

机械电子工业部哈尔滨焊接研究所 编

国产低合金钢

焊接 CCT 图册

机械工业出版社

国 产 低 合 金 钢

# 焊 接 CCT 图 册

机械电子工业部哈尔滨焊接研究所 编



机 械 工 业 出 版 社

## 内 容 简 介

钢的焊接 CCT 图, 是正确选择材料、最佳焊接工艺、制订焊后热处理规范的重要依据。

哈尔滨焊接研究所经多年的工作积累, 并结合国家课题, 测定了 12MnTiNb、15MnMoVN、HQ70、HQ80、16MnR、15MnVN 等 40 余种国产及少数仿外的低合金钢的焊接 CCT 图。这些钢种均是目前国内生产量大、使用广泛, 大有发展潜力的钢种。

本图册前面简介了焊接 CCT 图册的特点及有关说明; 册尾列举典型应用实例。本图册包括连续冷却曲线图、组织组成图、性能图、典型金相照片图及数据表全套资料, 可供焊接技术工作者、大专院校师生、焊接结构生产单位及冶炼单位等使用。

## 国 产 低 合 金 钢 焊 接 CCT 图 册

机械电子工业部哈尔滨焊接研究所 编

\*

责任编辑: 董连仁 版式设计: 冉晓华  
封面设计: 姚毅 责任校对: 陈松  
责任印制:

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)  
(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)  
机械工业出版社印刷厂印刷  
新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092 \frac{1}{16}$  · 印张  $8 \frac{3}{4}$  · 插页 2 · 字数 210 千字  
1990 年 5 月北京第一版 · 1990 年 5 月北京第一次印刷

印数 0,001—2,000 · 定价: 14.00 元

\*

ISBN 7-111-01741-2 / TG · 442

# 前 言

为了提高焊接接头的质量、消除焊接接头的裂纹，研究焊缝或热影响区中的组织变化以及组织变化与性能关系，一直是焊接工作者的重要科研课题之一。然而，由于焊接热影响区域小、焊接热循环加热温度高、时间短、变化快，因而试验中直接测定热影响区或焊缝中的相变过程，始终是件困难的工作。另外，焊接相变动力学和焊接相变规律的研究，在试验方法和设备上还存在困难。但是，自从开展模拟焊接热循环的研究工作以来，尤其是具有大型精密的试验设备之后，上述困难得到了一定解决，因而促进了焊接 CCT 图研究工作的迅速发展。

在国外，在不到 20 年的时间里，应用模拟热循环的方法测定焊接 CCT 图已经达到比较完善的程度。各大型焊接研究院、所，都相继自制成大型全自动快速膨胀仪，在焊接 CCT 图的测试水平上，有很大提高。对焊接相变过程、相变组织与焊接工艺之间的关系，有了更深刻的认识。焊接 CCT 图的研究，为选择焊接材料、制订最佳焊接工艺、消除焊接裂缝、制订焊后热处理规范等，均有重大实际意义。尤其为焊接工艺改进提供了较为全面的基础数据，把焊接工艺的确定，从试验定性摸索提高到数据定量分析阶段。

哈尔滨焊接研究所自 60 年代就开始重视焊接相变和焊接组织的分析研究工作，对焊接组织和与焊接工艺有关的焊接缺陷也进行了大量地分析和研究。

本图册中，主要列举国产低合金高强度钢 CCT 图数据，这

些钢种均是目前国内焊接生产中被广泛应用的。有少量钢种是仿制国外钢种，也是根据焊接生产需要而测定的。图册中所列焊接 CCT 图，是根据模拟焊接热循环方法在快速膨胀仪上完成的。为了校验仪器测量的可靠性，在 1979 年到 1985 年的 6 年试验过程中，反复对设备仪器进行了全面的温度测定与调试工作，并参加了各类标准的制订和与其它不同类型膨胀仪测定结果的比较，同时也改进了原始试样热电偶的联接方法，把温度测定的准确性提高到国内标准的范围内，使其达到满意的结果。

从 1980 年开始，在 15MnVN 钢焊接 CCT 图的研究中，对模拟焊接热循环的试验进行了探索，提出了制订焊接 CCT 图的一套方法，包括正确模拟焊接热影响区组织的方法。此后，对 20SiMn、25Si-Mn、40Si2V、A3 四种建筑用结构钢筋作了焊接 CCT 图，为建筑钢的焊接标准提供了焊接工艺参数。

1982 年在提高锅炉压力容器焊接质量关键技术的研究中，制订了 15MnVNR、19Mn5、BHW-35、14MnMoV 四种钢焊接 CCT 图，为这四种钢选取最佳焊接工艺提供了根据，并为分析焊接热影响区组织和性能的变化提供了全面数据。同时，使焊接 CCT 图的制订与研究走向了应用。

1984 年，在哈尔滨召开的压力容器焊接质量关键技术研究成果鉴定会上，各与会厂对焊接 CCT 的研究和应用都很关心，要求把国产钢焊接 CCT 图的数据全做出来，并汇编成数据手册，以供焊接工作者在制订焊接工艺时选用。

