工作者将有某些帮助。

目 录

序言	1
第一章 沸騰鋼的定义、性質及用途	3
各种鑄錠用鋼的熔炼	3
鋼錠的結構及其化学不一致性	4
沸騰鋼机械性質的不一致性	9
加热时鋼的机械性能的变化	11
显微組織	15
时效	18
腐蝕	22
沸騰鋼的焊接性与分层	22
沸騰鋼的应用	23
第二章 沸騰鋼熔炼的理論与实践	24
炼鋼設備的选择及冶金操作的类别	24
炼鋼工艺的类型	25
熔渣制度	27
熔渣組成物質的分子結構理論	28
液体熔渣的电离性質	31
熔渣与金屬之間氧的分配	31
熔渣与金屬之間硫的分配	37
熔渣与金屬之間磷的分配	40
液体渣的部分离解假說	41
熔渣碱度及碱性渣中铁的氧化物含量	43
熔渣粘度	45
試驗熔炼	48
炼鋼爐熔池中碳的氧化反应	80
錳的氧化	122
脫硫	130
沸騰鋼的脫氧	135
沸騰鋼的脫氧方法	140
沸騰鋼的鑄錠	146
第三章 鋼中气体	149

非金屬夹杂的来源	363
非金屬夹杂的分类	363
形成和排除非金屬夹杂的条件	364
硫化物夹杂	372
氧化物夹杂	372
外来夹杂	380
非金屬夹杂的测定方法	380
非金屬夹杂的偏析	381
熔炼工艺对鋼質量的影响	393
参考文献	408

序 言

最近 10~15 年以來，有關沸騰鋼生產的問題已引起了煉鋼工作者愈來愈大的注意。許多科學研究工作曾討論這方面的生產問題。討論如何生產健全的沸騰鋼鋼錠這一問題的著作特別多。

早在30年以前，這種鋼的生產即已經沒有多大困難了。

沸騰鋼的生產之所以不成為問題，是因為用這種鋼作成的製品經常是用在不重要的地方，而這種鋼本身又是屬於“商品鋼”一類的。

近代沸騰鋼鋼錠的生產和過去的實踐已大不相同，現在這種金屬主要是用熔池很深的大平爐來熔煉的。汽車工業方面對這種金屬的質量要求大大提高了，汽車工業要廣泛採用低硫（ $\leq 0.025\%$ ）沸騰鋼的冷軋鋼板來進行深沖與重深沖。

由於有必要提高初軋機和板坯軋機的產量，就使得沸騰鋼鋼錠的生產需要改為5噸到10噸的大鋼錠。這樣的鋼錠，凝固期長，促使其組織的與化學的不一致性有所發展。這些缺陷，再結合其他的難以避免的工藝因素，例如金屬的脫氧程度不足、氣體飽和度過大、溫度高、錳的含量高等，其情形就發展得特別嚴重，因而大大地降低了產品的成品率。因此，自從沸騰鋼改為大鋼錠以後，其原有的各種缺陷得到了大大的發展，以致預防鋼錠缺陷的形成竟成為一個重大的問題。

眾所周知，沸騰鋼大鋼錠的主要缺陷是：

1. 上漲高，因而在鋼錠頭部形成氣體空腔與疏松。
2. 蜂窩氣泡帶的位置靠近鋼錠表面。
3. 在鋼錠的不同高度與橫斷面上，化學不一致性很大。

上述第一個缺陷使軋成的鋼帶頭端因夾層而必須增加切損；第二個缺陷，常常使鋼錠的蜂窩氣泡早在加熱爐中或在軋鋼機的最初幾道压下時就暴露出來，這樣便產生了鋼錠表面與邊緣上的

缺陷；最后，第三种缺陷使大鋼錠头部的碳、磷与硫含量比該种鋼号所规定的要高得多。鋼錠中这一部份鋼的机械性能与所要求的性能有很大差異。

使鋼錠中形成各种气泡的种种气体，有关这些气体的互不一致的各种解释，本書不加以討論；但鋼錠形成时气体的形成、析出是与鋼錠中缺陷的发展有密切关系的，大多数冶金工作者对这些现象所一致同意的见解，本書則予以提出。

