

滾珠軸承鋼中的 非金屬夾雜物

М. И. 維諾格拉德 著

朱 覺 譯



重 工 業 出 版 社

滾珠軸承鋼中的 非金屬夾雜物

重工業出版社

本書研究碱性电爐鋼及酸性馬丁爐滾珠軸承鋼中的非金屬夾雜物問題。詳細地敘述了对各爐鋼的夾雜程度進行評定的金相定量法。列舉了鋼的夾雜程度、鋼錠及鋼中夾雜物的分布、以及在熱變形加工的影響下夾雜物的變化等方面的材料。分析了鋼中夾雜物的形成過程和幾種碱性电爐冶煉因素對鋼中夾雜物的影響。

本書供冶金業及機器製造業的工程技術人員閱讀。

М. И. Виноград
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В
ПЕРИКОПОДШИПНИКОВОЙ СТАЛИ
Металлургиздат (Москва 1954)

* * *

滾珠軸承鋼中的非金屬夾雜物

朱覺 譯

重工業出版社（北京市灯市口甲 45 号）出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇一五号

* * *

重工業出版社印刷廠印

一九五六年四月第一版

一九五六年四月北京第一次印刷（1—3,040）

$787 \times 1092 \cdot \frac{1}{16} \cdot 157,000$ 字 $\cdot 5 \frac{14}{16}$ 印張 $\cdot 12$ 插頁 $\cdot$ 定價（10）1.60 元

書号 0427

* * *

發行者 新華書店

目 錄

前言.....	4
緒 論.....	5
I. 鋼中非金屬夾雜物的評定方法.....	7
用金相法評定非金屬夾雜物的複雜性.....	7
夾雜物的金相定性評定法.....	7
鋼中非金屬夾雜物的金相定量方法.....	11
鋼中夾雜物的各種定量方法的研究.....	27
分離出的夾雜物的定量與定性分析法.....	54
II. 熱變形加工對非金屬夾雜物的形狀和分布的影響.....	62
在鋼的熱加工變形影響下非金屬夾雜物形狀的變化.....	62
在熱加工變形的影響下非金屬夾雜物的金相定量評定的變化.....	64
III. 鋼錠橫斷面上和高度上非金屬夾雜物的分布.....	70
0.4 噸鹼性電爐鋼鋼錠中夾雜物的分布.....	70
2.9 噸酸性馬丁爐鋼鋼錠中夾雜物的分布.....	77
說明鋼錠中夾雜物分布狀況的基本原理.....	82
IV. 用不同冶煉方法所煉成的滾珠軸承鋼中的非金屬夾雜物.....	86
各種冶煉和澆鑄因素對鋼的夾雜程度的影響.....	86
鹼性電爐鋼和酸性馬丁爐鋼中的夾雜物.....	91
在鹼性電爐中煉鋼時各種冶煉操作因素對鋼中夾雜物的影響.....	101
從爐中出鋼時和在澆鑄過程中鋼中夾雜物的變化.....	107
參考文獻.....	111

前 言

由於對鋼的質量的要求的提高及隨着人們在這一領域中的認識的深入，鋼中非金屬夾雜物問題在許多冶金問題中佔着越來越顯著的地位。

1951 年蘇聯科學院冶金研究所所召開的非金屬夾雜物會議說明研究機關和工廠在夾雜物的起源及其形成條件的研究方面，在研究夾雜物定量及定性分析方法方面，以及在確定夾雜物對鋼性質的影響方面，做了很多研究工作。

但是現在幾乎還沒有一本對非金屬夾雜物問題作系統研究的書籍，Ю. Т. 盧卡舍維奇——杜凡諾娃所著專門涉及非金屬夾雜物的分離及化學分析方法的著作及 А. Н. 契爾法科夫所著關於非金屬夾雜物的定性測定法的書籍，部分地完成了這一任務。

本書根據滾珠軸承鋼的試驗資料，研究了用金相定量法評定各爐鋼的非金屬夾雜程度的方法。利用這種評定方法定出了變形加工對夾雜物的影響，定出了夾雜物在鋼錠中和在各爐鋼中之分布，定出了鹼性鋼和酸性鋼中夾雜物的特點，還定出了一些技術操作因素對滾珠軸承鋼夾雜程度的影響。

本書採用了作者在「電鋼」工廠許多年研究工作中所收集到的實驗材料。

技術科學博士 Б. Г. 李弗希茨、技術科學博士 М. В. 普利丹采夫、技術科學博士 В. А. 達維登科夫、技術科學碩士 Ф. П. 耶德聶拉爾、技術科學碩士 Н. К. 列別捷娃、技術科學碩士 Ю. Т. 盧卡舍維奇——杜凡諾娃等同志提供了寶貴的意見和幫助，作者謹向他們致以深切的感謝。

在進行工作時，工廠廠長 М. Е. 柯列什科夫、總工程師 М. И. 朱也夫和試驗室主任 В. С. 古里特金曾給予大力幫助，作者謹向他們致以深切的謝意。

工程師 Б. Н. 波波夫、М. А. 留賓斯卡婭、實驗員 М. И. 福拉斯金娜、М. И. 阿福查倫科均曾參加本研究之試驗部分的工作。

化學及岩相分析工作是由工程師 С. И. 馬羅夫和 Н. Н. 達拉金娜所擔任的。

緒 論

鋼中非金屬夾雜物問題是主要冶金問題之一。雖然鋼中所含夾雜物為量不大，但它對鋼的性質卻具有重大的影響。有時某些夾雜物的含量直接決定鋼的性質。例如在易切鋼中硫化物能改進鋼的可加工性，而位於磨擦零件工作表面上較大的氧化物夾雜物在某些情況下可能成為零件損壞的地方。

