



钢中 非金属夹杂物

(瑞)尺·凯斯林

GANG ZHONG
FEI JIN SHU
JIA ZA WU

鞍钢钢铁情报研究所

钢中非金属夹杂物

Roland Kiessling 和 Nils Lange 著

鞍钢钢铁研究所
中国科学院金属研究所 合译

鞍钢科技情报研究所

一九八〇年五月

译者前言

众所周知，钢中非金属夹杂物对钢的性能有重要的影响。在钢的冶炼、铸造、轧制及其使用过程中，经常遇到有关非金属夹杂物的问题。因此，关于非金属夹杂物的形成规律及其鉴别方法，一直是冶金工作者十分关注的课题。

这本书是由瑞典金属研究所所长 R·Kiessling 及其助手于 1964—1976 年先后用了十二年的时间编写而成的，曾分成四个部分单独出版。该书对夹杂物的来源、化学成分、形成机理及对钢材性能的影响等做了详尽的讨论，提供了应用 X 射线衍射、电子探针和扫描电镜等现代技术鉴定钢中非金属夹杂物所取得的各种重要数据，还附有大量的图片和参考资料。因此，这本书是目前国内外同类参考书中最完备的一本。它对在钢铁生产中有效地控制夹杂物所引起的缺陷和提高钢材的质量和性能，均具有一定的指导意义。本书可作为钢铁生产及有关研究人员、质量管理人员、材料检验人员和机械制造部门的技术工作者必备的参考书。

本书由中国科学院金属研究所和鞍钢钢铁研究所合译。第 I 部分由金属研究所李静媛、熊良钺、田继丰、阚青堂和白春根等同志译，李静媛校对，谭丙煜复核（并已印成单行本）；第 II—IV 部分由鞍钢钢铁研究所金相热处理研究室李凤亮、赵景晖、丘利、张书礼、葛琼、柯国庆、李士杰、刘玉铭、赵仁致、刘仁才、顾德荣、原永良、唐婉、夏殿佩、崔英、庞兆夫、吉言成、柳永浩、李仁纯，还有原中心化验室许庆泰同志等译，由金相热处理研究室主任姚卫薰校对。其中第 II 和第 III 部分又经金属研究所付研究员李静媛同志复核。

特别感谢鞍钢情报研究所的大力支持，为我们承担了出版工作，使这本已经压了两年的译稿得以与急切的读者见面。

由于本书篇幅较大，又经许多人合译，且限于水平，其中难免有错，衷心希望读者批评指正。

鞍钢钢铁研究所

一九八〇年一月

前 言

近几年来，瑞典斯德哥尔摩金属研究所 (Institutet foer Metallforskning) 采用电子探针微区域分析方法，作为研究钢中非金属夹杂物的主要技术。其一部分研究工作早已用英文写成论文，在钢铁学会杂志 (Journal of The Iron and Steel Institute) 上发表。但是，广泛地选择夹杂物类型进行搜集和分析，却在此以后。因此著者又于一九六四年在瑞典 “Jernkontorets Annaler” 杂志上就 $\text{MnO}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ 系发表一系列的报导，以后汇集而成一册夹杂物图谱。“钢铁学会杂志”的编者认为这份图谱用英文发表很有价值。本书便是瑞典文本的修订和增补。书的第一部分有绪言，介绍所用的试验方法和图谱的系统根据，某些有关氧化物系也一并编入。计划在第二部份中包括含 CaO 和 MgO 的化合物以及硫化物等的夹杂物。

一九六四年九月，于斯德哥尔摩

目 录

第 I 部分 属于 $\text{MnO—SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3$ 准三元系 和有关其它系的夹杂物