但是，鋼錠形成时气体的生成与析出也与鋼的成份、熔炼和鑄錠工艺及溫度等条件有关。

早在1878年，Д.К.切爾諾夫 (Чернов) [1] 就已指出：“不管同什么坏事做斗争，要胜利首先就要尽可能仔细地研究。那么很显然，研究鑄鋼块上的缺陷对于现代炼鋼工业具有多么重要的意义”。

科学院院士，А.А.巴依科夫 (Байков) [2] 把鋼錠結晶、液态鋼和已凝固的鋼中的非金属夹杂以及鋼中气体的研究列为首要工作之一。这些指示首先关系到沸騰鋼錠，因为它在鋼錠中，由于大量排出气体所造成的結晶和化学不一致性使鋼錠在加工成为成品时，大量的鋼損失了。

綜合研究熔炼与浇鑄的問題、鋼的凝固条件以及研究各种工艺因素的影响，对于寻求一条生产質量优良的沸騰鋼錠的最正确的途径，是大有帮助的。

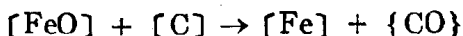
将近15年来因研究这一問題所积累的丰富的实践資料加以总结，是非常有益和适时的。除一般的理論部分以外，为了詳細研究沸騰鋼中的結晶、偏析和气体，还采用了对比方法，将上述过程在鎮靜鋼錠与半鎮靜鋼錠中的发展情况加以評述。

作者不希望将有关沸騰鋼生产的全部問題詳尽无遺的加以闡述，然而作者認為，本書对炼鋼工作者将有某些帮助。

第一章 沸騰鋼的定义、性質及用途

各种鑄錠用鋼的熔煉

随着熔池中液体金屬所含碳的氧化，液体金屬中的含氧量也不断增加。氧从爐气透过熔渣，或者从加入的氧化剂进入金屬。占装料量0.7到1.0%的碳以一氧化碳形式自金屬中排除。因此，在熔煉期中的任何时刻，金屬中的含碳量，都可作为說明其氧化程度的相当准确的标志。液体金屬的含氧量和含碳量間的这种关系具有极其重要的意义，因为它决定着精煉一爐鋼时，要采用什么方法。溶解于液体金屬中的一氧化鉄和碳的基本反应是永远不会达到平衡状态的：



这就是說，在精煉过程結束前，金屬中所熔解的氧，較平衡状态时的含量高些。氧在金屬中所溶解的份量，最后是用在爐中、在盛鋼桶中或在鋼錠模中加脫氧剂来調剂的。按照最終的脫氧程度不同，任何鋼必属于三种类型之一：鎮靜鋼，半鎮靜和沸騰鋼。

