

高锰钢辙叉的焊接修复

张文忠 徐振越 编

中国铁道出版社

1995年·北京

(京) 新登字 063 号

内 容 简 介

本书综合国内外高锰钢焊接最新研究成果,论述了高锰钢焊接的规律性和高锰钢辙叉的焊修技术。主要包括:高锰钢的成分、组织和性能;高锰钢的焊接特性;高锰钢的焊接工艺;高锰钢辙叉焊修设备和焊修实例等。

本书可供焊修技术人员和铁路锰叉焊修人员参考,也可作为锰叉焊修培训教材。

高锰钢辙叉的焊接修复

张文忠 徐振越 编

*

中国铁道出版社出版发行
(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 张苍松 封面设计 赵敬宇
各地新华书店经售
中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 毫米 1/32 印张: 2.75 字数: 59 千
1995 年 8 月 第 1 版 第 1 次印刷
印数: 1—1500 册

ISBN 7-113-01985-4/TU · 431 定价: 3.10 元

前 言

工业上很多零件，如挖掘机铲斗、碎石机颚板、球磨机衬板、拖拉机和坦克的履带、铁道线路上的辙叉等，工作时经常受到冲击载荷作用而且还受到磨损，只有表面耐磨、内部坚韧才具有长的使用寿命。由于高锰钢具有较高强度和高的韧性，并且在受到冲击或应力作用时会迅速地产生加工硬化，从而具有良好的耐磨性，所以高锰钢在上述零件中得到应用。

高锰钢是工业上应用最早的一种奥氏体钢。高锰钢的生产在我国得到迅速的发展。在铁路运输中，随着运输量的不断增长和行车速度的提高，具有坚韧耐磨特点的整铸高锰钢辙叉（以下简称锰叉）的应用日趋广泛，目前我国铁道线路主要干线基本上都铺设了锰叉。锰叉的广泛使用是实现我国铁路运输向高速、重载、安全方面发展的一项重要措施。

但是，通过对运营线路所铺锰叉的跟踪调查，发现使用过程中的早期破损是锰叉存在的主要问题。也即有相当多数量的锰叉，承受的运输吨位，远未达到预定指标，因为破裂不得而被更换下来。究其原因，绝大部分锰叉因铸造时存在缩孔、疏松、晶粒粗大等缺陷，在使用过程中被压塌，或是形成疲劳裂纹而破裂。要完全避免这种铸造缺陷是困难的。为了延长锰叉使用寿命，充分发挥其优良性能，提高其经济价值，并在一定程度上缓解锰叉供应紧张的情况，除设法改进铸造工艺、提高铸造质量，尽可能减少和缩小铸造缺陷外，对

目 录

第一章 高锰钢的成分、组织和性能	1
第一节 高锰钢的化学成分.....	1
第二节 高锰钢的组织.....	5
第三节 高锰钢的性能特点.....	8
第二章 高锰钢的焊接特性	11
第一节 焊缝结晶裂纹和近缝区液化裂纹	11
第二节 碳化物析出导致的接头脆化	17
第三章 高锰钢的焊接工艺	24
第一节 焊接方法	24
第二节 焊接材料	30
第三节 锰叉焊修应注意的问题	36
第四章 辙叉焊修主要设备	39
第一节 ZXM5 系列晶闸管式脉冲电弧焊机	39
第二节 AXQ-200 型手工直流电弧焊机	47
第三节 ZXM7 逆变式脉冲电弧焊机	53
第四节 碳弧气刨	55
第五章 实 例	59
第一节 脉冲手弧焊修复锰叉	59
第二节 自保护药芯焊丝焊修锰叉	61
第三节 KD-286 焊条焊修锰叉	64
第四节 高锰钢与高碳钢的焊接	68
第五节 锰叉线上焊修工艺	70

附录一 线上焊、线下焊、返厂焊及报废的伤损
划分标准 76

附录二 锰叉线上焊修安全保障条件 79

参考文献 82

第一章 高锰钢的成分、组织和性能

第一节 高锰钢的化学成分

表 1—1、表 1—2 是 GB5680—85 中高锰钢铸造技术条件所规定的成分和性能。由化学成分可见，高锰钢中碳和锰是主要合金元素，它们的含量很高，通常含碳量 0.9~1.4%，含锰量 11~14%。硅、硫、磷的含量较低，尤其是硫和磷被作为杂质加以限制，下面分别叙述它们的作用。

ZGMn13 化学成分(%) 表 1—1

	C	Mn	Si	S	P
ZGMn13-1	1.10~1.50	11.0~14.00	0.30~1.00	≤0.050	≤0.090
ZGMn13-2	1.00~1.40				
ZGMn13-3	0.90~1.30		0.30~0.80		≤0.080
ZGMn13-4	0.90~1.20				≤0.070

ZGMn13 机械性能 表 1—2

	抗拉强度 σ_b (N/mm ²)	延伸率 δ_5 (%)	冲击功 A_K (J)	硬 度 HB
ZGMn13-1	≥637	≥20	—	≤229
ZGMn13-2	≥637	≥20	≥147	≤229
ZGMn13-3	≥686	≥25	≥147	≤229
ZGMn13-4	≥735	≥35	≥147	≤229

一、碳

在高锰钢中,碳的作用有两方面。一方面碳具有扩大奥氏体区,促使钢形成奥氏体组织的作用;另一方面,在高锰奥氏体钢中,碳促使钢加工硬化。高锰钢必须具有适当的含碳量才会发生有效的加工硬化作用,才会具有较高的抗磨性。高锰钢中合适的含碳量通常为 0.90~1.40%,可以根据铸件的使用要求和壁厚分别选用,最适宜的含碳量大约是 1.15%。钢中含碳量过低时,不足以产生有效的加工硬化效果。而当含碳量过高时,又会在铸态组织中出现大量的碳化物。特别是出现粗大的碳化物时,即使是经过热处理,使这些碳化物溶解于奥氏体内,也会在原来碳化物所在的位置留下空洞,造成显微裂纹,使钢发脆。同时,含碳过高,碳化物容易析出,由于高锰钢的导热性能差,铸件中间部分的冷却速度低,在进行热处理的淬火冷却过程中,仍不可避免的会有碳化物析出。因此,须控制含碳量不使其过高。