绪 言	(1)
实验方法	(3)
A. $\text{MnO—SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3$ 系	(4)
A 1. 概 述	(4)
A 2. 刚 玉	(5)
A 3. 方石英	(12)
A 4. 磷石英	(17)
A 5. 石 英	(17)
A 6. 方锰矿	(20)
A 7. 锰尖晶石	(24)
A 8. 莫来石	(31)
A 9. 蔷薇辉石	(37)
A10. 锰橄欖石	(40)
A11. 锰铝榴石	(43)
A12. Mn—钙长石	(46)
A13. Mn—堇青石	(48)
A14. 相 变	(48)
A15. 总结和讨论	(51)
B. $\text{Fe}_x\text{Mn}_{1-x}\text{O—SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3$ 系	(55)
B 1. 概 述	(55)
B 2. 维氏体	(56)
B 3. 铁橄欖石	(59)
B 4. 铁闪石 “ FeSiO_3 ”	(60)
B 5. 铁尖晶石	(61)
B 6. 铁铝榴石	(62)
B 7. Fe—堇青石	(64)
C. $\text{Fe}_x\text{Mn}_{1-x}\text{O—SiO}_2\text{—Cr}_y\text{Al}_{2-y}\text{O}_3$ 系	(65)
C 1. 概 述	(65)
C 2. Cr_2O_3 (绿铬矿)	(66)

C 3. 铬锰尖晶石	(70)
C 4. 铬铁矿	(71)
D. 铁的氧化物 ($Fe_{1-x}O$, Fe_3O_4 及 Fe_2O_3)	(73)
D 1. 概 述	(73)
D 2. 维氏体	(73)
D 3. 磁铁矿	(75)
D 4. 赤铁矿	(77)
E. 夹杂物按钢的类型分类	(79)
参考文献	(81)
附 录	(83)
1. 夹杂物相的名称及理想分子式	(83)
2. 夹杂物的理想成分中的金属含量	(84)

第 II 部分 $MgO-SiO_2-Al_2O_3, CaO-SiO_2-Al_2O_3$ 系夹杂物和有关氧化物硫化物夹杂物

前 言

F. $MgO-SiO_2-Al_2O_3$ 系	(87)
F 1. 概 述	(87)
F 2. 方镁石	(91)
F 3. 尖晶石	(94)
F 4. 顽辉石, 原顽辉石, 斜顽辉石	(99)
F 5. 镁橄榄石	(102)
F 6. 堇青石	(105)
F 7. 镁铝石榴石	(106)
F 8. 假蓝宝石	(107)
F 9. 大隅石型相	(107)
F 10. 透辉长石型相	(108)
G. $CaO-SiO_2-Al_2O_3$ 系	(109)
G 1. 概 述	(109)
G 2. CaO	(112)
G 3. 钙铝酸盐	(115)
G 4. 钙硅酸盐	(126)
G 5. 三元氧化物相	(142)
G 6. 概述和讨论	(149)

H. III、IV和V族过渡族金属的氧化物夹杂物	(154)
H 1. III族(钨系元素)	(154)
H 2. IV族(Ti, Zr, Hf)	(154)
H 3. V族(V, Nb, Ta)	(159)
J. 氧化物夹杂物: 各相的表格摘要 ³	(160)
K. 硫化物夹杂物	(161)
K 1. 概 述	(161)
K 2. 铁—硫系	(165)
K 3. 锰—硫系	(173)
K 4. (Mn, Me) S型固溶体和MnS·B ₂ S ₃ 型复合硫化物	(184)
K 5. III族硫化物(钨系元素)	(188)
K 6. IV族硫化物(Ti, Zr, Hf)	(191)
K 7. V族硫化物(V, Nb, Ta)	(192)
K 8. VI族硫化物(Cr, Mo, W)	(193)
K 9. VII族硫化物(Co, Ni)	(194)
K10. I族硫化物非过渡族金属(Cu, Ag, Au)	(194)
K11. II族硫化物非过渡族金属(Mg, Zn, Cd, Hg, Ca, Ba, Sr)	(194)
K12. III族硫化物, 非过渡族金属(Al)	(195)
K13. IV族硫化物, 非过渡族金属(Sn, Pb)	(195)
K14. 硫被碳、氧和氮部分置换的硫化物(碳—氧—氮硫化物)	(196)
L. 钢中含硒和碲的夹杂物	(197)
L 1. 含硒夹杂物	(197)
L 2. 含碲夹杂物	(199)
M. 使用指南	(200)
N. 第I部分补遗	(203)
参考文献	(204)
附 录	(208)
1. 夹杂物相的名称和理想分子式	(109)
2. 表的摘要	(209)

