

铜对塑料模具钢高温冷却过程相变和淬透性的影响

李丹 闵永安 吴晓春

(上海大学材料科学与工程学院, 上海 200072)

【摘要】 试验研究了Cu对高淬透性塑料模具钢淬透性的影响。结果表明:含铜和不含铜的试验钢都具有高淬透性;其中不含铜的T1钢奥氏体化后在冷速为0.03℃/s条件下,出现屈氏体;其它元素含量基本相同的含铜T2钢具有比T1更高的淬透性,在冷速为0.01℃/s条件下即能获得全马氏体。研究表明:Cu的添加可明显抑制奥氏体高温冷却过程向铁素体、珠光体的相变。

【关键词】 含铜模具钢 高温冷却相变 淬透性

INFLUENCE OF Cu ON HIGH TEMPERATURE COOLING TRANSFORMATION AND HARDENABILITY OF PLASTIC MOULD STEEL

Li Dan Min Yong'an Wu Xiaochun

(School of Materials Science and Engineering, Shanghai University)

【Abstract】 The effect of Cu on the hardenability of plastic mould steel with high hardenability was studied. The results showed that both the free Cu T1 steel and T2 steel containing Cu owned the high hardenability. There were troostite appeared in T1 steel when cooling rate was 0.03℃/s. T2 steel had the lower C, Si, Mn, and Mo contents than that of T1 steel but showed a higher hardenability than T1 steel. There was martensite completely in T2 steel on the condition of 0.01℃/s cooling speed that meant the addition of Cu could inhibit the high temperature transformation strongly.

【Key Words】 Copper Mould Steel, High Temperature Cooling Transformation, Hardenability

高淬透性的模具钢要求在比较低的冷速下可得到马氏体或马氏体与贝氏体的混合组织,而避免出现铁素体、珠光体等组织。尤其是大型或超大型铸锻件,包括大截面模块都要求进一步提高钢的淬透性,使其获得均匀的组织 and 良好的截面硬度均匀性。

模具钢通常采用钼、镍、硅、锰等合金元素,这些合金元素对于钢淬透性的影响已有诸多的研究^[1-5],而铜对于钢淬透性的影响则研究得较少。作为合金元素,铜可以使铁碳平衡相图中的 γ 相区扩大,还可以提高钢的耐腐蚀性能^[6-7]、切削性能^[8-9],并且会以 ϵ -Cu的形式析出造成钢的强化^[10-12]。在低淬透性钢中,固溶于奥氏体中的铜可以使珠光体和贝氏体转变的孕育期增长^[13-14],

但在多元高合金钢中,由于存在元素之间的交互作用,一部分合金元素在钢中会以第二相的形式存在,而对于淬透性的影响只有固溶在钢中的那部分合金元素起作用。有研究表明,原始组织及热处理工艺也会对钢的淬透性造成影响^[15-16]。由此要正确得出一种合金元素对钢淬透性的影响是很困难的。

传统测定钢淬透性的方法为端淬法,但是对于超高淬透性钢来说,空冷即可完全淬硬。因此采用传统方法很难评价其淬透性。

为此,本文设计了一种新的研究方法,即采用高真空非自耗电弧炉熔炼试验钢,使钢液快速凝固避免第二相析出,即所有合金元素都充分固溶到钢中,以便准确研究合金元素对淬透性的影响。

通过测定奥氏体化后不同冷却速度下的组织转变,求得全马氏体转变的临界冷速来比较钢的淬透性。

1 试验方法

试验材料 T1、T2 是根据国外截面厚度 1 000 mm、单重达 25 t 塑料模具钢模块,其心部不出现铁素体、珠光体等相的超高淬透性钢的成分为基准而设计。

采用高真空非自耗电弧炉熔炼配制试验料,试验料置于水冷铜坩埚内,在一次电弧熔炼过程中,间断地施加数次电磁场控制电弧和搅拌钢液,熔炼钢液在水冷铜坩埚中快速凝固,使合金元素充分固溶于试验锭中。经过 3 次同样重复熔炼,得到重 100 g 的试验锭。化学成分如表 1 所示。为了确保成分均匀性,试验锭在 1 200 ℃ 高温下扩散退火 3 ~ 4 h,取出后急冷;随后在 SEM 下观察有无第二相碳化物。

