

钢中非金属夹杂物

冶金工业出版社

TG142.1
30
3

钢中非金属夹杂物

李为镠 编译

127

冶金工业出版社

内 容 简 介

本书主要介绍了钢中非金属夹杂物的分类 来源、形成以及对钢性能影响的机理和概念；评述了非金属夹杂物对钢的切削、疲劳、热脆、耐蚀、表面光洁度、焊接、热撕裂等主要性能的影响；分钢种具体叙述了钢中非金属夹杂物的影响；最后介绍了钢中非金属夹杂物的去除。书中附有大量夹杂物照片和重要数据，对炼钢生产中控制由于夹杂物所引起的缺陷以及改善钢的质量、提高钢的性能具有重要的参考价值。

本书主要读者对象是从事科研、生产的炼钢工作者，也可供大专院校炼钢专业师生参考。

钢中非金属夹杂物

李为镠 编译

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

江西印刷公司印刷厂排版

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 $15\frac{1}{2}$ 字数 410 千字

1988年4月第一版 1988年4月第一次印刷

印数 00,001~2,750 册

ISBN7-5024-0154-7

TF·58 定价4.50元

出版说明

本书主要根据苏联1963年出版的 М. И. Виноград 所著的《Включения в стали и её свойства》以及英国1978年出版的 Roland Klessling 和 Nils Lange 所著的《Non-Metallic Inclusions in Steel》两本书编译的。为使我国读者对夹杂物的研究有较为全面的了解，书中还编入了部分国内资料。

全书共分十三章，分别介绍了钢中非金属夹杂物的分类、来源、形成及对钢性能影响的机理；非金属夹杂物对钢的主要性能的影响；钢中非金属夹杂物的去除等内容。

本书仍使用上述两本原书的单位。附有所用单位与国际单位制的换算表，以便读者参考。

目 录

第一章 非金属夹杂物对钢性能影响的冶金学概念	(1)
一、硫化物的影响.....	(3)
二、脱氧产物的影响.....	(8)
第二章 关于非金属夹杂物对钢性能影响机理的若干概念	(24)
一、钢中非金属夹杂物的薄膜性状.....	(24)
二、钢中非金属夹杂物的变形性能.....	(45)
三、热处理时钢中非金属夹杂物的行为.....	(66)
第三章 钢中非金属夹杂物及其分类	(75)
一、氧化物类.....	(75)
二、硫化物夹杂物.....	(116)
三、钢中含硒和碲的夹杂物.....	(141)
四、非金属夹杂物按钢的类型分类.....	(145)
第四章 钢中非金属夹杂物的来源	(147)
一、钢中非金属夹杂物的大小、数量和分布.....	(152)
二、脱氧元素对非金属夹杂物形成的影响.....	(166)
三、炼钢过程中非金属夹杂物的形成.....	(201)
四、铁合金带来的夹杂物.....	(209)
五、炉渣和盛钢桶渣带来的夹杂物.....	(214)
六、耐火材料带来的夹杂物.....	(218)
第五章 非金属夹杂物对钢性能的影响及其基础研究	(227)
一、非金属夹杂物对钢性能的影响.....	(227)
二、非金属夹杂物对钢的机械性能影响的基础研究...	(258)
第六章 低碳钢和中碳钢的非金属夹杂物和性能	(275)
第七章 高碳钢的非金属夹杂物和性能	(288)

第八章	轴承钢的非金属夹杂物和性能	(319)
第九章	合金结构钢的非金属夹杂物和性能	(357)
第十章	铬不锈钢的非金属夹杂物和性能	(387)
第十一章	18-8型镍铬不锈钢中的非金属夹杂物	(400)
第十二章	25~20型镍铬钢的非金属夹杂物和性能	(415)
第十三章	钢液中非金属夹杂物的去除	(435)
	一、非金属夹杂物去除的条件	(435)
	二、非金属夹杂物的去除	(451)
	本书所用基本单位与国际单位换算表	(486)
	主要参考文献	(487)

第一章 非金属夹杂物对钢性能影响的冶金学概念

众所周知，在现代炼钢技术迅速发展的今天，无论是哪一种炼钢方法都采用了很多的新技术。特别是真空技术的应用，使炼钢技术有了一个质的进展。真空脱气法已经发展到不仅是一般地用来处理钢液，而是作为生产洁净钢的一种新的有效的精炼技术，这种技术的应用日趋普遍。在高级钢的生产领域里，真空感应熔炼法、电子轰击熔炼法、自耗电极真空电弧熔炼法、等离子熔炼法、电渣重熔法等的应用，使钢质量和性能得到了极大的提高。

