

试验研究

时效温度对不同铜含量超低碳钢铜析出的影响

韩文习¹,李希海¹,袁鹏举¹,杨忠民²

(1莱芜钢铁集团有限公司,山东 莱芜 271104;2钢铁研究总院 结构材料研究所,北京 100081)

摘要:对两种不同铜含量的超低碳钢在400~600℃温度区间等温时效1h,通过扫描电镜和透射电镜观察分析时效温度对铜析出的影响。结果表明:随着时效处理温度升高,两种含铜试验钢铜析出物数量均呈先增加后减少的趋势;含铜量高的钢(2.04% Cu)在500℃时效处理后析出物数量达到峰值,含铜量低的钢(1.04% Cu)达到值的时效处理温度为550℃;在相同温度时效处理后,含铜量高的(2.04% Cu)钢的析出物量比含铜量低的钢(1.04% Cu)多,但在600℃时效处理时,两者的差别变小。

关键词:超低碳钢;时效温度;铜析出

中图分类号: TG156.92

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2012)05-0027-03

1 前言

含铜超低碳钢经时效后,利用铜的时效析出能起到强烈的沉淀强化效果,具有高强度、高韧性、良好的可焊性及耐蚀性等多种优良性能。利用铜时效沉淀强化作用,还可以使钢材在较宽的冷速范围内保持性能的一致,有效解决超厚大尺寸钢材截面上性能的不均匀性,已经被广泛应用于管线、造船、采油平台、工程机械等工程结构。因而研究铜在钢中的时效析出及沉淀强化规律有重要理论和实践意义。

已有的有关钢中铜析出的研究工作多集中在研究时效时间的影响^[1-2]、 ϵ -Cu析出的结构和成分等^[3],铜含量在1.0%左右。本试验把铜含量提高到2.0%,通过两种不同铜含量试验钢的对比,研究不同时效温度对高铜钢中铜析出的影响。

2 试验材料和方法

试验材料在10 kg真空感应炉冶炼,铸造后锻成

钢坯。在钢坯上切取10 mm × 10 mm × 20 mm的小块进行试验,试验钢成分(质量分数)如下:

1[#]钢, C 0.03%, Cu 1.04%, Ni 1.08%;

2[#]钢, C 0.03%, Cu 2.04%, Ni 2.10%。

将试样进行950℃保温30 min的固溶处理,取出试样水淬;然后分别置于600、550、500、450、400℃的热处理炉中保温1 h后取出水淬。试样经线切割切取0.4 mm厚薄片,砂纸磨细到0.05 mm厚,制成 ϕ 3 mm圆片,在温度为-25~-30℃、6%高氯酸酒精溶液中双喷减薄,通过扫描电镜(SEM)和透射电镜(TEM)对铜析出物进行观察分析。

3 试验结果及讨论

3.1 SEM观察

利用SEM对析出物的成分进行能谱分析,图1分别是随机选取的500℃、550℃和600℃等温时效处理后2[#]钢中析出粒子的形貌。析出物粒子能谱分析其铜含量分别为34.71%、21.36%和14.40%,表明析出物为富铜粒子。

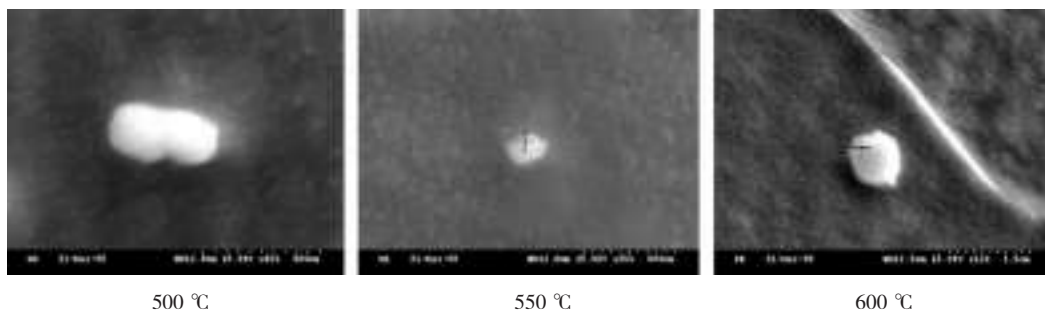


图1 不同温度等温时效的2[#]钢析出物SEM照片

3.2 TEM观察

TEM观察结果表明,两种钢不同温度等温时效

后析出物尺寸大小和数量不同。时效温度为450℃时,基体有少量细小的析出物;温度升高到500℃时,大量弥散细小的析出物数量增加,含铜量高的2[#]钢析出物数量达到峰值;550℃时效时,析出物粒子尺寸较500℃时的大;当时效温度为600℃时,析出

