

暗視场与偏振光
在鑑定鋼中夹杂物时的应用

劉順发 編著

冶金工业出版社

暗视场与偏振光在鑑定鋼中夹杂物时的应用

刘 順 发 編著

編輯 邵略 設計: 曹芝芳 韓品石 校對: 劉漢源

—*—

冶金工业出版社出版 (北京市灯市口甲 45 号)

北京市書刊出版業營業許可證出字第 093 号

冶金工业出版社印刷厂印 新华书店发行

—*—

1959 年 3 月第一版

1959 年 4 月北京第二次印刷

印数 4,000 册 (共計 5,300 册)

870×1168·1/32·30,000 字·印張 $1\frac{8}{32}$

*

統一書号 15062·1491 定价 0.20 元

出版說明

本書對利用暗視場與偏振光鑑定鋼中夾雜物時的檢驗程序、簡單原理和注意事項等作了系統而簡明的敘述。可供冶金廠、機械廠、高等與中等技術學校、研究機關的金相檢驗人員閱讀。

75.613
195

26.12/11

目 录

緒言.....	1
一、鑑定鋼中非金屬夹杂物的方法.....	3
1、化学分析法.....	3
2、岩相法.....	4
3、金相法.....	4
二、暗視場在鑑定夹杂物时的应用.....	6
1、暗視場的照明系統.....	6
2、在暗視場中观察夹杂物.....	7
3、在显微镜上暗視場的取得及观察时的注意事項.....	11
三、偏振光在鑑定夹杂物时的应用.....	13
1、偏振光照明.....	13
2、在偏振光下观察夹杂物.....	16
3、在显微镜上偏振光的取得及观察时的注意事項.....	19
四、夹杂物的金相鑑定步驟.....	22
五、夹杂物金相鑑定实例.....	24
六、夹杂物的輔助試驗.....	25
1、硫印試驗.....	25
2、麦脫为夫 (Matweioff) 实验.....	25
3、罗氏 (Rohl) 試驗.....	25
参考文献.....	37

緒 言

提高金屬質量，是降低生產成本，增加機器及金屬製品壽命的主要方法。在提高金屬質量的問題上，非金屬夾雜物的研究具有極大的意義，因為夾雜物與鋼的生產，鋼的加工及鋼制零件的使用有着密切的關係。

在金屬中即使僅含少量的非金屬夾雜物，都可能明顯地影響金屬的彈性變形和塑性變形的分布、應力集中、晶粒大小、組成的分布及可加工性等。當夾雜物存有不利之形狀及分布特征時（一般指夾雜物順着零件加工方向拖延成鏈條狀小顆粒或沿晶界分布的網狀夾雜物），對金屬機械性能的影響就更為嚴重，在鋼中有這種形狀及分布特征的夾雜物存在的區域，很可能成為突然斷裂的源地。夾雜物的存在將降低金屬的塑性及沖擊韌性。夾雜物對鋼的性能還可能有着間接的影響，因為氧在鋼中的含量及形態是直接影響着鋼的塑性、沖擊韌性、疲勞強度及其他物理性能的，而鋼中的氧又是主要以非金屬夾雜物的形態存在，因此它就直接或間接地影響着鋼的性能。

由於非金屬夾雜物對金屬性能影響之大及近代技術的發展對鋼純度的要求大大的提高，致使消除或減少鋼中的非金屬夾雜物成為一項重要的工作。欲消除或減少鋼中的非金屬夾雜物，首先要測得存在於鋼中的非金屬夾雜物的類型，借此了解其由來，從而採取預防措施，所以鋼中夾雜物的鑑定在冶金及機器製造領域內又成為極為重要的工作。