如果在爐中、盛鋼桶中或鋼錠模中用必要数量的錳、矽、鋁或者其他脫氧剂使鋼完全脫氧，保証鋼凝固时比較鎮靜，析出的气体也不太多，这种鋼称为“鎮靜鋼”。

如果鋼在爐中和盛鋼桶中脫氧不足，凝固时析出大量的气体，以致在鋼錠模中造成“沸騰”，这种鋼錠就称为“沸騰鋼”。

如果由于在爐中或盛鋼桶中脫氧时所用的矽与鋁数量有限，因而使鋼在模內沸騰，但这时气体析出的数量虽比沸騰鋼少，而比鎮靜鋼显然要多，这种鋼則称为“半鎮靜鋼”。

总之，这三种鋼在結晶时都有形成气体与析出气体的现象发

生，其差別只是每種鋼結晶時氣體析出的過程強弱不同而已。

鋼錠的結構及其化學不一致性

鋼錠完全凝固後，其結晶組織與外觀取決於結晶時金屬在模內的狀態。

澆鑄正常的鎮靜鋼鋼錠，其表面十分平整，而沸騰鋼鋼錠表面則總是粗糙不平的，這是由於沸騰鋼鋼錠凝固時，所形成的氣體具有脈沖特性。

沸騰鋼鋼錠頭部可能形成“靴筒”狀，這與澆鑄時鋼水過熱、結晶初期氣體析出過於劇烈有關。反之，若結晶時金屬在模內的沸騰過於微弱，就會使鋼錠上漲。在這種情況下，鋼錠頭部就會形成“菜花頭”，這是由於金屬氧化性不足、金屬中的錳含量高、澆鑄溫度低、金屬中具有懸浮的非金屬夾雜與阻礙金屬在模內進行良好沸騰的脫氧產物。正常的沸騰鋼鋼錠，上漲不多（50~70公厘）。因此，在實際操作中，常常有金屬在模內結晶時，因氣體形成不夠正常而改變了鋼錠組織的現象。按照金屬脫氧程度不同，其鋼錠組織簡圖如圖1。

圖1的上一排表示在帶有保溫帽和無保溫帽的鋼錠模中澆鑄的鎮靜鋼鋼錠的縮孔位置與形狀。因為這種鋼在精煉與脫氧時曾使用了強脫氧劑（矽與鋁），所以氣體析出很少，金屬得以鎮靜地凝固，沒有形成任何氣泡。凝固時氣體（氫與氮）的溶解度急劇下降，以及冷卻時鋼比重的增加，促使了中心縮孔的形成。凝固時鋼的體積縮小，同時在整個結晶錠中也形成了肉眼看不見的局部疏松，以及聚集於鋼錠軸心的宏觀疏松，此處金屬是在不足以填滿全部空間的情況下結晶的^①。所以，在縮孔下面疏松與空隙的發展極為嚴重，這在酸浸過的試樣中用肉眼就可見到。

有些冶金學家認為縮孔是“真空”的。但是，在密封住的鋼

① 按照古德佐夫（H.Т.Гудцов）的說法。

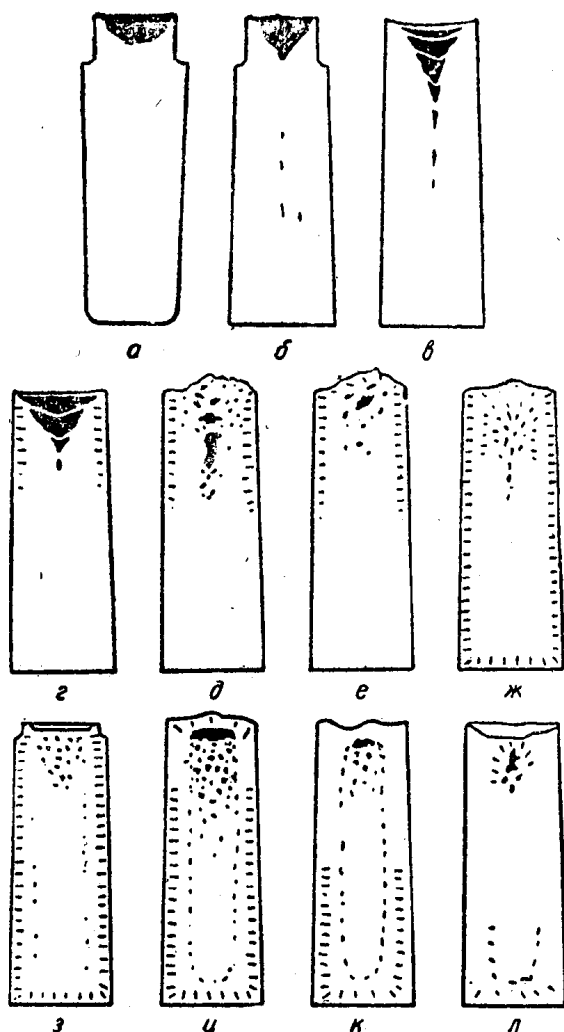


图 1 各种脱氧程度的钢锭组织略图

a与б—在有保温帽的钢锭模中浇铸的镇静钢钢锭；в—在无保温帽的钢锭模中浇铸的镇静钢钢锭；г—用砂几乎完全脱氧的半镇静钢钢锭；д与е—脱氧程度比钢锭г较差的半镇静钢钢锭；ж—用锰和极少量砂脱氧的半镇静钢钢锭；з—在瓶式钢锭模中浇铸的半镇静钢钢锭的典型组织；и—健康层很薄，上涨厉害的沸腾钢钢锭；к—具有正常结晶组织的沸腾钢钢锭；л—收缩不大的沸腾钢钢锭。