第III部分 夹杂物来源和行为及其对钢性能的影响

前 言

O. 非金属夹杂物的来源	(211)
--------------	-------

O 1. 绪 言	(211)
O 2. 钢中夹杂物的大小、数量和分布	(213)
数量和大小	
分 布	
O 3. 脱氧元素对夹杂物形成的影响	(218)
氧在纯铁中的行为	
氧在钢中的行为	
用合金元素脱氧时夹杂物的形成	
碳	
锰	
硅	
硅—锰合金	
铝	
铬	
钛, 锆	
钙	
真空(碳)脱氧	
O 4. 在炼钢过程中非金属夹杂物的形成	(230)
O 5. 由铁合金带来的夹杂物	(232)
O 6. 由炉渣和缶渣带来的夹杂物	(236)
O 7. 由耐火材料带来的夹杂物	(238)
浸蚀产物	
耐火材料反应产物	
例 I	
例 II	
P. 锻钢中非金属夹杂物的行为	(244)
P 1. 绪 言	(244)
P 2. 在钢热处理时夹杂物的行为	(244)
向稳定状态转变	
玻璃质相的结晶	
固溶体中沉淀	
P 3. 钢中夹杂物的变形性能	(246)
夹杂物塑性变形与钢基体的关系 (“变形性能指数” 概念)	
压缩和质点大小的影响	
FeO型夹杂物的变形性能	
刚玉型夹杂物的变形性能	
尖晶石型夹杂物的变形性能	
钙铝酸盐的变形性能	
SiO ₂ 和硅酸盐的变形性能	
MnS的变形性能	

Q. 非金属夹杂物对钢的性能的影响	(257)
Q 1. 绪 言	(257)
Q 2. 对切削性能的影响	(257)
切削性能参数	
硫化物夹杂物的影响	
氧化物夹杂物的影响	
Q 3. 对疲劳性能的影响	(265)
疲劳性能参数	
硫化物夹杂物的影响	
氧化物夹杂物的影响	
夹杂物的大小、形状和位置的影响	
“白斑”	
Q 4. 热脆性 (红脆性)	(269)
Q 5. 对钢的各种性能的影响	(273)
表面光洁度	
焊接性能	
热撕裂	
Q 6. 对机械性能影响的基本研究	(274)
抗拉性能	
抗冲性能	
裂纹形成	
断裂韧性	
沉淀现象和晶粒长大	
R. 对第 I 和 II 部分的补充	(280)
A 2. 刚 玉	(280)
A 3—5. SiO_2	(280)
A 6. MnO	(281)
A 8. 莫来石	(281)
B 4. 铁闪石 ‘ FeSiO_3 ’	(281)
B 5. 铁尖晶石	(281)
G 3. 钙铝酸盐	(282)
L 2. 含碲的夹杂物	(283)
参考文献	(284)

第 IV 部分 1968—1976 年以来发表的著作 对 I—III 部分的补充

实验方法	(289)
-------------------	---------

A. MnO—SiO ₂ —Al ₂ O ₃ 系	(292)
A 2. MnO—SiO ₂ —Al ₂ O ₃ : 刚玉	(292)
A 7. MnO—SiO ₂ —Al ₂ O ₃ : 锰尖晶石	(292)
A13. MnO—SiO ₂ —Al ₂ O ₃ : Mn—董青石	(292)
J. 氟化物夹杂物: 各相的图表摘要	(293)
K. 硫化物的夹杂物	(294)
K 1. 概 述	(294)
K 3. 硫化物夹杂物: Mn—S系	(294)
K 4. (Mn, Me) S型固溶体	(297)
K 5. 第Ⅲ族硫化物 (钢系化合物)	(299)
K6—8. 含有Ⅳ族 (Ti, Zr, Hf)、Ⅴ族 (V, Nb, Ta) 和Ⅵ族 (Cr, Mo, W) 过渡族金属的硫化物夹杂物	(300)
K11. 第Ⅰ族 (Mg, Zn, Cd, Hg, Ca, Ba, Sr) 的硫化物	(302)
L. 含硒和碲的夹杂物	(304)
L 1. 含硒夹杂物	(304)
L 2. 含碲夹杂物	(304)
O. 非金属夹杂物的来源	(305)
O 2. 钢中夹杂物的数量、大小及其分布	(305)
O 3. 脱氧元素对夹杂物形成的影响	(309)
P. 在锻钢中非金属夹杂物的行为	(315)
P 3. 钢中夹杂物的变形性	(315)
P 4. 硫化物形状的控制	(317)
Q. 非金属夹杂物对钢性能的影响	(318)
Q 2. 夹杂物对钢机械性能的影响	(318)
Q 3. 疲劳性能	(318)
Q 6. 夹杂物对机械性能影响的基础研究	(318)
Q 7. 夹杂物对腐蚀的影响	(324)
参考文献	(326)
附 录	(329)