根據過去許多學者的研究及冶煉過程，鋼中非金屬夾雜物的來源有二：

1、外來的夾雜物：

在冶煉及澆鑄過程中，由於操作上的不注意，使鋼液表面的爐渣或煉鋼爐、盛鐵桶、出鋼槽的內壁剝落下來之耐火材料混入

鋼液，澆鑄後未及在鋼水凝固前浮出，因而夾于鋼中成為非金屬夾雜物。這種夾雜物大都比較粗大。因為主要由於操作不注意而引起，一般都可以避免。

2、內在的夾雜物：

(1) 鋼在液態及凝固過程中，有着複雜的化學反應，由這些反應而生成的非金屬物質，在鋼液凝固前未及浮出，嵌于鋼中而形成夾雜物。

(2) 原來溶于鋼水中的非金屬物質，由於溫度的下降而使溶解度變小，因而于降溫過程中析出，這些夾雜物在鋼液凝固前又未及浮出而形成夾雜物。

這兩種夾雜物皆系內在變化而產生，一般都較細，同時它的產生不易用人為控制，故欲使鋼中完全不含內在的夾雜物是較為困難的。

產生鋼中夾雜物的理論，這裡不予贅述，而主要根據我們在進行非金屬夾雜物的金相鑑定過程中的體會，闡述夾雜物的金相鑑定方法。又因一般金相工作者對金相顯微鏡的明視場較為熟悉，故不加詳述，而以敘述金相鑑定中臥式顯微鏡的暗視場及偏振光的應用為主，附帶敘述夾雜物的金相系統分析，借此掌握鋼中非金屬夾雜物的金相定性方法，以供冶金及機械製造廠金相實驗室的工作者參考。

一、鑑定鋼中非金屬夾雜物的方法

鋼中非金屬夾雜物的測定方法，按其样品处理的情况及所用設備的不同，基本上可以分为三种：

1. 化学分析法

用化学分析的方法来測定鋼中非金屬夾雜物，大体上分两个步驟，即夾雜物的分离及分离出来夾雜物的化学分析。分离夾雜物的方法有四种：

(1) 酸类法：最熟知者为盐酸法和硝酸法。硝酸法为將鋼的薄片溶解于10% 硝酸冷溶液中，溶解需延續好几天，使鋼全部溶于溶液內，然后过滤称重并进行微量分析。用此法分离在鋼的溶解过程中会有大量盐基性鉄盐产生，使夾雜物沉淀沾污，若加入10% 檸檬酸使成混合酸液，則能得到純淨的沉淀。盐酸对夾雜物的作用較強，所以仅适用于定氧化鋁。

(2) 鹵素法：鹵素法有氯法、溴法及碘法。氯法是金屬及碳化物与夾雜物分离的一种干法处理，是将金屬在不很高的溫度300~400°C 左右于氯气流中处理。因此生成的金屬氯化物就升华，燃燒皿中剩下的为夾雜物。溴法的實質与酸法相同，將金屬屑用冷的溴水溶液（15 毫升溴，200 毫升水）或溴化鉀溶于溴水的溶液处理。碘法与溴法相同，系將金屬屑溶于冷的碘化鉀溶液中，以取得夾雜物沉淀。

(3) 盐类法：將金屬溶解于盐中以求得夾雜物沉淀的方法为盐类法，这种方法可以在較中性的情况下，在溶解碳化鉄的同时溶解金屬，大部分为將金屬溶于硫酸銅、氯化鉄、二氯化銅、及氯化鉍复盐中和氯化汞中。

(4) 电解法：电解法分离夾雜物最为簡單，而且能溶解大量金屬，因而得到广泛的应用，常用之电解法为硫酸盐法及双电解

液盐法。

化学分析法就是采用上述分离法，将夹杂物从鋼中分离出来，再进行微量分析，以测定夹杂物的組成及数量。

用化学分析法进行非金属夹杂物的定性，所需的时间較长，而且分离时常常由于碳化物的混淆及其他杂质的混雜使結果不正确，同时，由于一个鋼样中的夹杂物只能一次分离，故使微量分析也只能进行一次，假如一次分析不准就无法进行第二次，也就限制了結果的正确性。更重要的是鋼中夹杂物的影响与夹杂物的分布特征有着密切的关系，而分离后就无法测得夹杂物于試样中的分布。