1985年，机械部下达24种常用国产钢焊接CCT图的研究课题。在技术合同中也规定，研究成果的表达方式，就是提供出焊接CCT图数据集，这也就是本图册的主体部分。

国产低合金钢焊接CCT图册中所列数据，是由哈尔滨焊接研究所金相室吕德林高级工程师、李彦文助理工程师及李砚珠工程师试验、测试、整理完成的，最后由吕德林同志执笔并统稿。

全部工作经历8年时间。其间得到了鞍钢钢铁研究所、武钢钢铁研究所、渤海造船厂、哈尔滨工业大学等单位有关同志的关心与支持，在此一并表示谢意。

编者

一九八八年十月

# 目 录

一、本焊接 CCT 图册有关说明及特点	1	17. 仿 Cor-TenA 钢	51
1. 符号说明	1	18. 09CuPTi 钢	54
2. 本 CCT 图册特点	1	19. 10CrMoAl 钢	57
二、不同钢种的焊接 CCT 图	3	20. 12Cr2AlMoV 钢	60
1. 12MnTiNb 钢	3	21. 30CrMnMo 钢	63
2. 15MnMoVN 钢	6	22. 40CrNi2Mo 钢	66
3. 14MnMoNbB 钢	9	23. 40CrMnMo 钢	69
4. HQ60 钢	12	24. 27SiMn 钢	72
5. HQ70 正火钢	15	25. 20SiMn 钢	75
6. HQ70 调质钢	18	26. A3 钢	78
7. HQ80 正火钢	21	27. 16MnR 钢	81
8. HQ80 调质钢	24	28. BB502 钢	84
9. 102 管钢	27	29. 09MnVTiN 钢	87
10. 13MnNiMoNb 钢	30	30. SM58Q 钢	90
11. 921A 钢	33	31. 12Ni2CrMoV 钢	93
12. 922 钢	36	32. 23MnCrNiMo-64 钢	96
13. 10Ni5CrMoV 钢	39	33. 15MnVN 钢	99
14. $2\frac{1}{4}$ Cr1Mo 钢	42	34. 仿 BHW-35 正火钢	102
15. 10MnNb 钢	45	35. 14MnMoV 热轧钢	105
16. 15MnTi 钢	48	36. 19Mn5 热轧钢	108
		37. 20G 钢	111

38. 15MnVR 钢 .....	114
39. SM41C-BF 钢 .....	117
40. WSM50C 钢 .....	120
41. 14MnMoV 正火钢 .....	123
42. 19Mn5 正火钢 .....	126

43. BHW-35 热轧钢 .....	129
----------------------	-----

### 三、应用与举例 .....

1. 焊接冷却时间与线算图 .....	132
2. 焊接 CCT 图应用 .....	132

# 一、本焊接 CCT 图册有关说明 及特点

## 1. 符号说明

(1) 表示组织或相区

F——铁素体

P——珠光体

B——贝氏体

M——马氏体

A——奥氏体

(2) 相变点

$Ac_1$ 、 $Ac_3$ ——按国标准平衡加热条件下的相变点

$M_s$ 、 $M_f$ ——焊接连续冷却条件下的马氏体开始和终了相变点

(3) 临界冷却时间

$t'_b$ ——开始出现贝氏体的临界冷却时间

$t'_f$ ——开始出现铁素体的临界冷却时间

$t'_p$ ——开始出现珠光体的临界冷却时间

$t'_m$ ——马氏体转变结束的临界冷却时间

$t'_e$ ——贝氏体转变结束的临界冷却时间

$t_{8/5}$ ——从 800℃ 至 500℃ 的冷却时间

$t_{8/3}$ ——从 800℃ 至 300℃ 的冷却时间

## 2. 本 CCT 图册特点

本图册具有数据完整、图面清楚、实用性强的特点。对每种钢均有焊接 CCT 图（连续冷却曲线图）、组织组成图、性能

图、典型冷却曲线所对应的金相组织图片及数据表。从焊接 CCT 全图中，可了解相变区域、相变过程及相变组织的定量结果。从焊接 CCT 图上，还可看到相变区域与相变组织、硬度及冷却条件之间的关系。

焊接 CCT 图上，标明了模拟焊接热循环条件，尤其是峰值温度  $T_{max}$ 、钢材的化学成分与原始状态。图中的冷却时间是从  $Ac_3$  温度开始计算。为便于与同钢材的热处理 CCT 图进行比较，焊接 CCT 图上也标出了  $Ac_3$ 、 $Ac_1$  准平衡条件下的相变点，对所做试验的冷却曲线都进行了编号，编号下所对应下的是维氏硬度 HV 值。硬度值 HV 一般是在荷重 5kg 下测定的，个别情况下荷重 10kg（图中注明）。冷却曲线的编号与金相照片编号是对应的，并附有原始母材的金相组织照片。

本图册所有焊接 CCT 图的模拟焊接热循环的基本条件是相同的，以便于不同钢种焊接 CCT 图的相互对比。同时，考虑到个别钢种的过热温度偏高，为了使模拟组织与实际焊接过热区组织在奥氏体晶粒大小、组织组成及粗细度相一致，故把峰值温度适当偏低取值。焊接 CCT 图上所有实线为试验点连结的数据曲线，某些虚线为推测线或计算线。