二、锰

锰与碳一样同是扩大 γ 相区元素,能促进奥氏体的形成,锰与碳相配合获得单相奥氏体组织。含锰量过低不但不能满足生成奥氏体的需要,对钢的力学性能也带来影响。高锰钢中的含锰量低于 10% 就会使钢的强度和韧性急剧下降。当含锰为 8% 时,钢的强度仅为正常强度值的一半;含锰量再低,将使性能和组织上发生更大的变化。高锰钢中锰含量自 11% 增加至 14% 时,钢的屈服强度并不受到影响,而能逐渐增强抗拉强度和延伸率,当含锰量超过 15% 时对钢的机械性能提高不明显,但使铸件的收缩量增加,易使铸件产生缩孔和裂纹,

增加废品率,所以高锰钢中锰的下限为 10%,上限为 14%。

为了获得奥氏体组织,保证钢有一定强度和高的耐磨性,通常要有一定的锰碳比,一般锰和碳的比例控制在 9~11。

三、硅

硅是为保证冶炼高锰钢过程中脱氧而加入的,一般情况下含硅量应当高于 0.3%。由于硅是缩小 γ 区的铁素体化元素,所以它会降低碳在奥氏体中的溶解度,促使冷却时碳化物的析出,不但使热处理困难,也会降低冲击韧性和耐磨性,硅还加剧磷的有害作用,有可能形成 $\text{FeSi-Fe}_3\text{P-Fe}$ 的低熔点共晶(1015°C),而引起热裂纹。所以,硅的含量不能过高,一般上限不应当超过 1.0%。含硅量在 0.3~1.0% 范围内,高锰钢机械性能变化不显著。

四、磷

磷是高锰钢中的有害元素,一般都要尽可能降低磷的含量。磷在钢中的溶解度很低,在 1150°C 下 γ 铁中最大溶解度为 0.25%。磷在钢中是易偏析元素,它扩大了固相线和液相线之间的距离,加剧了晶轴与枝晶之间磷浓度之间的差距,并且磷在铁中的扩散速度极慢,一旦产生了偏析,要想获得均匀的组织是困难的。当钢材含磷量高时,磷将在晶界析出,与其它成分可以形成低熔点共晶,这是将来焊接时形成液化裂纹或热裂纹的根源。当含磷量高时,会沿晶界生成含磷的共晶脆性网,它将大大降低高锰钢的冲击韧性和耐磨性。高锰钢的含磷量很大程度上取决于冶炼时所用的锰铁合金中含磷量。一般情况下,我国高锰钢铸件中要求磷控制到 0.07~0.09%,但是为了防止焊接时产生热裂纹,焊缝金属中的含磷量应当

严加控制,一般以不超过 0.04%为宜。

五、硫

硫在高锰钢中和磷一样也是有害元素。一般对高锰钢的含硫量不十分注意,因为熔炼高锰钢时,加入大量的锰,足可造成使硫脱出的条件。但是近年来,对高锰钢焊接性的研究中,发现高锰钢焊接时很容易产生液化裂纹,事实证明这种裂纹的产生与硫有关。硫的化合物以低熔点共晶形式存在,焊接时在热的作用下低熔共晶熔化,在焊接应力作用下形成高温液化裂纹。硫也和磷一样是极易偏析元素,微量的硫可能因为偏析造成某微区的富集,给形成液化裂纹创造了条件。对于高锰钢,由于冶炼时硫将以 MnS 形式进入渣中,所以钢中含硫量很低,一般不超过 0.05%,对性能影响不大。但是为了防止焊接或焊补时产生液化裂纹或热裂纹,焊缝金属中含硫量越低越好,特别是对于焊条和焊丝中的含硫量也应当严格控制,使其越低越好。

六、其它元素

高锰钢的屈服强度较低,当受到大能量的冲击负荷,或是焊修中受到较大的焊接应力作用,容易使铸件整体或局部产生塑性变形。为了提高钢材的屈服强度,可以向钢中加入少量合金元素,如钼、铬、钒等,它们形成细小碳化物颗粒,弥散分布于钢中,提高钢的屈服强度和硬度以及耐磨性,而并不降低钢的韧性。有关这方面实例很多。如德国在高锰钢中加入 0.5%的钒,可使钢材的屈服极限从 $380N/mm^2$ 提高到 $425N/mm^2$;又如英国在高锰钢中加入 0.05~0.2%的钨,可以提高耐磨性,并不损害韧性和塑性;在日本向高锰钢中加入

0.25~0.40%的钼,改变了焊接热影响区碳化物分布状态,使焊接热影响区的韧性没有降低。

第二节 高锰钢的组织^{〔1〕}

碳和锰都是扩大铁碳平衡状态图中 γ 区的元素。随着锰含量的增加,使临界温度 A_4 点升高, A_3 点降低,使 γ 区扩大,同时 $(\alpha+\gamma)$ 区则下移到较低的温度。当高锰钢中锰含量超过12%时,在一般冷却条件下,上临界点将降至室温以下,使钢在室温时能保持为单一的奥氏体组织。因此高锰钢室温下的组织一般为单一奥氏体或奥氏体加少许碳化物。

