

# 临界点间热处理对三种结构钢 低温韧性的影响

卢新炯

(材料与应用化学系)

## 摘 要

文中研究了临界点间热处理对 Welten-80p 钢、20CrMnSi 钢及 20CrMnSiNi2A 钢低温韧性的影响。结果表明：与常规热处理相比，临界点间淬火及回火钢的  $a_k$  值提高了 1~3 倍，冷脆转变温度降低了 54℃。临界点间热处理是提高结构钢低温韧性的有效措施。

关键词：金属材料热处理，结构钢，临界点，低温韧性

## 1 前 言

钢在低温下的韧性如强度一样，已成为低温用钢的一个重要性能指标。如用作重型翻斗汽车和矿山采掘机械大梁的新型 Welten-80p 钢要求在 -50℃ 下有较高的冲击韧性。因此，提高钢在低温下的韧性就成为必需考虑的一个因素。

临界点间热处理是在保持强度不降低或少降低的情况下提高钢韧性的一种新工艺。本文作者对三种结构钢提出了具体工艺，这种工艺可显著地提高这些钢的低温韧性。与常规热处理相比， $a_k$  值可提高 1~3 倍，冷脆转变温度降低了 54℃ 多。

## 2 实验材料和仪器设备

### 2.1 材料的成分和临界点

表 1 试验用钢的化学成分 (%)

钢号	C	Cr	Si	Mn	Ni	Mo	Cu	Nb	B	P	S	临界点(℃)	
												$A_{c1}$	$A_{c3}$
Welten-80p	0.14		0.46	1.65	0.83	0.45	—	0.042	0.027	0.018	0.004	715	850
20CrMnSi	0.22	0.92	1.06	1.00	—	—	—	—	—	—	—	755	840
20CrMnSiNi2A	0.21	1.12	1.00	1.15	1.54	—	0.08	—	—	0.01	0.004	739	814