表 1 化学成分(质量分数,%)

	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu
T1	0.28	0.20	1.73	1.96	0.39	0.63	-
T2	0.25	0.27	1.58	1.20	0.27	0.59	1.37

将上述热处理后无第二相析出的试验锭加工成若干 2 mm × 4 mm × 10 mm 的矩形试样,在 DIL805A 相变仪上研究试验钢的高温冷却过程的相变行为:将试样以 10 ℃/s 的速率从室温加热至 900 ℃,奥氏体化 5 min,然后以 10 ℃/s 的速率冷至 750 ℃,在 750 ℃ 分别以不同冷速冷却至 550 ℃,限于试验条件最小冷速为 0.01 ℃/s,550 ℃ 以下再以 10 ℃/s 的速度冷却至室温。

为检验上述非平衡条件下获得的原始试样中是否存在第二相碳化物,在高倍 SEM 条件下进行了微观组织的观察。

此外,采用 Jmatpro 相图分析软件研究了理想平衡条件下两种试验钢在不同温度下的平衡相。

2 试验结果

2.1 铸态及高温均匀化组织

图 1 为试验钢铸态组织,两种试验钢均为粗大的马氏体针,观察不到碳化物的存在。铸锭经高温均匀化处理后,在 SEM 下观察到的组织见图 2 所示,两种试验钢中也均未观察到碳化物。表明所制备的试样符合试验设定的条件,即无碳化物等析出相,合金元素完全固溶于钢中。