应当注意，在使用焊接 CCT 图前，检查实际应用的钢材是否与图上标注的钢材牌号、化学成分、原始状态等相一致。

(1) 数据表

对于每个钢种，列出了在具体冷却曲线编号下，准确得到的维氏硬度 HV 值、组织组成百分数、临界冷却时间  $t_{8/5}$  或  $t_{8/3}$ ，这样就省去了在曲线图上来回查找的工序。

(2) 组织图

该图说明了冷却时间  $t_{8/5}$  或  $t_{8/3}$  与相应组织的定量关系。在时间坐标上任一点作垂线，与图内试验曲线若相交于一点，说明相变产生两相（或两种组织）。两相（或两种组织）相对量由



通过两相区的垂直线长度之比来确定。如果与试验曲线相交为两点，则说明相变产生三相（或组织），其数量关系就是被截成的三段线段之长度比。若某个冷却时间的垂线与图内试验曲线不相交，则表明是单相或单一组织，其数量关系当然就是百分之百了。

### (3) 性能图

本图是通过不同冷却时间与硬度的关系来表明焊接过热区性能的变化情况。维氏硬度值是模拟试样上三点平均硬度值。硬度曲线上某一点的数值表示在相应冷却条件下过热区最高硬度数值。通过硬度的变化与冷却时间  $t_{8/5}$  或  $t_{8/3}$  的关系，把焊接热影响区的性能变化与焊接工艺条件联系起来，以便选用适\*当焊

接工艺来获得预想的性能。

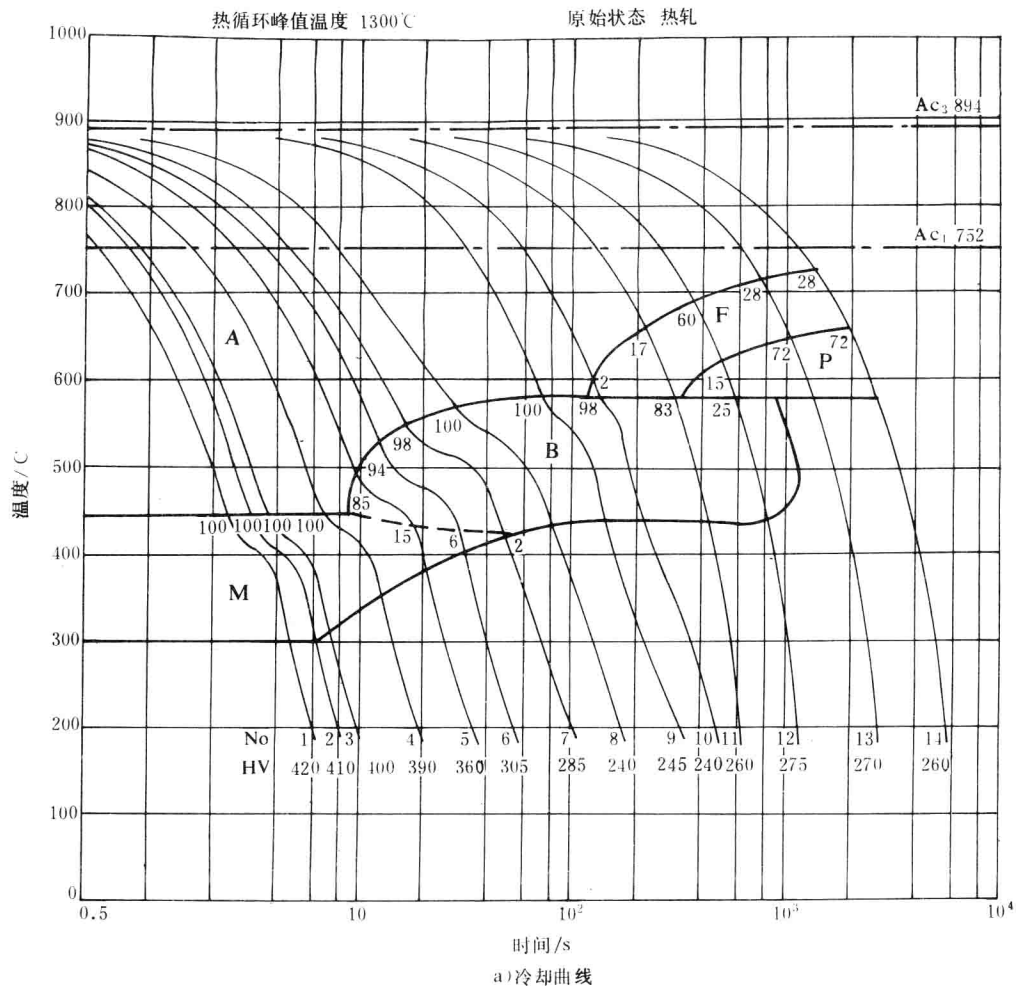
### (4) 金相图

在本图册中，考虑到印刷困难，只展示了典型冷却条件下的金相照片。通过金相照片所显示的微观组织形态和数量与膨胀测定量的对应关系，可验证全部试验结果的准确性。通过金相形态的变化，也可以判断金相组织与性能及冷却条件之间的关系，因此，金相组织分析是很重要的。国外某些焊接 CCT 图中的金相分析就不够，对判定组织与性能、冷却条件的关系是不利的。