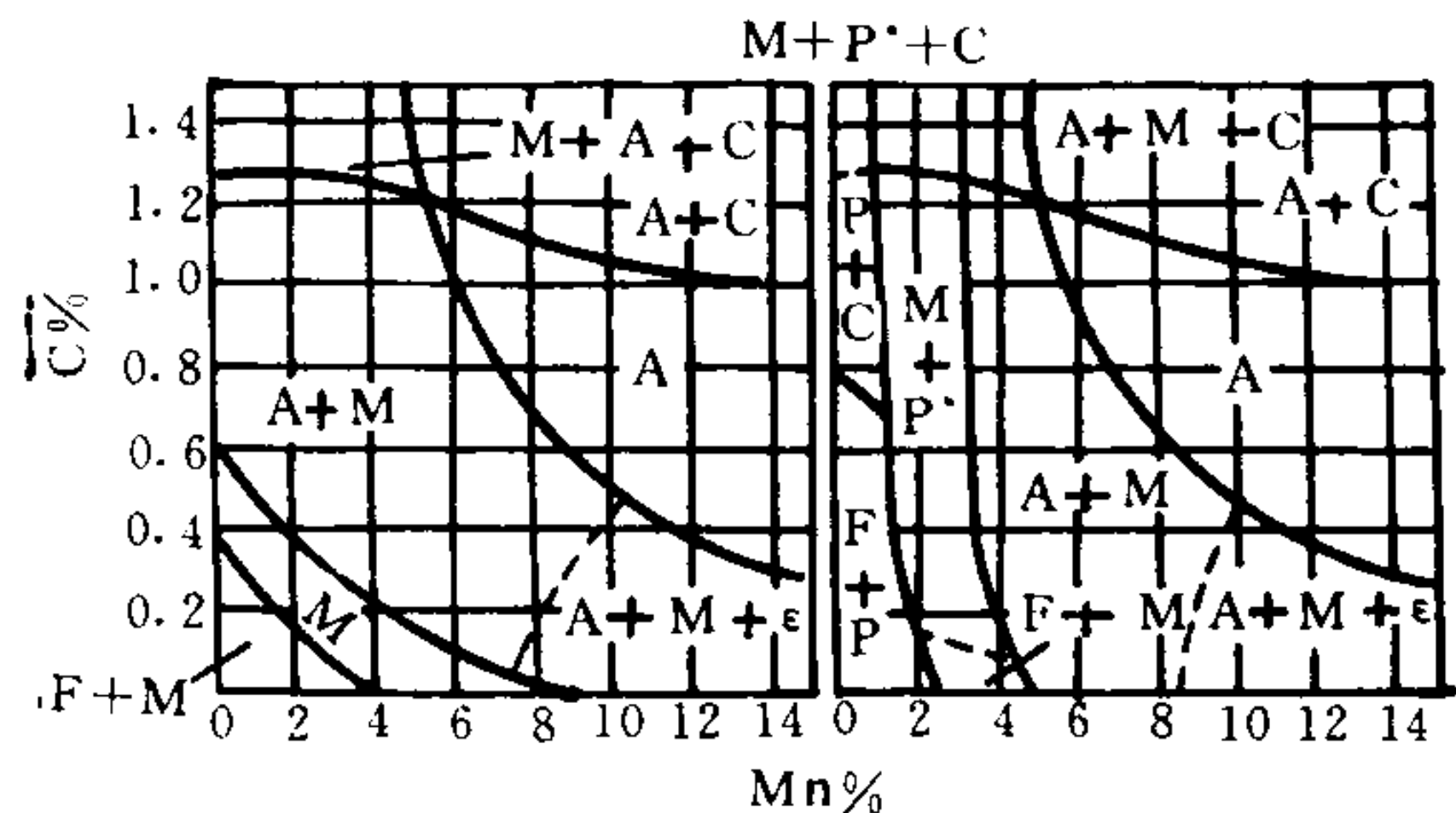


图 1-1 12.5mm 的正方锰钢试样由 950℃水淬 (左) 和正火 (右) 后的显微组织图

图 1-1 为用 12.5mm 的正方形锰钢试样,改变化学成分锰和碳的含量,分别在 950℃下水淬和进行正火处理所得到的组织图。图 1-2 为含锰 13%的铁碳锰组织图。图 1-3 为含碳 1%的铁碳锰组织图。图中 P^* 代表极细珠光体。 ϵ 代表 ϵ 相,它是一种密集六角晶体结构的亚稳定相,与马氏体 M 同为奥氏体经过无扩散相变的产物。 C 代表碳化物,高锰钢中含锰很高,锰是一种弱碳化物形成元素,它在钢中的存在形式有两种,一是以原子状态进入固溶体,二是进入到渗碳体中,置换其中部分铁原子,形成置换式渗碳体 $(Fe, Mn)_3C$,这种渗碳体也称合金渗碳体。

由图可见,试样自高温经过缓慢冷却后,高锰钢的组织是逐渐变化的。高温时,所有的碳化物都溶解到奥氏体中去,成为均匀的奥氏体组织。在温度下降时,碳化物会逐渐自奥氏体晶格内析出,成为奥氏体+碳化物组织。若温度再继续缓慢下降,又将成为铁素体+奥氏体+碳化物组织,最后成为铁素体+碳化物组织。从图中