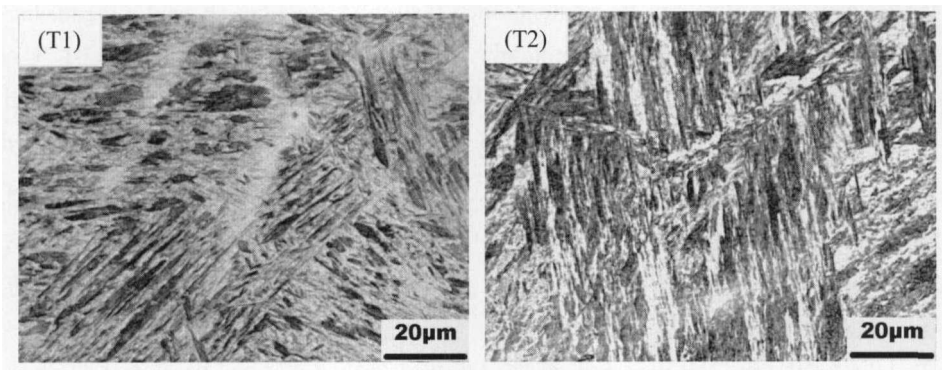


图 1 试验钢铸态组织

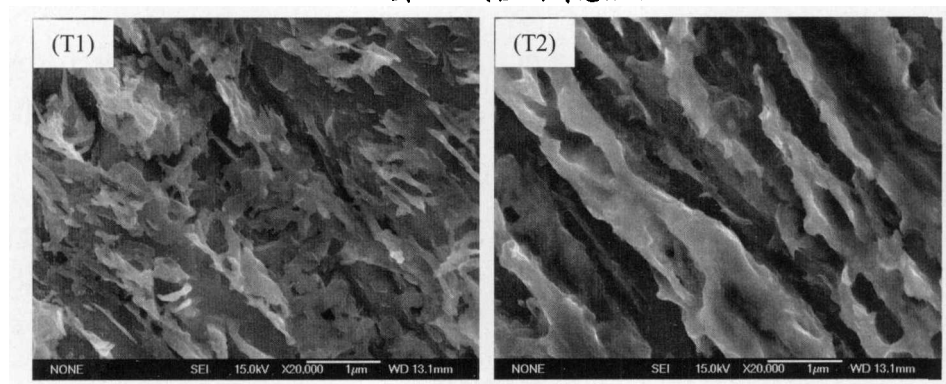


图 2 高温均匀化后两种试验钢组织

2.2 不同冷却速度下的组织转变

图3(a)是在750~550℃温度区间以0.03℃/s进行冷却时两种试验钢的过冷奥氏体膨胀量变化曲线。从图中可以很明显看出,两种试验钢的曲线为两条平行的直线,也就是说在以0.03℃/s的冷却速度冷却时,两种试验钢都没有出现相变。换言之,两种试验钢都具有很高的淬透性。550℃以后是以10℃/s的冷速进行冷却,膨胀曲线如图(b)所示,显示在325℃左右两钢均开始相变,因为在前期没有发生铁素体或珠光体的相变,所以金相组织都为马氏体(参见图5)。