2. 岩 相 法

岩相法分析非金属夹杂物的第一步同样是将夹杂物自鋼鉄中分离出来，显然分离夹杂物的方法与化学分析法中所述相同，分离出来的夹杂物用玻璃片做成試片，置于穿透光显微镜下观察。此法对碳化物的分隔要求不严，因为在穿透光下能明显地看出碳化物是黑色不透明的，并且具有无規則形态，通常比夹杂物粗大。

由于在分离出来的夹杂物制成的試片上分析，并且分析的内容主要确定夹杂物的形状、顏色、透明度、各向异性效应及折射率等，故所应用的仪器带有反射鏡的偏振光显微镜（如苏联制造的МИН-4和МИН-6显微镜）。

岩相法同样要分离夹杂物，故所需时间也較长，同样不能测得夹杂物在鋼中的分布情况，所以很少单独采用岩相法分析夹杂物。

3. 金 相 法

用金相法分析夹杂物不需预先分离夹杂物，而是用金相显微镜观察预先制好的金屬試片，这种方法甚为方便，是生产过程中控制鋼质量的一种好方法，其缺点在于不能正确地确定未知特

征的夹杂物的正确組成及某些物理特性（如折射率），所以单独进行金相法不能全面地研究和鑑定未知特征的夹杂物，而只能測定已知特征的夹杂物。苏联科学家們在測定夹杂物特征方面作出了很大的成績，絕大部份常見夹杂物的特征已研究出来，使金相法单独进行夹杂物的鑑定成为可能。本書目的，即在闡明金相法单独进行夹杂物鑑定的过程。对于未知特征夹杂物的研究，还需綜合应用三种方法，必要时还需应用磁性法， x -射綫法，光譜法等等来輔助。

二、暗視场在鑑定夾杂物时的应用

暗視场观察是夹杂物金相定性中的一个重要部份，今将其应用詳述于下。

1. 暗視场的照明系統

暗視场照明系統的主要特点是入射綫不經過物鏡，而依靠包围在物鏡外围的环形聚光鏡反射給試片，今以德国蔡司光学仪器厂出品之Neophot臥式显微鏡（图1）为例，說明暗視场的照明系統。

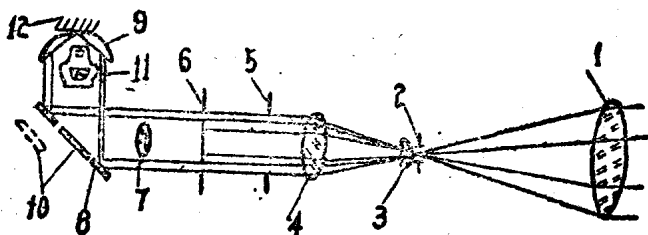


图 1 Neophot显微鏡暗視场照明系統

- (1) —光源透鏡；(2) —孔径光栏；(3) —透鏡；(4) —透鏡；
(5) —視场光栏；(6) —环形光栏；(7) —透鏡；(8) —圓形反射鏡；
(9) —环形聚光鏡；(10) —反射鏡；(11) 物鏡

由光源射出之光綫，經過光源透鏡（1）和孔径光栏（2）、透鏡（3）（4）及視场光栏（5）后，与一个可动的环形光栏（6）接触，此光栏之构造如图2，入射綫的中心光束被环形光栏的黑色部份吸收而不能透过，此时仅有边缘的光綫通过，通过的光綫即被投射到圓形反射鏡（8）上，圓形反射鏡再将此光綫射至事先置于物鏡外围的环形聚光鏡（9）上，聚光鏡的反射面成弧形（见图1），借此弧形面将光綫以較大的角度反射到試面