然而，就目前的炼钢技术状况而言，要生产出不含非金属夹杂物（一般也称夹杂物）的钢是不可能的。这是因为 1）在熔化、精炼及铸锭过程中，钢液内发生的各种化学反应和溶解度的变化等产生的化合物； 2）钢在压力加工和热处理过程中生成的化合物； 3）在熔化、精炼过程中没有被除去而残存下来的原料中各种杂质；受钢液机械侵蚀的耐火材料和熔渣的颗粒；由于钢液化学侵蚀等混入钢液中的分散化合物； 4）由于这些化合物相互反应产生的化合物等等都成为钢中不可避免的夹杂物。因此，有效地研究钢中夹杂物的来源、生成、结构、形态学及其对钢性能影响的冶金学，已成为提高钢的质量，进一步改善钢的性能的重要课题。

各种类型的非金属夹杂物对钢的性能的影响是极其错综复杂的，因此对于夹杂物对钢性能影响的研究也是非常广泛的。各类夹杂物影响钢性能的机理将在有关章节中作具体叙述。本章主要介绍影响钢性能的各类夹杂物的冶金学概念。

许多年来不少冶金工作者对钢中夹杂物的形成和分布的冶金

学条件及其对钢性能的影响进行了广泛的研究。随着钢中夹杂物测定技术的不断发展，特别是X—射线衍射、电子探针和扫描电镜等现代技术的有效使用，使得对钢中非金属夹杂物的研究结果更有根据了。研究的成果已经发表在许多论著中，这对了解钢中夹杂物的形态和形成过程；夹杂物对钢性能的影响；如何控制和改善夹杂物在钢中的形态和行为等有着重要意义。

冶金工作者们早已发现，一种钢由于冶炼方法不同而使性能有很大的差异。在化学成分相同的不同炉号中，发现钢的性能极为不同。有时还发现，用同一方法冶炼的成分相同的个别炉号的钢，其性能也有所差异。钢和合金的以下各种性能都可能与熔炼条件有关：

- 1) 金属的高温塑性（热脆性）；
- 2) 金属的常温塑性；
- 3) 零度以下金属的塑性；
- 4) 淬透性；
- 5) 晶粒长大的倾向；
- 6) 金属组织的“反常性”；
- 7) 疲劳强度；
- 8) 持久热强和蠕变；
- 9) 耐蚀性；
- 10) 夹杂物污染度；
- 11) 磁导率等。

熔炼条件可能对钢的各种性能产生影响，而大多数冶金工作者研究的主要注意力则放在钢的高温塑性，亦即热脆性上面。我们把钢的塑性急剧降低，以致在热变形时发生破坏的现象称“热脆性”。对热脆性有不同的解释。一些研究者早就指出，为了测定钢的高温性能，必须根据渣系状态图来确定钢中夹杂物的状态。如果夹杂物在钢的变形温度下熔化呈液相，那么，钢便发生热脆。为了解释高温时钢的塑性降低，以及探索可行的改善塑性的办法，有以下几种假设。

一、硫化物的影响

早期的一种假设认为，硫化铁是引起热脆的易熔夹杂物。当金属中硫含量较高时，金属中形成熔点为 1190°C 的硫化铁，使金属在热变形时破坏。但往钢中加锰时，硫和锰化合成含有少量硫化铁杂质的硫化锰固溶体，因而消除了硫化铁。这样，虽然塑性是提高了，但热脆情况并没有消除。以后多次的研究证实，钢中有一定的锰含量时，硫对热态塑性没有不良影响。有的论文指出，含氧 $0.23\sim 0.35\%$ 、硫 $0.16\sim 0.21\%$ 的钢能很好地锻造。后来推测，由脱氧条件所决定的硫化物的形状对可塑性有影响。

显然，硫化物 (MnS) 在钢中的形态取决于炼钢工艺。早在三十年代，西姆斯 (Sims) 和达耳 (Dahle) 就综合了用铝和其它脱氧剂脱氧的含碳 0.20% 的碳素钢铸件中硫化物夹杂物的研究结果。根据这些研究结果，他们把硫化物夹杂物分成三大类：

