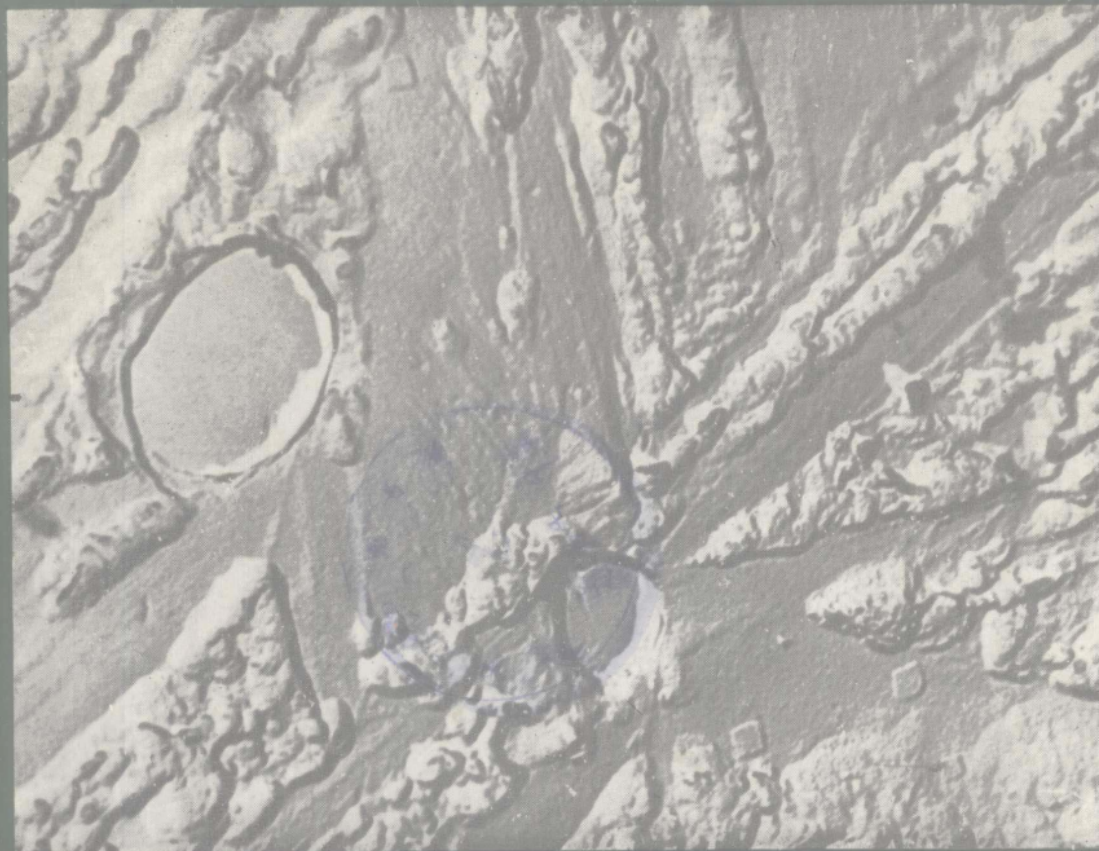




高碳铬轴承钢 金相图谱

机械工业部洛阳轴承研究所

高碳鉻軸承鋼金相圖譜

《GCr15軸承鋼金相圖譜》編寫組

機械工業部洛陽軸承研究所

1983

内 容 提 要

本图谱收集了GCr15轴承钢原材料缺陷、锻造、退火、淬回火以及中温转变等五个方面的金相组织图片和实物照片。并简单地阐述了形成这些组织和缺陷的原因和处理工艺。在淬回火组织图片中，还把GCr15轴承钢在各种不同淬火温度下所获得的奥氏体晶粒度大小和组织特征对应起来、低倍及高倍组织对应起来。

本图谱可供工厂中心实验室和从事轴承金相热处理工作的工人和技术人员参考。

前 言

随着工业和科学技术的发展，轴承的品种和数量不断增加，对轴承产品质量也提出了越来越高的要求。

由于轴承生产和使用上的特点，不但对钢材的冶金质量要求很高，而且对轴承零件的热处理质量也有很严格的要求。金相分析是评定冶金和热处理质量最基本的方法之一，它在保证产品质量方面具有极为重要的作用。