绪 言

第一本关于钢中非金属夹杂物的重要著作是 Benedicks 和 L ö f g u i s t⁽¹⁾在一九三〇年发表的，在很长一段时间内成为炼钢工作者在此领域内的工作指南。自此以后，这方面没有发表过同样完备的著述，虽然 Allmand⁽²⁾于一九六二年编写了一本，Rait 和 Pinder⁽³⁾也有著名的论文，对夹杂物的鉴定做出了有益的贡献。但这些研究工作的试验方法，只用金相法、岩相法及X-射线衍射分析方法。

电子探针分析⁽⁴⁾是个革新的方法，对冶金工作者已成为有效的工具，从此有可能对夹杂物就在试样上进行定量分析。在X-射线衍射技术方面也有重要的发展（如单色X-射线技术，微量分析法）。著者用这些新方法结合光学显微镜而发展出一种研究钢中夹杂物的技术。曾对大量的各类钢中夹杂物进行了研究，能对不同类型夹杂物作系统而详细的介绍。至于钢中夹杂物的形成也得到很多的了解。

本书主要提供钢铁冶金工作者鉴定夹杂物之用。因此，努力做到各不同类型夹杂物的显微图片完美而有代表性，同时尽可能搜集更多的有关数据。

夹杂物组成的定量分析结果是了解夹杂物生成和性质的重要基本数据。我们发现在了解某一类型夹杂物的全部历史之前，必须更详细地了解有关的炼钢过程。可是，由于这方面知道很少，著者目前的论述只局限于收编的钢中夹杂物相的试验结果。对此，在夹杂物的生成和作用方面，仅围绕 $MnO-SiO_2-Al_2O_3$ 系作了简短的讨论。Salmon Cox 和 Charles⁽⁵⁾对夹杂物在一个钢锭中的分布做过详细的研究。这样深度的研究是下一步涉及到夹杂物的普遍问题时的事情。控制炼钢条件变化的实验，著者曾进行过，其结果将并入下一卷。

由于探针分析方法发展到目前为止，用于研究夹杂物还受到很大限制。电子束焦斑大小约为 $1\mu^2$ ，对比被激发的X-射线而是从直径为 $3\sim 5\mu$ 的半球出射。很多夹杂物相则是很细小的沉淀，因此在判断分析结果时，要特别小心。一般能分析的元素是从钠开始（原子序数为11）直到周期表的末尾。目前用标准电子探针分析仪还不能直接测定氧，大多数其他元素的探测极限值为样品总量的 $0.1\sim 0.5\%$ 。这就限制了对相中的各种微量金属元素的研究，而这些微量元素对追溯夹杂物的起源很有价值，有美中不足之感。分析各种金属元素的准确度各不相同，一般约为含量的 $\pm 1\sim 5\%$ ，因此这个用电子探针分析推导出来的数值，正好是单相区的近似误差极限。这些波动对于研究夹杂物，相对来说是不重要的。更严重的误差是来自每颗夹杂物内被分析的点数太少，以致成分的变化往往被漏检。

一般来说，用电子探针分析方法定量地在试片上进行夹杂物的研究，能获得许多新资料，因而使目前存在的局限就不算太重要了。

夹杂物的相分析，主要是用实验方法一节中叙述的合成渣。由于用普通的X-射线衍射法照射面积较大，只可能对少数夹杂物就在试片上直接鉴定夹杂物相。细聚焦X-射线衍射粉末照相技术的发展很有价值，最近用 Helin 和 Spiegelberg⁽⁶⁾ 所述的照相机，以细聚焦X-射线作光源得到很有意义的结果，但想用这个方法研究夹杂物，还有待于进一步发展。