上。由于光线中部被环形光栏所挡，故物镜中没有入射线通过。由试片反射回来的光线一部份射入物镜，送入观察者眼中，一部份仍以较大角度射出去，不被物镜所吸收。



图 2 环形光栏的构造

2. 在暗视场中观察夹杂物

在暗视场中观察夹杂物的特征，是非金属夹杂物金相定性的一个重要部份，它可以确定夹杂物的透明度、本来颜色及明场中不易见到的细小夹杂物。在暗视场的照明系统内，若试样表面与物镜光轴绝对垂直，则由图 1 可知从表面 L2 反射出来的光线不会射入物镜而射入物镜附近的空阔里，由此我们在目镜后面看不到光线而是一片黑暗。但当试样面上有沟道、磨痕、凸出物等时，会使光线产生散射，则浮起部份的散射光线便通过物镜，浮起部份的细节在观察筒或照相机内就能明显的看到。显然我们看到的这些浮起部份是发亮的与在明场下看到的正相反。前面提及，在这样的照明系统中可以观察夹杂物的颜色、透明度和明场下不易看到的细小夹杂物，今将三者分述于下。

(1) 夹杂物的颜色：

透明或半透明的夹杂物在明视场中暴露时，入射线的一部份经试片的表面金属反射出来，入射线的另一部份则经过夹杂物而折射入金属基体与夹杂物的交界处，再经该处反射出来的光与由金属表面反射出来的光混合射入物镜，我们知道物体所以能够显示颜色，是由于物体能够选择吸收和反射白光中各种不同波长的光，而在明场中的夹杂物，若本质上是透明的则白光全部被吸

收，对夹杂物颜色并无任何影响，若本质是透明的夹杂物，则除被吸收的光线外其他光线全被折射到金属基体与夹杂物的交界处并与基体金属的反射光混合射入物镜。因此，目镜中所看到的是被金属基体反射光混合后的光，显然夹杂物的固有色彩被隐藏。在暗场中，若夹杂物本质是透明的而且带有固有色彩，则光线是由夹杂物折射至金属基体交界处，被反射后再经夹杂物射至物镜，并且由于金属基体与物镜光轴垂直，没有反射光的混淆，故夹杂物的固有色彩不被隐藏。我们在暗视场中能够精确地得到夹杂物的固有色彩。

在观察夹杂物的固有色彩时，必须注意的是影响夹杂物的因素很多，观察时应考虑到。今将这些因素列举于下：

①放大倍数：倍数愈大，颜色愈清楚，这是因为在高倍下夹杂物在视野内的表面积增大，因而色彩的衬度减弱，颜色也就较为清楚，故在暗视场内观察夹杂物颜色时，应尽可能用高倍观察。

②物镜的鉴别率：鉴别率愈高，颜色愈易看出，因为鉴别率高的物镜聚集光线的能力强，能够表示夹杂物颜色的波长的光也就多，颜色也就更易看出。

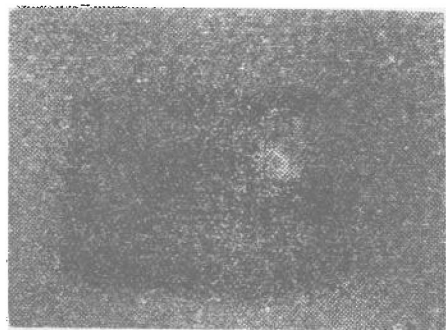
③试片的磨制质量：试片磨制的好坏，在很大程度影响观察结果，下列两点是主要影响。第一：抛光后未能迅速吹干，往往留下水渍，复盖于夹杂物上而形成水膜，光线通过水膜时由于折射而产生不正常的颜色。第二：夹杂物在磨片过程中部份或全部被磨去，试片上留下沟道，使光线产生散射，引起不真实的颜色。