夾雜物對鋼的性質也可能發生間接影響。鋼的一定性質可能伴隨着一定種類的夾雜物。鋼的冶煉過程決定夾雜物的特性，這就是上述關係的決定原因。

鋼中的氧含量，特別是氧在鋼中存在的形態決定着鋼的許多性質：塑性、衝擊韌性、疲勞強度和其它物理性質。非金屬夾雜物可能直接或間接地決定氧對鋼的性質的影響，因為鋼中的氧主要是以非金屬夾雜物狀態存在的。鋼中非金屬夾雜物在成分上和性質上都是很不一樣的，對它們進行定性是很複雜的任務，特別是對合金鋼中的非金屬夾雜物。測定鋼中非金屬夾雜物的數量是更加複雜的任務。最近十年所做的研究工作把鋼中夾雜物的定性和定量分析方法的製訂問題大大的向前推進了一步。但是測定夾雜物和研究它對鋼的性質的影響這一問題是如此複雜，以致要解決這一問題就不能局限於對夾雜物僅作一種定性或定量的檢查。加之現在沒有可靠和精確的夾雜物定量方法，使得對用標準評定中規定的最大評點來作一爐鋼的質量評定的可能性產生不正確的概念。當沒有技術操作或作業方面關於鋼中所含夾雜物數量的標準的證明材料時，這種評定在實際工作中會被廣泛的運用去確定各種成品中所含非金屬夾雜物的等級。這樣做並沒有考慮這種評定方法的可靠性很小。當還沒有可靠的檢查方法時，冶金工作者所接受的用戶所提出的無根據要求使得關於確定各爐鋼的夾雜程度的評定與零件的工作條件之間的關係這一問題，在很多年中仍未得到解決。

煉鋼生產的實踐肯定地確定了同一牌號的不同爐次的鋼，無論就夾雜物的性質或數量來說，其所含夾雜都可能不一樣。當用很不同的冶煉方法，使用不同的脫氧劑等進行冶煉時，鋼中夾雜程度的差異就特別大。但是當用同一種冶煉方法冶煉時，各爐鋼中的夾雜也可能有大的差別。雖然各國的冶金學者在最近幾年中都對煉製夾雜物含量最少的鋼這一問題予以注意，但是對各爐鋼中的夾雜物為什麼會發生很大差別的原因還研究得不够。A. A. 巴依科夫〔1〕曾對非金屬夾雜物問題加以特別注意，他研究了很多不同鋼的很多試樣中的非金屬夾雜物。

研究影響各爐鋼夾雜物含量的技術操作因素應根據可靠而又精確的夾雜物定性和定量方法來進行。精確地測定非金屬夾雜物的數量是很困難的，因為優質鋼和高級優質鋼中所含非金屬夾雜物量不超過萬分之幾或十萬分之幾。夾雜物的成分測定的複雜性也不亞於它的數量的測定，因為為了測定它的成分必須把它從鋼中以沒發生變化的形態分離出來。

由於金相分析技術的發展和改進，可以測定沒有被任何化學處理而至變化的夾雜物。夾雜物的金相定性和定量方法曾得到廣泛的應用。這種方法曾經是很多研究工作的對象，蘇聯的科學家在這方面曾做過很多很有價值的研究工作。由於這些研究，使得有

可能製訂出促使鋼中夾雜物減少的措施。

在夾雜物金相分析方法發展的初期，主要注意力是放在夾雜物的定性方面。在最近幾年中對鋼中非金屬夾雜物的定性和定量方法都同時予以越來越大的注意。現在正在研究試片的夾雜定量方法。然而對一塊試片的夾雜的定量不能解決一爐鋼的夾雜問題。

相當準確地評定一爐鋼夾雜程度是研究影響鋼的夾雜程度的技術操作因素的起點，所以也就是改進生產技術操作的起點。這就是為什麼最近在研究各爐鋼的夾雜評定方法方面進行很多研究工作的原因。各爐鋼的夾雜程度的定量問題現在距離解決仍遠，但是解決這一問題的正確方法已經研究出來了。

最近由於蘇聯研究人員的研究，夾雜物的化學分析方法也得到了改進，特別是在金屬的電解溶化法方面，使得可以從沉澱中把非金屬夾雜物以純淨的、沒有發生變化的狀態分離出來。

本書詳細地研究了滾珠軸承鋼中的非金屬夾雜物，因為滾珠軸承工業特別需要純度很高的鋼。對評定一爐鋼的夾雜程度的各種定量方法所作的研究使得有必要研究各種用於不同條件下的對一爐鋼的夾雜的金相定量方法。研究了變形加工對夾雜物和夾雜物的定量的影響。研究了兩種鋼錠（450 公斤和 2.9 噸）中夾雜物的分布情況，也研究了酸性馬丁爐鋼中和碱性電爐鋼中的夾雜物。查明了各種技術操作因素對滾珠軸承鋼的非金屬夾雜程度的影響。應用數學統計學的方法來研究夾雜物的定量方法和研究技術操作因素的影響，使得所研究的問題得到可靠的結果。上述材料可以作為進行確定夾雜物對鋼的性質的影響之研究基礎。關於確定一定種類和一定數量的夾雜物對鋼的性質的影響問題，可惜仍然研究得很少。文獻中各種資料主要是說明夾雜物對中炭結構鋼性質的影響。在滾珠軸承鋼方面這種工作做得很少。由於沒有可靠的夾雜物評定方法和沒有研究出代表着在操作條件下軸承強度的試驗方法，使得上述工作的進行受到妨礙。確定鋼的性質與所含夾雜物的數量之間的數量關係是最近這一時間最重要的任務。