本册中金相图片放大倍数均为 600 倍，从金相形态上较全面地表现了焊接热影响区的组织形态。图片下编号与焊接 CCT 图上冷却曲线下的编号是对应的。

## 二、不同钢种的焊接 CCT 图

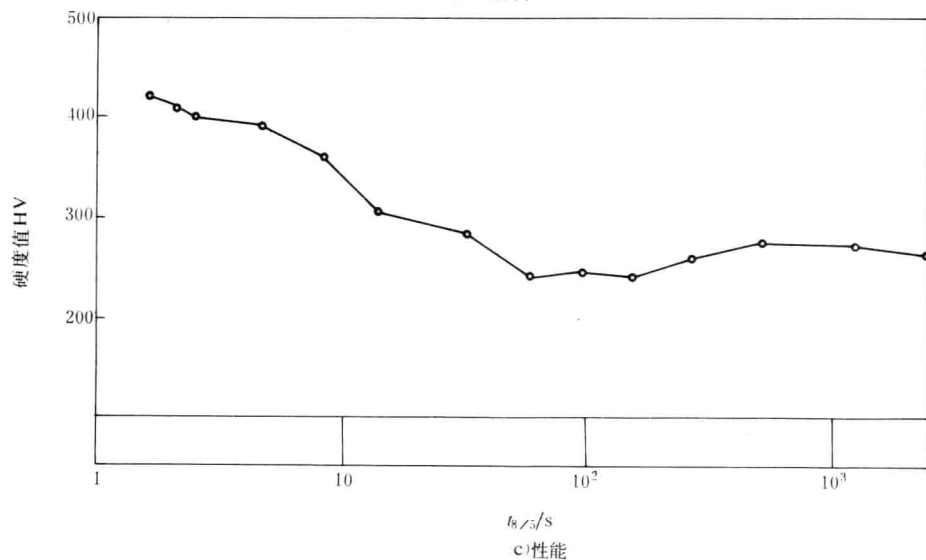
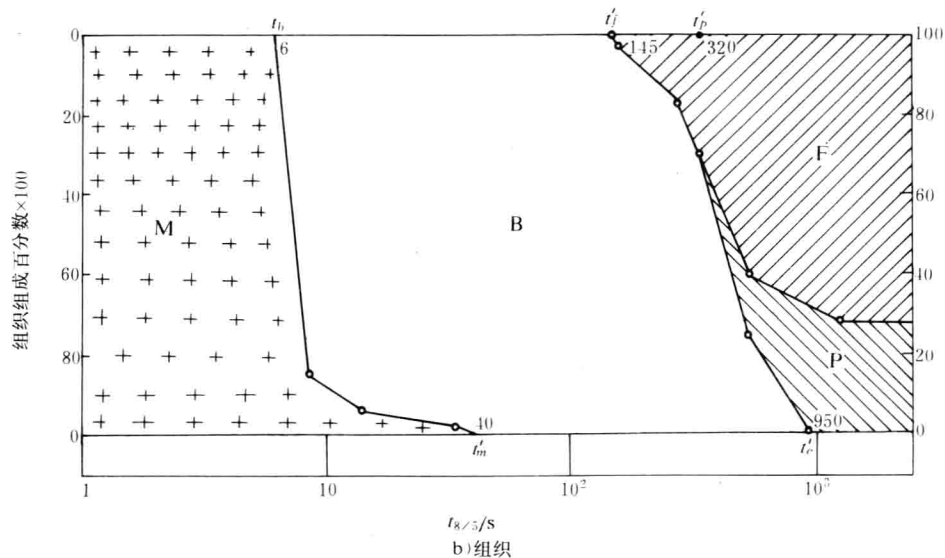
### 1. 12MnTiNb 钢

