

改进型M2高速钢顶头的研究和应用

符寒光¹, 宋锦春²

(1. 西安交通大学, 陕西 西安 710049; 2. 东北大学, 辽宁 沈阳 110006)

摘要: 采用RE-Al-N对M2铸造高速钢进行变质处理, 消除了钢中网状共晶碳化物, 细化了基体组织, 减轻了W、Mo元素的偏析, 并在不降低M2高速钢硬度的条件下, 使韧性大幅度提高。变质处理后的M2铸造高速钢具有优异的抗热疲劳性能和抗高温磨损性能, 用于制造热轧无缝钢管均整机顶头, 具有良好的使用效果。

关键词: 高速钢; 变质处理; 共晶碳化物; 热疲劳; 耐磨性; 顶头

中图分类号: TG142.45 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2311(2004)02-0006-05

Research and Application of Innovated M2 High Speed Steel Plug

Fu Hanguang¹, Song Jinchun²

(1. Xi'an Jiao Tong University, Xi'an 710049, China; 2. Northeastern University, Shenyang 110006, China)

Abstract: The cellular eutectic carbide is eliminated, the matrix fined and the segregation of elements W and Mo reduced in M2 cast high speed steel after it is metamorphism-treated with modifier RE-Al-N. Also its toughness is greatly increased without increasing its hardness. Thanks to the said treatment the M2 cast high speed steel possesses excellent heat fatigue resistance and high temperature wear resistance, which leads to satisfactory effectiveness of the plug made thereof for seamless steel tube reeling mill.

Key words: High speed steel; Metamorphism treatment; Eutectic carbide; Heat fatigue; Wearing resistance; Plug

0 引言

均整机顶头是热轧无缝钢管生产线均整工序的主要变形工具, 也是主要易损件。经轧管工序轧制的荒管在约1 000℃的高温下进入均整机, 顶头在顶杆的推动下进入荒管, 同时在轧辊的作用下对荒管进行均整轧制。每根荒管均整轧制时间约15s, 顶头表面温度上升至500~700℃, 然后顶头被冷却水喷淋, 冷却到200℃以下, 接着进行下一根荒管的均整轧制。顶头不仅承受剧烈的摩擦和挤压, 而且还周而复始地承受着激热激冷的骤变, 工况条件极其恶劣。

目前多数厂家使用的45钢顶头寿命较短, 其主要失效形式是表面龟裂、粘钢、变形和磨损, 不能满足生产要求。开发新的顶头材质, 提高其使用寿命

是十分必要的。

高速钢由于含有大量W、Mo、Cr、V等合金元素, 具有很高的常温硬度。与普通材料相比, 高速钢更具优异的红硬性, 500℃时硬度仍保持在HRC55以上(表1)。由于其良好的高温耐磨性, 用于制造热轧机工作辊具有显著效果^[1,2]。另外, 高速钢组织是莱氏体和马氏体, 它们与金属相(铁素体、奥氏体)本身相互粘附作用的倾向小, 金属粘附在高速钢顶头上的可能性比45钢小得多, 不易粘钢。

从铸态高速钢凝固特点^[3]看, 由于C、W、Mo、Cr、V等元素的偏析, 在奥氏体枝晶间和晶界的钢液熔池中达到共晶成分时, 发生共晶反应, 共晶碳化物呈网状分布在晶界上, 因此, 铸造高速钢脆性大, 直接制造顶头易破碎。采用RE-Al-N复合变质处理的顶头, 其组织细化, 共晶碳化物分布均匀, 冲击韧性显著提高, 抗热疲劳性能和高温耐磨性能

符寒光(1964-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事材料和轧钢技术研究。

表1 各种材料硬度保持在HRC55以上时所能达到的最高温度

碳素工具钢	普通合金钢	硬质合金	陶瓷材料	Cr12MoV	高镍铬合金钢	高速钢		
						普通	8%Co	12%Co
						350	400	1 040

也明显改善。变质处理后的高速钢顶头具有良好的使用效果。

1 试验方法

用50 kg碱性中频感应炉重熔M2高速钢棒料,重熔后高速钢成分(质量分数,%)为:0.85C、5.97W、5.11Mo、4.26Cr、1.83V。温度达到1 600℃时用Si-Ca合金脱氧出钢,在包内加入含RE、Al和N的多元复合变质剂进行变质处理,其中N以含氮铬铁形式加入,RE以混合稀土(Ce≥45%,La≥25%)形式加入,Al以纯金属形式加入。金属液搅拌扒渣后浇入砂型中,试样毛坯尺寸12 mm×12 mm×60 mm。退火处理工艺:1 080℃保温2 h,然后炉冷至650℃等温1 h,再升温至860℃保温1 h,炉冷至500℃后空冷。试样加工好后,进行1 180℃油冷和3次560℃回火处理。

