

冷轧辊用半高速钢碳化物 细化工艺技术研究

林发驹^{1,2}, 李 雄^{1,2}, 吴钺川^{1,2}

(1. 成都先进金属材料产业技术研究院有限公司特钢研究所, 四川 成都 610303; 2. 海洋装备用金属材料及其应用国家重点实验室, 辽宁 鞍山 114009)

摘 要: 基于 Thermo—Calc 热力学软件计算及原位观察结果, 开展冷轧辊半高速钢 95Cr5MoV 碳化物细化技术研究。95Cr5MoV 半高速钢平衡凝固碳化物类型主要有 MC、 M_7C_3 和 $M_{23}C_6$, 其中 $M_{23}C_6$ 型碳化物在 785 °C 左右完全溶入基体, M_7C_3 型碳化物在 1 100 °C 时完全溶入基体, MC 型碳化物在 1 170 °C 左右完全溶入基体; 采用高温共聚焦显微镜试验观察发现, 大块状 MC 型碳化物在 960 °C 时开始溶解, 当温度升高到 1 170 °C 左右时, 溶解加速, 但一直到 1 217 °C 碳化物周围的基体开始局部熔化时仍然部分存在, 表明非平衡态的溶解温度高于平衡态。为细化碳化物, 实验室采用“1 100 °C 高温固溶+880 °C 三次循环+740 °C 退火”的新热处理工艺后, 大块液析碳化物尺寸明显减小, 且组织均匀性好, 并在工业化生产中验证了该工艺的可靠性。

关键词: 冷轧辊; 半高速钢; 碳化物; 原位观察; 超细化处理

中图分类号: TF76, TG304 文献标志码: A 文章编号: 1004-7638(2021)03-0162-10

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2021.03.025

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



听语音
与作者互动
聊科研

Study on the carbide refining technology of semi high speed steel for cold roller

Lin Faju^{1,2}, Li Xiong^{1,2}, Wu Chengchuan^{1,2}

(1. Special Steel Research Department, Chengdu Advanced Metal Materials Industrial Technology Institute Co., Ltd., Chengdu 610303, Sichuan, China; 2. State Key Laboratory of Marine Equipment Made of Metal Material and Application, Anshan 114009, Liaoning, China)

Abstract: Based on the results of thermo-Calc calculation and in-situ observation, the carbide refinement technology of 95Cr5mMoV cold roll semi high speed steel was studied. The equilibrium solidification carbides of 95Cr5MoV semi high speed steel mainly include MC, M_7C_3 and $M_{23}C_6$. Among them, $M_{23}C_6$ carbides completely dissolve into the matrix at about 785 °C, M_7C_3 carbides completely dissolve into the matrix at 1 100 °C and MC carbides completely dissolve into the matrix at about 1 170 °C. It is observed by high temperature confocal microscope that the massive MC carbides begins to dissolve at 960 °C, and when the temperature rises to 1 170 °C, the dissolution accelerates, but it still exists until 1 217 °C, which indicates that the dissolution temperature of non-equilibrium state is higher than that of equilibrium state. In order to refine carbides, the heat treatment process of “1 100 °C high temperature solid solution + 880 °C three times circulation + 740 °C annealing” was adopted in the laboratory. The size of large liquidus carbides decreased obviously, and the microstructure is uniform. The reliability of

收稿日期: 2021-04-09

作者简介: 林发驹(1985—), 男, 海南儋州人, 本科, 工程师, 主要从事钢铁材料及锻造工艺研究工作, E-mail: 3160094502qq.com。

the process was verified in industrial production.

Key words: cold roller, semi high speed steel, carbide, in situ observation, superfine treatment

0 引言

近年来,随着现代化经济建设高速发展,大型冷轧机作业效率和板材质量要求不断提高,所需材料强度要求越来越高,冷轧辊使用性能向高耐磨、深淬硬层、抗高碳热裂性能好等方面发展^[1]。国内外轧辊对开发主要增加冷轧辊中Cr的含量,由最开始的2%Cr到目前市场普遍使用的5%Cr冷轧辊,在此基础上不断优化Mo、V、Nb和Ni等合金元素加入量^[2-4],并逐步开发半高速、高速锻钢冷轧辊。

冷轧辊半高速用钢是在Cr5/MC5的基础上发展起来的,化学成分与传统的半高速钢不同,其C含量一般为0.5%~1.0%,Cr、Mo、W、V等合金元素总和一般为8%~15%^[5]。由于成分中的Cr、Mo、V都是强碳化物形成元素,淬火后得到的碳化物类型主要为富铬的 M_7C_3 型和富钒的MC型(HV2500~2800)碳化物。高硬度碳化物的存在,确保了锻造冷轧辊用半高速钢具有良好的耐磨性^[6]。相对于Cr5/MC5,刘玉金等人^[7]指出:同工况下,半高速钢冷轧辊较Cr5工作辊的平均换辊吨位提升100%,粗糙度保持性提升43%,毫米过钢量提升150%;与锻造冷轧辊用高速钢相比,在大致相同的热处理工艺下,锻造冷轧辊用半高速钢仍然保持足够的二次硬化效果,得到与高速钢相同的硬度,保持较高的耐磨性和红硬性,由于其节约合金元素,具有优良的性价比而被广泛关注和应用^[5]。

冷轧辊工作时,轧辊中受到很大的轧件的反作用力,加上轧件上存在的各种缺陷及表面质量等问题,使轧辊在使用时产生局部高温,进而产生热冲击,这种冲击有可能造成轧辊出现辊身剥落、“掉肉”等问题,其影响因素主要包括五个方面:碳化物偏析、质点偏析区过烧、气孔、夹杂物、缩孔,其中碳化物的偏析是影响辊坯缺陷超标的主要原因^[8]。

由于条块状碳化物或碳化物聚集严重影响冷轧辊的质量,引起技术人员和学者的注意,并进行了相关的研究,也取得了较好的效果。周利等人^[9]在对两种新型钢的金相组织、氧化试样的表面形貌进行了研究,结果表明:新型钢中富钒的MC型碳化物抗氧化性能最差,氧化产物不但凸出基体表面,而且每个氧化区域均有裂纹产生;富钼的 M_2C 型碳化物