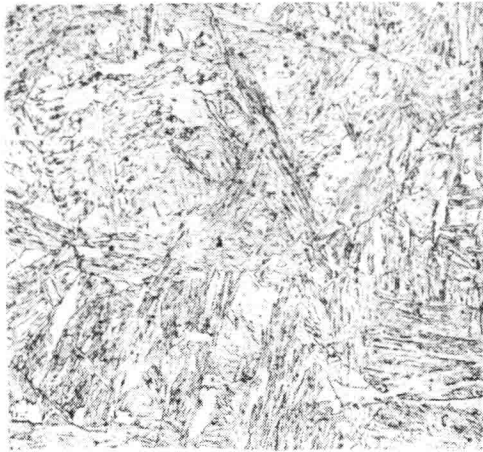


元素	含量 w×100
C	0.14
Si	0.43
Mn	1.5
S	0.03
P	0.015
Ti	0.14
Nb	0.023

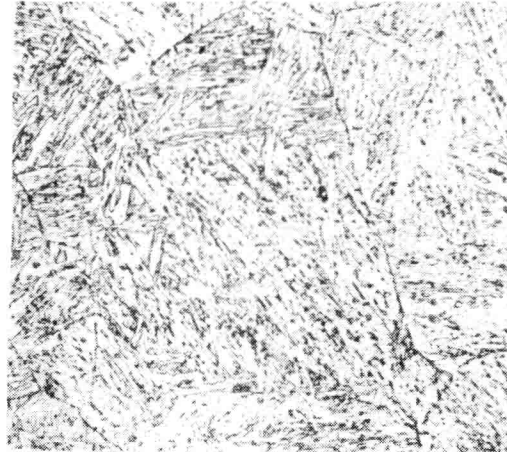
数据表

№	$t_{8/5}/s$	HV	组织组成百分数×100	临界冷却时间/s
1	1.6	420	M100	$t'_b$ 6
2	2.1	410	M100	
3	2.5	400	M100	
4	4.7	390	M100	$t'_m$ 40
5	8.4	360	M15 B85	
6	13.7	305	M6 B94	
7	32.3	285	M2 B98	$t'_f$ 145
8	58	240	B100	
9	100	245	B100	
10	153	240	F2 B98	$t'_p$ 320
11	270	260	F17 B83	
12	513	275	F60 P15 B25	
13	1260	270	P28 F72	$t'_e$ 950
14	2520	260	P28 F72	