在暗视场中观察到的颜色，可用习惯的术语（如黄色、红色、玫瑰色等）记录下来，有必要时可用五彩摄影法照下相片，作为夹杂物在暗场观察中特征的一部份。

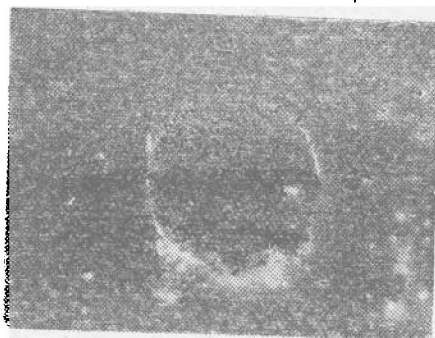
(2) 夹杂物的透明度：

与色彩的道理一样由于金属基体反射光的混淆，致使明场下无法观察到，但在暗视场中由于金属基体没有反射能力，故透明

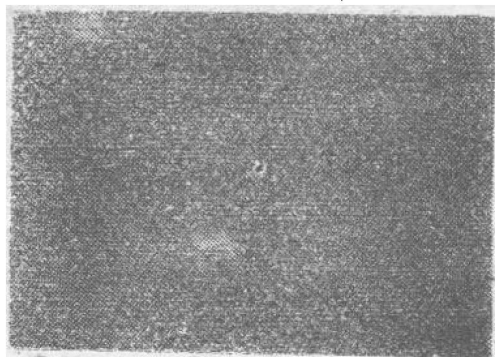
情况能够看到。夹杂物在暗视场中按透明程度可分成三类，即透明夹杂物、半透明夹杂物及不透明夹杂物。透明夹杂物在暗视场中发亮，亮度大小表示夹杂物的透明程度，有的夹杂物仅在一薄层中是透明的。不透明的夹杂物在暗场中是黑暗的，有的比基体还要黑，这些不透明夹杂物常常围有彩色带或亮边。照片1~4为夹杂物在暗场中的一个特征——透明情况。照片一、二、三皆为透明的夹杂物，照片一为呈琥珀黄色的铁锰矽酸盐，照片二为呈褐色的铁矽酸盐，因非彩色照片故无法表达其颜色及透明情况，照片四为透明的氧化矽夹杂物，呈亮白色。照片三为不透明



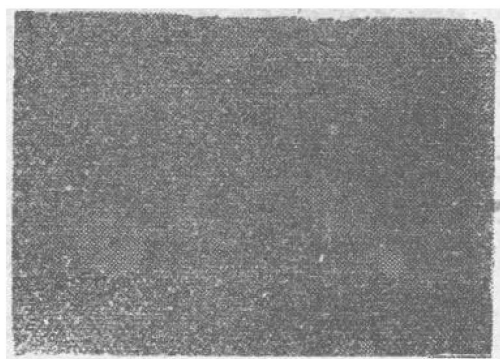
照片一 鉄錳矽酸盐 $\times 500$ 暗視場



照片二 鉄矽酸盐 $\times 500$ 暗視場



照片三 氮化鈦夹杂物 $\times 500$ 暗視場



照片四 氧化矽夹杂物 $\times 500$ 暗視場

的氮化鈦夹杂物，在暗场中呈暗黑色，周圍被亮帶所圍。夹杂物在暗场中除完全透明（呈亮白色如照片四）的夹杂物外帶顏色的或完全不透明的夹杂物往往圍有亮邊，這些亮邊是由于夹杂物折射到金屬交界處后的一部的光子交界處反射出來所造成。