本图谱比较系统地介绍了GCr15轴承钢的金相组织与热处理工艺之间的关系，以及材料缺陷的特征。它包括材料缺陷、锻造、退火、淬回火、中温转变等五部分的图片。

这本图谱中所列入的组织照片，大部分是经过工艺试验得到的，其中有一部分是属于不正常组织。因为在实际生产中，不正常组织经常出现，而且往往是造成废品的原因。为避免重覆，对有关材料标准和轴承零件热处理质量检查标准中的组织图片均未收集在内。材料缺陷部分的照片，绝大部分是取自废品分析的样品。

本图谱的制订是我们轴承行业广大金相工作者共同努力的结果，具体分工如下：材料缺陷部分由东北、华北有关轴承厂提供；锻造部分由西北有关轴承厂提供；退火部分由华东有关轴承厂提供；淬、回火部分由中南、西南有关轴承厂和轴承研究所提供；中温转变部分由轴承研究所提供，最后由轴承研究所汇编成册。

参加本图谱的编写人员是：周志澜、杜美华承担了该图谱的主编工作；原材料缺陷部分由瓦房店轴承厂王道德和北京人民轴承厂王恩杰负责；锻造部分由西北轴承厂陶治安和轴承研究所杜美华负责；退火部分由上海滚动轴承厂张均达和上海机配研究所张文元负责；淬、回火部分由轴承研究所孙希坤、杜美华、周志澜和虹山机械厂郭明龙负责；中温转变部分由孙希坤、周志澜、杜美华负责。先后参加本图谱制订工作的还有杨昭蓉、卢淑君、刘宝金、付清元、常锦平、岳书权等同志。北京钢铁学院金相教研室张维敬副教授对本图谱的部分章节作了修改。

本图谱经王志凌、陈唤中、范崇惠等同志校审，最后由贾刚同志审阅。出版编排由邢镇寰同志负责。

由于我们水平有限，本图谱虽经多次校审和修改，但仍可能存在很多缺点和错误，恳切希望读者指正。最后，对于在本图谱制订和编写过程中给我们提出过许多宝贵意见的赵传国、景国荣、江涛、王杰君、王中玉、崔玉基、邱志仁、李绍庚等同志表示深切地谢意。

《GCr15轴承钢金相图谱》编写组

总 论

一、滚动轴承的工作特点及其对材料的要求

滚动轴承在使用过程中，轴承零件是处在拉伸、压缩、弯曲、剪切等交变复杂应力及高应力状态下，高速而长时间地工作。因此要求滚动轴承应具有高的抗塑性变形能力、较小的摩擦磨损、良好的旋转精度和高的尺寸精度、以及尺寸稳定性好和使用寿命长等特性。而滚动轴承的这些特性大多数是与轴承材料和热处理质量相关的，为此轴承钢必须具有严格的成分、高的纯净度、均匀的组织、高而均匀的硬度和耐磨性、高的弹性极限和接触疲劳强度、一定的韧性和淬透性、高的抗压强度和一定的抗腐蚀能力，同时还要有良好的尺寸稳定性和优良的加工性能等。

二、高碳铬轴承钢

GCr15轴承钢从1901年用于制造滚动轴承已有80年的历史，长期的生产和使用实践证明，这种钢可以满足一般和某些特殊用途轴承的要求。

GCr15钢的化学成分如表（1），当制造轴承零件用材料的化学成分符合部颁标准时，轴承

GCr15钢的化学成分% 表（1）

碳	铬	锰	硅	硫	磷
0.95~1.05	1.30~1.50	0.20~0.40	0.15~0.35	≤0.020	≤0.027

的内在质量在很大程度上取决于轴承钢的冶金质量——即化学成分均匀性、非金属夹杂物的含量、类型、大小及分布、碳化物不均匀性以及低倍组织。此外，轴承零件的热处理质量对轴承的使用性能和寿命也起着决定性的作用。从表（1）中可以看出GCr15钢之含碳量为1.0%左右，并加有1.4%的铬元素，其本质仍属过共析钢。图（1）为Fe-C-Cr状态图上含1.6%Cr的垂直截面图，在铁—碳—铬三元合金中，铬大部分与碳化合生成渗碳体型碳化物——即 $(Fe \cdot Cr)_3C$ ，当加热到900℃左右时， $(Fe \cdot Cr)_3C$ 几乎完全溶解到奥氏体中^{[1][2]}。