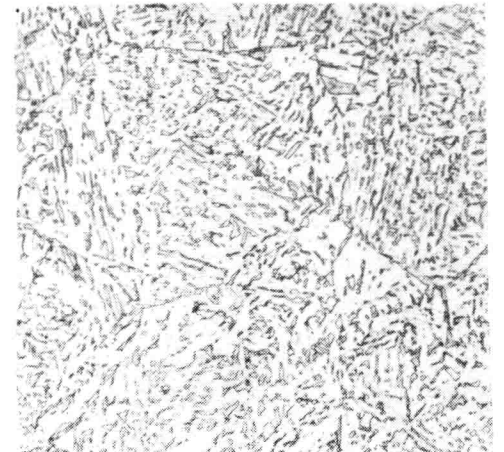




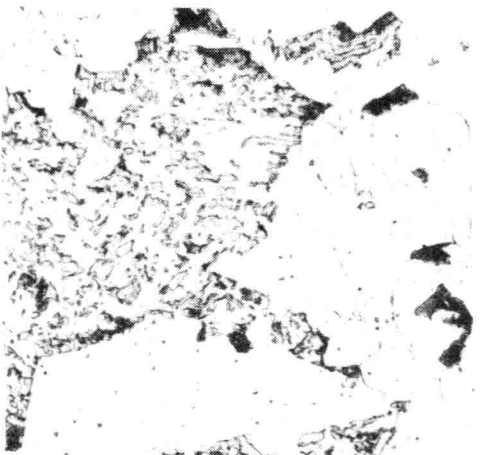
No.1



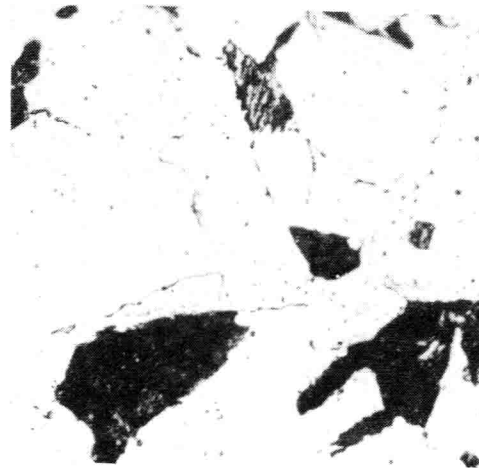
No.5



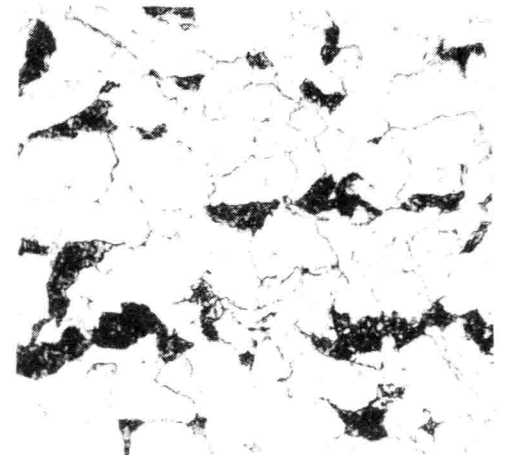
No.8



No.12



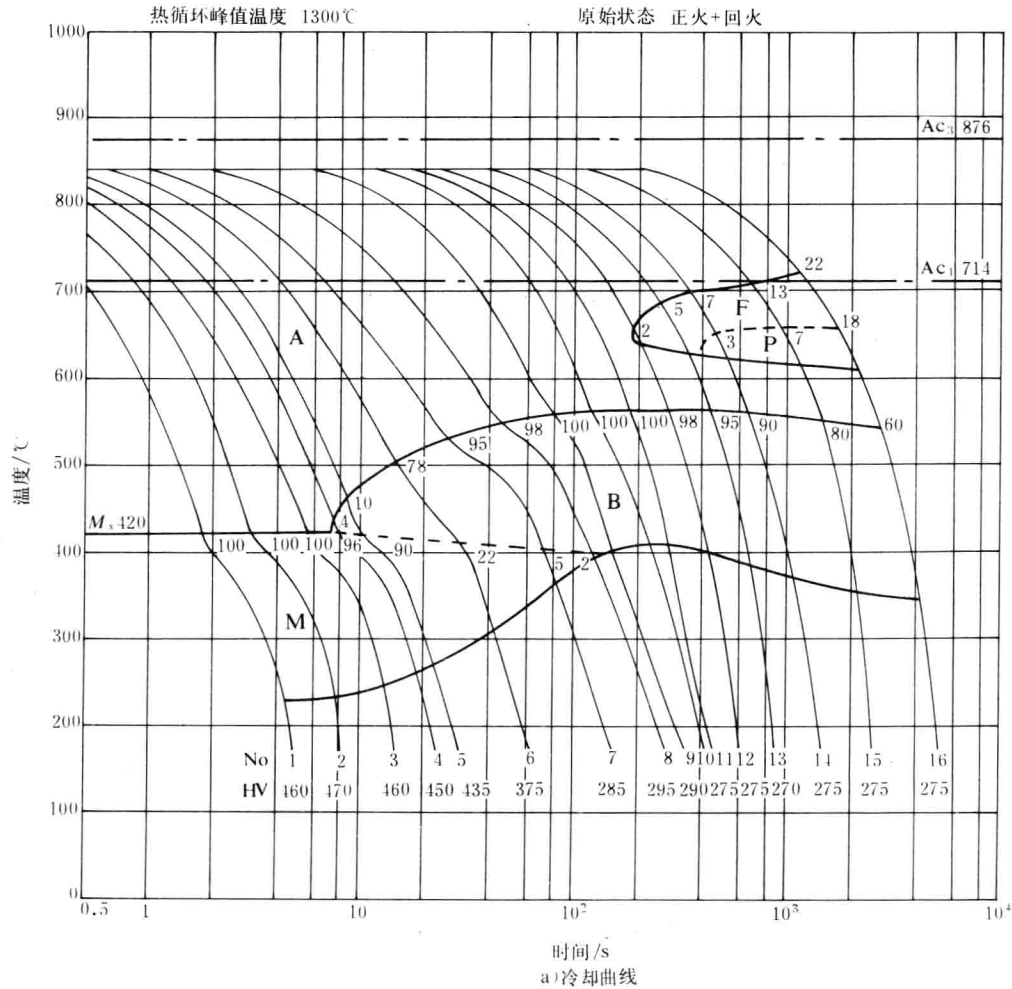
No.13



母材

d) 金相

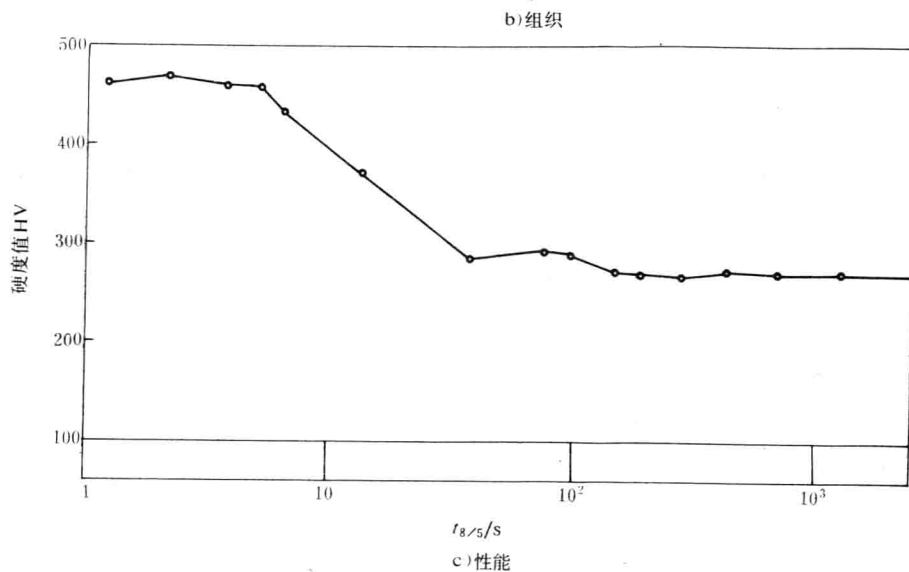
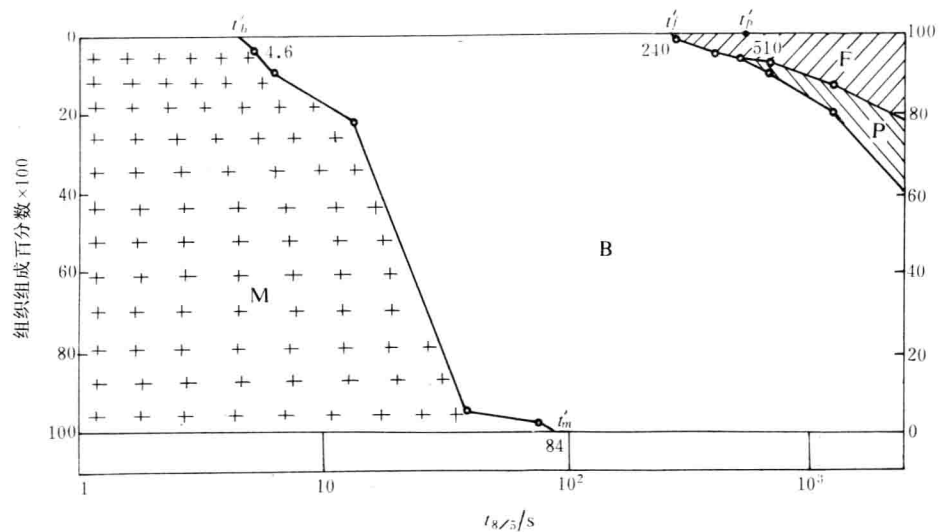
## 2. 15MnMoVN 钢