具有较好的抗氧化性能,但由于在与基体交错相间生长,其表面容易被基体表面横向生长的氧化产物所覆盖;富铬的 M_7C_3 型碳化物具有最佳的抗氧化性能。刘德富等人^[10]对新型半高速钢在加热和冷却及回火过程中碳化物的溶解和析出行为进行了研究,结果表明:退火状态下钢中含有MC、 M_6C 和 M_7C_3 型碳化物;淬火加热时 M_6C 和 M_7C_3 型碳化物全部溶解,回火过程中析出MC、 M_2C 、 M_6C 和 M_7C_3 型碳化物,当回火温度为520℃时出现硬度峰值,此时 Mo_2C 的弥散强化起主要作用。鲁莎等人^[11]研究不同热处理状态下新型钢材料的显微组织及不同类型碳化物的形貌和特性,得到如下结论:淬火状态下,存在较多加热未溶解的一次共晶MC型碳化物,耐蚀的条块状和菊花状碳化物V含量较高。吴琼^[12]对含氮半高速钢冷轧辊材料回火组织转变研究时指出:在540℃及以上的高温回火时,基体组织析出碳化物有MC、 M_7C_3 和 M_6C_{23} 型碳化物。

为了使钢中碳化物细化,首先必须使钢中碳化物全部或尽可能多的溶于奥氏体中,高温固溶温度的选择对钢最终的组织及性能有着重要影响^[13],温度低则达不到固溶的效果,温度过高则会带来晶粒粗大,影响产品组织性能不均匀。目前已有学者在模具钢和高合金钢冷轧辊中开展高温固溶循环热处理工艺^[14-16],也取得较好的效果,但对冷轧辊用半高速钢的碳化物高温行为与细化热处理工艺研究不够深入。因此,笔者针对某厂研发的冷轧辊用半高速钢95Cr5MoV经热处理后液析碳化物粗大的问题,采用现代分析仪器及热力学计算软件系统研究该钢的碳化物析出规律与细化热处理工艺,以达到细化碳化物的目的。具体研究内容如下:

- 1) Thermo-calc 计算平衡态与非平衡态下相变分析;
- 2) 扫描电镜及能谱仪检测碳化物形貌与组元含量;
- 3) 原位观察大块状碳化物高温行为,掌握大块状碳化物随温度升高的演变规律;
- 4) 研究高温固溶低温奥氏体循环热处理工艺对大块状碳化物的影响规律,为热处理生产提供理论支撑。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

从某厂预热处理(980 °C正火+860 °C扩氢+740 °C球化退火)后的同一批次Φ450 mm冷轧辊95Cr5MoV坯料(共6支)中,任意取一支进行化学成分分析,结果见表1。

表1 95Cr5MoV主要化学成分
Table 1 Main chemical compositions of 95Cr5MoV

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Al
0.95	0.44	0.50	0.008	0.005	4.5	1.22	0.35	0.85	0.045

1.2.2 原位观察碳化物高温行为

将冷轧辊坯95Cr5MoV用钢试样加工成两个Φ7 mm×3 mm规格的薄片小试样(分别命名为试样A、B),上下两面精磨、抛光,使用10%氯化铁+5 mL盐酸+酒精溶液腐蚀,根据Thermo-Calc软件计算95Cr5MoV钢的相变转变曲线,采用超高温共聚焦显微镜(VL2000DX-SVF17SP)观察碳化物随加热温度升高的变化情况,具体工艺曲线见图1。

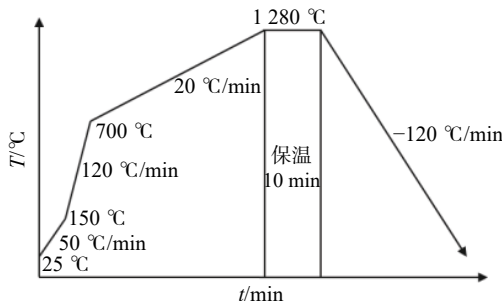


图1 加热工艺曲线
Fig. 1 Heating process curve

1.2.3 高温固溶低温奥氏体循环热处理工艺对碳化物的影响

1)加工3个15 mm×15 mm×15 mm高倍试样,分别加热到1050、1100 °C和1150 °C,保温60 min,出炉油冷,测定晶粒度,根据晶粒度评级结果确定高温固溶温度;

2)采用热膨胀相变仪测定相变点,确定合适的低温奥氏体温度;

3)制定热处理工艺方案:高温固溶1100 °C×保温1 h,油淬→880 °C循环奥氏体化(循环次数1、3)×保温1 h,油淬→740 °C×保温6 h,空冷的试验方案。

1.2 试验方法与方案

1.2.1 热力学相变分析与碳化物类型检验

应用Thermo-Calc软件对95Cr5MoV用钢进行平衡状态和非平衡态凝固模拟计算,分析碳化物在平衡状态与非平衡态随着温度变化规律,然后对试验材料采用扫描电镜分析碳化物形貌,并运用能谱仪检测碳化物的各元素含量。

2 试验结果与分析

2.1 热力学相变分析

1)平衡凝固析出相分析

采用Thermo-Calc软件计算95Cr5MoV钢种平衡凝固态的性质及各碳化物相的组元含量,结果如图2所示。由图2可知,95Cr5MoV用钢主要含有MC、M₇C₃和M₂₃C₆型碳化物,其中MC相中主要是C和V元素,同时含有少量Mo和Cr元素;M₇C₃相中主要是Cr、C和Fe元素,同时含有少量V和Mo元素;而M₂₃C₆相中主要含有Fe、Cr和C元素,同时含有少量Mo元素。