本書所引用的實驗材料是在研究滾珠軸承鋼時得到的，但是大部分的結論和研究方法，除了高合金鋼或具有特殊元素（作為特別脫氧劑的鈦、鋳等）的合金鋼外，都可以應用到其它牌號的鋼上去。研究其它牌號的鋼時應用夾雜物的金相定量分析方法是必要的。合金程度的增加會使任務複雜化，因為夾雜物有很多種的變態。進一步研究使鋼中夾雜物減少的技術操作因素，其重要性不次於確定夾雜物對鋼的性質的影響。這兩個任務只有在各爐鋼夾雜程度的準確評定法的基礎上才能得到有效的解決。

I. 鋼中非金屬夾雜物的評定方法

用金相法評定非金屬夾雜物的複雜性

廣泛採用的測定非金屬夾雜物的金相法日趨完善。細心的準備試片對這一方法的使用效果來說具有很重大的意義。用不正確的方法製備出來的試片可能使人們曲解夾雜物的特性。

試片的準備過程包括下列幾步：

1) 熱處理——淬火；2) 用砂輪磨試樣以便得到平的表面；3) 用砂紙磨試片，先用粗砂紙，然後逐漸順序地換較細砂紙；4) 在加有磨光粉的呢絨上磨光（磨光粉為氧化鋁，氧化鉻等）。夾雜物的正確評定決定於這些操作的執行質量。過於急劇的淬火可能產生穿透夾雜物的裂縫，使對夾雜物的評定成為不正確。

試樣放在砂輪上加工。如使勁把試樣壓在砂輪上，特別是當砂輪震得厲害時，大的夾雜物上可能刻有凹痕和發生破裂。當用顯微鏡檢查這樣的試片時，有夾雜物的地方看起來為孔隙，所以既不可能評定出夾雜物的性質，也不可能評定出它的真正大小。

用砂紙磨試片時的疏忽（把試片壓得太緊）會使試片表面層軟化，並使砂紙上的磨料粒子陷在試片表面上，因而把它誤認為夾雜物。

當用細砂紙（№ 320—270）磨試片磨得不够和磨得不好時，在非金屬夾雜物的附近會留有一薄層的髒物或磨光粉，這一層髒物或磨光粉可能被誤認為是一個大夾雜物。

當用顯微鏡檢查顯微試片時，也可能發生重大錯誤。通常，試片的面積為 100—800 個顯微鏡視場。在檢查時不能忽略任何一個視場。如果不做到這點，則足夠大的夾雜物可能沒有被發現。如果按最不好的視場來評定試片時則任何一個視場都不能遺漏，這一點特別重要。當用手移動試片的經驗還不足時，可以使用顯微鏡載物台上互相垂直的螺釘來移動試片，雖然這樣做需要較多時間。

因此用金相方法來評定非金屬夾雜物是很複雜的而且決定於很多條件。實踐指出，由於準備試片的方法和實驗員的經驗的不同，不同實驗室對同一組試片的評定有時彼此相差很大。所以把試片的準備和夾雜物的評定方法盡量詳細地劃一是極其重要的。

夾雜物的金相定性評定法

在本書中主要注意點是放在各爐鋼夾雜程度的金相定量方法上。但是夾雜物的定性分析也有很大的意義，因為由它可以說明夾雜物的本質和確定他們的起源。在夾雜物的金相定性方法上人們做了很多工作。A. H. 契爾法科夫對夾雜物的定性法曾作了詳盡的評論〔2〕。本書只引用那些可以用於評定滾珠軸承鋼中夾雜物的方法。

對夾雜物的定性評定，可檢查經過變形加工的鋼的縱向試片，因為在變形加工的影響下，夾雜物形狀的變化可以幫助我們定出它的成分。預先把試樣從 840°C（在這溫度下保持 20—30 分鐘）放入油中冷卻淬火。然後在 160°C 把它回火二小時。試片的準備照

通常一樣進行；為了除去試片表面上的氧化痕跡，預先把表面磨去 0.35—0.8 毫米。夾雜物的檢查也可以在沒有經過淬火的磨片上進行。但是製備一個質量好的淬過火的試片比較容易得多，因為淬過火的試片有高的硬度和較好的磨光性。當製作未經淬火的試片時，磨光時間會延長很多，而且夾雜物可能被剝落。

夾雜物性質的測定開始是用金相顯微鏡在反射光下放大 90—150 倍進行檢查。通常在這個倍數下可以檢查出特征最大的大夾雜物。在仔細地檢查了試片之後，用 500—1000 的倍數檢查已經發現的夾雜物。根據夾雜物的顏色，形狀及它在熱加工時之變化，可以對它的成分作出初步結論。為了要準確確定夾雜物的本質，用暗場檢查試片，在暗場下測量夾雜物的透明度。透明的夾雜物在暗場下發亮，完全不透明的夾雜物看起來是暗色，有細的發亮邊界。夾雜物也可能是半透明的，一般具有不同的透明度——從完全不透明到完全透明。在暗場下這些夾雜物有不同的亮度，從很亮（透明的夾雜物）到完全是暗色（不透明的夾雜物）。在暗場下對夾雜物作定性評定時試片應很乾淨，因為細小的髒物與磨光粉等，也會發亮，可能妨礙對夾雜物的性質作出正確的測定。