I 类硫化物：呈大小不同的球状，常与氧化物复合。这类夹杂物一般存在于只用硅脱氧的或者用铝、锆或钛不完全脱氧的钢中。这种夹杂物对钢的机械性能没有影响。

II 类硫化物：是细小球状物，成小链状分布于钢的晶界上，或者呈共晶结构膜片分布于晶界上，常称为晶界硫化物。常常发现它和刚玉一起结晶。这种硫化物大都存在于用铝完全脱氧而无残铝的钢中，以及用锆和钛强烈脱氧的钢中。它对钢的机械性能产生有害的影响。

III 类硫化物：通常是形状不规则、带角的大型夹杂物。它们在钢中的分布也是不规则的，大都存在于有残铝的脱氧钢中。这类硫化物与 I 类硫化物相似，两者无明显差异，其对钢的有害影响比 II 类硫化物要小些，但仍比 I 类硫化物大。

研究者在如下含铝量的钢中发现了不同硫化物。I 类硫化物，铝少于 0.001% (重量)；II 类硫化物，铝大约为 0.003% (重量)，盛钢桶中的加铝量为 1000g/t ；III 类硫化物，铝为 0.038% (重量)，钢锭模中加铝 700g/t 。

弗莱特烈克松 (Fredriksson) 和希莱尔特 (Hillert) 用定

向凝固法研究了MnS相的形态和形成。研究了一系列的含氧量低的和不同的碳、铝含量合成的Fe-Mn-S合金。硫化物是根据其在钢液中的形成机理而分类的，找出了如下四种不同类型的硫化物形态。

I类硫化物（西姆斯I类）：呈滴状，在钢中任意分布。在固溶体中常常含有其它金属。有些学者认为，这些硫化物是由一种变质的偏晶反应所形成的。在这里MnS形成一种液相。

II类硫化物（西姆斯II类）：呈棒状，以链状分布，或在钢锭原始晶界上以薄片状沉淀物分布。一般认为，这些夹杂物是由一种共同的偏晶反应形成。在这里，MnS以液相和富Fe固相在一起。然而这与毕格勒（Bigelow）和弗莱密格斯（Flemings）的最新发现有矛盾，他们根据Fe-Mn-S相图的新数据断定，II类硫化物是由共晶反应而不是偏晶凝固形成的。

III类硫化物（西姆斯III类）：系等轴的和多面体，这类硫化物总是呈单相任意分布在钢中。有时候呈内部枝晶长大花样。这种MnS象是由变质的共晶反应所形成的结晶相。

IV类硫化物：呈带有片状硫化物的带形结晶。有人认为，MnS是由共晶反应与富Fe的固相一起形成结晶相的。对这种类型的夹杂物过去没有作过描述。

关于钢中硫化物的形成及其形态控制将在本书有关章节中作详细阐述。

在形变的钢中，上述各类夹杂物的影响的差别有所减少。

西姆斯，沙勒（Saller）和鲍尔格（Boulger）等人指出，不仅用铝脱氧，而且用其它脱氧剂脱氧，都对硫化物夹杂物的类型有很大的影响。例如，甚至加入很少的锆（钢中的残余锆为0.002%）也会导致出现不良的硫化物夹杂物，这种类型的夹杂物一直存在，直到锆含量低于0.03%。在含锆量为0.03%的情况下，夹杂物的状态就开始逐渐变得对金属性能有利了（III类硫化物）。

有人认为，酸性炉中炼出的碳素钢性能下降是由于晶界上出

现了硫化物。机械特性检验的数据表明，当硫含量从0.02%增到0.05%时，塑性不合格的废品率（横断面收缩率小于30%的炉数%）从0增加到3.5%（当用200~300g/t钢的铝脱氧时），当把脱氧用铝量增加到400~520g/t钢时，钢的性能大大下降，从而使废品率提高到55%。进一步增加用铝量到700~800g/t钢时，钢的性能又有所改善（图1-1）。