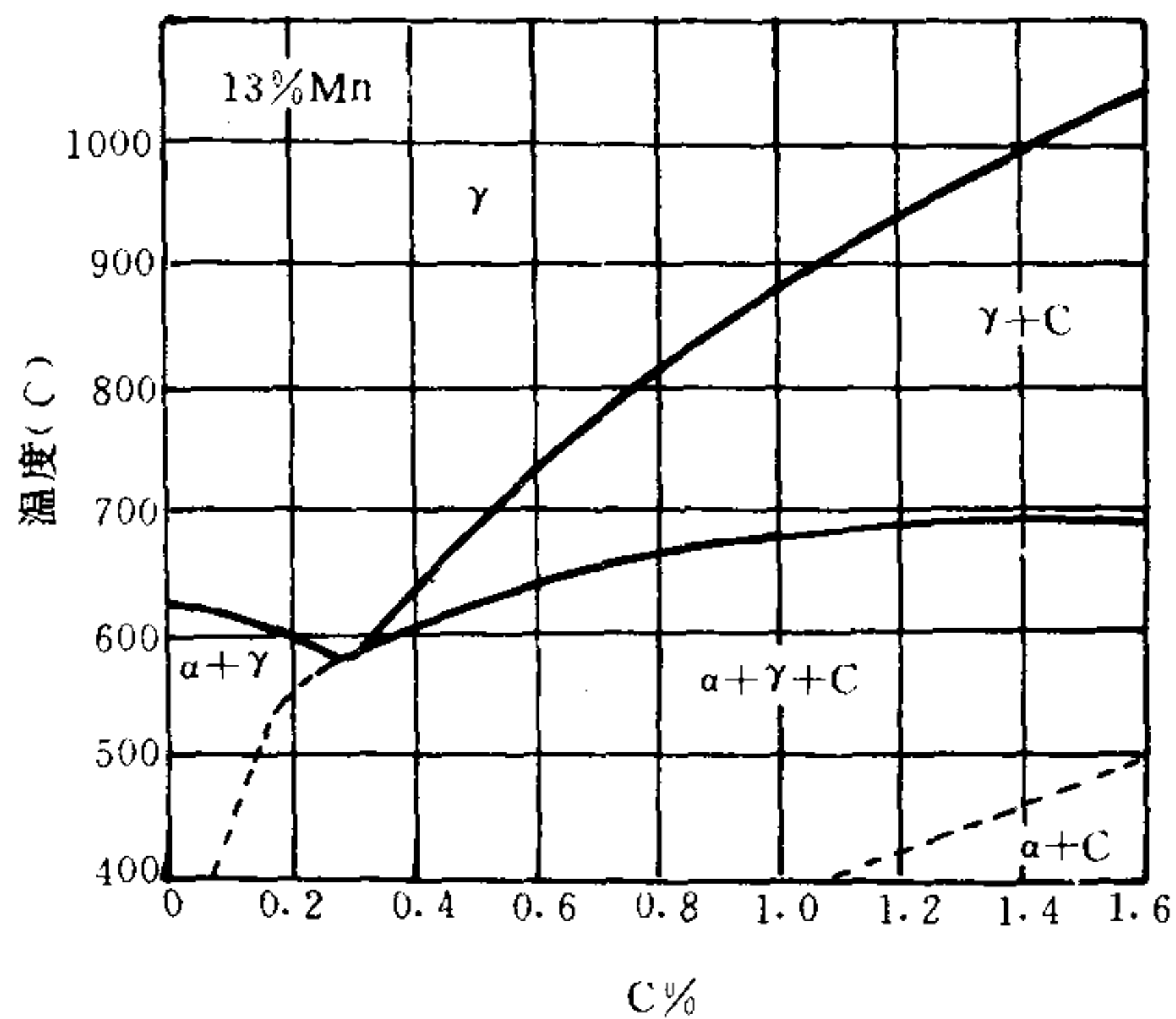


图 1-2 含锰 13%的铁碳锰组织图

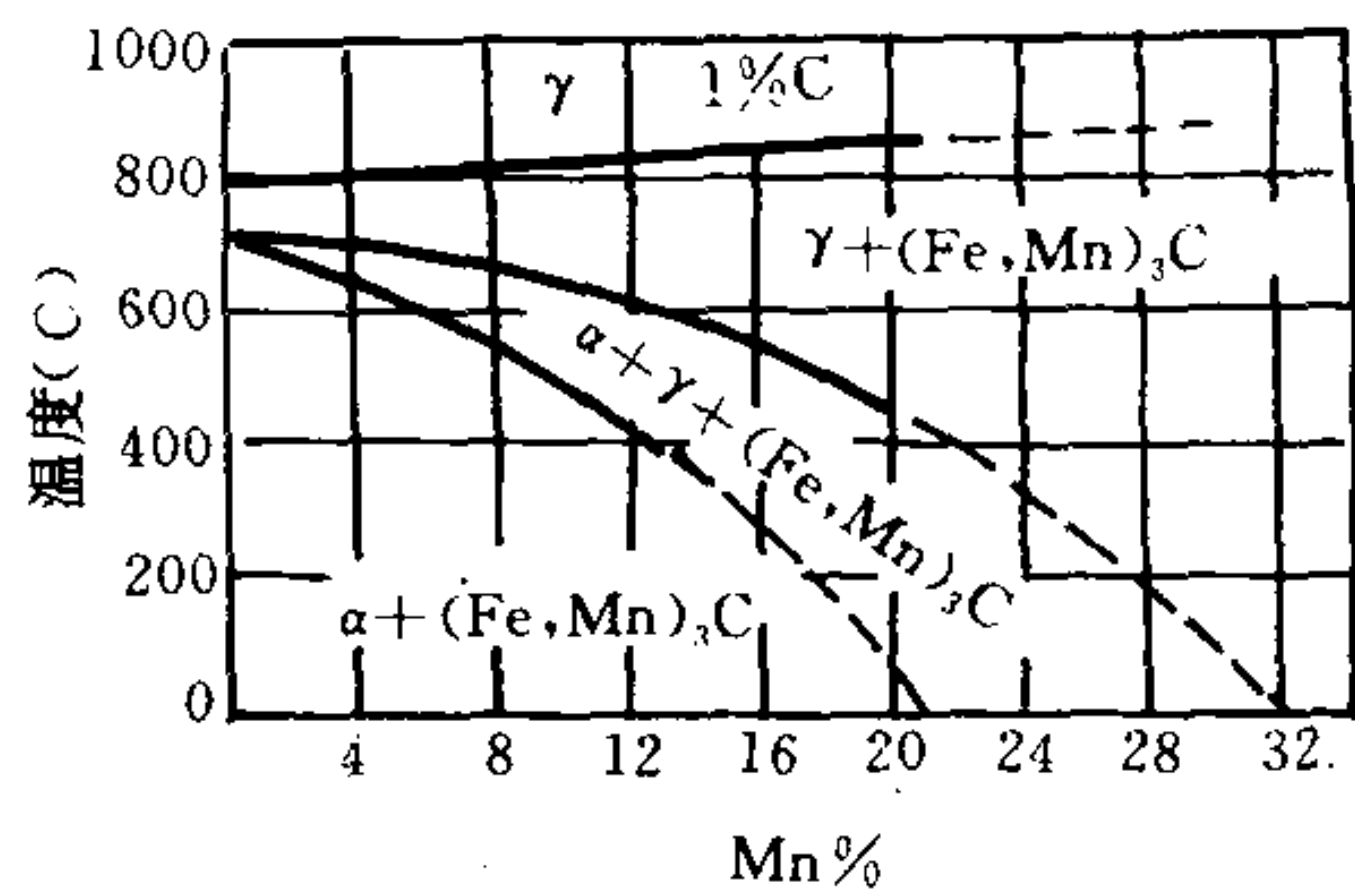


图 1-3 铁锰碳系平衡相图在含碳 1%时的垂直截面图

也可以看到,由于含碳量的不同,组织变化的开始温度也是不同的,含碳量越低,碳化物全部溶解到奥氏体中去所需的温度也越低。

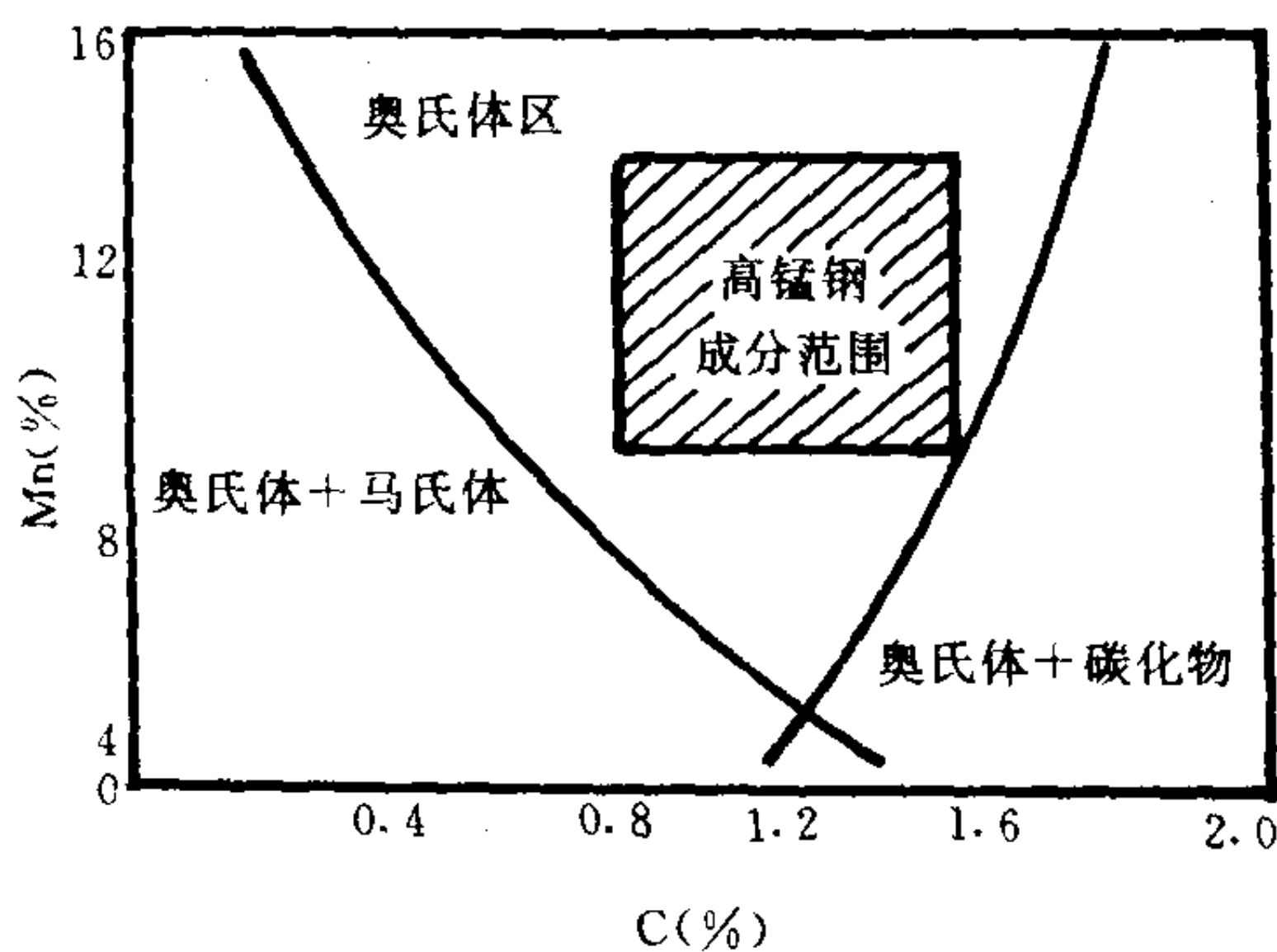
碳化物的溶解或析出决定了锰钢性质的不同。碳化物在钢中的出现,不

同程度地降低了钢的冲击韧性,在钢材受到冲击时,有可能因为韧性不够而使钢材产生裂纹,因而我们是不希望碳化物出现的。高锰钢只有在为单一奥氏体组织时才具有非常坚韧的

性质。

为使高锰钢得到单一奥氏体组织,必须进行热处理,就是将高锰钢加热到 $1000\sim 1100^{\circ}\text{C}$,经保温一段时间,使钢中的碳化物能够全部溶解到奥氏体中去,而后迅速地把钢件水淬,由于冷却速度快,碳化物就来不及自奥氏体中析出,从而保持了均匀的奥氏体组织,经过这样处理的高锰钢,具有非常坚韧的性能,与一般工业用钢水淬后得到硬脆的性能相反。这样的操作处理叫做水韧处理。

假如高锰钢的含碳量和含锰量不适当,即使经过 $1000\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 的水韧处理,也不能得到单纯的奥氏体组织,由于含碳及含锰量的不同,其水韧处理后的组织概况如图 1—4 所示。由图可知,为得到奥氏体锰钢,它的含碳量和含锰量必须控制在一定的范围之内。



另外,从图 1—4 也可看出, Mn 和 C 含量对高锰钢水韧处理后组织的影响

含碳量不同的高锰钢,奥氏体相变温度也不同,当含锰量为 13% 时,随着含碳量的增加,相变为单相奥氏体的温度也增加,也就是碳化物全部溶解到奥氏体中所需的温度也越高。因此,对有关高锰钢最适宜的含碳量、含锰量及其它化学成分含量,都应当给以充分注意。