在暗場下檢查試片之後，如果必須更準確確定夾雜物的本質，應用偏光進行檢查。當進行這種檢查時除了夾雜物的透明度和它的本來顏色外，還測定它的各向異性。當旋轉顯微鏡的載物台時，具有各向同性的夾雜物不發生變化，而具有各向異性的夾雜物則會交替地變暗和發亮。

滾珠軸承鋼中的夾雜物可以有各種不同的成分，這決定於它的冶煉方法與澆注方法。

通常要區別這種鋼中的偶然的個別的和為量很多的主要夾雜物。表 1 所列是滾珠軸承鋼中的主要非金屬夾雜物的特徵的簡要說明。

滾珠軸承鋼中所發現的夾雜物如圖 1—18 所示。

所有冶煉方法中最具有特征的夾雜物是氧化鋁，它以 α -剛玉晶體形態存在於鋼中。氧化鋁也滲入矽酸鹽夾雜物或尖晶石類型之夾雜物中。氧化鋁夾雜物一般都是細小的。大夾雜物中矽酸鹽和石英可作為代表。可能在鋼中看到其它種類的和個別夾雜物，但它們不能作為代表。用同一種方法冶煉的各不同爐次的鋼中可作為代表的夾雜物的種類是很相似的。一般僅在這種或那種夾雜物的相對數量上有變化。

用於最後脫氧之脫氧劑對夾雜物之成分有很大影響。採用鋁作為主要脫氧劑時，一般會增加氧化鋁的數量；矽鈣合金會使生成無塑性並常常呈小球狀的鋁矽酸鈣，而矽鐵（無鋁）則增加矽酸鹽和玻璃質夾雜物的數量。有塑性的矽酸鹽夾雜物常含有無塑性的尖晶石或氧化物斑點。在個別場合下在金屬中會遇到各種不同成分的爐渣。

非常明顯，來自爐渣之球形爐渣夾雜物（參閱圖 11），比圖 13 所示夾雜物含有較多之氧化矽，因此它無塑性。

圖 12 和 13 所示為大約由 60% CaO, 12% SiO₂, 6% Al₂O₃, 16% MgO 所組成之爐渣夾雜物。

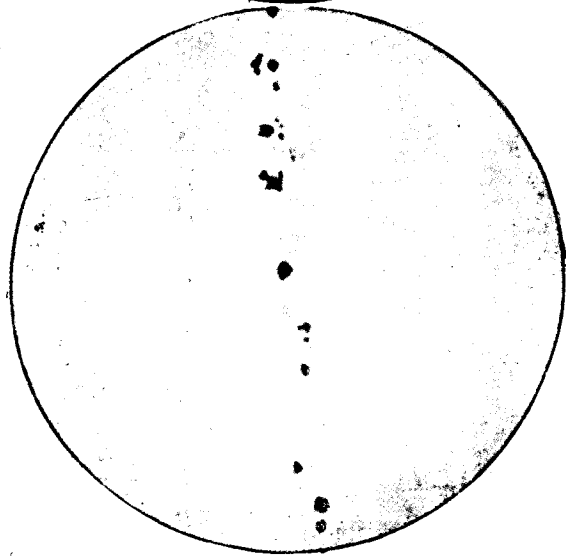


圖 1 用鋁脫氧的碱性电爐鋼中的氧化鋁夾雜物。圓鋼係由断面为 250×250 毫米，重量为 450 公斤的鋼錠軋成。倍数为 500

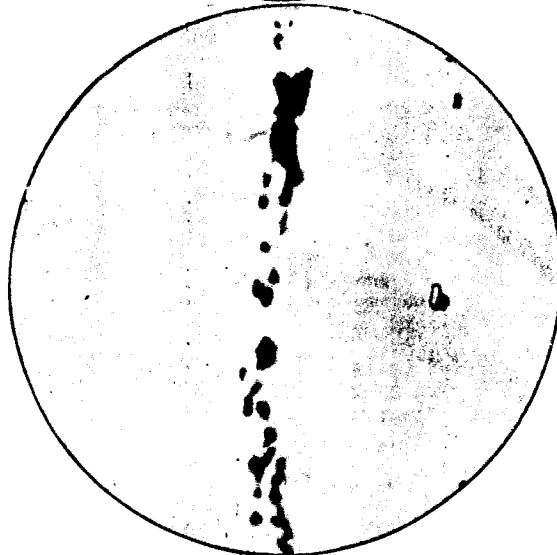


圖 2 用鋁脫氧的碱性电爐鋼中的鋁尖晶石夾雜物。試样取自直径为 80 毫米的圓鋼。圓鋼係由断面为 250×250 毫米，重量为 450 公斤的鋼錠軋成。倍数为 500