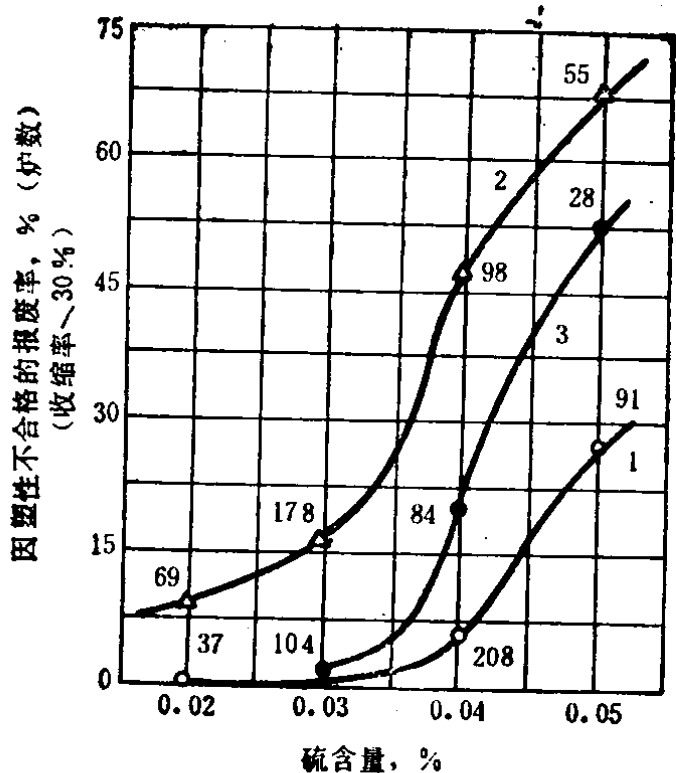


图 1-1 钢中硫含量和盛钢桶中加铝量 (g/t) 对钢锭塑性的影响 (曲线上的数字是炉数)

1—300~400g/t; 2—400~520g/t, 3—700~800g/t

还有人研究了硫在钢合金化和脱氧时的表现。

在20公斤酸性感应炉中研究了用 Si-Mn-Ca合金和 Si-Mn-Ca-Mg 合金脱氧对几炉碳素钢氧化物夹杂物和硫化物夹杂物的影响。这些脱氧剂的加入量为150g，在出钢时加入钢流中。将研究结果与下述脱氧方法作了比较：在出钢前往坩埚中加入150克硅铁、锰铁或硅锰合金，随即用铝（5g）最终脱氧。

用显微镜和微量化学方法对夹杂物进行了研究。查明，在用锰铁、硅铁和铝脱氧的钢中，含有均匀分布于金属晶粒中的硫化锰及硫化铝（ Al_2S_3 ）在用硅锰合金及铝脱氧时，产生硫化锰、硫化铝及硫化铁夹杂物，它们的形状较圆，并且沿晶界分布。

有一种假设认为，硫化铝和硫化锰是在先前形成的刚玉（ Al_2O_3 ）晶体上析出的。在用 Si-Mn-Ca 合金脱氧时，产生硫化锰，硫化钙和硫化铁的黑色薄壳包住硅酸盐夹杂物。这些硅酸盐夹杂物分布在金属晶粒内。而这些夹杂物中存在的大量结晶

硫化锰会妨碍熔合及从金属液中排除夹杂物。当用 Si-Mn-Ca-Mg 合金脱氧时，出现硅酸盐夹杂物的粗大球体。这些粗大球体被包围在硫化锰、硫化铁、硫化钙和硫化镁的黑色薄壳内。这些夹杂物成分中存在镁是夹杂物熔点降低、聚集并从金属液中排除的先决条件。与其它脱氧方法比较，这时钢中的硅酸盐夹杂物和硫的含量分别从 0.05% 和 0.07% 降低到 0.03% 和 0.05%。