由图2还可以看出,在平衡凝固态中碳化物的析出规律如下:当温度降低到1170 °C时,MC型碳化物开始析出,其含量较少,在500 °C时最大为2.7%,并一直保留在组织中;当温度降低到1100 °C时,M₇C₃型碳化物析出,当温度降到785 °C时开始析出M₂₃C₆型碳化物;当温度降低到760 °C时,M₇C₃型碳化物的析出量最大,达到10.82%,此时M₂₃C₆型碳化物的析出量为0.4%;温度进一步降至590 °C时M₂₃C₆型碳化物析出量达到最大值,约为9.45%,此时M₇C₃碳化物含量约为3.82%,最终二种碳化物都保留在组织中。因此,平衡凝固状态下的最终凝固组织主要为MC、M₇C₃、M₂₃C₆型碳化物。

2)非平衡状态下析出相分析

利用thermo-calc软件的SCHEIL模块计算了95Cr5MoV冷轧辊用钢非平衡凝固过程中析出物随温度变化曲线,截取固相摩尔分数为0.7~1.0时的结果,如图3所示,图中虚线代表平衡凝固线,实线代表非平衡凝固线。

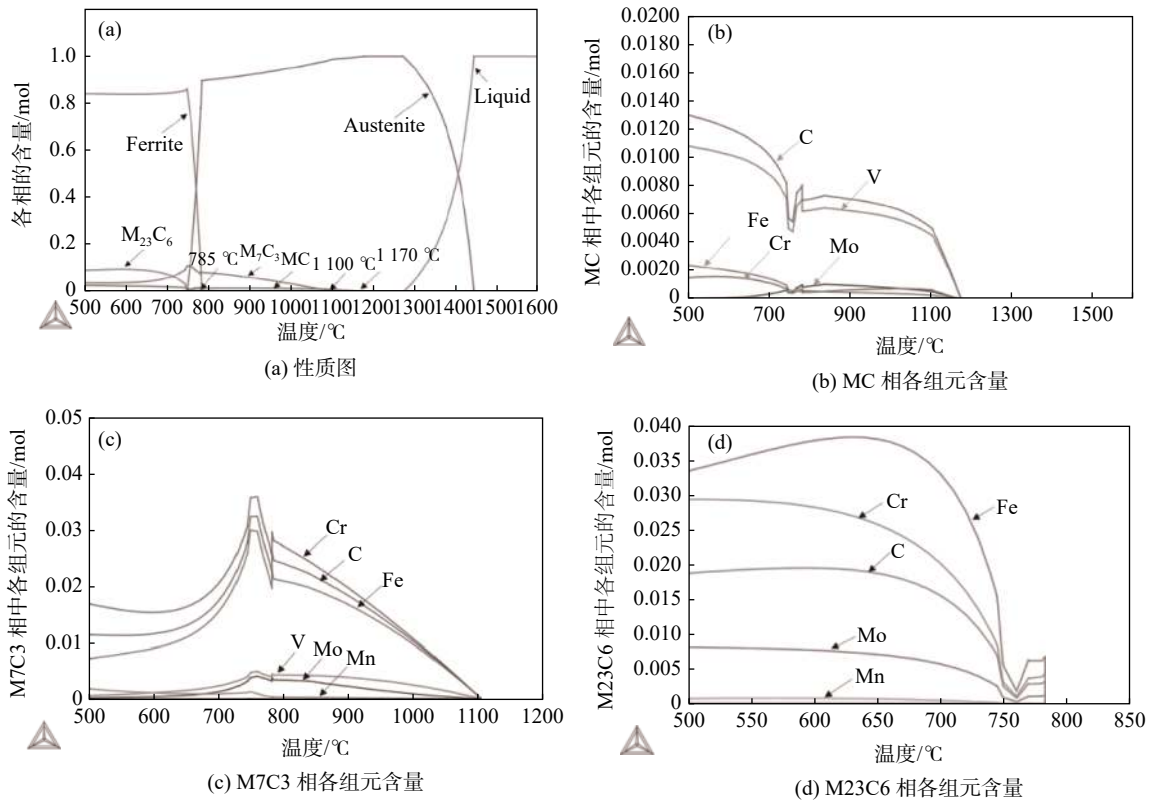


图 2 Thermo-calc 计算 95Cr5MoV 钢的平衡态的性质及碳化物相中组元含量

Fig. 2 Thermocalc calculation of equilibrium properties and component content in carbide phase of 95Cr5MoV steel

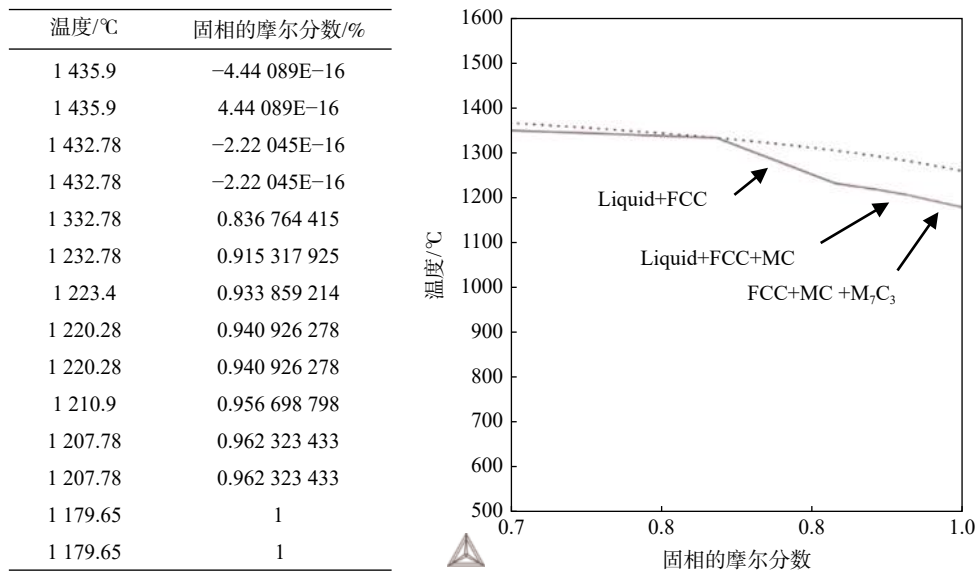


图 3 Thermo-calc 计算 95Cr5MoV 钢的非平衡态的相图

Fig. 3 Thermocalc calculation of non-equilibrium phase diagram of 95Cr5MoV steel

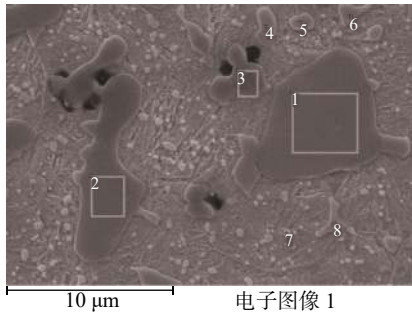
由图 3 可以看出, 非平衡凝固液相完全转变为固相的温度更低, 这是因为合金元素的富集降低了固相线温度。非平衡凝固条件下 MC 是从 1 232 °C 开始从液态中析出, 此时固相分数 83.67%; 而 M_7C_3