从图（1）中可以看到铬对铁——碳平衡图的影响，与铁—碳二元平衡图比较，在Fe-C-Cr三元合金状态图上，固相线稍有降低，奥氏体中的极限溶解度以及共析点含碳量降低， A_{C1} 温度显著提高，奥氏体区缩小，共析转变并非在一恒定温度，而是在一温度范围内进行，在这温度范围内，有铁素体、奥氏体、以及碳化物三相共存。

钢中所含的微量Mn元素，一部分溶于固溶体，另一部分则以渗碳体型碳化物 $(Fe \cdot Mn)_3C$ 存在于钢中，其性质也与 Fe_3C 相近，同时在回火时也比较容易分解出来。还有一部分锰元素与硫化合生成稳定的MnS。

Fe-C-Cr三元平衡图是GCr15钢热处理基础之一，不同热处理工艺参数的选择，需根据平衡

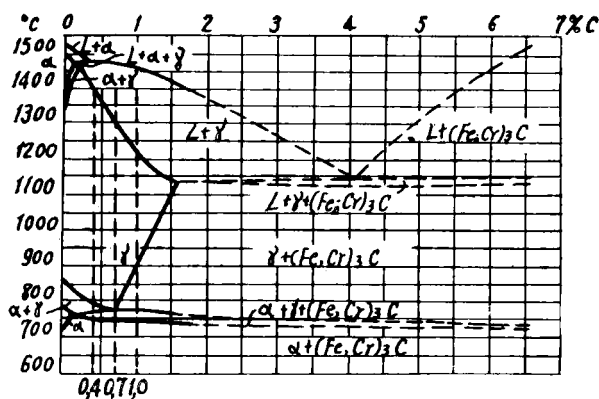


图 1 [2] Fe—C—Cr 状态图上含 1.6%Cr 的垂直截面图

图上的临界点而定。GCr15 钢的临界点如表 (2)。

GCr15 钢的临界点 表 (2) [7]

AC ₁	Ar ₁	AC _m
750~795°C	710~680°C	900°C

三、G Cr15 钢的奥氏体冷却转变曲线

适宜的加热温度仅为达到良好的热处理效果创造了必要的前提，但要获得预期的金相组织尚应根据钢在冷却时的转变特性来选好冷却条件。因此奥氏体冷却转变曲线也是 GCr15 钢的热处理基础之一。

1、奥氏体等温转变曲线 (C 曲线)

GCr15 钢的奥氏体等温转变曲线见图 (2)，不同的化学成分，不同的奥氏体化条件，C 曲线的形状及位置也不同。图 (2) 为 860°C 及 1050°C 奥氏体化，加热 15 分钟 保温 3 分钟，而后以极快的速度将试件过冷到 AC₁ 以下 Ms 点以上的不同温度，作等温 停留。不同的等温温度，获得的组织也不同。高温时 (765—520°C 左右) 的等温转变属珠光体转变。珠光体的粗细与奥氏体过冷度有关。奥氏体过冷度越大——即转变温度低，碳及合金元素扩散就越困难，因此扩散距离小，形成的珠光体之片间距也小。珠光体之片间距与形成温度成反比关系，所以在 C 曲线高温转变区之上部分形成粗珠光体，中间区形成细珠光体 (索氏体)，下部分形成极细珠光体 (屈氏体)。珠光体的分散度越大硬度也就越高。

中温 (520~245°C) 转变属贝氏体转变，一旦过冷到 Ms 点以下则属马氏体转变。

2、奥氏体连续冷却转变曲线

钢在热处理过程中，往往是处在连续冷却的条件下。连续冷却也可以理解为无数级极短时间等温冷却的积分，因此钢在连续冷却时的转变与等温转变有着密切的关系。

图 3 中的 10 条冷却曲线，由于冷却速度不同，转变以后所获得的组织也不同。GCr15 钢奥氏体在不同冷却速度下所获得的金相组织及硬度关系见表 (3)。

化学成分%	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V
	1.04	0.26	0.33	0.023	0.006	1.53	0.20	<0.01	0.37	<0.01