在JB30A型摆锤式冲击试验机上测试冲击韧性 a_k ,试样尺寸10 mm×10 mm×55 mm,无缺口。用HR-150A型硬度计测定硬度。

热疲劳试验在自制的自约束型热疲劳试验机上进行。采用高频感应加热,自来水冷却,循环温度为20~600℃,加热时间30 s,冷却时间10 s,试样形状和尺寸见图1。

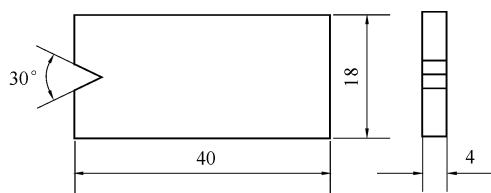
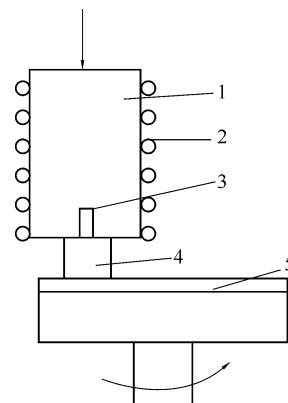


图1 热疲劳试样的形状和尺寸

试验中每循环一定周次后,停机观察缺口尖端裂纹萌生状况,测量裂纹扩展长度。在放大40倍的显微镜下观察,以裂纹出现时的循环次数作为热疲劳裂纹的萌生次数,作出裂纹长度与循环次数之间的关系曲线,曲线的斜率表示热疲劳裂纹的扩展速率。

磨损试验在由ML-10型磨损试验机基础上改造

的高温磨损试验机上进行,试验装置示于图2。该装置主要由机械传动部分、加热部分、控温部分组成。磨损试样尺寸为 $\Phi 6$ mm×25 mm,载荷100 N。



1—试样夹持器 2—加热器 3—磨损试样
4—温度控制 5—对磨圆盘

图2 高温磨损试验装置示意

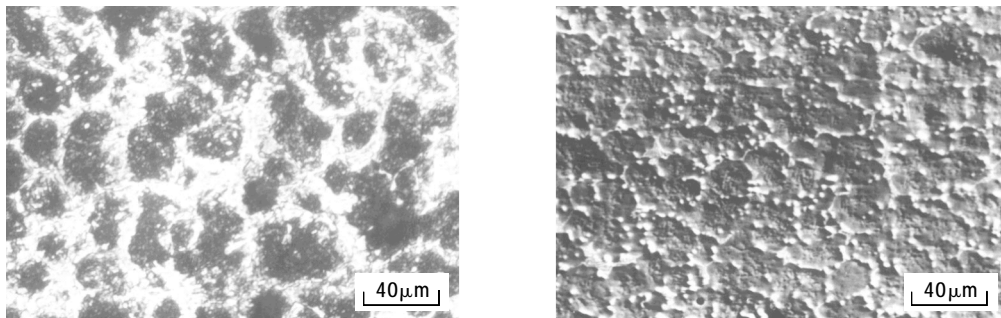
2 试验结果及分析

2.1 变质处理对M2高速钢组织的影响

变质处理对M2高速钢铸造组织的影响见图3。未变质处理的组织为典型的连续网状莱氏体,其分布于晶界,且晶粒粗大。变质处理后,网状共晶碳化物变成断网状,且明显细化,分布均匀;基体组织中元素偏析减轻。

用电子探针测定铸态试样基体内的合金成分,取10点计算其平均值,变质处理前后的试样中合金元素的含量(质量分数,%)分别为:W1.79, 2.26; Mo2.05, 2.20; Cr4.91, 4.87; V1.47, 1.62。变质处理后高速钢铸态试样的基体中W、Mo和V元素的含量都有所增加,表明变质元素可以减轻W、Mo等元素尤其是W的偏析。因此高速钢中共晶碳化物的数量减少,而W元素偏析的减轻则有利于鱼骨状 M_6C 碳化物的消除。

高速钢在凝固过程中,由于RE在奥氏体中的溶解度很小,即使加入极少量,也将发生剧烈偏析并富集在枝晶生长前沿的钢液中,造成较大的成分过冷。这有利于奥氏体枝晶的多次分枝和枝晶间距