好多种夹杂物都属于 $\text{MnO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系统，与钢的类别和成分无关。因此这个系统是代表夹杂物类型的基础。与这个系统密切有关的通式为 $\text{Fe}_x\text{M}_{1-x}\text{O-SiO}_2\text{-Cr}_y\text{Al}_{2-y}\text{O}_3$ ，属于这个系统的夹杂物，连同对各种氧化铁的简短讨论，一并编入本书中。下一部分将编排属于氧化钙和氧化镁系统的氧化物，以及硫化物的夹杂物。

夹杂物的类型在很大程度上与钢的成分无关。因此，不想按钢的成分去系统描述夹杂物。若要这样分类，就必须对各种钢种中所有不同类型的夹杂物进行全面的研究所。本书内容不打算这样做。但为了提供一些这方面的知识，在本书最后一节，按照钢的成分列出各种不同的例子以供参考。

钢的种类（碱性或酸性，电炉或高频炉，Kaldo钢等），熔炼和脱氧方法，以及浇注和铸造操作等的细节，对于夹杂物形成的影响远远大于钢的成分。熔炼方法的不同，可以作为系统描述夹杂物类型的根据，但对于所研究的试样，还缺乏有关熔炼方法的足够的的数据。

必须记住，所研究的钢是近代瑞典钢工业中代表性的产品，虽然使用了多种冶炼方法，但矿源的基本情况与其他国家不同。瑞典的工厂类型和生产能力可以从瑞典 Jernkontoret 发行的钢手册上查到。

各种夹杂物相是陶瓷学家和矿物学家所熟知的，在这方面的文献中有更多的资料可供查阅。陶瓷相图的一般参考，Levin等人⁽⁸⁾在一九六四年已有总结。Trojer⁽⁹⁾对各种无机化合物的物理性质和结构类型的总结是非常好的补充，其中许多可用于研究陶瓷系作为参考。

观察到的夹杂物相，通常已由矿物学家命名，然后被冶金学家采用。这些名称和化学式列于附录1。各种夹杂物中金属含量百分率，按不同金属排列成表，列于附录2。用电子探针分析得出的各种相的成分对于夹杂物的鉴定是有价值的。

当试样中存在痕量元素，往往观察到阴极萤光现象。因此，根据萤光可定性地判断该相的存在。但对这种作用以及它和痕量元素浓度的确切关系至今了解甚少。对于某些相虽给出了说明，但此效应在作为相的鉴定方法应用时还必须有些保留。

实 验 方 法

我们工作的起点，是用显微镜就在试片上研究夹杂物，因而仔细制备试样就非常重要。试样先用水磨碳化硅砂纸磨，接着在绒布上用金刚石糊磨光，最后用氧化铝粉稍微抛光一下。在夹杂物相中发现有碳化硅颗粒。必须着重指出，夹杂物在抛光过程中易被沾污，除非抛光技巧小心谨慎，不然从砂纸上磨下来的颗粒可能偶然留下。夹杂物用标准金相法照相，同一样品还用电子探针分析和其他试验。金相显微镜能得出夹杂物中存在的结晶相和非晶形相的许多一般情况，及其大小、形状和分布。

观察到的各相的组成，按早期文献^(12~15)阐明的一般电子探针分析方法进行定量测定。目前电子探针分析技术还不能定氧，因为夹杂物大部分是氧化物，这对研究夹杂物有一定困难，但是，若无其他轻元素同时存在，这个方法的缺点并不严重。如果夹杂物相中各元素的分析结果高度精确，假定金属和硅以氧化物存在，金属和硅的原子价是知道的，则可从夹杂物的一般知识计算出它们的组成。对于夹杂物分析，也如同其他的方法一样，这是一般的计算手续。如果分析所得氧化物加在一起为 $100\% \pm 5\%$ ，那么这个分析结果就可视为满意。Philibert⁽¹⁶⁾提供的各种氧化物组合的列线标图（或称诺莫图）用于电子探针分析的强度校正。特征 X-射线谱的波长决定于靶中各种原子的键合。由于键合类别的差异引起的波长移动，用于轻元素夹杂物如镁、铝和硅的改正因素时，存在一定误差。为了克服这种困难，可采用接近于夹杂物组成的混合氧化物标样，这些氧化物的标样按下述方法制备，然后用于电子探针分析作为标样。对于定量分析夹杂物用这样的氧化物标样，而不是用金属本身，至少对轻元素本身还是很重要的。如果不用这种方法，现有的理论校正公式，还未发展到精确分析夹杂物的程度。