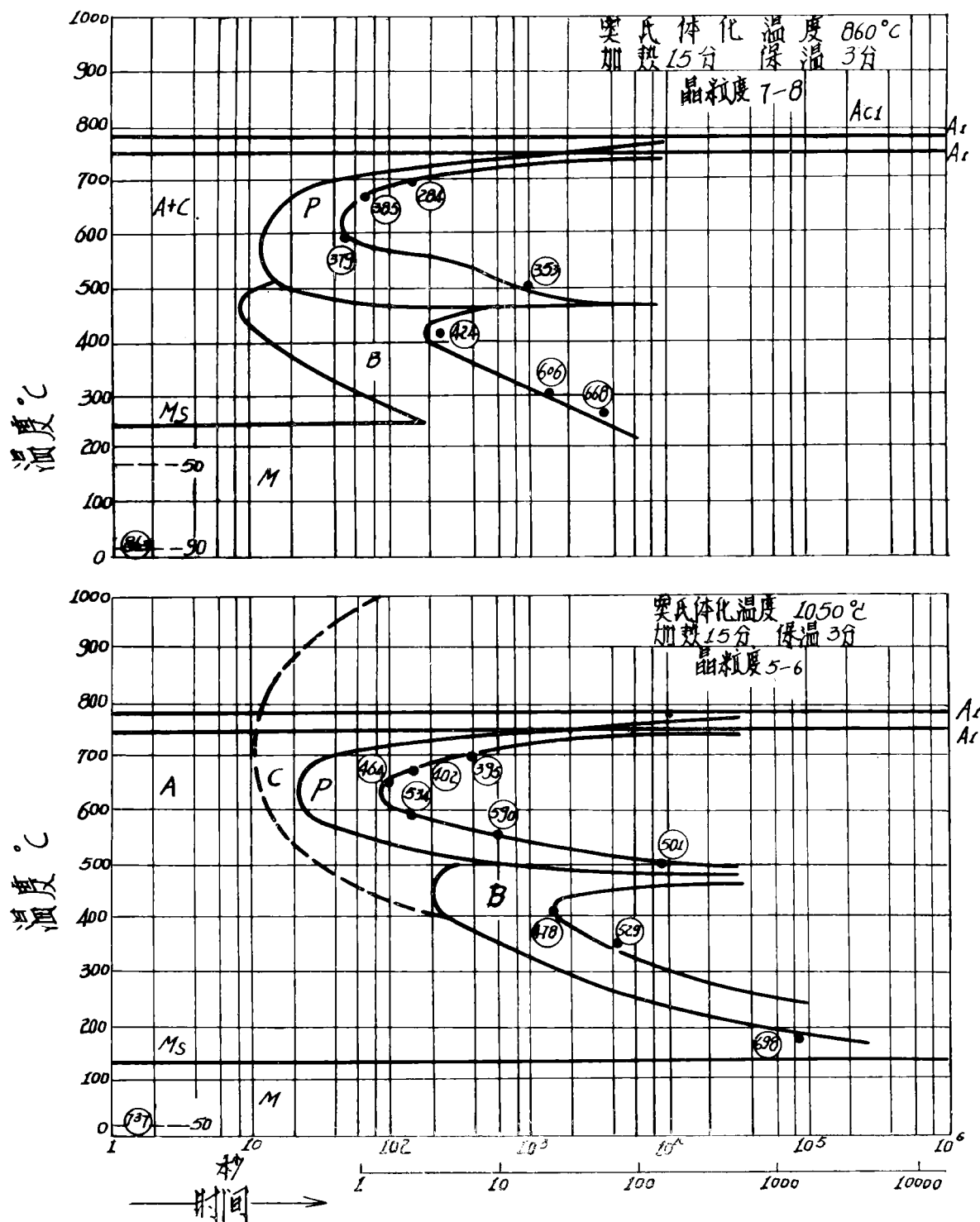


图 2 [3] GCr15 钢奥氏体等温转变曲线

图中：A—奥氏体；C—碳化物；P—珠光体；B—贝氏体；Ms—马氏体转变开始温；度M—马氏体A₁'~A₁'—相当于平衡图上的下临界点范围；O内数字表示维氏硬度值。

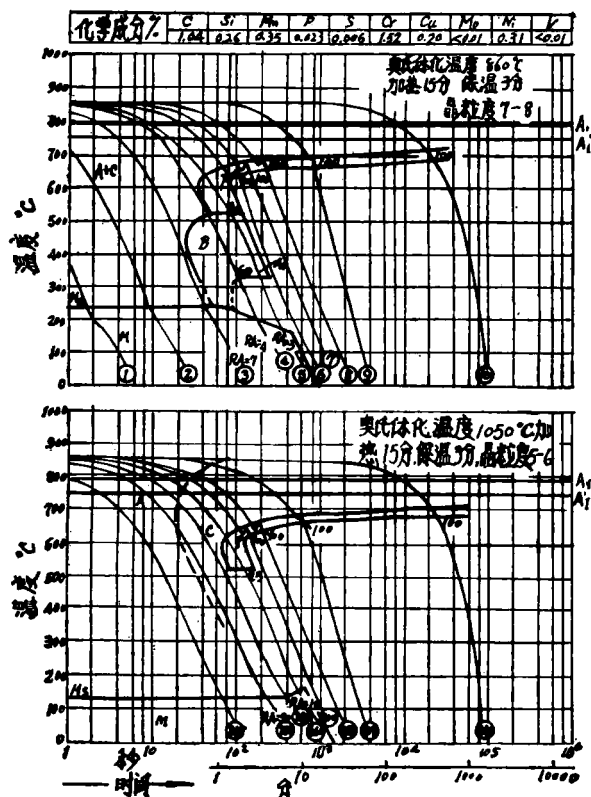


图 3 [2] GCr15钢奥氏体连续冷却转变曲线，

图中：A—奥氏体；C—碳化物；P—珠光体；B—贝氏体；M—马氏体； R_A —残余奥氏体； M_s —马氏体转变开始温度； $A_1'' \sim A_1'$ —相当于平衡图上的下临界点范围。上图○内数字系冷却曲线编号，下图○内数字系氏硬度值

GCr15钢奥氏体不同冷速转变的相组成

表 3 [3]

组成相 (%)	冷 却 曲 线									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
珠光体					40	100	100	100	100	100
贝氏体				60	40					
马氏体	100*	100*	93	36	17					
残余奥氏体			7	4	3					
硬度(HV)	929	933	890	509	454	339	318	303	289	246

*实际上不可能得到100%的马氏体