750 ~

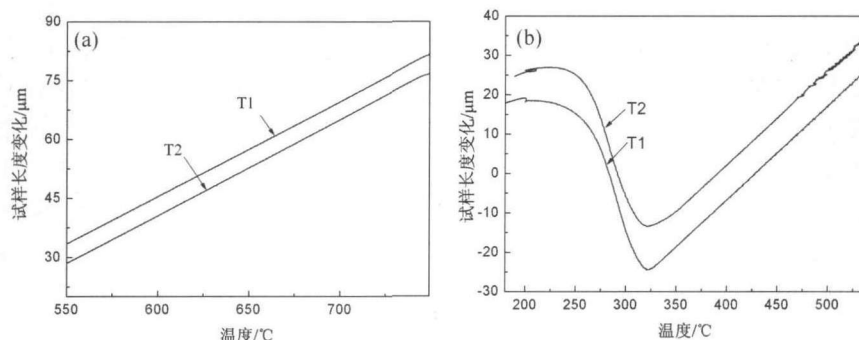


图3 试验钢0.03℃/s冷速下的相变特性

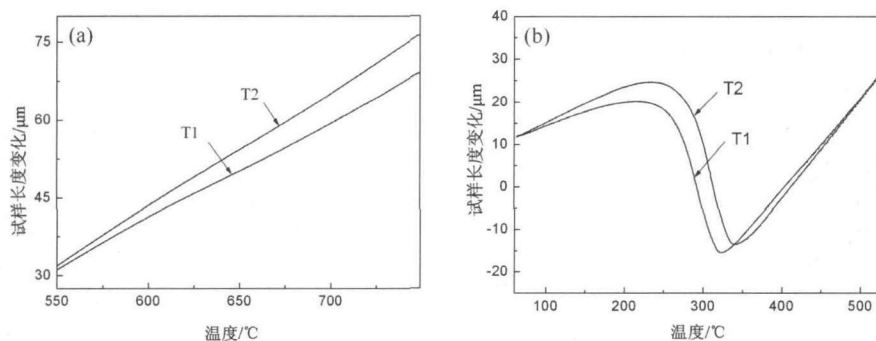


图4 试验钢0.01℃/s冷速下的相变特性

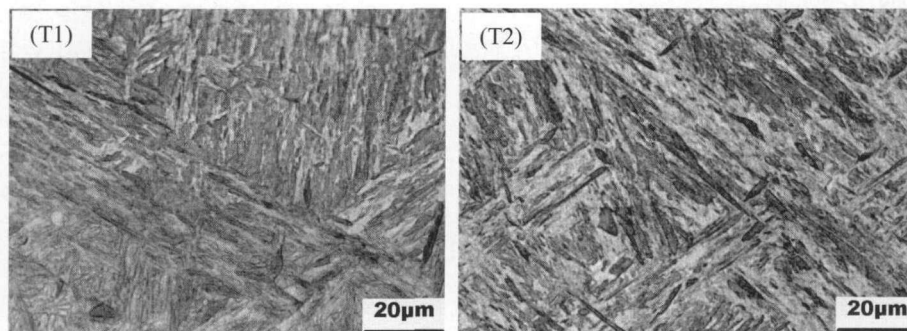


图5 试验钢0.03℃/s冷速时对应的金相组织

却时的试验钢膨胀曲线如图4(a)所示,可以看出,T2钢的膨胀曲线依然接近一条直线,而T1钢的膨胀曲线发生了变化,表明T1钢在750~550℃的温度区间内出现相转变。随后以10℃/s的冷速进行冷却时,可以从图4(b)中看到T1钢低温区总的膨胀量小于T2钢,说明T1钢奥氏体转变下马氏体的量小于T2钢,一部分奥氏体已在550℃以上温度转变为其它相。从图6金相组织中可以看出,T1钢中出现了高温转变相屈氏体;而T2钢在0.01℃/s冷速下的相变组织依然为全马氏体。这就意味着T2钢较T1钢淬透性要

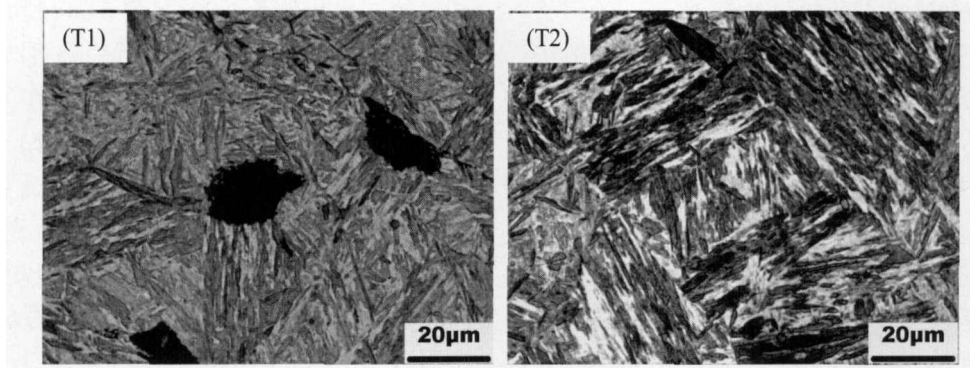


图6 试验钢0.01 °C/s冷速时对应的金相组织

尽管 T2 钢比 T1 钢的碳、硅、锰、钼的含量均稍低,但在添加了 1.37% 的铜后,其淬透性明显比 T1 钢的淬透性高。虽受限于实验条件,未能获得试验钢的全马氏体相变的临界冷却速度,不能获知含铜 T2 钢比 T1 钢淬透性提高的确切尺度,但本试验已经正确反映了铜对高淬透性模具钢在组织和淬透性提高方面具有的价值。

2.3 平衡相图计算

为了更好地研究铜在高淬透性钢中的作用,必须保证钢中不存在碳化物,合金元素都固溶

入基体,从而充分显示合金元素对淬透性的作用。因此采用 Jmatpro 计算软件,计算了平衡条件下试验钢中第二相的平衡相图。由图 7 可以看出,T1 钢第二相的种类较 T2 钢少。计算得知两种试验钢中的 $M_{23}C_6$ 型和 M_7C_3 型碳化物都主要是铬、钼、锰的碳化物,T2 钢中由于添加了铜,使得碳化物溶入奥氏体的温度点由 771 °C 降至 736 °C,降低了 35 °C,表明碳化物在相对较低的温度下即可完全溶入奥氏体当中。这说明含铜钢更易奥氏体化,更有利于马氏体的相变。