夹杂物的平均组成，对大多数示例，用估算面积进行计算。

相的鉴定和各种相的结构类型，用单色 X-射线衍射法测定。一个 Guinier 型照相机附一个磨好和弯曲的石英晶体单色器⁽¹⁷⁾。这是瑞典金属研究所建立的。单色 X-射线方法背景很低，对于研究夹杂物很有价值。并可能用于低角度的反射。这种低角度反射，对于鉴别夹杂物相的复杂 X-射线粉末照片特别重要。由于实际钢中，在试片上出现的夹杂物经常很小，要做相分析通常是不可能的。因此，对于 Cr_2O_3 渣用电子束炉或用等离子炬制备不同组成的合成渣。然后将合成渣样进行热处理，再用显微镜和电子探针分析，直到配制出究，用的渣样与实际钢中的夹杂物相同为止。得到试样的大部分，用单色 X-射线衍射法进行衍射以修正相分析。另外有几种合成渣，用来描绘那些有关单相区、固溶度等资料仍不完全的二元或三元氧化物系的轮廓。最后还测定了一些夹杂物的显微硬度。

从著者所得到的材料中证明，采用综合技术，几乎能全部测定各种钢中的夹杂物。现将这些结果，汇同可能收集到的有关钢的数据，一并纳入本书。

A. MnO-SiO₂-Al₂O₃ 系

A 1. 概 述

这个系统对于研究近代钢种中的夹杂物很重要，因此我们比其他系讨论更为详尽。钢中很多种类型的夹杂物，象铬钢中的夹杂物一样，含铝或锰有低有高，就可作为分类和讨论这个系的出发点。

综合存在于 MnO-SiO₂-Al₂O₃ 系中的各种相，连同它们按化学式分子比的组成列于图1和表 I。相图是以Levin⁽⁸⁾和Trojer⁽⁹⁾的资料为基础。属于MnO-SiO₂, SiO₂-Al₂O₃, Al₂O₃-MnO 和 MnO-SiO₂-Al₂O₃ 等系统的冶炼部分是按“碱性平炉炼钢”⁽¹⁸⁾和Rait与Pinder⁽³⁾的文章而编写的。