由于马氏体转变的不完全性，因此当冷速很大时，尽管冷却曲线不与珠光体及贝氏体转变曲线相交，即使把奥氏体100%过冷到 M_s 点以下，也不可能100%转变成为马氏体，而仍要残留下部分奥氏体。把能使奥氏体100%过冷到 M_s 点以下的最小冷速称为临界冷却速度（ $V_{临}$ ）。此时冷却曲线与C曲线的“鼻尖”相切。冷速大于 $V_{临}$ 时，过冷奥氏体只发生马氏体转变，冷速小于 $V_{临}$ 时，在冷却过程中则会产生共析或中温转变。 $V_{临}$ 的大小，反映淬透性的高低。孕育期越长，奥氏体越稳定， $V_{临}$ 越小，钢的淬透性就越好。

目 录

总 论

一、滚动轴承的工作特点及其对材料的要求	(I)
二、高碳铬轴承钢	(I)
三、GCr15钢的奥氏体冷却转变曲线	(II — IV)
1. 奥氏体等温转变曲线	(II)
2. 奥氏体连续冷却转变曲线	(II)

图 谱

第一篇 材料缺陷	(1)
第二篇 锻造组织	(29)
第三篇 退火组织	(45)
第四篇 淬、回火组织	(59)
第五篇 中温转变组织	(97)

第一篇：材 料 缺 陷

GCr15钢常见的材料缺陷有偏析、气孔、缩孔、疏松、非金属夹杂物、白点等。这些缺陷对轴承的性能及使用寿命都有不同程度的影响。

为了既保证轴承质量，又合理利用钢材，进厂钢材应按冶金部的有关技术标准进行检验。检验项目包括尺寸、表面缺陷、化学成分、火花鉴别、脱碳层、断口、退火组织、硬度、网状碳化物、带状碳化物、碳化物液析、低倍组织、非金属夹杂物等。对钢丝还应进行拉力试验。