第三节 高锰钢的性能特点

一、加工硬化性能

高锰钢在水韧处理之后它的硬度并不高,约为 $HB=180\sim 220$,但若受到剧烈的冲击力或压力时,钢就会产生加工硬化现象,硬度值能提高到 $HB=450\sim 550$ 。这与一般合金钢的强度、硬度的提高主要是依靠固溶强化、沉淀强化、改变金相组织的热处理强化是有所不同的。高锰钢在受到冲击力或压力时,在变形过程中,会消耗那些对钢表面继续冲击的力,阻止力的作用传到更深的里层中去,使奥氏体在冷作下转变成马氏体或者是转变为形成马氏体之前的过渡相,这个过渡相也是很硬的,所以表现出经冷作硬化后,高锰钢硬度的提高。依据载荷情况,当钢仅在表面某区域受到力的作用,则钢的强化将首先在力的作用区域的表面层上开始发展,加工硬化层的厚度也只在自表面向下 $3\sim 6\text{mm}$ 范围之内。但是,若力是作用于钢的整个体积上,如拉伸试棒,则钢的整个体积内部都受到硬化。所以,高锰钢在拉断试验中,试样能全长延伸直到拉断为止,而没有颈缩现象。由于具有这种性质,高锰钢的抗拉及应变曲线与软钢是不同的。

由于高锰钢所产生的加工硬化只是在表面层,故测定表面硬度时,必须使用仅仅产生浅压痕的硬度试验法。如在已磨损的锰钢上用布氏硬度法试验,其硬度为 350,用压痕较浅的金刚石锥体做硬度试验,其硬度为 500。如用能测定更薄硬化层的海尔伯特(Herbert)摆锤硬度试验仪,得出的硬度值在 750 以上。

由于高锰钢具有强的加工硬化能力,这就给切削加工带

来了困难,应尽量减少加工量,必须加工时需专用特殊刀具。

二、机械性能

高锰钢的抗压能力很强,当压缩变形为 50%~55%时,它约有 5500N/mm² 抗压能力而不破裂,在受压过程中,随着压缩变形的增加,硬度随之增高。

高锰钢虽然具有很高的抗拉强度,但是它的弹性极限却很低,大约是强度的 40%。

水韧处理后的高锰钢,当再受到加热时,钢的机械性能会发生变化,变化趋势如图 1—5 所示。当温度为 250℃时钢的延伸率开始降低,也即钢的脆性在超过 250℃以后刚开始出现。大约在

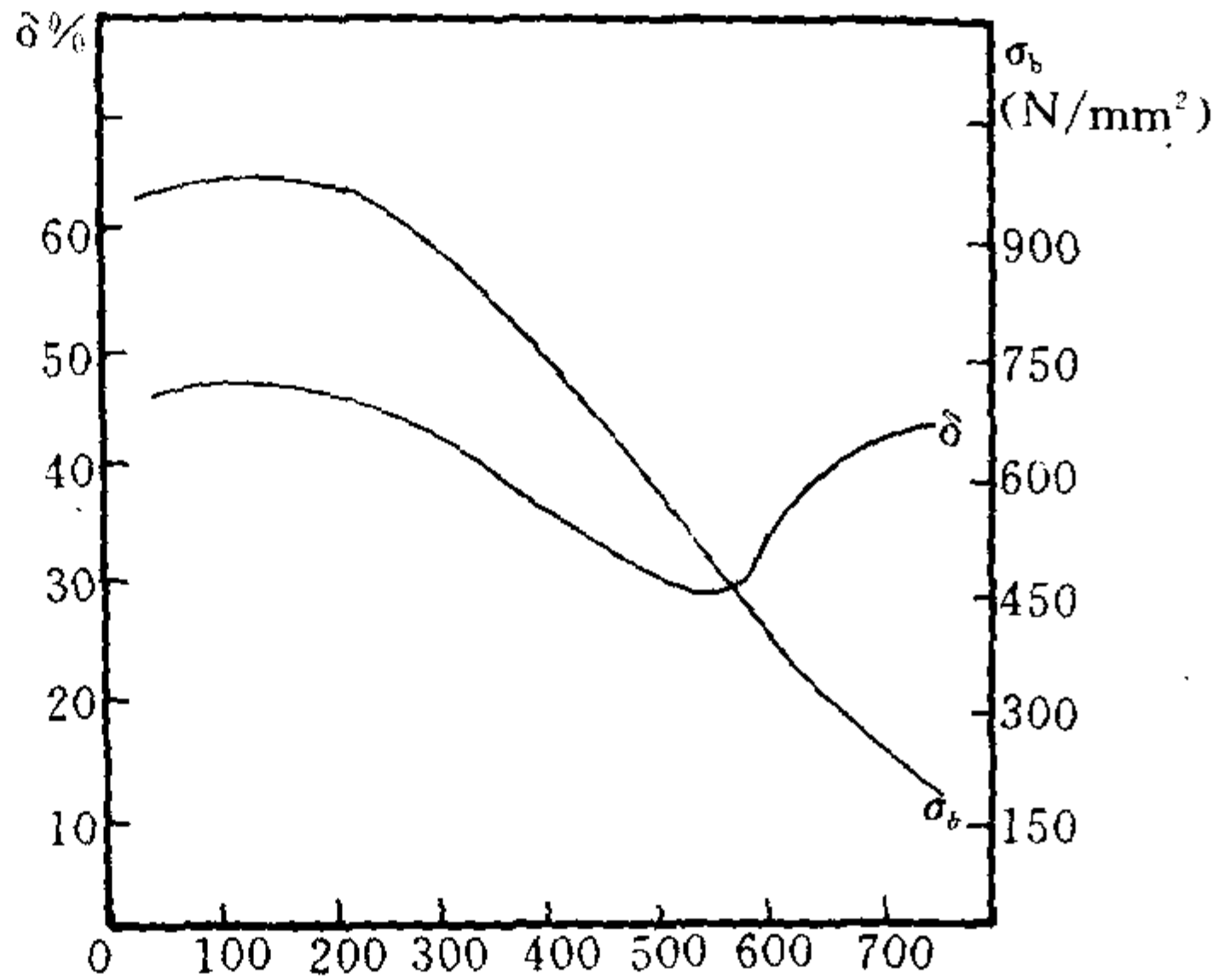


图 1—5 高锰钢重新受热后 δ 与 σ_b 的变化

550℃左右时塑性下降的最多,当然此时脆性也越大。抗拉强度在 250℃以前无大的变化,温度超过 250℃以后,随着温度的升高,强度几乎直线下降。这是因为水韧处理后的高锰钢,当加热到 250℃以上,尤其是当超过 300℃以后,溶解到奥氏体内的碳化物就会重新析出,使钢变脆。因此,高锰钢铸件不能采用其它钢件那样用回火的方法消除淬火时产生的内应力。一般认为,水韧处理后的高锰钢不宜超过 300℃的重复加