是以从凝固后期 1 210 °C 开始析出, 此时, 固相分数约为 96%。因此, MC 和 M_7C_3 型碳化物可称为液析碳化物。液析碳化物形状多为条块状或骨骼状, 常见于锻造变形不足和均质化处理不充分的高碳高

合金钢中。而在平衡凝固过程中 MC 和 M_7C_3 型碳化物分别在固态 1 170 °C 和 1 100 °C 析出, 明显低于非平衡态析出温度。

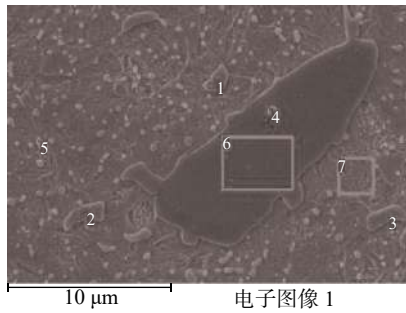
2.2 碳化物形貌观察与分析

图 4、5 给出应用扫描电镜和能谱分析 95Cr5MoV 钢的碳化物类型与含量。



w/%						
谱图	C	V	Cr	Fe	Mo	总的
1	17.08	52.62	16.55	11.29	2.46	100
2	18.98	53.89	13.01	12.79	1.33	100
3	19.55	54.73	12.36	10.35	3.01	100
4	23.93	5.83	26.87	41.11	2.26	100
5	23.92	7.56	25.92	42.6		100
6	24.89	4.41	20.29	46.44	3.97	100
7	23.16		21.28	55.56		100
8	22.94	5.02	22.63	49.41		100

图 4 试样 A 扫描电镜光谱分析
Fig. 4 SEM spectrum analysis of sample A



w/%						
谱图	C	V	Cr	Fe	Mo	总的
1	34.77	6.29	24.22	34.72		100
2	35.75	6.82	23.58	33.85		100
3	36.69	4.96	20.75	32.75	4.85	100
4	31.72	55.48	5.39	4.35	3.06	100
5	21.2		24.71	45.84	8.25	100
6	23.08	39.38	7.36	4.33	25.85	100
7			3.24	96.76		100

图 5 试样 B 扫描电镜光谱分析
Fig. 5 SEM spectrum analysis of sample B

观察图 4、5 可以看出, 半高速冷的轧辊用钢 95Cr5MoV 组织中碳化物有三种形态, 一种呈大块状或条状, 颜色较深, 如试样 A 的图谱 1、2、3 和试样 B 的图谱 6; 能谱分析结果显示 C、V 元素含量高, 同时也有少量的 Cr、Mo 元素, 具有 MC 碳化物典型特征, 结合图 5、6, 推断该碳化物为富 V 的 MC 型碳化物; 另一种碳化物形态呈小条块状, 颜色较深, 能谱分析结果显示 C、Fe 和 Cr 元素含量高, 同时也有少量的 V、Mo 元素, 其具有 M_7C_3 碳化物的特征, 结合图 2, 推断该碳化物为富 Cr 的 M_7C_3 型碳化物; 最后一种形态呈圆滑小颗粒, 颜色较亮, 能谱分析结果显示 Fe、C 和 Cr 元素含量高, 结合图 2, 推断该碳化物为 $M_{23}C_6$ 碳化物。因此, 95Cr5MoV 钢组织中有三种碳化物, MC、 M_7C_3 和 $M_{23}C_6$ 型碳化物。

图 6 给出冷轧辊用半高速钢 95Cr5MoV 碳化物原位观察结果。

从图 6 可知, 大块状 MC 碳化物溶解规律: 在 960 °C 时开始发生明显的溶解, 直观表现为碳化物从中心或边界出现小块灰黑色; 随着温度不断升高,

碳化物溶解不断向边界或中心扩散, 条块状碳化物尺寸逐渐变小, 随着加热温度的增加, 大尺寸碳化物转变为小尺寸碳化物的速度也随之增加, 主要是温度是影响原子扩散速度的最主要因素, 温度越高, C 和 Cr 原子越容易迁移, 扩散速度也越快^[17]; 当温度升高至 1 170 °C 时, 虽然已达到平衡状态下的完全溶解温度, 但组织中还有未溶的条状碳化物, 即使温度达到 1 217 °C 局部出现熔化现象仍然可以观察到未完全溶解的条块状碳化物, 但此时尺寸已明显变小, 其主要原因可能是碳化物的尺寸较大, 而高温共聚焦试验保温时间短, 大块状碳化物未来得及完全溶解和扩散, 因此被保留下来。另外, 对于碳化物周围的基体发生局部熔化的现象, 主要是凝固末期合金元素的偏聚, 碳化物周围宽度 20 μm 的基体范围固相线温度根据与碳化物距离的不同有所波动^[18], 固相线温度低于 1 217 °C 的区域就会发生局部熔化。

2.3 高温固溶低温奥氏体循环热处理结果与分析

2.3.1 相变点温度

采用热膨胀仪测量 95Cr5MoV 用钢的相变点

温度, 其结果显示: 在加热过程中奥氏体组织开始转变点 A_{C1} 约为 804 °C, 终止温度点 A_{cm} 约为 831 °C。因此, 低温奥氏体化温度不应低于 831 °C。考虑到共析钢或过共析钢淬火温度一般在 A_{cm} 以上 30 ~ 50 °C, 因此, 奥氏体温度选择 880 °C。