錠中，縮孔經常充滿了氣體，其中的主要成份是氫。根據波波夫 (А.Д.Попов) 的研究，縮孔中氣體的壓力達 2.96 個大氣壓，而根據其他研究者的資料 [4]，氣體的壓力甚至超過了 3 個大氣壓。

縮孔中的氣體，其成份大致如下： $92.2\% \text{H}_2$ ； $1.5\% \text{CO}$ ； $1.2\% \text{CH}_4$ ； $1.4\% \text{CO}_2$ ； $1.5\% \text{O}_2$ ； $1.5\% \text{N}_2$ 。

在縮孔中的氣體中，還有少許的 HCN 。

圖 1 的中間一排表示半鎮靜鋼鋼錠組織的略圖，由圖可見，隨著鋼脫氧程度的減弱，凝固時氣體生成的強度就增加。譬如，用錳和極少量鈰脫氧的鋼錠 κ ，其組織和沸騰鋼鋼錠的組織幾乎沒有什麼區別，而鋼錠 Γ ，它脫氧不夠完全，以致在鋼錠凝固末期有大量氣體發生，其組織則和鎮靜鋼鋼錠幾乎沒有什麼不同。

脫氧劑用量計算錯誤，有時會使半鎮靜鋼鋼錠形成混合的組織，除了有沸騰鋼鋼錠組織所特具的大量氣泡外，還明顯的呈現出作為鎮靜鋼鋼錠組織基本特征的縮孔。由於恰如其份地決定脫氧劑需要量很困難，故有時採用人為方法以調整結晶時的氣體發生；有時將半鎮靜鋼注于瓶式鋼錠模中。當液體金屬注入鋼錠模中後，用鋼塞將模子塞住，促使排出來的氣體的壓力急劇提高，於是阻止了鋼錠結晶初期鋼的機械攪拌，這有助於半鎮靜鋼鋼錠典型組織的形成。

圖 1 的下一排表示沸騰鋼鋼錠的組織，這種鋼由於在熔融時缺少強烈的脫氧劑，在鋼錠模中沸騰得很好。隨所鑄鋼錠重量的不同，沸騰時間一般為 5~20 分鐘。在鋼錠的頭部用蓋子蓋住或向金屬中加入一定數量的鋁，可以人為地制止沸騰。反之，在結晶時向金屬中加些能夠促使氣體發生的物質，即可強化沸騰，並且延長沸騰時間。沸騰時間和沸騰強度是影響鋼錠組織形成的因素。例如注于瓶式模中的鋼錠 3 (見圖 1)，由於很早就將其閉塞，只有狹窄的蜂窩氣泡帶分布于鋼錠整個高度，並且阻止了氣體的繼續發生。在蜂窩氣泡的後面是一排整齊的二次氣泡，其邊緣達到了鋼錠的頭部；中部的中心氣泡集中在鋼錠的最上部。這種鋼錠組織經常是在外界壓力很大以及結晶初期氣體發生微弱的

情况下得到的。

图1的下一排鋼錠K与Л,表示在气体排出强烈并時間較长(10~15分鐘)的情况下形成的常见的組織。这种鋼錠中的蜂窝气泡带的高度占鋼錠的一半,发展得很好,并且有20~25公厘厚的健康层与外表面(鋼錠K)隔开。二次气泡的位置距表面很深,并且在鋼錠的头部和中心气泡相連。鋼錠И的組織比鋼錠K与Г的組織都坏,其健康层很薄,蜂窝气泡带几乎分布于鋼錠整个高度上,二次气泡較粗大,当中的中心气泡比鋼錠K与Г中的大得多。这种鋼錠通常发生上涨,并在头部有横着伸长的气腔(冒尖)。