(a) 未变质处理

(b) 变质处理

图3 变质处理对高速钢组织的影响

的减小,使高速钢的枝晶组织得到细化。初晶奥氏体的细化,将导致共晶反应时残留钢液相互被隔开的趋势增强,共晶阶段共晶奥氏体优先在狭窄通道两侧的初晶奥氏体上以离异方式结晶,促使残液进一步被分隔,最后导致共晶碳化物网断开,孤立化。另外,在凝固后期,由于共晶反应而在枝晶间钢液熔池中形成的共晶碳化物也可得到细化。而RE中的Ce在钢液中具有减轻碳元素活度的作用,即: $e_C^{Ce} < 0$ [4]。而碳元素活度的降低,将使得由于C、W和Mo等元素偏析达到共晶成分而发生的共晶反应要在较高的固相分数下才能发生,因此高速钢中共晶碳化物量减少。

向M2高速钢中加N,能降低初晶结晶温度和共晶结晶温度,加大了钢水在液相区和共晶区的过冷度,使其碳化物在更大的过冷度下形核,这不仅有利于初晶奥氏体的细化,还有利于共晶奥氏体的细化。Al在碳化物中的溶解度几乎等于零,共晶反应时它富集在碳化物的结晶前沿,导致成分过冷,阻止碳化物尖端生长,使其变成断网状,变质效果更加明显。此外,变质剂中Al和N可以形成AlN,作为领先相生成,成为结晶核心,也有助于组织的细化。

2.2 变质处理对高速钢韧性的影响

变质处理对高速钢韧性的影响见图4。变质剂加入量小于0.6%时,变质处理对高速钢韧性影响不明显;加入量超过0.6%时,随着变质剂加入量的增加,高速钢的韧性也增加,尤其是冲击韧性增加明显;变质剂加入量达1.8%时,高速钢的韧性达到最高值;后再增加变质剂加入量,高速钢韧性反而降低。这是因为碳化物形态是影响钢铁材料性能的主要因素,特别是对莱氏体高速钢,网状碳化物的存在不仅降低钢的强韧性,而且易于萌生裂纹,并为裂纹扩展提供低能量通道^[9],因而传统莱

氏体铸造高速钢的韧性很低,由此限制其广泛应用。经RE-Al-N复合变质处理,高速钢网状共晶组织消失,基体组织明显细化,碳化物分布均匀,对裂纹的萌生和扩展具有高抗力,使钢的冲击韧性得到提高。但变质剂加入量过多,会使铸造组织中夹杂物增多,反而使高速钢的韧性降低。