2.3.2 固溶温度

表 2 和图 7 为实验室不同高温固溶工艺处理的晶粒度结果。图 7(a) 显示, 当固溶温度为 1 050 °C 时, 晶粒度为 6.5 级, 这主要是钢中的 M_7C_3 和 MC 型碳化物还没有完全溶解, 在晶界处起钉扎作用, 晶

粒长大不明显; 当固溶温度选择 1 100 °C 时, 试样晶粒度开始明显长大(图 7b), 晶粒度为 4.0 级, 此时 M_7C_3 型碳化物已基本完全溶解, 而 MC 型碳化物也不断加快溶解, 减弱了晶界的钉扎作用; 当固溶温度为 1 150 °C 时, 晶粒急剧长大, 晶粒度只有 0.5 级(图 7c), 其主要是随着温度进一步的提高, 原子扩散速度越来越快, MC 型碳化物溶解速度也越来越快, 碳化物钉扎作用进一步弱化, 晶粒越来越大。因此, 固溶温度最佳选择 1 100 °C, 保温时间根据试样大小来确定。

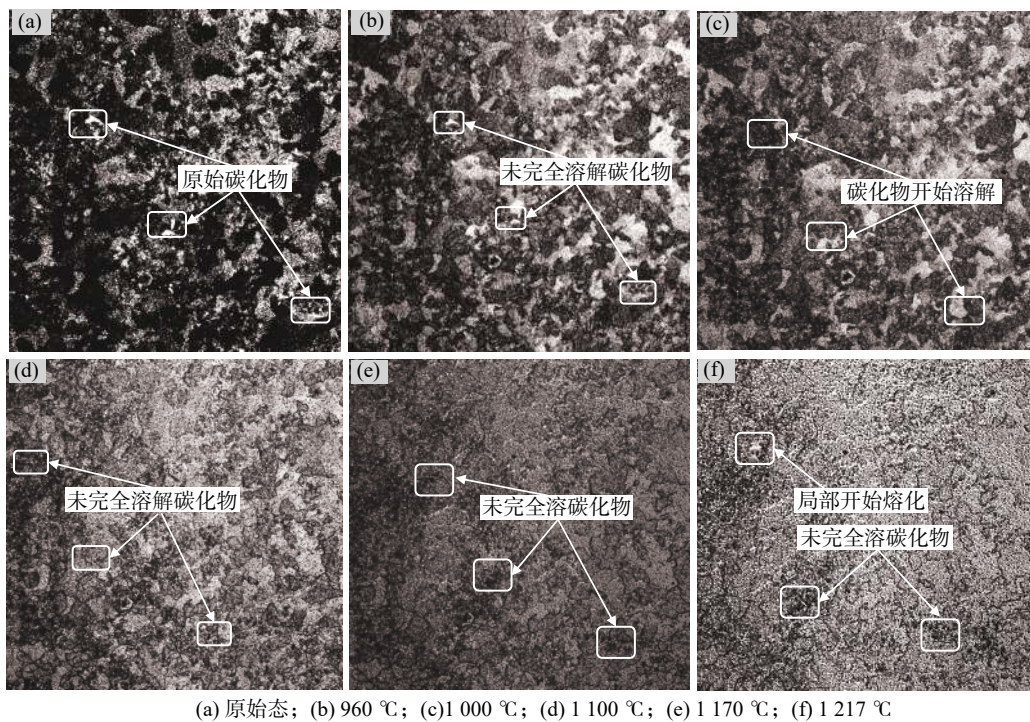


图 6 碳化物随加热温度变化规律
Fig. 6 Variation of carbides with heating temperature

表 2 试验方案及晶粒度检测结果
Table 2 Test scheme and grain size

序号	加热温度 / °C	保温时间 / min	平均晶粒度 / 级	冷却方式
a	1 050	60	6.5	
b	1 100	60	4.0	油冷
c	1 150	60	0.5	

2.3.3 高温固溶+低温奥氏体循环+高温回火工艺

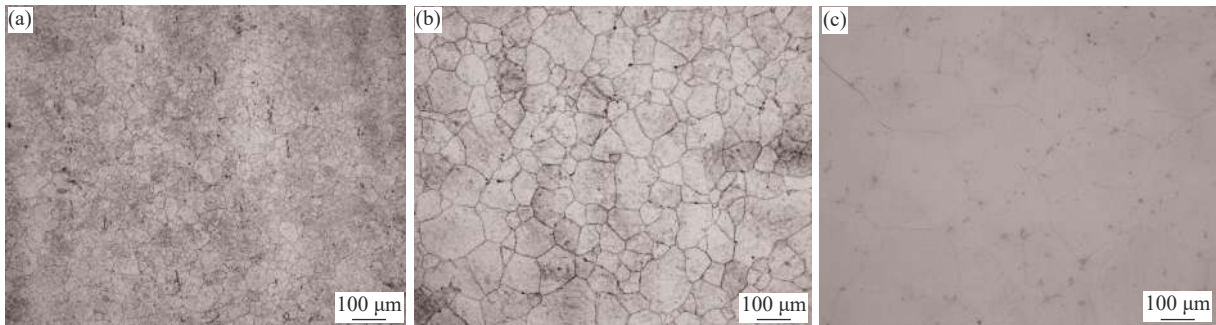
图 8 为 95Cr5MoV 用钢试样采用高温固溶+低温奥氏体循环+高回火工艺处理后不同循环次数的金相照片。

由图 8(c)和(e)可以看出, 95Cr5MoV 钢试样在

高温固溶+880 °C 循环不同次数后的碳化物明显减少, 没有观察到小颗粒 $M_{23}C_6$ 和小条块状 M_7C_3 型碳化物, 只有少量的 MC 型条块状碳化物, 且 MC 碳化物最大尺寸已从 40 μm 左右降低到 <10 μm , 表明 $M_{23}C_6$ 和 M_7C_3 型碳化物已经完全溶解, 这与尹