原始毛坯：Welten-80p 钢为板材；20CrMnSi 及 20CrMnSiNi2A 钢为供应棒料，并按国家标准制成梅氏试样。

### 2.2 仪器设备

#### 2.2.1 热处理设备

1988年4月6日收稿

箱式炉：功率为9瓩，最高使用温度为950℃，仪表控制误差±5℃，试样加热时通入氮气防止氧化。

中温回火盐炉：盐成分为100%KNO<sub>3</sub>，熔点337℃，使用温度350~600℃，仪表控制误差±2℃。

低温回火盐炉：盐成分为55%KNO<sub>3</sub>+45%NaNO<sub>2</sub>，熔点137℃，使用温度150~400℃，仪表控制误差±1℃。

### 2.2.2 其它设备

HW187.5型布、洛、维三用硬度机，误差±1HRC；IBAS图象分析仪（测铁素体数量）；Neophot I型卧式全相显微镜；JB30/15型冲击试验机。

## 3 实验方法及过程

### 3.1 热处理工艺

#### 3.1.1 Welten-80p钢

预备热处理：正火即950℃×4h（h表示小时）。

临界点间淬火：900℃×0.5h油淬+800℃×0.5h油淬（常规热处理无此工艺）。

常规淬火：900℃×0.5h油淬。

回火：分别在200℃, 250℃, 300℃, 350℃, 450℃, 500℃, 600℃回火。回火时间为2~3h。

#### 3.1.2 20CrMnSi钢

预备热处理：退火。

临界点间淬火：900℃×0.5h盐水淬火+820℃×0.5h盐水淬火。

常规淬火：900℃×0.5h盐水淬火。

回火：500℃×2h油淬。

#### 3.1.3 20CrMnSiNi2A钢

预备热处理：900℃×0.5h油淬+600℃×3h油冷。

临界点间淬火：900℃×0.5h油淬+800℃×0.5h油淬（常规热处理无此工艺）。

常规淬火：900℃×0.5h油淬。

回火：分别在200℃, 250℃, 300℃, 350℃, 500℃, 550℃, 600℃回火。回火时间为2~3h。回火方式为快冷或慢冷(20℃/h)。

### 3.2 冲击性能测试

将梅氏冲击试样在JB30A的摆锤式冲击试验机上进行低温系列冲击试验。低温采用液氮和航空汽油作为介质，并按不同比例混合以调整到所需温度。

## 4 实验结果与分析

### 4.1 冲击韧性显著提高

#### 4.1.1 Welten-80p钢(图1)

#### 4.1.2 20CrMnSi钢(图2)

#### 4.1.3 20CrMnSiNi2A钢(图3)

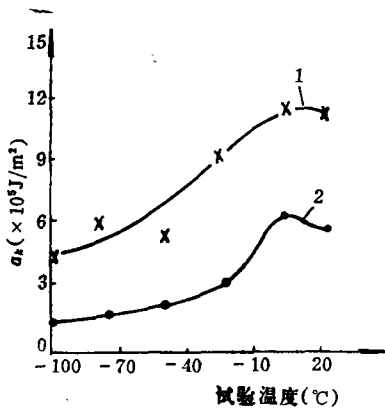


图1 Welten-80p钢 $a_k$ 与试验温度的关系  
 1: 临界点间热处理(900℃+800℃+250℃);  
 2: 常规热处理(900℃+250℃)

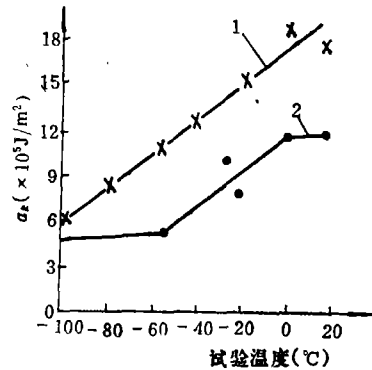


图2 20CrMnSi钢的 $a_k$ 与试验温度的关系  
 1: 临界点间热处理(900℃+820℃+500℃);  
 2: 常规热处理(900℃+500℃)

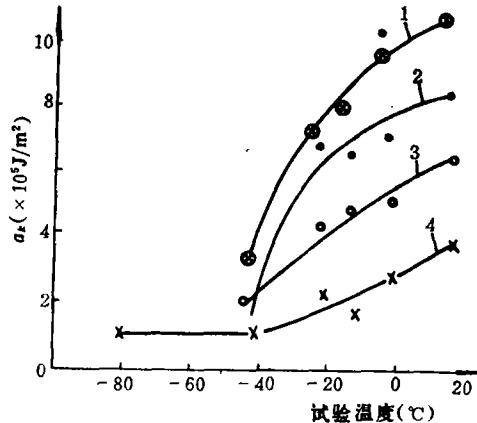


图3 20CrMnSiNi2A钢的 $a_k$ 与试验温度的关系  
 1—临界点间热处理(回火快冷); 2—常规热处理(回火快冷);  
 3—临界点间热处理(回火慢冷); 4—常规热处理(回火慢冷)

由图1, 2, 3可知, 随着试验温度的降低, 冲击韧性减小。在各试验温度下, 临界点间热处理钢的 $a_k$ 均较常规热处理钢高。Welten-80p钢经250℃回火后在-50℃下试验,  $a_k$ 提高173%; 20CrMnSi钢在-55℃下试验,  $a_k$ 超过常规的100%; 20CrMnSiNi2A钢, 回火快冷时较常规热处理的高100%, 回火慢冷则提高111% (在-40℃下试验)。