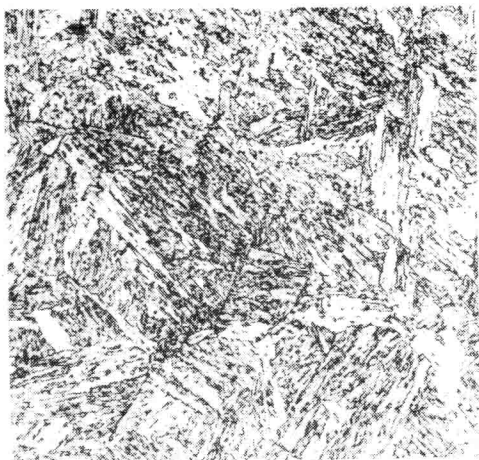


元素	含量 w% $\times 100$
C	0.15
Si	0.39
Mn	1.19
P	0.018
S	0.015
Mo	0.50
V	0.16
N	0.014

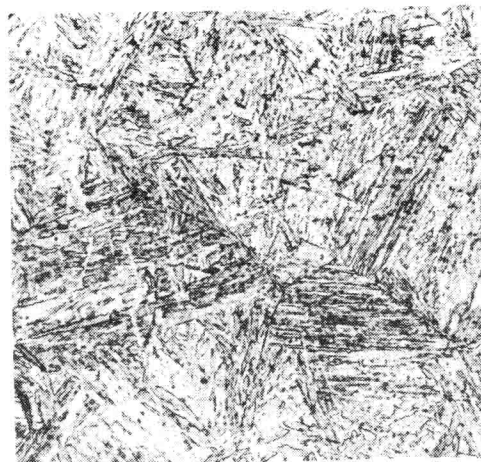
数据表

№	$t_{8/5}/s$	HV	组织组成百分数 × 100	临界冷却时间 / s
1	1.2	460	M100	$t'_b$ 4.6
2	2.2	470	M100	
3	3.6	460	M100	
4	5.2	450	M96 B4	$t'_m$ 84
5	6.2	435	M90 B10	
6	13.4	375	M22 B78	
7	39	285	M5 B95	
8	75	295	M2 B98	$t'_f$ 246
9	98	290	B100	
10	146	275	B100	
11	186	275	B100	$t'_p$ 510
12	278	275	B98 F2	
13	416	270	B95 F5	
14	689	275	B90 P3 F7	
15	1251	275	B80 P7 F13	
16	2466	275	B60 P18 F22	