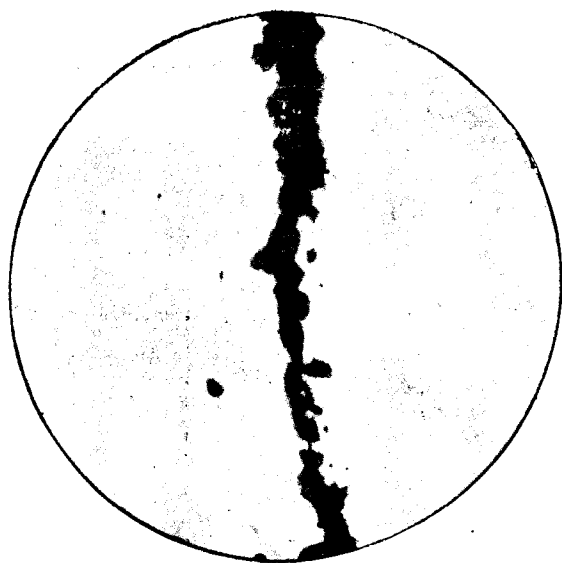


圖 3 矽酸鹽物質中的鎂尖晶石夾雜物。用鋁脫氧的碱性电爐鋼。試样取自直径为 80 毫米的圓鋼。圓鋼係由断面为 250×250 毫米，重量为 450 公斤的鋼錠軋成。倍数为 500

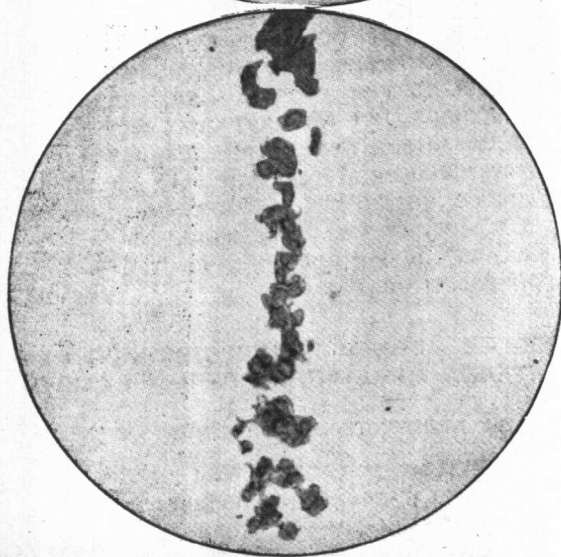


圖 4 用鋁脫氧的酸性馬丁爐鋼中帶有矽酸鹽膜的氧化鋁夾雜物。試樣取自直徑為 85 毫米的圓鋼。圓鋼係由斷面為 490×490 毫米，重量為 2.9 噸的鋼錠軋成。倍數為 500

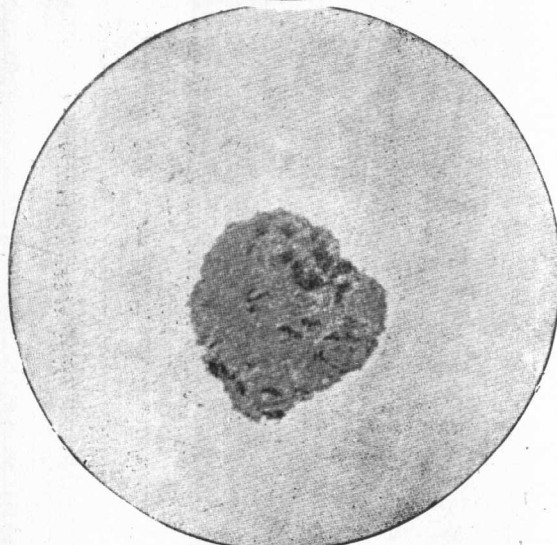


圖 5 用鋁和矽鈣合金脫氧的碱性電爐鋼中的鋼鋁矽酸鹽夾雜物。試樣取自直徑為 85 毫米的圓鋼。圓鋼係由斷面為 250×250 毫米，重量為 450 公斤的鋼錠軋成。倍數為 500

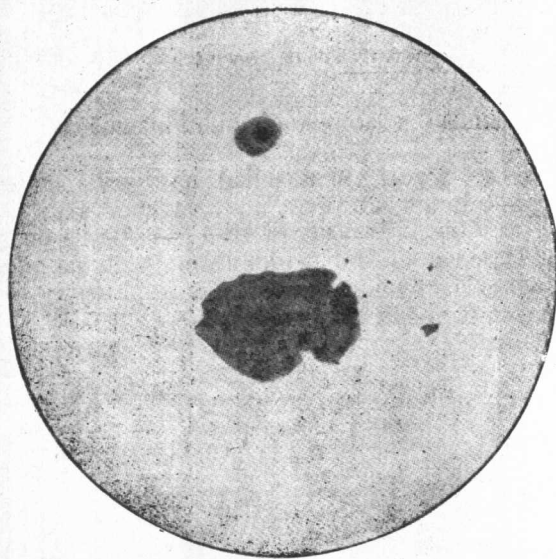


圖 6 用鋁和矽鈣合金脫氧的酸性馬丁爐鋼中的鋼鋁矽酸鹽夾雜物。試樣取自直徑為 24 毫米的圓鋼。圓鋼係由斷面為 490×490 毫米，重量為 2.9 噸的鋼錠軋成。倍數為 500