许多研究工作者推测，硫化铝对钢的性能多产生有害影响。

萨马林 (Самарин) 也假设，在用铝脱氧的酸性钢中，低熔点的硫化铝和硫化铁夹杂物对钢的塑性有不良的影响。

在博恩 (Born) 的论文中研究了硫化物夹杂物与钢的性能的关系。用 300 公斤感应电炉炼了两炉碳素镇静钢和锰钢，铸成十七种不同成分的钢锭 (钢锭单重 40 kg)，进行了夹杂物的研究。在锰与硫的比例等于 33:43 时，钢的成分为：0.11~0.19% C；0.01~2.42% Mn；0.001~0.114% Al；0.046~0.113% S。试样经过金相检验，并用化学法，光谱法，X 射线法以及电子衍射法研究了离析出来的夹杂物。在夹杂物离析出之后，将厚 1~2 mm 的阳极放在湿氢中于 870℃ 脱碳，残余的碳化铁经淬火而溶于固溶体中，然后将试样磨光。电解是在 5% 柠檬酸钠、1.2% 溴化钾和 0.6% 碘化钾水溶液中进行的。电流密度为 0.01 A/cm²。用磁性方法及碘醇溶液进行分组离析。当钢中锰与硫含量之比等于 0.2 时，硫化物夹杂物中硫化锰 (MnS) 约为 10%；而当锰与硫之比等于 1.7 时，硫化物夹杂物中硫化锰含量为 80%。当钢中锰与硫之比大于 5 时，硫化物夹杂物中硫化锰含量约为 95%，这样就消除了由于硫化物夹杂物沿晶界熔化而引起的钢的热脆性。加入少量铝能改善钢中硫化物夹杂物的形状和分布。虽然铝不直接成为硫化物夹杂物的成分，但铝对钢锭和轧材的塑性和断口形状的不良影响与晶界上延伸的链状硫化物夹杂有关。

约瑟夫逊 (Josefsson) 等人发表的有关硫和氧对钢热脆性影响的论文中指出，当没有锰时，硫会引起钢在奥氏体区域内的热脆。他们认为，锰能消除热脆性是由于锰使奥氏体中硫的溶解

度提高以及由于形成硫化锰，防止了沿晶界析出硫化物所致。当存在硫而不存在锰时，氧会促使热脆性增高。

为了确定钢的热脆性，使用尺寸为 $15 \times 7 \times 65\text{mm}$ 的有切口和无切口的冲击试样，在高温下进行试验。并查明了在 960°C 预热处理对热脆倾向的影响。

安德逊 (Anderson) 等研究了硫和锰对含 0.2% C 的钢的可锻性的影响。当锰含量为 $0.04 \sim 0.53\%$ 时，硫的含量在 0.021% 到 0.415% 之间变动。这些研究表明，在硫含量高于 0.017% 时，钢中不含锰便不能锻造。钢中硫含量高于 0.03% 和锰含量高于 0.06% 时，能保证具有合格的可锻性的锰与硫之比，可以用下式表示：

所要求的锰含量， $\% = 1.25\% S + 0.03$ (见图 1-2)