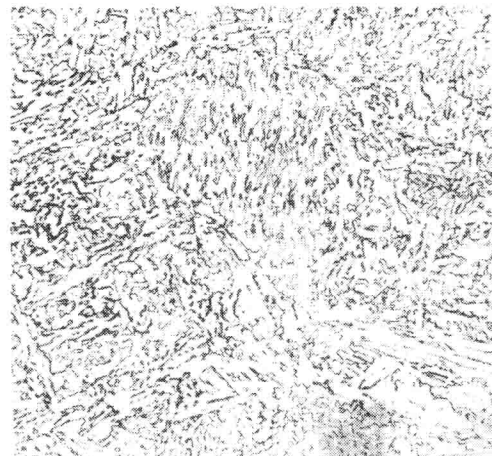




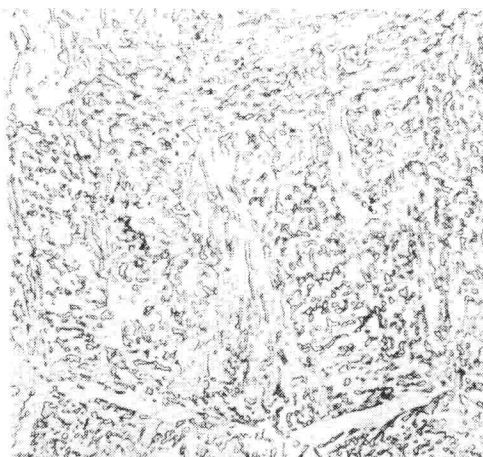
No1



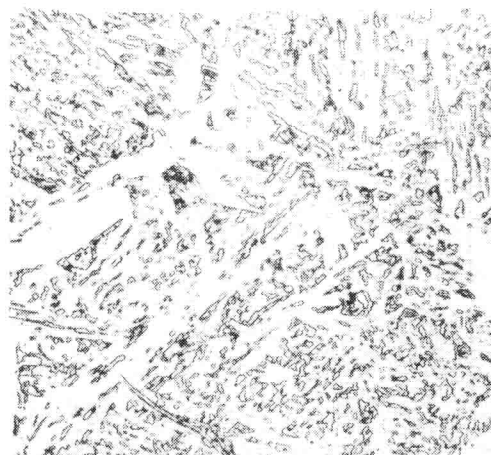
No4



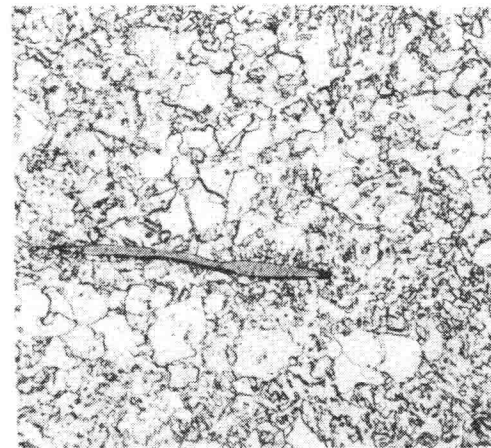
No9



No12



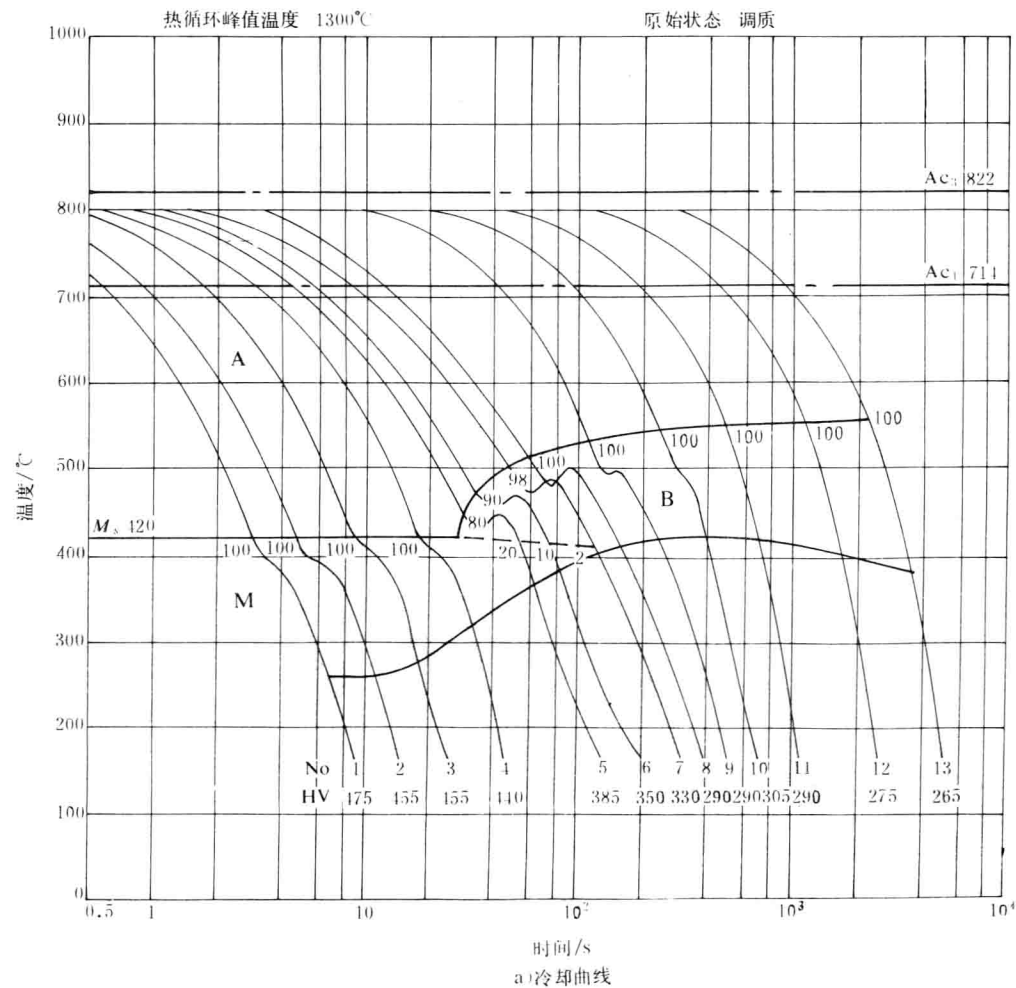
No14



母材

d) 金相

### 3. 14MnMoNbB 钢



元素	含量 w%×100
C	0.15
Si	0.26
Mn	1.52
S	0.07
P	0.013
Mo	0.54
Nb	0.01



数据表

№	$t_{8/3}/s$	HV	组织组成百分数 × 100	临界冷却时间 / s
1	5.8	475	M100	$t_b' 55$
2	10	455	M100	
3	17	455	M100	
4	33	440	M100	
5	79	385	M20 B80	
6	110	350	M10 B90	$t_m' 200$
7	187	330	M2 B98	
8	234	290	B100	
9	330	290	B100	
10	486	305	B100	
11	840	290	B100	
12	2040	275	B100	
13	4020	265	B100	