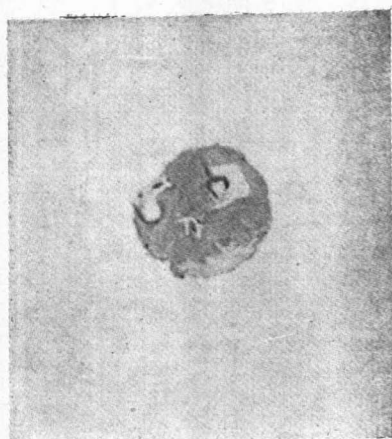


圖 7 酸性馬丁爐鋼中的矽酸鋁夾雜物。試樣取自直徑為 9 毫米的圓鋼。圓鋼係由重量為 700 公斤的鋼錠軋成。倍數為 500

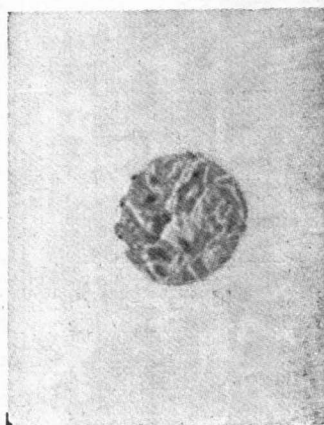


圖 8 酸性馬丁爐鋼中的矽酸鋁夾雜物。試樣取自直徑為 9 毫米的圓鋼。圓鋼係由重量為 700 公斤的鋼錠軋成。倍數為 500

鋼中非金屬夾雜物的金相定量法

現有的非金屬夾雜物的定量法

金相法的複雜性小於其它的夾雜物鑑定法。它所需準備試樣的工作時間不多（試片的準備），與須從鋼中把夾雜物分離出來的化學方法或其它方法不同，金相法能夠研究原來狀態的夾雜物。

試片夾雜程度的金相定量方法可以分成二類：1）計算法，計算試片上全部的夾雜物並根據這種計算定出它所含夾雜物的容積百分數或重量百分數；2）比較法，把試片的夾雜程度與標準評制的標準相比較。

夾雜物的計算測定法

В. И. 雅沃伊斯基和 Г. А. 門德維節娃〔3〕指出現有之夾雜物的金相鑑定法在很大程度上是主觀的，不能真正說明金屬的夾雜程度。但是他們承認：當成功地確定夾雜物的評定與金屬的一定性質之間的規律性關係時，應用這些方法是可能的與合理的。在這方面，把試片的夾雜程度與標準評制作比較的比較法對滿足零件的工作需要來說優於夾雜物的計算法。

鋼的夾雜程度的定量法應考慮到零件的工作條件，應保證鑑定時的一定精確度和重複性，進行工作時應較簡，同時進行起來也應方便。

下面將研究過去所用的鋼中夾雜物滲雜程度的主要評定方法，也要研究最近製定的新方法。

滾珠軸承鋼中

夾雜物名稱	化學式	從經過變形加工的成品上所取下之縱向試樣的磨片上所觀察到的夾雜物的形狀	變形加工時之性狀
氧化鋁 (α -剛玉)	Al_2O_3	小晶体 (1—5 μ)，六面體，或不規則的形狀	不變形，但破碎成線縫形狀
石 英	SiO_2	相當大的 (0.1 毫米以下) 不規則形狀的晶体碎片，當磨光時會破裂	不變形
石英玻璃	SiO_2	各種大小的塊子和中心有光輝小點及環形回光之小球	不變形
矽酸鋁 (麻來體)	$3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	針狀或三棱形晶体，內部常有玻璃薄膜	不變形
鐵氧鋁石 (鉄尖晶石)	$FeO \cdot Al_2O_3$	立方形小晶体	不變形，但破碎成線縫狀
鈣氧鋁石	$3CaO \cdot Al_2O_3$	形狀規則的小晶体，有時堆聚體呈帶玻璃薄膜的小球形	不變形
鎂氧鋁石 (鎂尖晶石)	$MgO \cdot Al_2O_3$	清晰的八面體小晶体	不變形，但破裂成線縫狀
矽酸鉄 (玻璃)	$mFeO \cdot nSiO_2$	沿加工方向拉伸的夾雜物，有時部分地發生破裂。當 SiO_2 含量高時為小球狀	塑性中等，沿變形方向伸長含 SiO_2 量高的夾雜物不變形
矽酸錳 (玻璃)	$mMnO \cdot nSiO_2$	順加工方向伸長的夾雜物	有塑性
矽酸鈣*	—	小球狀，有時尺寸大	不變形
含少量硫化物雜質的硫化錳	$MnS \cdot FeS$	順加工方向伸長之夾雜物	有塑性

* 可能是矽酸鈣晶石

表 1

夾雜物的特征

磨片上夾雜物的光學性質			分離出來的夾雜物在 穿透光下的光學性質		分離出來的夾 雜物的形狀	熔化溫度 °C
在反 光 下 夾 雜 物 的 顏 色		偏 光	顏 色	折 射 率		
明 場	暗 場					
深 灰 色	透 明	有弱的各 向異性	透明及無 顏色	$N_o=1.7681$ $N_e=1.7599$	小晶体	2050
深 灰 色	透 明	鮮明的各 向異性	透明和無 顏色	$N=1.5442$	大晶粒，有時有 熔結的晶粒	1600—1670
深 灰 色	透 明	各向同性， 有黑的十 字形	透明和無 顏色	$N=1.458$	小球狀，桿狀和 塊狀	—
深 灰 色	透 明	各向異性	透明和無 顏色	$N=1.654$ $N_m=1.644$ $N_p=1.642$	伸長狀晶体	1816
深 灰 色	透明， 灰綠色	各向同性	透明的薄 層，綠顏 色	$N=1.8$	晶体为立方体或 八面体	1700 以上
深 灰 色	透 明	各向同性	透明，無 色	$N=1.71$	表面粗糙之小球 集成体	1550 以上
灰 色	透 明	各向同性	透明，無 色	$N=1.713$	規則的八面形	2000 以上
灰 色	半透明	各向同性	半 透 明	—	碎片或小球狀	1205 1500
深灰色帶 褐色色彩	透 明	各向同性	透明或無 色	—	伸長的纖維狀	1285—1335
深 灰 色	透 明	各向同性	透 明	—	小球狀	1550 以上
淡灰色， 帶淺藍色 彩	不透明	各向同性	不 透 明	—	伸長紡錘狀微粒	1600 以上