在进行夹杂物透明情况观察时，需要注意的是試面上的磨痕也是发亮的，其不同之点仅是磨痕为閃亮，透明夹杂物則沒有閃光，兩者常常容易混淆，观察者应加以注意。

(3) 明視場中不易見到的細小夹杂物：

細小微粒能否在顯微鏡下观察到决定于物鏡的鑑別率，表达

物鏡鑑別率的数学公式为： $d = \frac{\lambda}{a}$ ，当波长短（即入小），数字孔径 a 大时， d 就小，鑑別率就高。一种物鏡有它一定的数字孔径，故在光綫波长不变时，鑑別率直接受到物鏡几何形状的影响，因此被观察物体的細小度不得超出物鏡鑑別率之外，否則不管明场及暗场都不能看到，但金相显微鏡的鑑別率能达万分之几公厘，故一般鋼中的非金夹杂物理論上都能被清晰地观察到，但实际上在明視场下有很多細小夹杂物不易被发现，这与物鏡的鑑別率无关，而是另一种因素的影响。在明场观察金相試片时，經磨光抛光而未經腐蝕的金屬基体对光具有强烈的反射能力，而一些細小的夹杂物表面积很小，它所反射的光与面积相差悬殊的金屬基体反射光相比是微不足道，因而观察者也就不易寻得此类夹杂物。在暗視场中則不然，它能看到明场中不易见到的夹杂物，因为在暗視场照明系統內，金屬基体的光是以較大的角度射出而仍以較大的角度反射至物鏡附近的空間，物鏡中沒有吸收金屬基体的反射光，而仅有夹杂物折射出来的光，因而細小夹杂物的表面积虽小，但因沒有金屬基体光綫的混淆故能看清楚。这个情况的存在，使我們有可能无遺地观察到試面上的細小夹杂物。

3. 在显微镜上暗視场的取得及观察时的注意事項

暗視场操作較為简单，在大型臥式显微鏡（如Neophot 显微鏡及MHM-8 显微鏡等）中，只需将环形光栏插入光綫途中，将环形聚光鏡及中間圈置于物鏡外圍即能得到暗視场。詳細操作各仪器略有不同，可从仪器說明書中找到。

在暗視场观察时，常常因外界因素而影响結果的真实性，故于观察时需注意如下几点：

（1）为避免由磨痕、沟道等带来的不利結果，磨片时需特別細心，抛光時間不宜过长，抛光后应快速吹干以免水跡及水膜的产生。

（2）为避免抛光过程中将夹杂物从試片中抛下而产生凹

坑，最好在抛光盘的絨布上衬以綢布进行抛光。

(3) 前面已經提及磨痕和沟道等在暗场中都发亮，为与透明夹杂物区别起见，可先在明視场内观察，然后眼睛不离开目鏡，迅速拉出环形光栏变成暗視场，以区别夹杂物与磨痕，为正确起见如此操作可重复数次。

(4) 在带弧光灯的显微鏡 (Neophot 显微鏡) 上，应采用弧光照明，在带有可变电压的白熾灯显微鏡 (如МІМ-8) 上应将电压放至最大，以求較强的光源。視场光栏及孔径光栏亦应适当放大。

三、偏振光在鑑定夾雜物时的应用

随着夹杂物晶体結構的不同，光学性质也有所不同，按光学性质来对晶体分类可分两大类，即均质体（各向同性体）和非均质体（各向异性体），对夹杂物这种性质的区分是鑑定夹杂物的一个重要因素，而这种性质在明視场及暗視场中是无法区分的，它必須利用偏振光才能区分，因此，偏振光观察夹杂物成为非金屬夹杂物金相定性中的一个重要环节，今将其原理及应用分述于下。

1. 偏振光照明

由物理学得知，光是电磁波，它的振动永远垂直于传播方向，我們遇到自然光是在垂直于传播方向的平面內各方向都振动的光，其微粒的振动情况如图 3 所示。而偏振光与此不同，其微粒的振动是在垂直于传播方向的平面內的一个方向振动，这种振动是有规律的，其情况如图 4 所示。

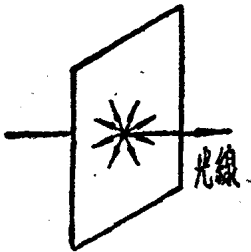


图 3 普通光微粒的振动情况

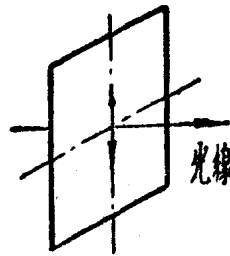


图 4 偏振光微粒在某一平面上有規則地振动情况

欲得到我們所需要的偏振光，必須使自然光起偏，而光的起偏是一个过程，必須通过特殊的仪器来完成。常用产生偏振光的仪器有四种：（1）渥拉斯頓稜鏡；（2）二色性裝置；（3）尼科尔稜鏡；（4）偏振片。在显微镜中通常采用尼科尔稜鏡及偏振片来使光起偏。