#### 4.2 冷脆转变温度降低

##### 4.2.1 Welten-80p钢

由图4可知, 临界点间热处理的FATT50%在-40℃左右; 而常规热处理的在-20℃左右, 故前者较后者低20℃左右。

##### 4.2.2 20CrMnSi钢

由图5可知, 临界点间热处理的FATT50%为-64℃, 常规热处理为-10℃, 前者较后者低-54℃。

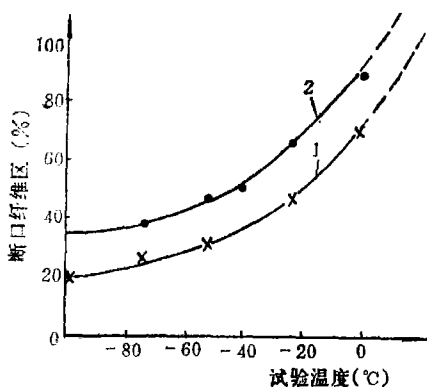


图4 Welten-80p 钢断口纤维区面积%与试验温度的关系

1—900℃→250℃; 2—900℃→800℃→250℃

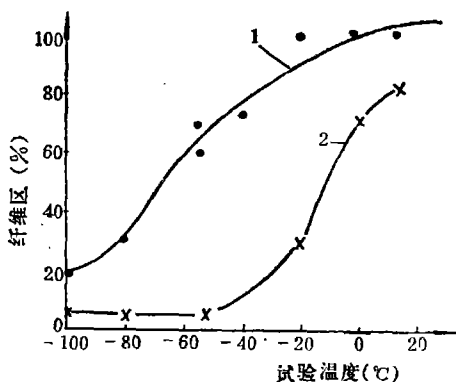


图5 20CrMnSi 钢冲击断口纤维区面积%与试验温度的关系

1—临界点间热处理: 900℃淬火→820℃ 淬火→500℃回火;  
2—常规热处理: 900℃淬火→500℃回火。

1.2.3 20CrMnSiNi2A钢

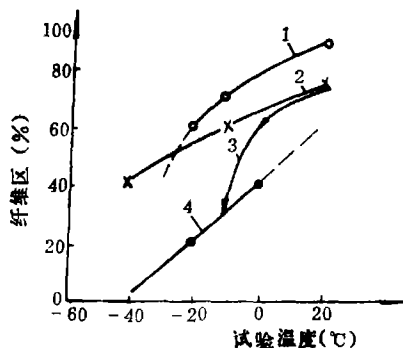


图6 20CrMnSiNi2A钢冲击断口纤维区%与试验温度的关系

1—临界点间热处理(回火快冷); 2—常规热处理(回火快冷);  
3—临界点间热处理(回火慢冷) 4—常规热处理(回火慢冷)。

由图6可知, 临界点间热处理回火快冷时的 FATT50%为-27℃, 常规热处理的为-25℃; 前者较后者低2℃左右。当回火慢冷时, 前者处理的 FATT50%较后者低20℃左右。

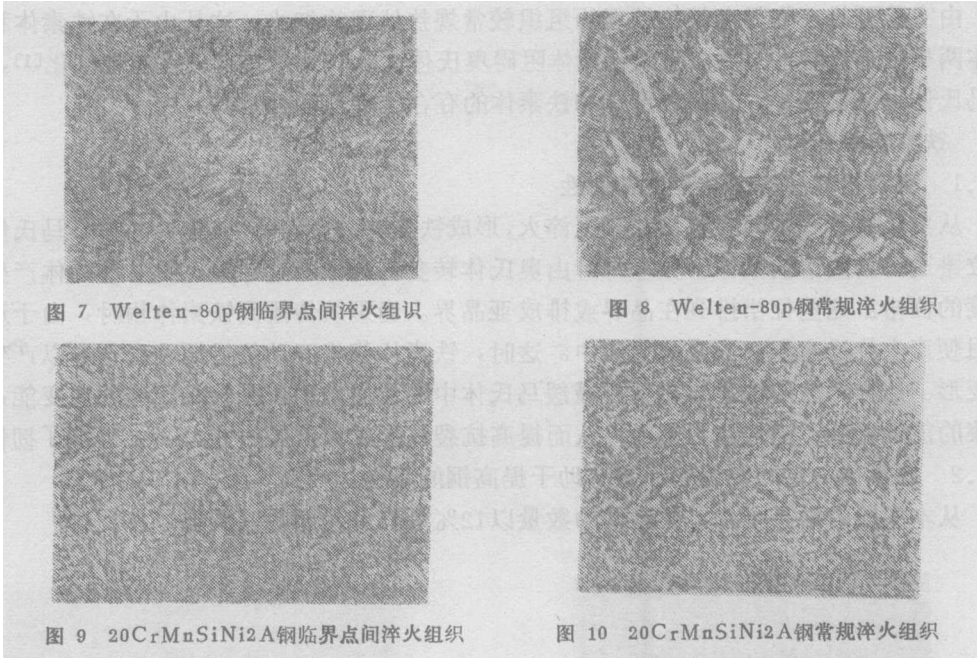
总之, 上述三种结构钢, 其临界点间热处理的FATT50%均较常规热处理的低, 从二者相近值到相差最大值之间达54℃。