鋼錠Л中沒有蜂窝气泡带,这种鋼錠的組織在特殊的浇鑄条件下才会得到,这在以后将会說明。

从上述鋼錠組織可以看出,沸騰鋼鋼錠沒有縮孔。沸騰鋼鋼錠的結晶組織和鎮靜鋼鋼錠的組織所不同的是在各个部分中有很大的不一致性。鋼錠的金屬收得率以及鋼坯表面、成品断面的質量都取决于无气泡健康层的厚度以及头部的結構。如果健康层厚度不够,則当鋼錠在均热爐或加热爐中加热时以及在軋鋼机第一道压下时,将不能防止蜂窝气泡壁不受氧化。当軋制具有大量蜂窝气泡与气腔的上涨鋼錠时,軋件头部总会出现分层,这就需要增大其切头;当軋制上涨过度的鋼錠时,有时当第一道压下后“菜花头”就掉了下来,以致耽誤了軋鋼,降低了軋鋼机的生产率。軋鋼前鋼錠的加热制度是十分重要的,有时即使鋼錠中气泡的位置很深,也会因加热而暴露。

鑄出蜂窝气泡接近表面的沸騰鋼鋼錠对生产是有害的。这种缺陷当在連續軋机上热轧鋼板时,显得特別不好。氧化了的气泡在鋼板的边缘上形成缺陷。此外,在軋制过程中由于破边而掉落的大量碎块軋入鋼板造成凹坑,而使鋼板表面显著变坏。

经过中間盛鋼桶,以每分鐘0.48公尺注速注成的重6.5吨沸騰鋼鋼三鋼錠的低倍組織如图2①。鋼錠健康壳的厚度,随鋼錠高度

① 謝利瓦諾夫(Н.М.Селиванов)的資料。

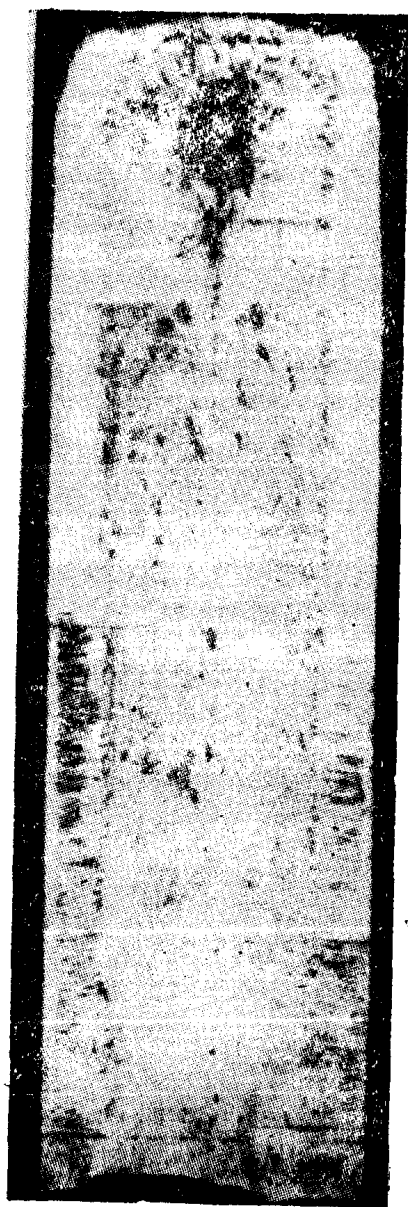


图 2 沸腾鋼三鋼錠的低倍組織，
其成份是：0.13% C；0.47% Mn；
0.024% S 与 0.023% P

不同，分別為20~25~30公厘。蜂窩氣泡帶延展到鋼錠高度的一半。蜂窩氣泡的長度約為70公厘，二次氣泡圍繞着鋼錠的偏析區域。在鋼錠高度一半的水平綫上，自側面到二次氣泡的距離約為100公厘。鋼錠上漲150公厘。鋼錠的中心氣泡較之其他鋼錠不算多。從硫印染色的深淺可以看出，液析區的分布自鋼錠頭部算起直到鋼錠70%高度處。最大的偏析呈現在鋼錠上部的中心區，到鋼錠高度的中部偏析減弱，而在底部水平處幾乎沒有偏析。而且在底部的水平處往往可以發現對盛鋼桶試樣的成份來說的雜質負偏析。