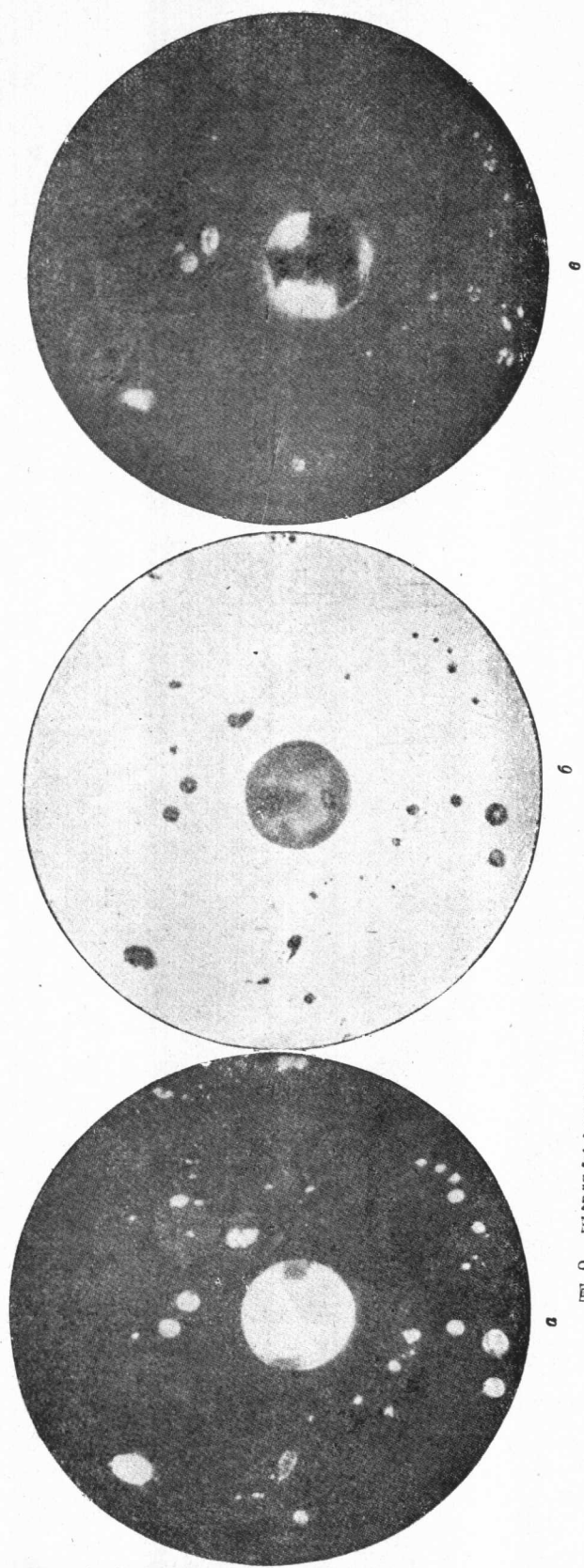


圖 9 用鋁脫氧之碱性电爐鋼中的小球狀氧化矽夾雜物。試樣重 1 公斤，由盛鋼桶中取出。倍數 500
a—明 場； b—暗 場； c—偏 光

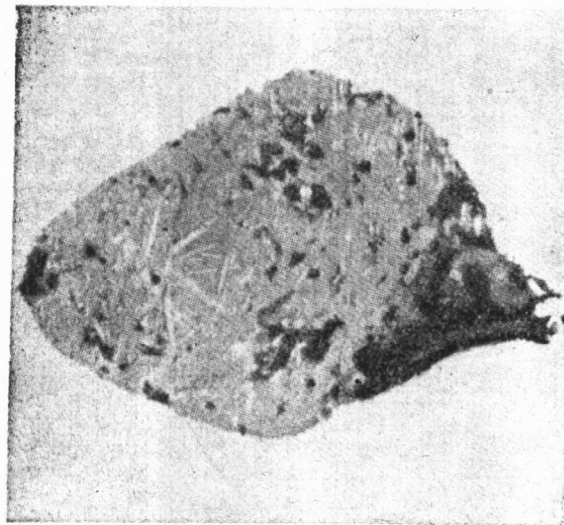


圖 10 用鋁脫氧的碱性电爐鋼中的成分複雜的鋁磷酸鹽爐渣夾雜物。試樣取自直徑為 85 毫米的圓鋼。圓鋼係由斷面為 250×250 毫米，重量為 450 公斤的鋼錠軋成。倍數 500