检查钢材的显微组织、低倍组织及非金属夹杂物时，首先应从钢材上切取试样，试样切取办法参见图001。

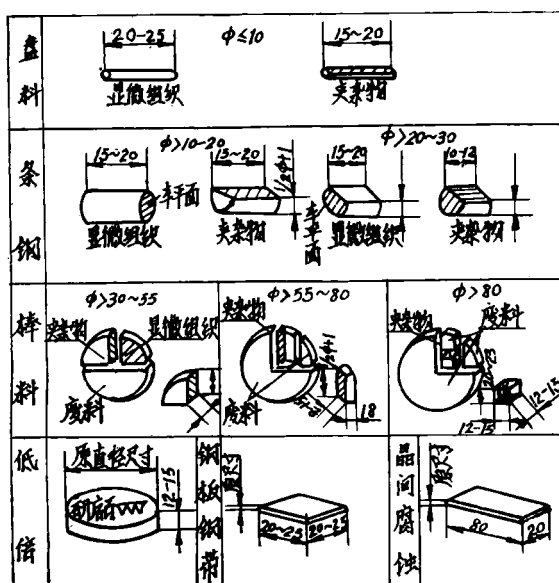


图001^[3] 轴承钢材检查用试样及加工方法

图号：002

名称：一般疏松

说明：钢在凝固过程中，由于晶间低熔点物质最后凝固收缩和放出气体而产生的孔隙，经受浸蚀后显示出黑点，这种不致密的孔隙，分布在整个断面上，称为一般疏松。疏松对轴承的表面光洁度有影响，并显著降低轴承的接触疲劳强度。