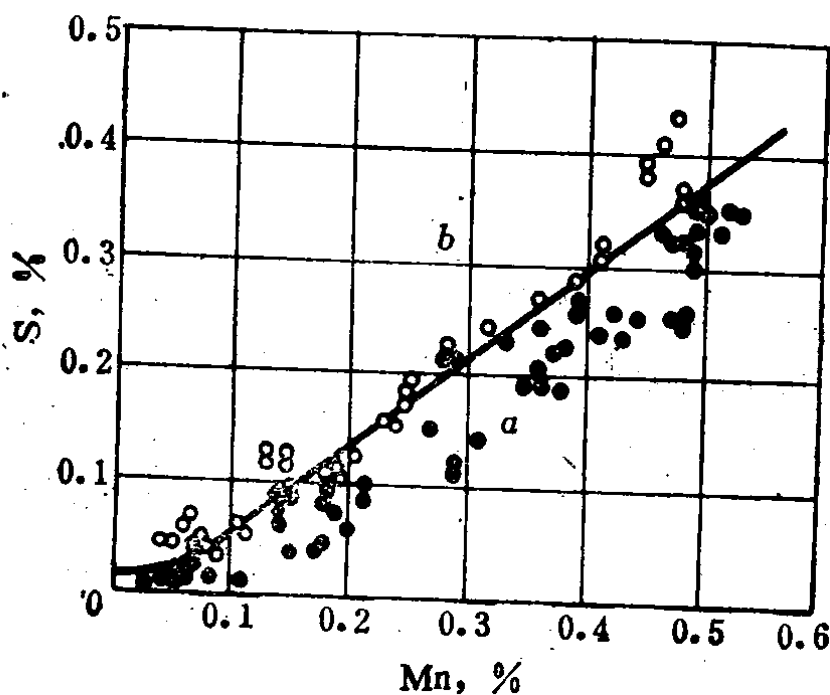


图 1-2 硫和锰的含量不同时铁碳合金可锻性范围
a—可锻合金， b—不可锻合金

试验表明，无论是碳含量的波动（在研究范围内），或者是脱氧用的纯铝，都不会影响热态钢的可锻性范围。

根据硫和硫化物夹杂物对钢可塑性影响的研究结果，可以作出如下结论：对于具有通常的硫与锰之比钢来说，认为硫化物夹杂物决定钢的可塑性是没有根据的。

但是，对酸性钢进行的大多数研究表明，在硫化物夹杂物形状与钢的脱氧条件和钢的性能之间存在着一定的关系。

低熔点硫化物往往使钢的性能降低。

关于钢中各种硫化物的详细内容将在第三章中叙述。

二、脱氧产物的影响

冶金工作者为了了解除硫以外对钢性能的影响因素，详细地研究了硅酸盐夹杂物以及应用含硅和锰的脱氧剂对酸性钢性能的影响。戈契 (Герги) 和菲杰勒 (Фиттерер) 对酸性坩埚钢用硅脱氧进行了研究 (表 1-1) 得出以下几点：

1) 含有富集 FeO 的硅酸铁的钢能很好地锻造，并且没有发现热脆征兆；

2) 含有高硅夹杂物的钢热脆性高，这是由于在锻造温度下，这种夹杂物硬度高所致；

3) 含有 0.033% S 和氧化亚铁含量相当高的钢仍有很好的可锻性。

戈契等人还研究了钢用铝脱氧的情况。用含碳 0.05% 的钢水在出钢时向盛钢桶内添加不同数量的铝，进行试验。得出了如下的结论：在用铝脱氧时， Al_2O_3 将一定数量的 FeO 渣化，并且形成由 FeO 和 Al_2O_3 熔合的相当粗大的夹杂物。氧化铝夹杂物具有聚集成群的倾向。夹杂物含 Al_2O_3 越多，则这种倾向表现得越明显。在研究 8 kg 的钢锭时，没有发现夹杂物有偏析的规律性。含 FeO 和 Al_2O_3 的一些个别夹杂物在锻造时并没有改变本身的形

硅酸盐对可锻性的影响

表 1-1

钢锭号	含量, %		硅 酸 盐 类 型	可锻性特征
	Mn	Si		
1	0.026	0.004	粗长的，细球状的 FeO 颗粒	良好
4	0.038	0.021	在细长的硅酸盐中有 FeO 颗粒	合格
6	0.069	0.053	含 60~100% SiO_2 的夹杂物	很难锻造
9	0.042	0.212	几乎含 100% SiO_2 的夹杂物，稍有形变的或球状的玻璃质	热脆严重

状，而成群的夹杂物则延伸成条带物。在用显微镜分析裂缝时，总是发现成群的夹杂物条带。

应当指出，所查明的加铝对钢可锻性影响的事实无疑是正确的，但解释的可靠性则值得怀疑。这是因为，对 FeO 和 Al_2O_3 化合物这类夹杂物成分的测定，在用酸性坩埚冶炼时未必是正确的，因为这种情况下钢中本来就会存在某些数量的硅酸盐夹杂物及玻璃状夹杂物。

西姆斯和利莱盖斯特 (Lilliequist) 进行了很多的试验，积累了有关在酸性炉中冶炼高塑性钢的重要观察数据。

在研究过程中发现，塑性低的钢，亦即冲击韧性、延伸率以及断面收缩率低的钢（在作断裂试验时）都含有特殊性质的夹杂物。许多试验都表明，金属的性能较差，绝不是由于它的夹杂度较高所致。夹杂度很高的钢，也可能具有很好的机械性能，而纯洁度较高的钢，其机械性能也可能较差。研究认为，钢的性能的这种差异仅仅取决于夹杂物的形状。引起钢的性能降低的重要原因是，钢中存在着呈小链状分布的棒状或大小一样的圆点状小型夹杂物。这些夹杂物仅断面是圆的，而实际上它们都是长的。这些夹杂物只分布在初生晶体的晶界上，即分布在枝晶之间的部位上，而且看来是在钢液结晶的最后瞬间从液态母液中析出的共晶体的组成部分。

就在西姆斯和利莱盖斯特的同一篇论文中所列出的数据表明，在酸性钢中添加铝都会降低钢的可塑性，而与用于型或湿型浇注无关。从表 1-2 可以看出，钢的性能的改变在所有的情况下都取决于钢中是否加铝，而不取决于浇注条件。