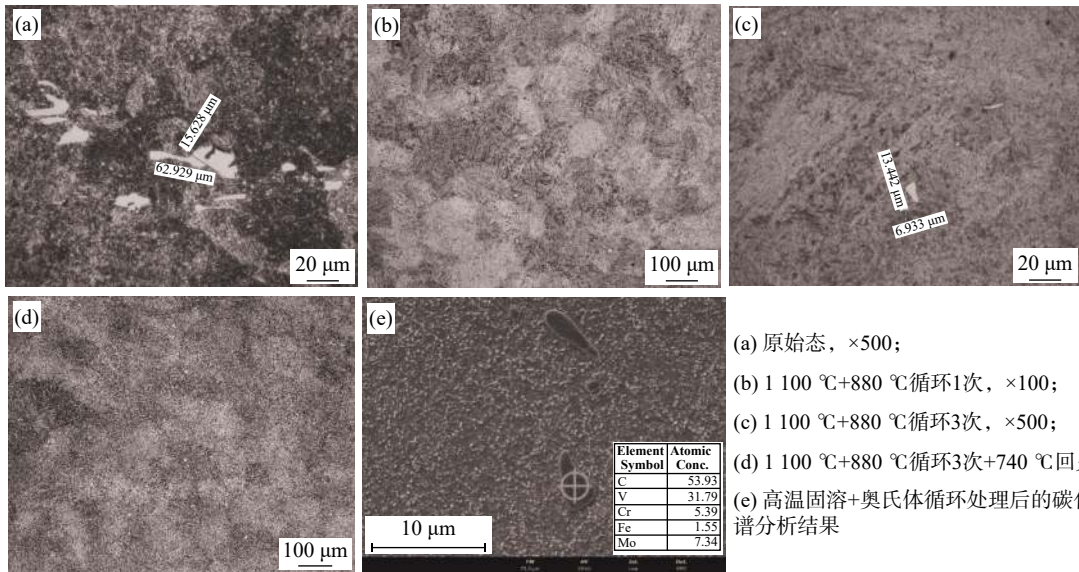
钟大等人^[19]在研究“冷轧工作辊用半高速钢的二次硬化效应”中经高温固溶后只有MC型碳化物的结论是一致的。当880℃奥氏体循环1次时,组织中碳化物尺寸较小,单位面积的碳化物也很小,但组织不均匀;随着循环次数的增加到3次,组织均匀性越来越好。循环相变使奥氏体晶粒度细化,最终能获得晶粒较小的组织,其原因归结于每经过一次加热

及冷却循环,原奥氏体与马氏体之间严格的位向关系就遭受一些破坏,多次循环处理之后,最终破坏了原始的晶体位向关系,改善了钢的原始晶粒度不均匀的组织遗传性^[15]。但随着奥氏体循环次数的增加到5次,碳化物开始发生了Ostwald熟化^[16],不利于组织的均匀性,同时增加生产成本。



(a) 1 050 °C+1 h, 油冷, 晶粒度6.5级; (b) 1 100 °C+1 h, 油冷, 晶粒度4.0级; (c) 1 150 °C+1 h, 油冷, 晶粒度0.5级

图7 不同固溶温度的晶粒度
Fig. 7 Grain size of different solution temperature



(a) 原始态, ×500;
(b) 1 100 °C+880 °C循环1次, ×100;
(c) 1 100 °C+880 °C循环3次, ×500;
(d) 1 100 °C+880 °C循环3次+740 °C回火, ×100;
(e) 高温固溶+奥氏体循环处理后的碳化物能谱分析结果

图8 95Cr5MoV钢试样经1100℃+880℃循环不同次数+740℃回火后的碳化物
Fig. 8 Carbide tempered by 1 100 °C +880 °C cycles of 95Cr5MoV steel samples at different times +740 °C

综上,采用1100℃高温固溶+880℃三次循环+740℃的碳化物的细化工艺,可以获得非常令人满意的效果,这种工艺细化碳化物的机制为:95Cr5MoV钢是一种高碳过共析合金钢,将其加热至1100℃保温1h可使碳化物大部分溶解,且获得单相奥氏体,在其后的淬火过程中,组织转变为马氏体+碳化物+残余奥氏体;加热到880℃,其温度

稍高于A_{cm}温度,组织为奥氏体与碳化物,由于加热温度不高,所形成的奥氏体晶粒与碳化物颗粒均细小,淬火后获得较细的马氏体+细小碳化物+少量残余奥氏体。在进行多次循环时,由于加热温度不变,碳化物不会发生急剧长大,通过这些未溶碳化物对奥氏体晶界的钉扎作用使奥氏体晶粒细化,进而使淬火马氏体细化,最后经740℃回火得到铁素

体+细小碳化物的组织。

3 工业验证

对碳化物粗大的两支 $\phi 450\text{ mm}$ 冷轧辊 95Cr5MoV 采用高温固溶+低温奥氏体循环 3 次+高温退火, 工艺曲线见图 9, 处理后的组织与碳化物结果见图 10。

从图 10 可知, 经“高温固溶+低温奥氏体循环 3 次+高温退火”较原“980 °C 正火+860 °C 扩氢+740 °C 球化退火”热处理后的碳化物明显减小且组织更均匀, 均满足“GBT 13314—2008 锻钢冷轧工作辊通用技术条件”标准要求。