偏析程度隨沸騰鋼鋼錠重量的加大、液析元素含量的增多以及澆注溫度的提高而急劇增大。關於鋼錠中化學不一致性發展的概念可提供以下數字：在重6—8噸的大鋼錠中，硫、磷、碳的最大偏析分別達到了1000%、600%与350%；在小鋼錠中（重0.8~1.0噸）則是320%、

240% 与 100%。当其他一切条件都相同时，镇静钢钢锭中的偏析比沸腾钢锭轻微得多。

、沸腾钢机械性质的不一致性

根据以上所述，自然可以预料到用沸腾钢钢锭各不同部份轧出的成品的机械性质是不同的。

实际上，相当于钢锭下部三分之一处或沸腾带的试样，其强度与塑性特征是各不相同的；机械性质竟有如此显著的差别，在由镇静钢钢锭轧成的金属中就不曾见到过。因此，由于沸腾钢钢锭的组织与化学不一致性的结果，在轧成的金属中可能呈现硬脆性、分层、有些地方硬，有些地方软。在选用这种钢来制造个别结构的零件时，应该经常注意这点。

由于金属延伸的结果，轧钢能大大降低金属的化学不一致性，然而这并不能完全消除液析元素在钢坯或型钢的个别部份中的局部积聚。

对沸腾钢和镇静钢的钢坯机械性能的研究〔5〕指出，沸腾钢的机械性质沿钢锭横断面和高度的不同有很大的变化。坯中有些地方，相当于钢锭钢中被液析元素污染最严重的地方，较之钢坯的其余部份具有较高的抗张极限和屈服极限，和较小的断面收缩率与延伸率。镇静钢的机械性质随钢锭横断面和高度不同，也有差异，但在程度上比沸腾钢要小些，亦即镇静钢具有较为均匀的性质（图3）。

机械性能的不一致性也表现在轧钢成品上。例如，同一沸腾钢制造的锅炉钢板，在一种情况下抗张极限波动于 27 到 36 公斤/公厘²之间，在另一情况下，则波动于 39 到 43 公斤/公厘²之间，而延伸率相应的为 14 到 32%，和 19 到 26%〔6〕。软钢塑性最为特征的指标——冲击韧性（ α_K ）——波动的也很厉害。譬如，在用沸腾钢板坯所轧的同一张钢板中其机械性能有如下的波动： σ_K ——自 36 到 46.5 公斤/公厘²， δ ——自 18.7 到 28.1%， α_K ——自