他们发现，某些炉号质量不好的原因是无法解释的。这些炉号的熔炼方法和原料与质量好的炉号大致一样，成分也大致相同，而这些质量不好的炉号钢的塑性都较低，钢液流动性不良，而且钢液充满钢锭模的情况也不良。如所谓“过度脱氧的”钢就是如此。为了确定向盛钢桶内添加铁矿石对用铝预脱氧过的酸性钢性能的影响，曾作了试验（表 1-3）。

加铝对酸性铸钢性能的影响

表 1-2

铸型的准备	σ_b kg/mm ²	σ_s kg/mm ²	δ %	φ %	平均冲击性 ft·lb
烘干的干砂型	55.3	33.1	31.5	54.4	37.0
钢中不加铝	55.4	33.5	31.0	54.9	
同上	55.7	35.4	26.5	38.2	31.0
钢中加0.05%铝	55.5	33.6	27.0	42.0	
半烘干的干砂型	55.7	32.4	31.5	57.0	37.0
钢中不加铝	55.7	33.1	30.5	54.4	
同上	56.1	35.7	26.5	37.6	29.0
钢中加0.05%铝	55.7	35.9	26.5	38.9	
在空气中晾干的砂型	55.5	33.0	32.0	51.5	38.5
钢中不加铝	55.6	31.6	31.5	56.6	
同上	55.3	34.8	26.0	36.0	27.0
钢中加0.05%铝	55.6	34.3	25.0	35.6	
湿砂型	55.2	31.1	31.5	55.7	37
钢中不加铝	55.5	33.4	31.5	56.0	
同上	55.5	34.7	24.5	34.6	26.5
钢中加0.05%铝	56.6	35.3	25.0	35.7	

向盛钢桶添加铁矿石对酸性钢性能的影响

表 1-3

取 样 方 法	σ_s kg/mm ²	σ_b kg/mm ²	δ %	φ %	断口形状
直接从盛钢桶取样	36.01	55.9	23	25.8	层板状
添加铁矿石后取样	33.32	55.2	37	51.1	浅杯状

西姆斯和利莱盖斯特将他们的研究概括如下:

1) 铸钢的塑性与其夹杂物的性质和分布情况存在着直线的关系。

2) 无规则的分散分布的球状夹杂物对钢的机械性能影响最

小。

3) 低熔点网状夹杂物使钢的塑性降低, 同时在少量的塑性变形时就使钢发生破裂。

4) 钢中夹杂物的数量在工厂规定的通常限度内变化, 对钢的机械性能几乎没有什么影响。

5) 形成夹杂物的杂质能溶解于钢液中, 并且在钢液凝固时呈夹杂物析出。

6) 如果钢中氧化亚铁的含量高, 那么, 当钢液在铸型中开始凝固时, 夹杂物就呈硅酸盐及硫化物的球状物析出, 这时钢具有良好的塑性。

7) 如果钢中氧化亚铁的含量过低, 则钢液中夹杂物的溶解度大大提高, 以致夹杂物要在钢液凝固结束时, 才以低熔点物形式析出。这种钢的塑性低。

卢卡金维奇—杜瓦诺娃 (Лукашвич—Дуванова) 的研究表明, 当往酸性平炉钢液中加入不同的脱氧剂时, 钢的性能和夹杂物的性质有所改变。

对15吨平炉熔炼的7炉含碳0.4%的碳素钢进行了研究。炉内脱氧是用锰铁和硅铁进行的。附加脱氧剂主要加入盛钢桶内。在每炉钢液浇注的中途, 各浇注一个一吨的钢锭, 将其剖切, 从钢锭中部切取试样进行研究。

试验炉号钢的脱氧及可塑性列于表1-4中。这些数据表明, 用铝脱氧的各炉钢的性能都较差。研究者认为, 这种性能的恶化是由于结晶氧化铝占多数所致。

在显微镜下观查的结果如下:

1) 炉号1。观察到透明的和半透明的小球状硅酸盐夹杂物。小球状硫化物由80% MnS 和18% FeS 组成。并且分布得很分散。

2) 炉号2。观察到比较粗大的透明和不透明的球状硅酸盐夹杂物。具有与上述同样形式的黑色滴状硫化物。

3) 炉号3。观察到相当粗大的不透明的硅酸盐夹杂物, 以