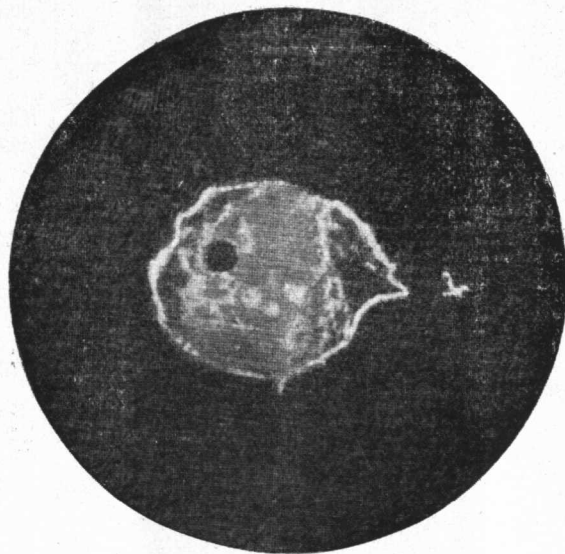
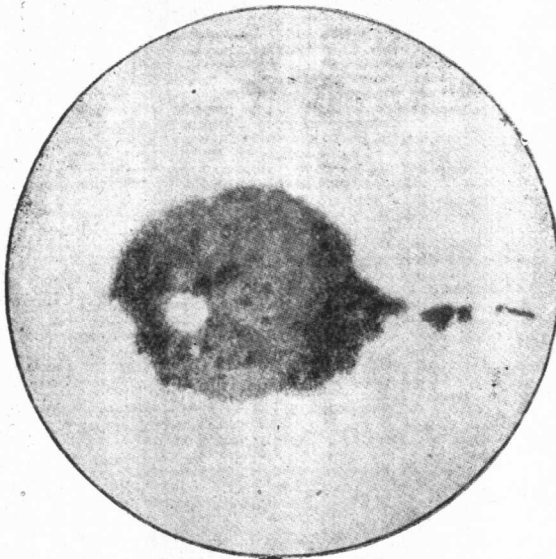


圖 11 碱性电爐鋼中成分複雜的鋁磷酸鹽爐渣夾雜物。試樣取自直徑為 90 毫米的圓鋼。圓鋼係由斷面為 250×250 毫米，重量為 450 公斤的鋼錠軋成。小球夾雜物內是金屬珠粒

a—明 場；b—暗 場

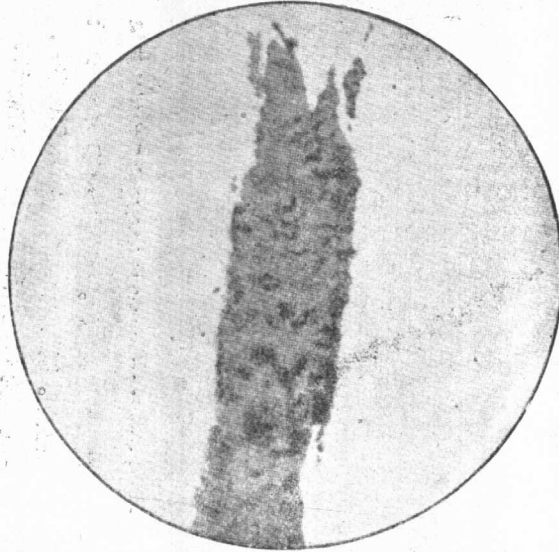


圖 12 碱性电爐鋼中成分複雜的鋁矽酸鹽爐渣夾雜物。試樣取自直徑為 90 毫米的圓鋼。圓鋼係由斷面為 250×250 毫米，重量為 450 公斤的鋼錠軋成。倍數 200

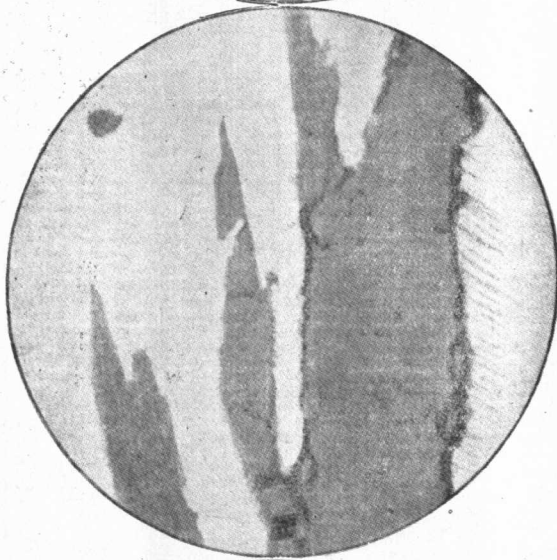


圖 13 碱性电爐鋼中成分複雜的鋁矽酸鹽爐渣夾雜物。試樣取自直徑為 90 毫米的圓鋼。圓鋼係由斷面為 250×250 毫米，重量為 450 公斤的鋼錠軋成。夾雜物內有尖晶石。倍數 200

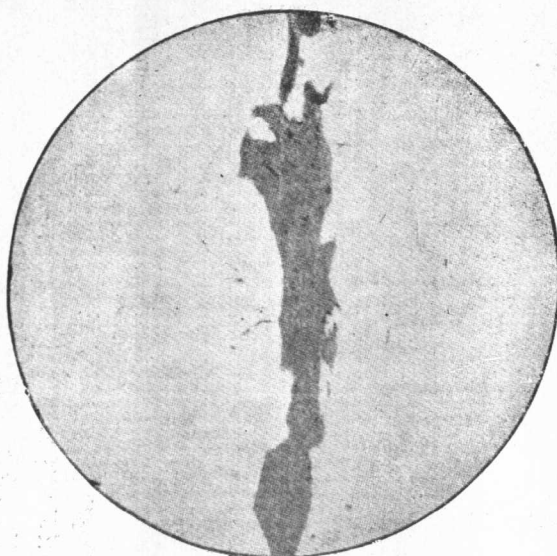


圖 14 碱性电爐鋼中成分複雜的鋁矽酸鹽爐渣夾雜物。試樣取自直徑為 90 毫米的圓鋼。圓鋼係由斷面為 250×250 毫米，重量為 450 公斤的鋼錠軋成。矽酸鹽內有鎂尖晶石夾雜物。倍數 200