5 讨论

近几十年发展起来的临界点间热处理工艺, 可提高钢的室温韧性, 但临界点间热处理对低温韧性的作用机理, 尚未彻底弄清。有以下几点值得考虑:

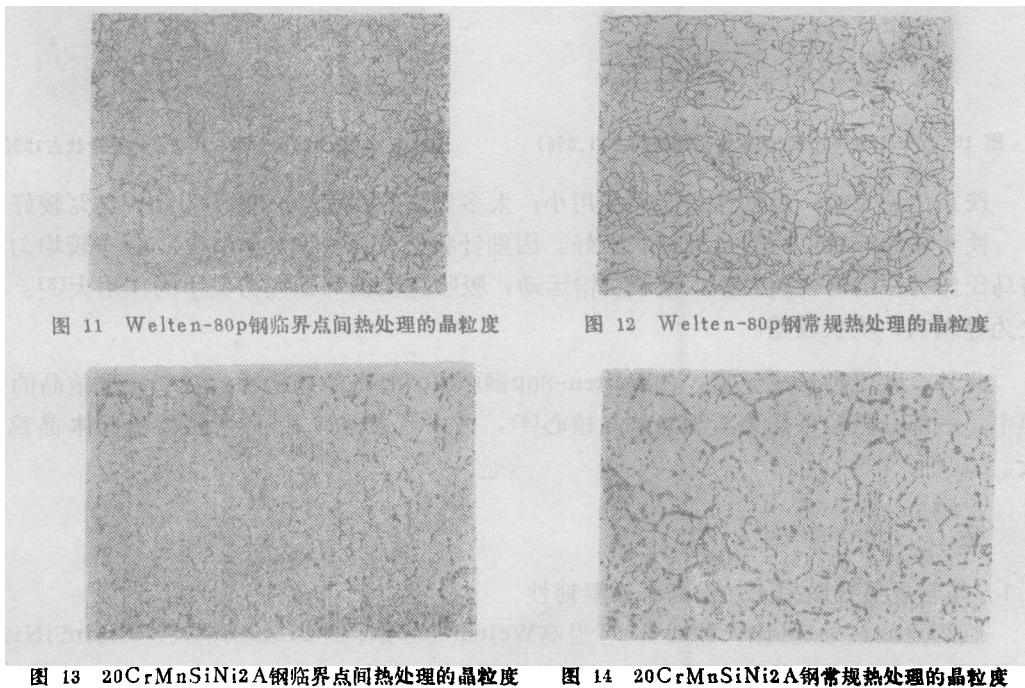
## 5.1 临界点间热处理使组织细化

5.1.1 马氏体细化：临界点间淬火马氏体较常规淬火的细小，见照片（图7、8、9、10）。



### 5.1.2 晶粒细小

临界点间热处理的晶粒较常规热处理的细小。见照片(图11、12、13、14)。



从照片可知,临界点间热处理的晶粒较常规热处理的细小;以 Welten-80p 钢为例,前者约为 8 级,后者约为 6.5 级;而 20CrMnSiNi2A 钢经前者处理为 10 级,后者为 9 级(换算成 100 倍后)。

由实验可见,临界点间热处理的组织较常规热处理的细小。这是由于在铁素体和奥氏体两相区加热时,弥散分布的铁素体阻碍奥氏体晶粒长大,使奥氏体晶粒细化<sup>[1]</sup>,因而马氏体也变得细小,且晶粒细化和铁素体的存在也促使韧性增高。

## 5.2 铁素体的作用

### 5.2.1 铁素体具有较高的塑性和韧性

从奥氏体单相区淬火再到二相区淬火,形成铁素体和奥氏体。先淬火的板条马氏体将其位错遗传给未溶铁素体。在冷却时由奥氏体转变马氏体的过程中,诱发铁素体产生高密度的位错。这些位错排列在晶界或排成亚晶界。当裂纹传播到铁素体相时,由于运动受阻便产生位错塞积,形成应力集中。这时,铁素体相将开动位错源发出位错以产生塑性变形。这样,软的铁素体相就可减缓马氏体中的位错堆积,吸收马氏体的应变能,使聚集的能量松弛,减轻应力集中,从而提高抗裂纹形成和扩展的能力<sup>[2]</sup>,提高了韧性。