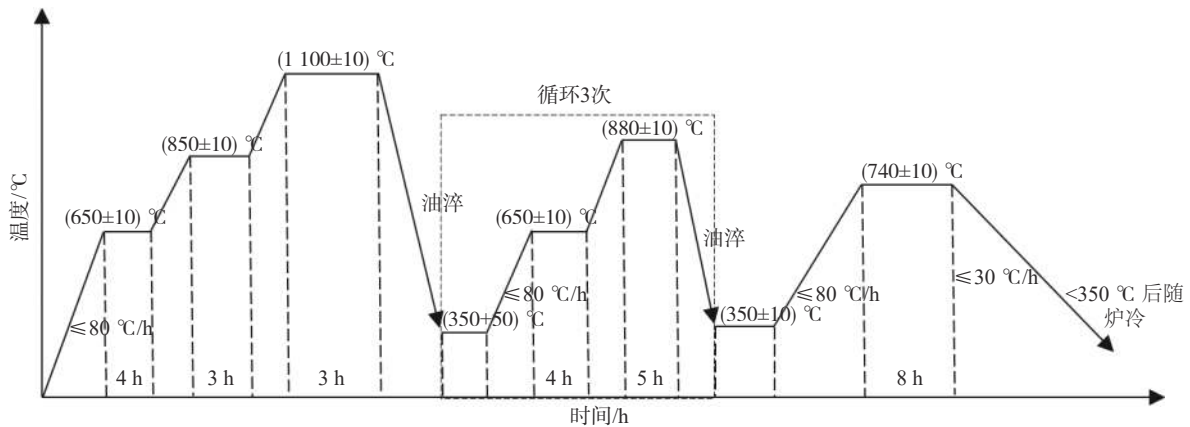
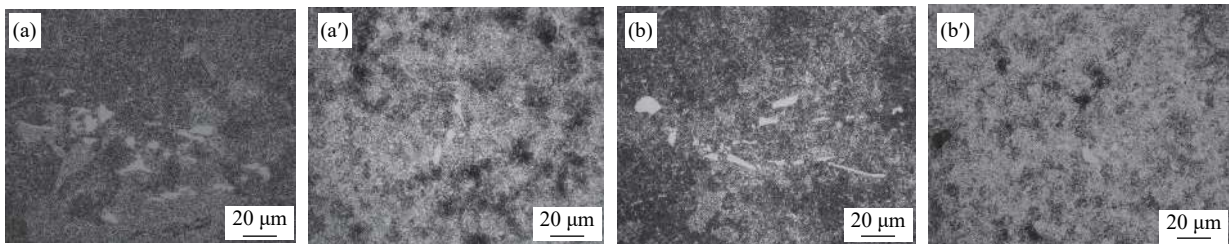


图 9 热处理工艺曲线
Fig. 9 Heat treatment process curve



(a) 辊坯1, 原工艺; (a') 辊坯1, 新工艺; (b) 辊坯2, 原工艺; (b') 辊坯2, 新工艺

图 10 辊坯热处理前后的金相组织 $\times 500$

Fig. 10 Metallographic structure of roll blank before and after heat treatment $\times 500$

4 结论

1) 冷轧辊用半高速钢 95Cr5MoV 平衡态的碳化物类型主要有 MC、 M_7C_3 和 $M_{23}C_6$ 型, 其中大块状碳化物为富 V 的 MC 型碳化物, 小条块状碳化物为富 Cr 的 M_7C_3 型碳化物; 小颗粒状碳化物为富 Cr 的 $M_{23}C_6$ 型碳化物。平衡凝固态下的 $M_{23}C_6$ 型碳化物在 785 °C 完全溶解到基体中; 小条块状 M_7C_3 型碳化物 1100 °C 完全溶解到基体中, 大块状 MC 型碳化物 1170 °C 完全溶解到基体中。

2) 冷轧辊用半高速钢 95Cr5MoV 非平衡态下 MC 从 1232 °C 开始从液态中析出, 此时固相分数

83.67%, 而 M_7C_3 是从凝固后期 1210 °C 开始析出, 此时, 固相分数约为 96%, 均高于平衡态下的析出温度。

3) 原位观察大块状 MC 型碳化物在 960 °C 开始溶入基体, 当温度升高到 1170 °C 时大部分碳化物已溶解, 但一直到 1217 °C 局部碳化物周围的基体发生熔化时仍有少量碳化物存在。

4) 采用“1100 °C 高温固溶+880 °C 三次低温奥氏体循环+740 °C 退火”热处理细化工艺可将大块状液析 MC 型碳化物的尺寸从 40 μm 下降到 10 μm 以下, 且组织均匀性好。

参考文献

[1] Jia Jianping. Technology status and development trend of roller manufacturing industry in China (2)[J]. Technology Forum,