酸洗液：1 : 1 盐酸水溶液热酸洗。

图号：003

名称：中心疏松

说明：产生原因与一般疏松相同，只是不致密现象分布在断面中心。

酸洗液：1 : 1 盐酸水溶液热酸洗。

图号：004

名称：断口

说明：原材料存在较严重的孔洞经轧制和锻打后拉长并扩大。

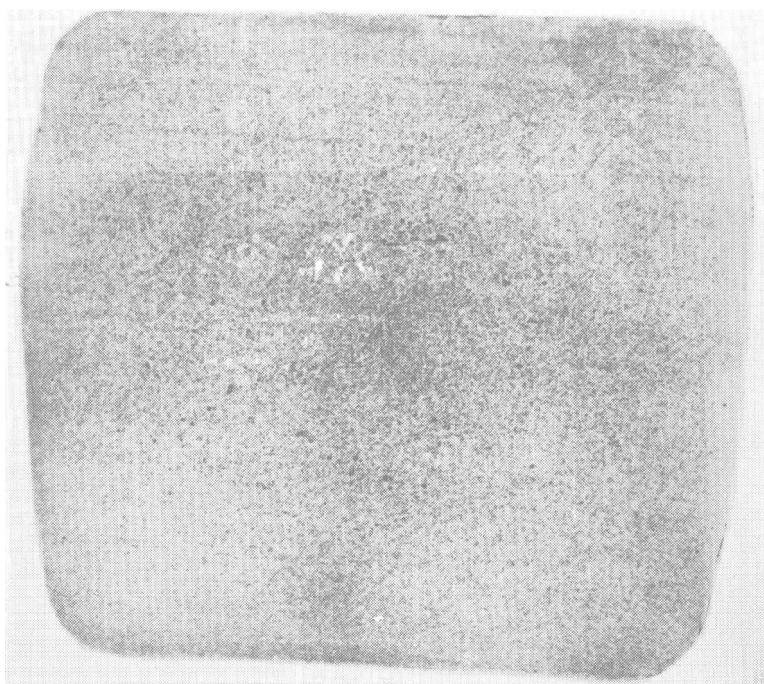


图002 1 : 1

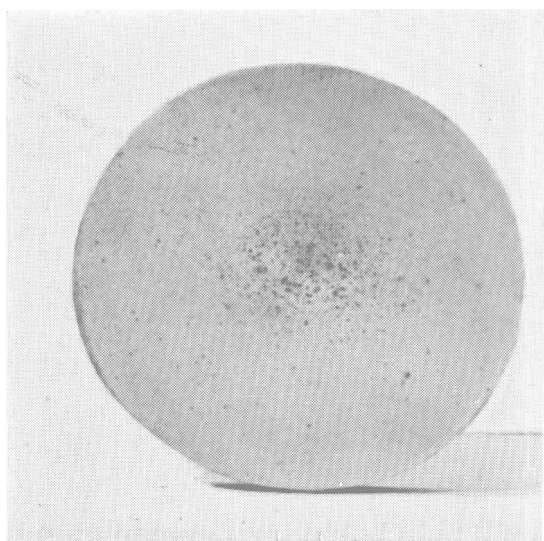


图003 1 : 1

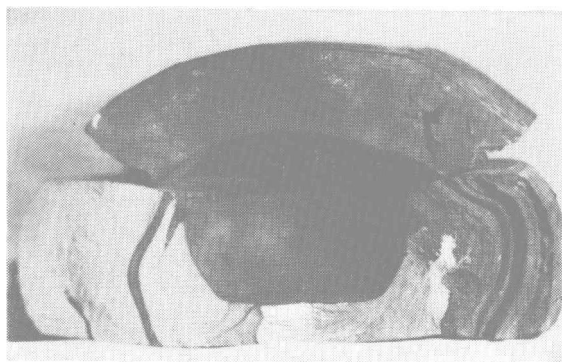


图004 1 : 1

图号：005

名称：方形偏析

说明：钢中化学成分的不均匀现象叫偏析。

钢在凝固过程中，由于选择结晶，所引起的某些元素的集聚，造成化学成分的不均匀分布，在热酸浸之后试样上呈现出颜色深暗之方框形，称方框形偏析或锭形偏析。由于偏析而引起碳量及合金元素偏聚，将使钢的淬透性变坏，淬火时硬度不均，并易产生裂纹。严重的偏析是不允许存在的。

酸洗液：1：1 盐酸水溶液热酸洗

图号：006

名称：方形偏析断口

说明：由于方形偏析严重，使兰脆下料后，坯料上呈现明显的方框形断口。

图号：007

名称：点状树枝状偏析

说明：结晶条件是形成点状偏析的主要因素，另外由于钢液中存在大量气体，使得某些低熔点组元、杂质聚集。评定点状偏析主要是根据点的大小、多少和密度、并适当考虑斑点的颜色。