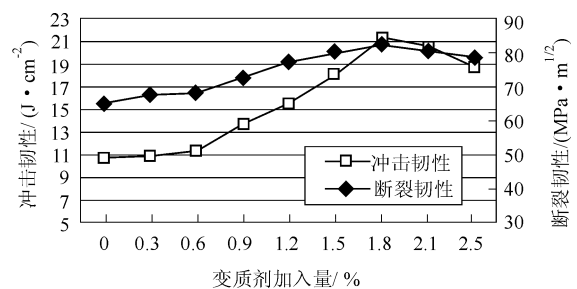


图4 变质剂加入量对高速钢韧性的影响

2.3 变质处理对高速钢热疲劳抗力的影响

变质处理对高速钢热疲劳裂纹萌生与扩展的影响见图5。

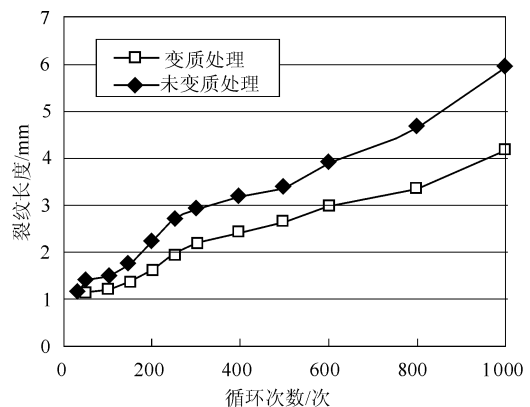


图5 变质处理对高速钢热疲劳抗力的影响

未变质处理的高速钢热疲劳裂纹萌生次数少于40次, 变质处理后裂纹萌生次数多于50次, 且未变质处理的热疲劳裂纹扩展速率大, 可见变质处理明显改善了高速钢的热疲劳抗力。这是因为碳化物是热疲劳裂纹扩展的主要通道^[6,7], 由于碳化物脆性大, 在循环热应力作用下容易破碎, 且一旦出现裂纹即迅速扩展, 因此材料的热疲劳抗力主要取决于碳化物的形态。未变质处理的高速钢共晶碳化物呈网状分布, 因此热疲劳裂纹扩展速率大, 热疲劳抗力低。变质处理后, 碳化物变成断网状和颗粒状, 裂纹沿碳化物扩展时常常被基体阻隔, 裂纹必须穿过基体, 从一个碳化物颗粒扩展到相邻的碳化物颗粒, 因其基体组织的强韧性远远大于碳化物, 对裂纹扩展阻力大, 因此变质处理的高速钢具有较高的热疲劳抗力。

2.4 变质处理对高速钢高温耐磨性的影响

变质处理对高速钢高温耐磨性的影响见图6, 同时还列出了45钢的耐磨性。高速钢的磨损体积随初始加热温度的增高而增加, 但初始加热温度低于600℃, 磨损体积增大较缓慢; 超过600℃, 磨损体积则迅速增大。相同温度下, 变质高速钢的磨损体积小于未变质高速钢。由于在高温滑动磨损条件下, 材料的磨损主要是微切削和疲劳控制^[9]。高速钢中含有较多的W、Mo、Cr、V等合金元素, 红硬性高。在600℃时硬度仍维持在HRC60以上; 但超过600℃后, 硬度明显降低。因此600℃以下, 高速钢磨损量较小; 超过600℃, 磨损量急剧增大。变质处理提高高速钢耐磨性的主要成因是, 变质处理细化了高速钢基体组织和共晶碳化物, 提高了高速

钢韧性, 减缓了高温磨损时疲劳裂纹的形成和扩展, 从而提高耐磨性。另外, RE-AI-N复合变质剂的加入, 使得碳化物变成断网状, 且明显细化, 分布均匀, 在磨损过程中, 应力集中小, 减小了碳化物颗粒松动脱落的几率, 从而也提高了耐磨性。此外, 由于45钢的室温硬度低, 高温回火稳定性差, 因此其耐磨性明显低于高速钢。

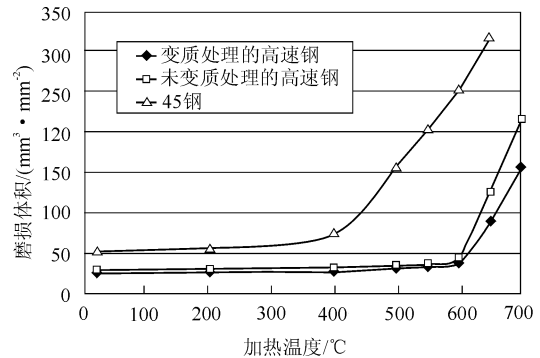


图6 变质处理对高速钢高温耐磨性的影响

3 改进型高速钢顶头的应用

用RE-AI-N复合变质处理的M2高速钢制作了20个顶头, 在无缝钢管生产线上进行了生产试验, 其使用工况与45钢顶头相同, 结果见表2。试验表明: 高速钢顶头抗氧化性能、高温强度、高温耐磨性和耐热冲击疲劳性能等综合性能良好, 完全能满足顶头工况条件。使用中, 顶头磨损均匀, 表面光滑, 不粘钢, 不变形, 不开裂, 平均寿命比45钢顶头延长12倍以上。高速钢顶头采用高速钢废料熔炼而成, 其生产成本比45钢顶头高1.2~1.5倍。

表2 顶头使用效果

顶头材料	顶头直径/mm		磨损量/mm	轧管总长/m	顶头失效形式及表面状况
	使用前	使用后			
45钢 ^①	82.08	79.60	2.48	580	磨损、粘钢、变形
改进型高速钢 ^②	82.12	79.67	2.45	7 760	均匀磨损、表面光滑

注: ①50个顶头的平均值; ②20个顶头的平均值。

4 结论

M2铸造高速钢经RE-AI-N复合变质处理后, 具有以下优势:

- (1) 组织明显细化, 共晶碳化物由网状变为断网状和颗粒状。
- (2) 脆性显著降低, 冲击韧性提高1倍以上,

抗热疲劳性能和高温耐磨性也明显改善。

- (3) 用于制造热轧无缝钢管均整机顶头, 使用后顶头磨损均匀, 表面光滑, 不粘钢, 不变形, 不开裂, 寿命比45钢顶头延长12倍以上。

高速钢顶头的生产成本虽比45钢顶头高1.2~1.5倍, 但其使用寿命的延长, 以及更换顶头时间

的大大减少,经济效益是显著的。

5 参考文献

- 1 G.Walmag, R.J.Skoczynski, J.P.Breyer. Improvement of the work roll performance on the 2050mm hot strip mill at Iscor Vanderbijlpark [J]. La Revue de Metallurgie-CIT, 2001, 98(3): 295-304.
- 2 市野健司,片冈义弘,汤田浩二.离心铸造による热延仕上ミル用高耐磨耗ロールの開発[J].川崎制铁技报,1996,(2): 89-94.
- 3 G.Hoyle. High speed steel [M]. Butterworth & Co. (Publishers) Ltd., 1988.
- 4 杜挺,韩其勇,王常珍.稀土碱土等元素的物理化学及在材料中的应用[M].北京:科学出版社,1995.
- 5 J.Stuchlik. New progress in wear resistant steels and cast irons[J]. Giesserei Praxis, 1984, (11): 167-176.
- 6 郭新成,曾庆梅,束德林.几种轧辊材料的热磨损和热疲劳性能[J].钢铁,1992,27(11): 37-40.
- 7 Yang Qingxiang, Wang Airong, Ren Xuejun, et al. Effect of rare earth elements on thermal fatigue of high Ni-Cr alloy cast iron [J]. J. Rare Earths, 1996, 14 (4): 286-290.
- 8 刘佐民. M50高速钢高温摩擦磨损特性的研究 [J]. 摩擦学学报, 1997, 17 (1): 38-44.

(收稿日期: 2002-12-10)

(修定日期: 2003-11-17)

● 信息

中国钢铁工业协会钢管分会2004年第一次理事会在河北青县召开

中国钢铁工业协会钢管分会2004年第一次理事会于3月3~4日在河北省青县召开。24个理事单位55名代表参加会议。中国钢铁工业协会黄金干专务理事、国际部杨尊庆主任,中国钢结构协会刘毅秘书长、刘万忠常务副秘书长,冶金信息标准研究院黄颖、冶金工业信息中心胡玲及冶金报社杜秦等出席会议。

钢管协会常务理事和秘书处会议分别召开并形成纪要。

理事会由孔令铭秘书长主持并提交2004年协会工作安排,张振纲理事长作“实施可持续发展战略,加速我国钢管业健康协调发展”报告;黄金干专务理事作“抓住新机遇,应对新挑战,促进钢铁行业持续稳定发展”工作报告;杨尊庆主任介绍了2004年上海国际钢管研讨会的筹备情况;彭在美副秘书长介绍了协会“章程”修改草案。会议分析讨论了2004年行业发展预测及面临的挑战,审议并通过了有关事项,达成如下共识。

2004年钢管行业总的发展趋势将延续上年的势头持续快速发展,钢管产量将接近2 000万t,其中无缝钢管产量将达750万t,焊管产量将达1 200-1 250万t。市场呈供销两旺在高价位运行,短期内不会出现大的波动。受资源、运输、电力等外部条件的制约,特别是原材料不足及高价位的影响,对外供坯轧管和焊管企业的经营将带来一定的难度;国内市场钢管的高价位将导致国外钢管的涌入,钢管出口量若低于2003年,国内市场将面临更大的压力。

面对不利因素,应采取如下对策:①加大技术装备的升级改造及加大技术开发力度,在提高产品质量,大力开发高技术含量、高附加值产品上下功夫,提高以产顶进产品的比例,减少钢管进口;②钢管协会要组织会员单位进行市场行情信息的交流,发挥钢管网的信息传输功能,为会员服好务,协调平抑市场价格,尤其在出口产品上要协调出口企业,避免互相压价、低价出口的不正当竞争;③靠调坯轧管及焊管企业,有条件的可与钢铁联合企业建立互惠互利的战略联盟,解决管坯的资源问题。

会议同意张振纲理事长在工作报告中对2004年钢管行业发展趋势的预测和阐述及协会2004年的工作安排。会议要求各会员单位积极参与2004年上海国际钢管研讨会,组织撰写论文并于6月15日前报协会秘书处。

会议通过了接纳新兴铸管公司、鞍山三冶钢管厂、绍兴钱江制管有限公司、浙江湖州金洲石油天然气管道公司为钢管协会会员单位。

会议感谢华北石油钢管厂的服务。

(中国钢铁工业协会钢管分会秘书处)