热,但钢件需要再加热至标准淬火温度进行水韧处理的例外。如果要高锰钢在较高温度下使用,使它具有红热耐磨性,则必须采取其它措施,如在高锰钢成分中再加进 4% 铬和 3~5% 镍,但这给焊接带来一定的麻烦。

水韧处理后的高锰钢,在低温时,它的冲击韧性会降低如图 1-6 所示。在 -50°C 时,冲击韧性约为常温下韧性的 50~85%,在更低温度时,降低的更多,这种现象对稳定奥氏体组织的高锰钢来说是很特殊的,其它能在低温下保

持稳定组织的奥氏体钢都能保持其延伸率不下降。在 -250°C 下对高锰钢进行韧性试验,此时材料已完全脆化,检查其组织,除奥氏体之外,未发现其它相存在,对于这种现象目前尚无定论的解释。高锰钢虽然在极低温度下产生严重脆性,但在一般正常大气温度下都能保持适当的韧性。

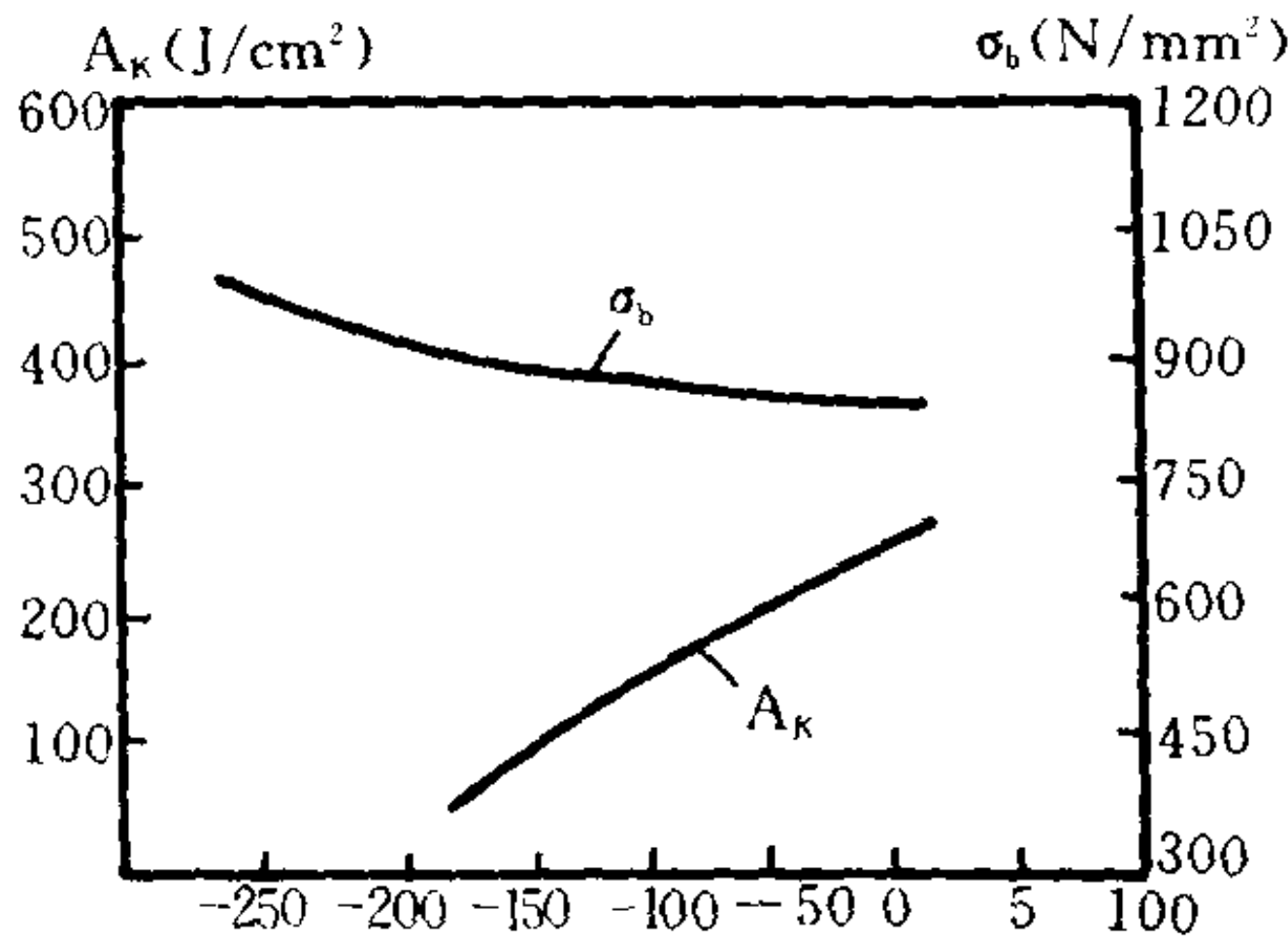


图 1-6 高锰钢低温时的性能

第二章 高锰钢的焊接特性

高锰钢的焊接性能很差,在进行高锰钢铸件缺陷焊接修复、磨损部位的堆焊、裂纹的焊修以及构件的焊接时,容易产生两方面的问题,一是在焊缝上容易产生结晶裂纹和在近缝区容易产生液化裂纹;二是碳化物析出,导致焊接接头脆化。