- 2008, (10): 27-29.
(贾建平. 中国轧辊制造业技术现状与发展趋势(下)[J]. 技术论坛, 2008, (10): 27-29.)
- [2] Zhang Dajian. Current situation and development trend of cold roll material[J]. *Jiangsu Metallurgy*, 2007, 35(3): 14-16.
(章大健. 冷轧辊材质的现状与发展趋势浅谈[J]. 江苏冶金, 2007, 35(3): 14-16.)
- [3] Wang Tianyi, Cao Jianfang, Rao Jianhua. Present situation and trend of roll materials and heat treatment technology[J]. *Nanfeng Metal*, 2005, (1): 4-10.
(王天义, 曹建芳, 饶建华. 轧辊材料及其热处理工艺发展的现状与趋势[J]. 南方金属, 2005, (1): 4-10.)
- [4] Wang Dongran. Numerical simulation and experimental study on quenching process of Cr8 steel forging work roll[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2013.
(王东冉. Cr8 钢锻造工作辊淬火过程的数值模拟及实验研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2013.)
- [5] Liu Defu, Yin Zhongda. High speed steel and semi high speed steel roll[J]. *Iron and Steel*, 2004, 39(4): 69-73.
(刘德富, 尹钟大. 高速钢及半高速钢轧辊[J]. 钢铁, 2004, 39(4): 69-73.)
- [6] Chen Hun. Research on forging deformation technology for controlling the quality of steel cold roll blank[D]. Shanghai: Shanghai University, 2012.
(陈馄. 控制冷轧辊坯质量的锻造变形工艺研究[D]. 上海: 上海大学, 2012.)
- [7] Liu Yujin, Chen Wei, Cao Jing, *et al.* Research and application of new type steel work roll in continuous acid milk machine[C]//Proceedings of the 9th Annual Youth Academic Conference of China Metal Society. Ma'an Shan: China Metal Society, 2018: 331-332.
(刘玉金, 陈伟, 曹静, 等. 新型钢工作辊在酸连乳机的研究与应用[C]//第九届中国金属学会青年学术年会论文集. 马鞍山: 中国金属学会, 2018: 331-332.)
- [8] Xu Yongmei. Effect of forging and heat treatment process on defects, microstructure and properties of MC5 cold roll blank[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014.
(徐咏梅. 锻造及热处理工艺对MC5冷轧辊坯缺陷与组织性能的影响[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.)
- [9] Zhou Li, Sun Dale, Liu Changsheng, *et al.* Oxidation behavior of carbides in roll materials of new type steel for hot rolling roughing[J]. *Iron and Steel*, 2007, 42(8): 69-73.
(周利, 孙大乐, 刘常升, 等. 热轧粗轧用新型钢轧辊材料中碳化物的氧化行为[J]. 钢铁, 2007, 42(8): 69-73.)
- [10] Liu Defu, Yin Zhongda, Xu Dexiang, *et al.* Dissolution and precipitation of carbides in semi high speed steel for cold rolling work roll[J]. *Iron and Steel*, 2005, 40(4): 69-71, 82.
(刘德富, 尹钟大, 徐德祥, 等. 冷轧工作辊用半高速钢中碳化物的溶解和析出[J]. 钢铁, 2005, 40(4): 69-71, 82.)
- [11] Lu Sha, Guo Qiujuan, Tian Mingyan. Research on microstructure and carbide type of semi high speed steel roll[J]. *Heavy Casting and Forging*, 2017, 2: 3-6, 49.
(鲁莎, 郭秋娟, 田明艳. 半高速钢轧辊显微组织和碳化物类型研究[J]. 大型铸锻件, 2017, 2: 3-6, 49.)
- [12] Wu Qiong. Research on tempering microstructure transformation of nitrogen containing semi high speed steel cold roll material[J]. *Heavy Machinery*, 2020, 2: 25-31.
(吴琼. 含氮半高速钢冷轧辊材料回火组织转变研究[J]. 重型机械, 2020, 2: 25-31.)
- [13] Zhang Yu, Zhang Zhibo, Zhao Weidong. Effect of solution temperature on microstructure and properties of high temperature resistant bearing steel[J]. *Metal Heat Treatment*, 2015, 40(3): 151-154.
(张瑜, 张志波, 赵卫东. 固溶温度对耐高温轴承钢组织与性能的影响[J]. 金属热处理, 2015, 40(3): 151-154.)
- [14] Ying Junlong, Shen Guoxi, Chao Minxuan, *et al.* Study on double refining process of solid solution cyclic phase transformation for CrMnMo die steel[J]. *Hot Working Process*, 2019, 48: 167-169.
(应俊龙, 沈国喜, 巢昶轩, 等. CrMnMo模具钢固溶-循环相变双细化工艺研究[J]. 热加工工艺, 2019, 48: 167-169.)
- [15] Liu Guangchao. Development of secondary electroslag remelting and carbide superfine process for MC5 cold roll[D].

Shenyang: Northeast University, 2015.

(刘广超. MC5冷轧辊二次电渣重熔与碳化物超细化工艺开发[D]. 沈阳: 东北大学, 2015.)

- [16] Xu Hun, Hou Xinghui, Liu Xi, *et al.* Carbides ultrafine process of MC5 forged steel for cold roll, metal heat treatment[J]. *Metal Heat Treatment*, 2018, 43(8): 103–106.

(徐焜, 侯兴慧, 刘喜, 等. 冷轧辊用MC5锻钢的碳化物超细化工艺[J]. *金属热处理*, 2018, 43(8): 103–106.)

- [17] Xu Jing, Yang Yitao. Study on carbide evolution in austenitizing process of MC5 cold roll steel[J]. *Materials Science and Technology*, 2014, 22(3): 93–97.

(徐京, 杨弋涛. MC5 冷轧辊钢奥氏体化过程碳化物演变的研究[J]. *材料科学与工艺*, 2014, 22(3): 93–97.)

- [18] Mao Mingtao, Guo Hanjie, Sun Xiaolin, *et al.* High temperature behavior of liquidus carbide in H13 steel based on in-situ observation[J]. *Acta Engineering Sinica*, 2017, 39: 1174–1181.

(毛明涛, 郭汉杰, 孙晓林, 等. 基于原位观察的 H13 钢中液析碳化物高温行为研究[J]. *工程科学学报*, 2017, 39: 1174–1181.)

- [19] Yin Zhongda, Liu Defu, Xu Dexiang, *et al.* Secondary hardening effect of semi high speed steel for cold rolling work roll[J]. *Iron and Steel*, 2006, 41(2): 72–75.

(尹钟大, 刘德富, 徐德祥, 等. 冷轧工作辊用半高速钢的二次硬化效应[J]. *钢铁*, 2006, 41(2): 72–75.)

编辑 杨冬梅

Bluejay 和力拓在芬兰钛锆矿山开始钻探

(2021年5月28日)在格陵兰和芬兰有项目的勘探开发公司 Bluejay Mining(JAY.L)近日宣布, 芬兰东部伊诺科斯基镍铜钴项目的首次钻探和现场项目现已开始与该公司的合资伙伴力拓矿业和勘探。

根据公司声明, 针对恩诺科斯基内 Tevanjoki 和 Laukunsuo 地区矿化的 3000m 钻井计划, 随后将由合资伙伴进行一段时间的分析。钻井完成后, 将在计划 2021 年夏秋的 Enonkoski-Ni-Cu Co 项目区内进行额外勘探活动。

Bluejay 在芬兰东部拥有三个大型项目区域: Enonkoski Ni Cu Co 项目、Hammaslahti Cu-Zn Au Ag 项目和 Outokumpu Cu-Co-Zn-Ni-Au Ag 项目。蓝杰最近与力拓签署了一家价值 2000 万美元的合资企业, 并与力拓就 Enonkoski-Ni-Cu Co 项目达成协议, 宣布于 2020 年 11 月 10 日。

Bluejay 在伦敦 AIM 市场和法兰克福证券交易所上市, 其股票也在 OTCQB 市场在美国交易。在格陵兰和芬兰有项目, 其最先进的项目是格陵兰的邓达斯-伊尔梅尼特项目, 该项目近期正在向生产方向发展。

摘自 <http://www.cbcie.com/news/1014159.html>