### 5.2.2 铁素体一定的数量和形态有助于提高钢的韧性

从本实验的结果可知,铁素体的数量以 12% 最好。见照片(图 15、16)。

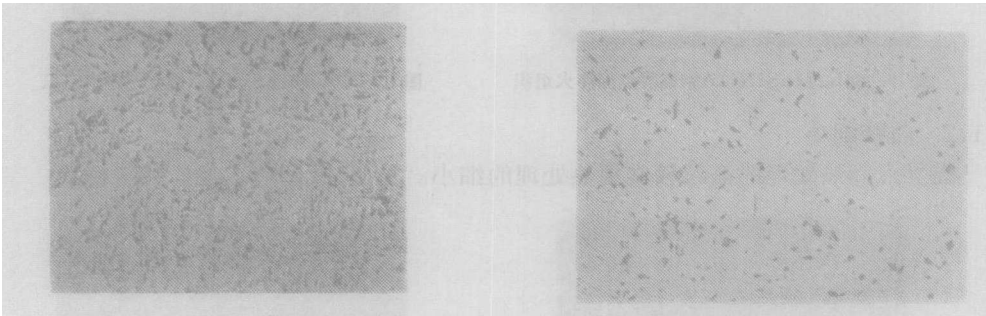


图 15 Welten-80p 钢(铁素体呈针状约占 11.5%)

图 16 20CrMnSiNi2A (铁素体呈针状占 12%)

铁素体量太少,对韧性提高的作用小;太多则降低强度。一般认为 10~15% 较好。

铁素体的形状,一般呈细针状最好。因细针状条宽小(图 15、16),分布较均匀,与马氏体有一定的位向关系,便于位错运动,吸收应变能降低应力集中的作用大<sup>[3]</sup>。次之为等轴状,块状较差。

此外,碳化物形成元素,如 Welten-80p 钢中 Mo 和 Nb 的碳化物,在二次重结晶的过程中,一部分微粒可作为新相的结晶核心<sup>[4]</sup>,另一部分则钉扎晶界阻碍奥氏体晶粒长大。

## 6 结 论

### 6.1 与常规热处理相比,提高了低温韧性

临界点间热处理(淬火和回火)可提高 Welten-80p 钢、20CrMnSi 钢及 20CrMnSiNi2A 钢的低温韧性  $\alpha_{k1}$  1~3 倍,并可降低冷脆转变温度(FATT) 54℃。

## 6.2 组织细化

一定数量的铁素体、均匀分布的针状铁素体是提高韧性的主要因素。

### 参 考 文 献

- [1] 王传雅.金属热处理, 1980;2(1)
- [2] 刘忆等.金属热处理出版社, 1983;7(30)
- [3] 徐佐仁等.上海交通大学学报, 1983;79(1)
- [4] T.Wada, Met. Trans, 1974;5(1)

## Effect of Intercritical Heat Treatment (IHT) on Low-temperature Toughness of Three Kinds of Structural Steel

Lu Xingang

### Abstract

Effect of IHT on low-temperature toughness of welten-80P 20CrMnSi and 20CrMnSiNi2A has been investigated in this paper. The results show that the impact toughness of IHT is increased 1—3 times as high as that of the conventional Heat Treatment. The Fracture appearance transition teapeatwe (FATT) is decreased by at utmost 54°C. Therefore IHT is a measure of increasing low-temperature toughness. In this way it is possible to apply this technology to production.

**Key words:** Heat treatment of metal, Structural steel, Intercritical temperature, Low-temperature toughness

## Reseaches on Inorganic Thermosensitive Materials of Nickel Series

Zhou Jiayin Qi Youxun Zhou Shiguang

### Abstract

Twelve Kinds of thermochromic Nickelous compound series are developed and their thermochromic temperatures ( $T_c$ ) have been determined seperately. The effects of the pigment composition, base stock, filler and environmental relative humidity on the thermochromic characteristics of cited series are investigated. The thermochromic mechanism is discussed.

**Key words:** Nickel, Thermo-chromism, Thermo-sensitive materials