酸洗液：1：1 盐酸水溶液热酸洗

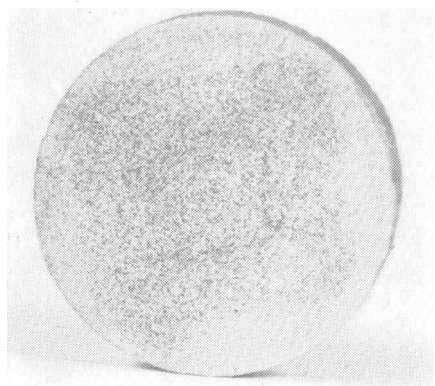


图005 1 : 1

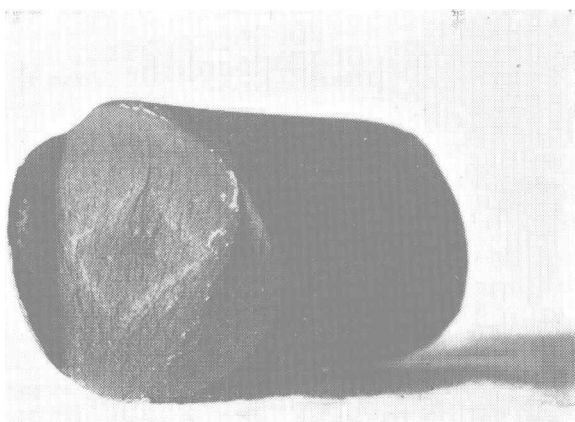


图006 1 : 1



图007 1 : 1

图号：008

名称：白点

说明：白点在横向酸浸低倍组织中呈现不同长度的细小发纹，也称发裂。在纵向断口上表现为圆形或椭圆形，表面具有银白色的亮斑点。

形成原因是钢在冷却过程中析出氢气和组织应力而产生白点。有白点的钢材其延伸率，断面收缩率和冲击韧性都显著下降。因此有白点的钢材是不允许使用的。

一般白点不存在于钢材横截面的边缘区域，而多集中在钢材的中心部位。

酸洗液： 1 ： 1 盐酸水溶液热酸洗

图号：009

名称：白点

说明：白点分布在材料的纵断面上。

酸洗液： 1 ： 1 盐酸水溶液热酸洗

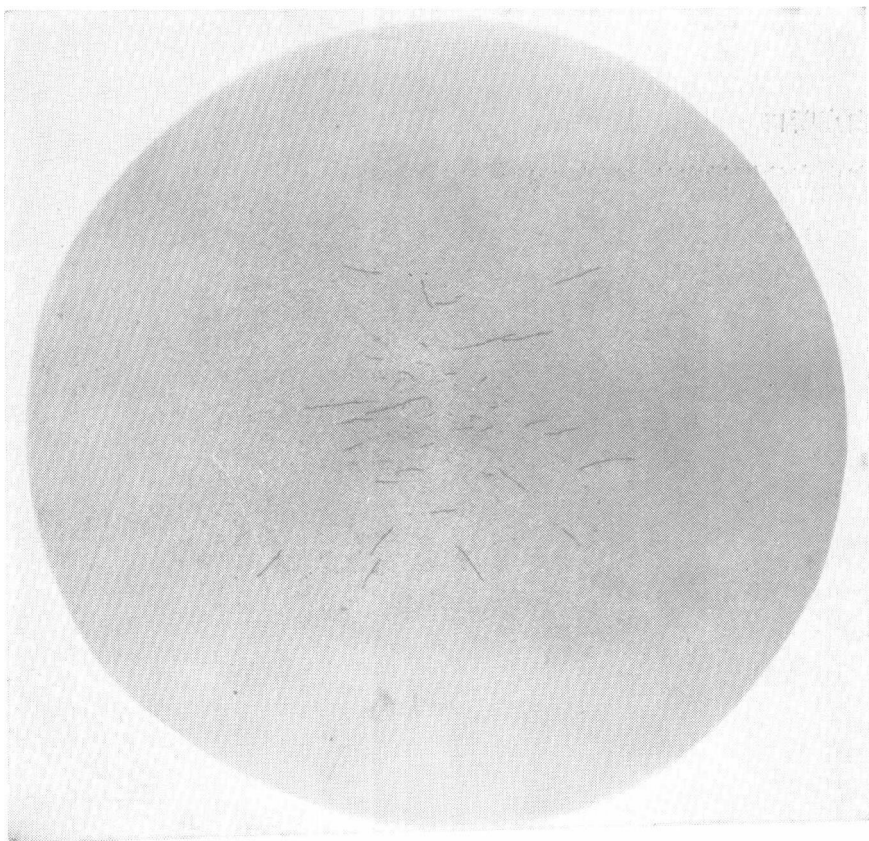


图008 1 : 1

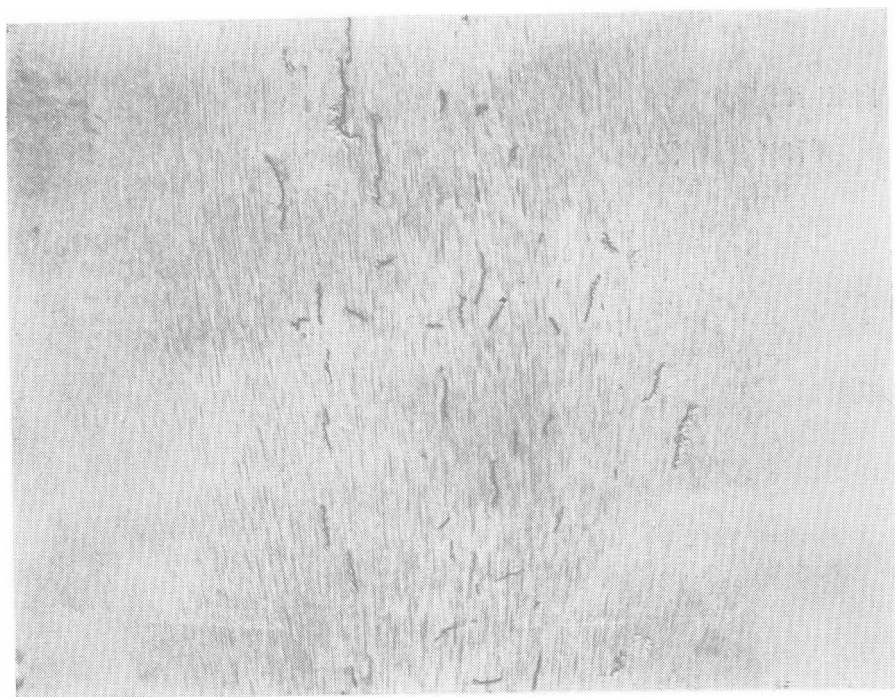


图009 1 : 1

图号：010

名称：白点断口

说明：有白点的钢材在兰脆下料时造成的撕裂断口。

图号：011

名称：白点断口

说明：纵向断口的白点状态，白点呈银亮色的圆或椭圆斑点。