6.0到18.7公斤公厘/公厘² [6]。

为使轧制品的机械性能均匀化起见，常常用铝或钛使金属镇静以减少沸腾钢的化学不一致性。

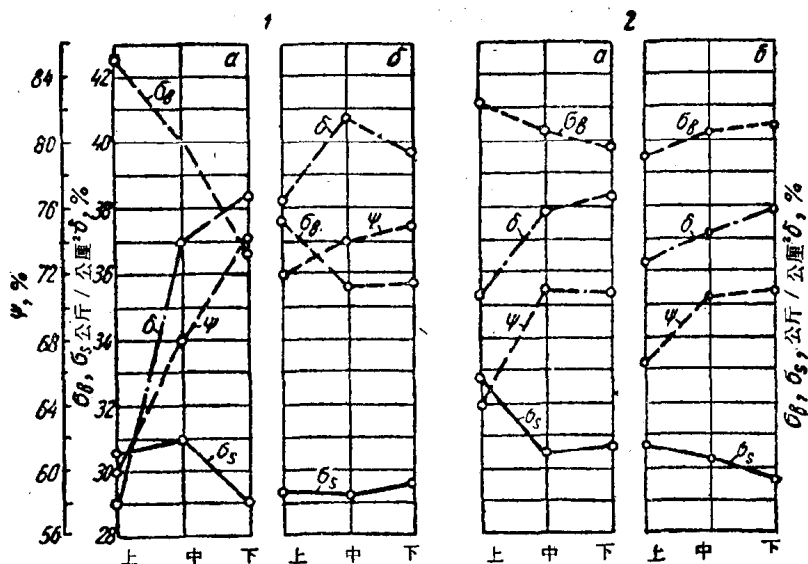


图 3 镇静钢钢坯与沸腾钢钢坯表面与中心带的机械性能

1—沸腾钢，成份：0.07%C；0.29%Mn；0.02%P与0.024%S；2—镇静钢，成份：0.08%C；0.10%Si；0.30%Mn；0.03%P与0.035%S；a—中心带；b—表面带

表 1 及表 2 列有沸腾钢和加铝与钛的镇静钢标准试样的机械性能的比较 [7]。从表中可以看出，钢的塑性主要取决于碳的含量。在含碳量低于 0.10%、重量不大的沸腾钢锭中，切去头部（占钢锭重量的 10—12%）后，机械性能多少还保持着常数值，但在含碳较高（普通钢三）的钢锭中，特别是在重量大的钢锭中即显示出机械性能的不一致性了。

通常，沸腾钢中碳和锰的含量增加，延伸率即下降，而抗张极限上升。

在很多情况下，当镇静钢中诸元素含量和沸腾钢同样多时，其区别是抗张极限高 1—3 公斤/公厘²，断面收缩率稍许降低些，

而延伸率实际上不变。镇静钢抗张极限的增高是由于其中含有砷。

用铝或同时用铝与钛充份镇静的钢，比沸腾钢具有较均匀的机械性能（见表1与表2）。此外，用铝脱氧的低碳钢（0.08—0.10%），其抗张极限比沸腾钢的抗张极限高10—12%。铝脱氧钢的冲击韧性比沸腾钢大半倍。

加铝镇静的钢轧成的汽车钢板比沸腾钢制成的钢板均匀得多（见表3）。加铝镇静的钢制成的钢板，其抗张极限的波动不超出1—2公斤/公厘²，延伸率的波动为1%。而沸腾钢制成的钢板，其抗张极限的波动为2到4公斤/公厘²，延伸率则在2—4%范围内波动。

以铝或同时以铝与钛镇静的钢热轧成的钢板，其抗张极限比沸腾钢制成的钢板低4~5公斤/公厘²，而延伸率则低2~3%。

这两类钢的冷轧钢板，其延伸率几乎相同。

比较钢锭以及由其制成的钢板的机械性能说明，轧制可以减小因钢锭化学成份的不一致性所引起的机械性能不均匀性，但是即使在生产厚度1~2公厘的钢板时，完全消除这种影响也是不可能的（见表1、2与3）。

如果不考虑在沸腾钢中常遇到的由于钢锭内各部分的钢的化学不一致性所引起的个别偏差，则两类钢的冲击韧性几乎是相同的。

加热时钢的机械性能的变化

目前很多锅炉钢板是用沸腾钢制成的。

高温时，低碳钢的冲击韧性（ ρ ）在470°时最低；金属的硬度与抗张极限在250°时达到最高值；当温度继续升高时，上述性能即显著下降。金属的延伸率当温度接近于200°时数值最低，而后则急剧上升（图4）。这样，沸腾钢制成的锅炉钢板在20—280°范围内可以很好地应用，因而，可以用来制造工作温度不超过300°