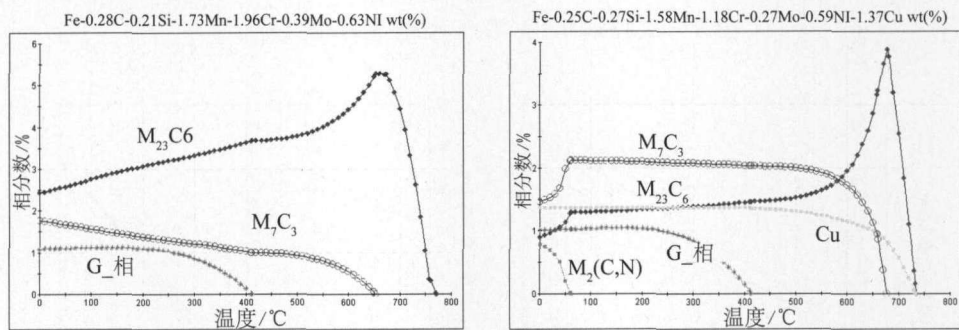


图7 试验钢中第二相平衡相图

3 结论

本文所设计的试验方法,使 T1 钢和 T2 钢都无析出相析出,从而可以正确进行淬透性的比较;高精度相变试验表明 T1 钢和 T2 钢都具有较高的淬透性;其中 T1 钢在冷速为 0.03 °C/s 时,出现屈氏体,含铜 T2 钢在碳、硅、锰、钼等合金元素均较 T1 低的情况下,具有比 T1 还要高的淬透性,在冷速为 0.01 °C/s 时也没有出现铁素体或珠光体,表明铜能进一步提高高淬透性模具钢的淬透性。

参考文献

[1] 林昌,柳得楷,付杰,等.微合金钢中变形奥氏体等温转变产

物的组织与强度[J].材料研究学报,2001,15(2):230-238.

[2] 陈秀云,姜忠良,方鸿生.预硬型贝氏体钢中合金元素的作用[J].清华大学学报(自然科学版),1999,39(10):8-11.

[3] 潘金平,季诚昌,汪宏斌,等.新型贝氏体钢的研制[J].材料热处理技术,2008,37(6):18-21.

[4] 方鸿生,冯春,郑燕康,等.新型 Mn 系空冷贝氏体钢的创制与发展[J].热处理,2008,23(3):2-19.

[5] 陈秀云,方鸿生.硅对易切削贝氏体塑料模具钢性能的影响[J].兵器材料科学与工程,1999,22(4):23-27.

[6] 王月,崔锡金,余宗森.08CuPVRE 和 08CuP 钢的抗大气腐蚀性能[J].北京科技大学学报,1990,12(4):382-388.

[7] Zhang Z X, Lin G, Xu Z. Effects of light pre-deformation on pitting corrosion resistance of copper-bearing ferrite antibacterial

- stainless steel[J], Journal of Materials Processing Technology, 2008, 205(1-3):419-424.
- [8] 耿鸿明,吴晓春,汪宏斌,等. 铜、硫元素对 4Cr13 不锈钢切削性能及耐腐蚀性能的影响[J]. 钢铁研究学报,2008, 20(8):42-45.
- [9] 耿鸿明,吴晓春,汪宏斌,等. 铜对 4Cr16Mo 模具钢切削性能及耐腐蚀性能的影响[J]. 钢铁,2008, 43(2):86-88.
- [10] Ghosh S K, Haldar A, Chattopadhyay P P. On the Cu precipitation behavior in thermomechanically processed low carbon microalloyed steels[J]. Materials Science and Engineering: A, 2009, 519(1-2):88-93.
- [11] Arindam Ghosh, Samar das, Subrata Chatterjee. Ageing behavior of a Cu-bearing ultrahigh strength steel[J]. Materials Science and Engineering: A, 2008, 486(1-2):1521-57.
- [12] Aimin Guo, Xinli Song, Jinquan Tang, et al. Effect of tempering temperature on the mechanical properties and microstructure of an copper-bearing low carbon bainitic steel[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, Mineral, Metallurgy, Material, 2008, 15(1):38-42.
- [13] 孙珍宝,朱谱藩,林慧国,等. 合金钢手册(上册)[M],北京:冶金工业出版社,1984:149.
- [14] 汪美善,贺信来. Cu-B 系超低碳贝氏体钢中贝氏体组织形态探讨[J]. 钢铁,1997, 32(6):46-50.
- [15] Andre M, Gautier E, Moreaux F, et al. Influence of quenching stresses on the hardenability of steel, [J]. Materials Science and Engineering, 1982, 55(2):211-217.
- [16] 刘菊东,王贵成,陈康敏,等. 原始组织对 40Cr 钢磨削硬化层的影响研究[J]. 金属热处理,2004, 29(12):61-65.