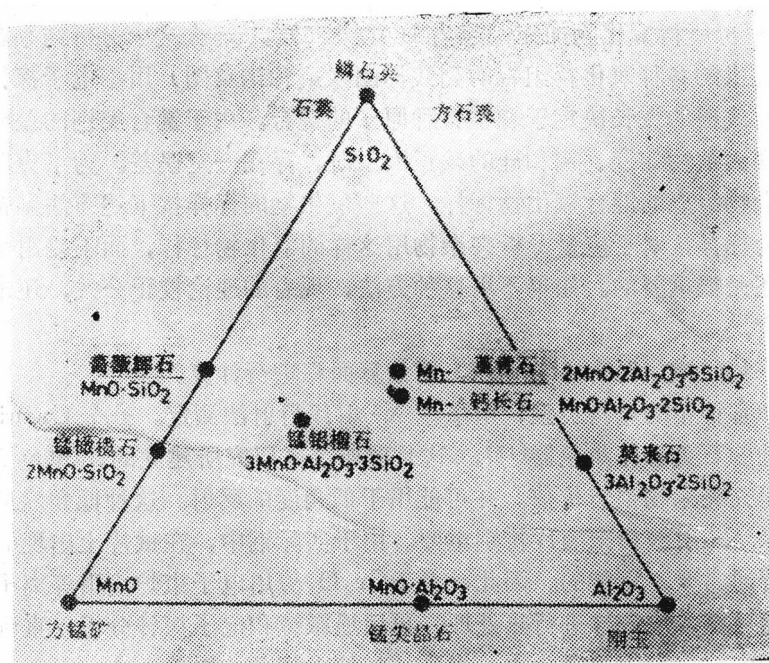


图 1 MnO-SiO₂-Al₂O₃ 准三元系略图

示出已发表过的各种相按化学式计算的成分。可将本图同图56比较，该图为本研究结果的概要。

如所周知，在这个系及下列各系中有许多相具有一扩展的单相区，或不是按化学式分子比计算的组成。我们的工作已经得到证实，从图1同图56的比较中就可看出，图56是按

MnO-SiO₂-Al₂O₃ 系的分析结果画的。

此外,对各种相将在 A2-A13 节中详细讨论。所观察到的属于这个系的某些夹杂物的相变在 A14 节中讨论。

因为 MnO-SiO₂-Al₂O₃ 系很重要,试验结果在冶金上的意义将在后面 A15 节中加以说明。

表 I MnO-SiO₂-Al₂O₃系中存在的相

名 称	化 学 式	按化学式计算的组成, %(重量)			节
		MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	
刚 玉	Al ₂ O ₃	—	—	100	A 2
方 石 英	SiO ₂	—	100	—	A 3
鳞 石 英	SiO ₂	—	100	—	A 4
石 英	SiO ₂	—	100	—	A 5
方 锰 矿	MnO	100	—	—	A 6
锰 尖 晶 石	MnO·Al ₂ O ₃	41	—	59	A 7
莫 来 石	3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂	—	28	72	A 8
蔷薇 辉 石	MnO·SiO ₂	54	46	—	A 9
锰 橄 榄 石	2MnO·SiO ₂	70	30	—	A 10
锰 铝 榴 石	3MnO·Al ₂ O ₃ ·3SiO ₂	43	36	21	A 11
锰-钙 长 石	MnO·Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂	24	41	35	A 12
锰-堇 青 石	2MnO·2Al ₂ O ₃ ·5SiO ₂	22	46	32	A 13

A 2. MnO—SiO₂—Al₂O₃: 刚玉

化 学 式 Al₂O₃

同 素 异 形 体

除了 α-Al₂O₃、刚玉之外,已知有 β-Al₂O₃ 和 γ-Al₂O₃ 相。在钢的夹杂物中只发现 α-Al₂O₃, 而具有尖晶石型的 γ-Al₂O₃, 和 AO·B₂O₃ 型尖晶石形成固溶体 (A7)。也曾观察到夹杂物中有呈玻璃态的 Al₂O₃。

物 理 性 质

熔 点: 2050°C。

比 重: 3.96。

显微硬度：3000—4500 kg/mm²。

萤光色：在电子探针分析时，刚玉时常发红色萤光。

结晶类型

六方系；空间群 $R\bar{3}c$ 。

$a = 4.759\text{\AA}$ ， $c = 12.991\text{\AA}$ ， $c/a = 2.73$ 。(ASTM 卡片11—661)。

Cr_2O_3 型。wyckoff 第 I 卷，第五章，正文第四页，表第11页。

单色 X-射线粉末照片(图2)。与 Cr_2O_3 (C2) 和 Fe_2O_3 (D4) 的结构相同。

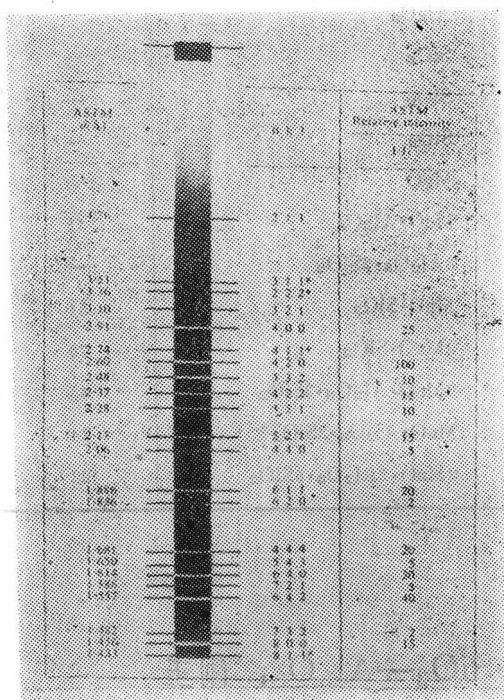


图 2 刚玉的 X-射线粉末照片；单色 Fe K α -辐射，Guinier 照相机
不同反射面 (hkl) 的 d 值引自 ASTM 卡片。列表的相对强度取自
ASTM 卡片，同用聚焦的 Guinier 照相机所得数据往往不能相比。