第一节 焊缝结晶裂纹和近缝区

· 液化裂纹^{〔2〕〔3〕}

无论是焊缝结晶裂纹,还是产生在母材近缝区的液化裂纹,它们都是热裂纹,都是在焊接时高温下产生的。结晶裂纹是在焊缝结晶过程中,在固相线附近,由于凝固金属的收缩,剩余液体金属的低熔点共晶不能及时填充,在拉应力作用下产生的开裂;液化裂纹是由于焊接热作用,使母材近缝区处的低熔点共晶被重新熔化,在拉应力作用下产生的开裂。两种裂纹都是沿奥氏体晶界的开裂。虽然结晶裂纹出现在焊道或是出现在熄弧的火口处,液化裂纹产生在母材的近缝区处,但其产生裂纹的机理基本相同。下面重点对近缝区液化裂纹进行分析。

高锰钢的近缝区液化裂纹是一种沿奥氏体晶界开裂的微裂纹,它的尺寸很小,一般都在 1mm 以下,个别可达 2mm 左右。手工电弧焊时,因焊接线能量的不同,在靠近熔合线的近缝区处产生不同程度的裂纹。在进行气体保护焊时,裂纹多产生于“指状”焊缝肩部凹陷部位的近缝区处,开裂的严重程度

也受焊接线能量的影响。图 2-1 是高锰钢近缝区液化裂纹。近缝区液化裂纹尺寸很小,一般不会导致锰叉的立即破坏,但是做为一种隐患存在于焊缝与母材的联接部位,或是由于后续焊道的热影响,使已产生液化裂纹的材料变脆,二者叠加将会给修复质量带来大的影响。所以应当做到不出现或少出现液化裂纹。

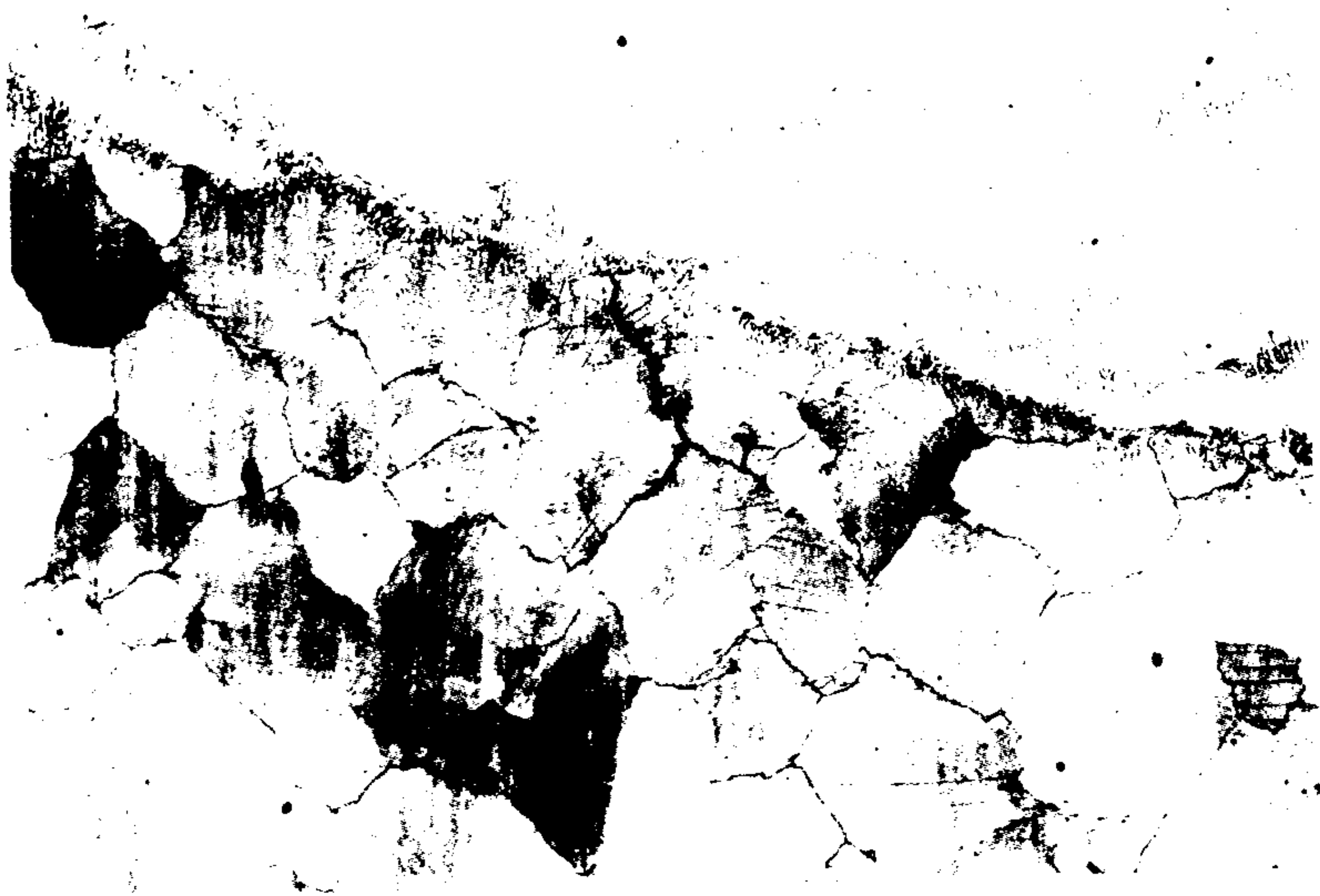


图 2-1 高锰钢近缝区液化裂纹

一般认为液化裂纹的形成,是由于焊接时近缝区金属,在高温下晶界上的低熔共晶组成物被重新熔化,在拉伸应力的作用下,沿奥氏体晶间开裂,也就是说液化裂纹是由冶金因素和力学因素共同作用的结果。

液化裂纹产生于脆性温度区,处于该区内的母材近缝区,由于存在低熔组成物,塑性和强度都急剧下降,如图 2-2 所示。在加热过程中,金属塑性在 ΔT_1 范围内发生了陡降,即从