收修改稿日期:2009-12-29

信息

俄罗斯钢企向美国扩张

俄罗斯为世界第四大钢铁生产国。近年来随着私有化推进,落后产能淘汰,以及大规模现代化改造,俄罗斯钢铁工业焕然一新。从 2008 年开始,俄罗斯成为世界第一大钢铁出口国,这在很大程度上要归功于俄罗斯钢铁企业所拥有的三大竞争优势——原材料、低廉劳动力及能源成本。俄罗斯钢铁产品在国际钢铁市场拥有非常强大的竞争力。俄罗斯大型钢铁公司把进入国际市场看作发展壮大的必要步骤,在进入美国市场的精炼和制造领域,力图巩固北美下游市场的地位方面,俄钢企取得很大成功。

俄罗斯耶弗拉兹钢铁公司(Evraz)2006 年 6 月以 1.1 亿美元收购了美国最大的钒企业斯特查特卡尔(Stratcor)公司 72.9% 的股份,之后成为世界钒市场占有率 23% 的龙头企业。2007 年 1 月,该公司又以 23 亿美元收购了美国最大的厚板、钢管与钢轨生产厂家俄勒冈钢铁公司,后者年产 200 万 t 高附加值钢材。为进一步强化北美中厚板市场,2008 年 1 月,耶弗拉兹又耗资 5.65 亿美元现金收购了美国中厚板生产厂家克拉蒙特(claymont)公司,后者年产优质板材 50 万 t。2008 年 3 月,耶弗拉兹与俄罗斯钢管冶金公司(TMK)联手,共同出资 40.25 亿美元收购 SSAB 在北美的

板材与管材业务,耶弗拉兹为此以 23 亿美元获得了 SSABIPSCO 在加拿大的业务。由此耶弗拉兹扩大了在北美高附加值钢材市场的影响力。

俄罗斯新利佩茨克钢铁公司(简称俄新钢 NLMK)是俄罗斯第四大钢铁生产企业,2009 年 9 月,以 3.5 亿美元全部现金形式收购了美国热轧钢生产厂家 Beta 钢公司。其总体发展战略是瞄准其关键的欧盟和美国市场,扩大经营品种及对下游市场进行整合。

俄罗斯最大的钢铁生产商谢维尔钢铁公司(Severstal)在北美将目标选择为美国强大的汽车工业。从 2004 年开始,谢维尔进军美国钢铁市场,先后并购了密歇根的鲁日工业公司、马里兰州巴尔蒂摩的 Sparrows Point 钢铁厂,2008 年 6 月谢维尔又出资 1.4 亿美元现金收购美国综合钢厂 WCI, WCI 钢公司年产 120 万 t 碳钢扁平材,2008 年 8 月又以 7.75 亿美元收购 Esmark 公司,将其更名为谢维尔惠灵控股公司。谢维尔钢铁公司还拥有密西西比州 SeverCorr 钢铁厂。目前谢维尔钢铁公司北美分公司的年产能已达 1 370 万 t,从而成为美国第三位钢铁生产与经销商,主要生产高质量的汽车用钢板。

韩丕兰 供稿