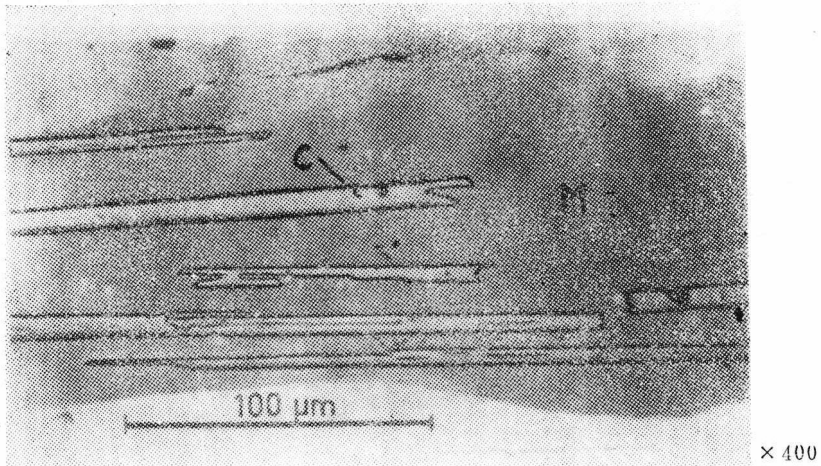


图 3 钢中氧化物夹杂物 (在 $MnO-Al_2O_3-SiO_2$ 玻璃质基体上的刚玉)

钢的类别: 碱性电炉钢, Si—脱氧同时加入限量的 Al, 轧成钢坯。

钢的成分 (%): 0.45C, 0.22Si, 0.70Mn, 0.034S, 0.002Al, 39ppmO。

夹杂物成分 (%): (C) 为 $100Al_2O_3$ 的刚玉;

(M) 基底为 $31MnO, 45SiO_2, 22Al_2O_3$ 。

平均成分(计算)(%): $27MnO, 39SiO_2, 34Al_2O_3$ 。

注: 钢样在 $1100^\circ C$ 加热 2 小时后, 锰铝榴石和莫来石从玻璃质基体中沉淀出来 (见 A14 节)。

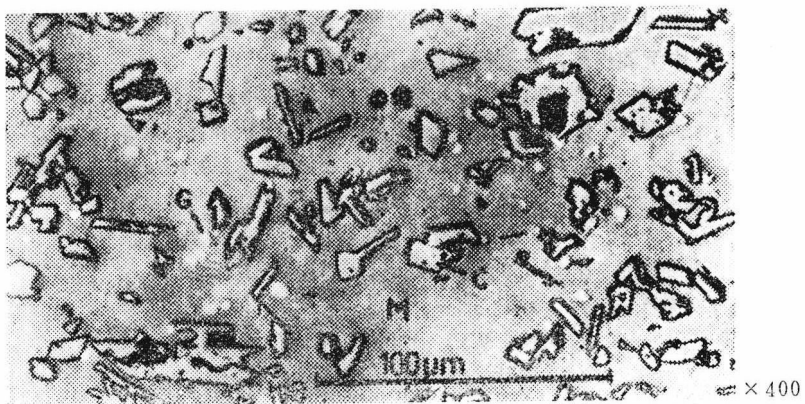


图 4 钢中氧化物夹杂物 (在 $MnO-Al_2O_3-SiO_2$ 玻璃质基体中的刚玉)

钢的类别: 碱性平炉钢, 出钢前用硅铁脱氧, 在包中用铝脱氧, 从钢锭取样,

钢的成分 (%): 0.33C, 0.34Si, 0.60Mn, 0.013P, 0.018S, 2.43Cr,

0.12Ni, 0.49Mo, 0.05Cu。

夹杂物成分(%): (C) $100Al_2O_3$ 刚玉;

(G) $38MnO, 42Al_2O_3, 19Cr_2O_3$;

(M) 基体, $32MnO, 46SiO_2, 20Al_2O_3$ 。

平均成分(计算)(%): $27MnO, 39SiO_2, 33Al_2O_3$ 。

注: 锰尖晶石中含有一定量的氧化铬在固溶体中。以后钢样在 $1100^\circ C$ 加热 2 小时, 结果从夹杂物的玻璃质基体上沉淀出锰铝榴石 (见 A14)。