表 1

加鋁鑄靜的鋼和沸騰鋼的機械性能的比较

脫 氧 方 法	錠 重 量 公 斤	鋼錠的 切頭數 %	成 分, %				機 械 性 能 (橫 試 樣)			
			C	Mn	P	S	抗張極限, 公 斤/公 厘 ²	延 伸 率, %	沖 擊 韌 性, 公 斤·公 厘/ 公 分 ²	
沸 騰 鋼										
爐中用 FeMn.....	500	15	0.08—0.10	0.40—0.50	0.03	0.01	35.2	30.0	61.8	12.0
爐中用 FeMn; 桶中										
爐中用 0.02—0.06%Ti	500	15	0.08—0.10	0.40—0.50	0.03	0.01	34.4	27.5	54.5	12.2
爐中用 FeMn.....	500	7	0.12—0.20	0.40—0.60	—	—	36—45	16—30	—	—
爐中用 FeMn.....	500	7	0.19	0.57	—	—	41—45	16—23	—	—
桶中用 FeMn.....	7000	12.5	0.07—0.10	0.44	0.01	0.01	31—32	25—34	57—63	13.2
爐中用 FeMn.....	7000	9.6	0.08	0.41	0.03	0.01	31—35	26—32	44—55	14.9
爐中用 FeMn.....	7000	10	0.17	0.49	0.02	0.02	44—51	16—27	—	—
爐中用 FeMn.....	7000	10	0.12	0.46	—	—	37—41	20—52	—	—
鑄 靜 鋼										
爐中用 FeMn, 桶中	5500	保溫帽 部 份	0.10	0.43	0.01	0.01	36—38	23.30	52.5	13.1
爐中用 0.10%Al										
爐中用 FeMn, 桶中	5500	"	0.09	0.44	0.02	0.02	35—37	27—33	57.3	20.0
爐中用 0.11%Al 与 0.022%Ti										
爐中用 FeMn, 桶中	500	12	0.11	0.57	0.01	0.01	37.8	29.2	53.6	18.2
爐中用 0.15%Al										
爐中用 FeMn, 桶中	500	12	0.11	0.55	0.01	0.01	39.4	27.8	60.0	19.2
爐中用 0.15%Al 与 0.06%Ti										

机械性能随钢锭高度不同的变化

脱氧方法	锭重, 公斤	钢锭切 头量, %	成分, %				沿钢锭不 同高度的 取样部位	各炼炼组的钢的机械性能(植试样)					
			%					抗张延 伸率, %, 公斤/ 公厘 ²	断面 收缩 率, %, 带边部 中间	冲击韧性, 公斤·公尺/公分 ²	带边部 中间		
			C	Mn	P	S							
爐中用 FeMn, 桶 中用 0.15%Al 爐中用 FeMn, 桶中 用 0.15%Al 与 0.06%Ti	500	12	0.10	0.50	0.02	0.02	上部	37.60	28.0	—	16.4	22.0	19.2
							中部	37.35	29.0	62.5	17.2	18.3	17.8
							底部	38.60	31.0	64.6	15.3	20.1	17.7
							上部	39.3	28.6	62.0	18.5	22.2	20.4
							中部	39.8	26.6	60.1	12.1	22.2	17.1
	500	12	0.11	0.55	0.016	0.014	底部	39.1	28.1	62.8	19.1	21.1	20.1
爐中用 FeMn 爐中用 FeMn 爐中用 FeMn 爐中用 FeMn	500	15	0.08—0.10	0.40—0.50	0.03	0.01	上部	35.1	27.2	53.0	11.0	12.9	12.0
							中部	34.4	27.9	53.8	11.6	12.8	12.2
							底部	33.6	28.5	57.6	10.2	10.6	10.4
	7000	12	0.08	0.44	0.020	0.020	上部	33.1	26.1	51.1	—	—	—
							中部	34.0	29.1	59.3	—	—	—
							底部	32.8	28.3	55.1	—	—	—
爐中用 FeMn 爐中用 FeMn 爐中用 FeMn 爐中用 FeMn	7000	12	0.18—0.20	0.57—0.60	0.030	0.020	上部	49.4	18.1	—	—	—	—
							中部	47.1	25.0	—	—	—	—
							底部	46.2	25.0	—	—	—	—
	7000	12	0.12	0.46—0.49	0.035	0.020	上部	38.6	24.0	—	—	—	—
							中部	38.5	27.3	—	—	—	—
	7000						底部	38.0	25.0	—	—	—	—