收稿日期:2012-06-08

作者简介:韩文习,男,1974生,1996年毕业于东北大学钢铁冶金专业。现为莱钢技术中心工程师,从事炼钢工艺优化及新产品开发工作。

的数量较550℃有所减少,析出粒子尺寸与550℃相当,1#钢、2#钢析出物数量的差别变小。1#钢550℃析出数量比500℃的多,与2#钢相应温度相

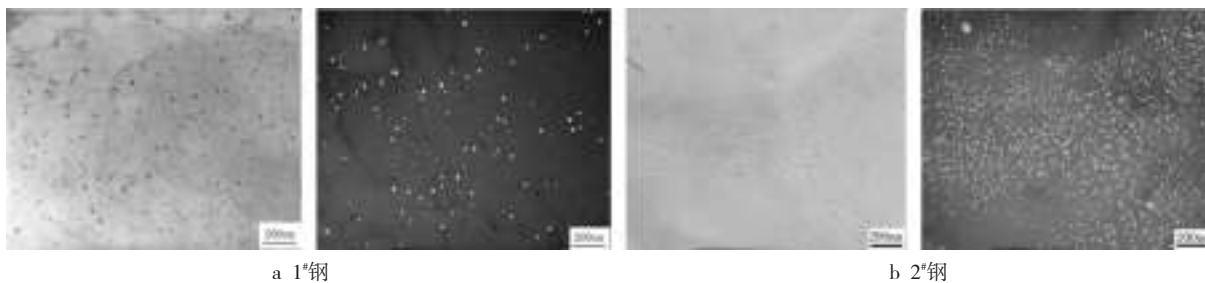


图2 550℃时效处理后1#钢、2#钢透射电镜明暗场照片

比,铜含量低的1#钢析出数量要少得多。图2是550℃时效处理后1#钢、2#钢TEM明暗场照片,此时1#钢析出物数量达到峰值。

对500℃时效处理后的析出颗粒进行选区电子衍射,得到的衍射花样及其标定如图3所示。从图中可以看出,存在大小亮度不同的两套衍射斑点,经标定大而亮的衍射斑是基体 α -Fe(bcc)的衍射花样,小而暗的衍射斑为铜原子偏聚的富铜相的衍射斑点。在中心斑点(000)周围,铜原子偏聚的晶面衍射增强,说明铜原子排列的有序程度在不断增加,直到完全有序,而成为超结构的G..P区。

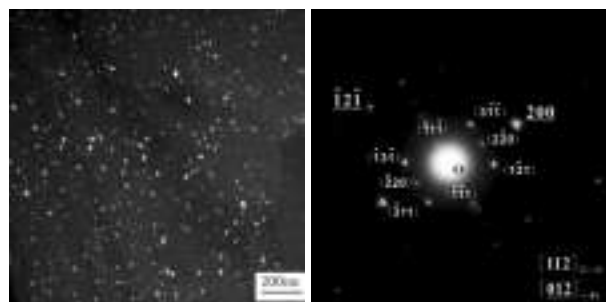


图3 500℃时效处理后2#钢暗场及选区衍射花样标定

3.3 分析讨论

含铜钢通过高温固溶处理得到过饱和固溶体,但过剩的溶质铜原子在固溶体中的分布通常是不均匀的,存在贫化区和富集区^[4],这种铜原子富集区认为是Fe-Cu短程有序结构,称“有序畴”^[5],冷却时就会以某种形式沉淀析出。原因认为是在冷却过程,基体中过剩空位偏聚形成位错圈或凝聚到位错上,在空位消失的同时,部分铜原子发生偏聚形成原子团,当这些原子团长到足够大时,便形成和基体相共格的富铜相,即有序畴。因此,含铜钢在较高温度固溶后直接冷却,然后进行时效处理,由于基体空位浓度高,铜原子沉淀机会较大,沉淀质点相互竞争长大,结果得到细小沉淀粒子。

对于含铜钢中铜的时效析出,多数研究者认为,在时效最初阶段或低温时效析出的是bcc-Cu结构共格原子团,在长大到临界尺寸后失去与基体的共格性^[6-8]。在低温或时效峰值阶段时,铜的析出一般以极其细小的bcc-Cu形式存在^[9]。随着等温时间延长或等温温度升高,bcc-Cu逐渐长大,并转变

为9R多型变体结构,最后转变为fcc-Cu结构。fcc-Cu长大粗化后导致过时效。bcc-Cu原子团的析出对强度的贡献要大于fcc-Cu析出物。共格的bcc-Cu原子团尺寸很小,而且密度较低,在TEM下很难直接被观察到。就析出位置而言,有的铜析出物分布在位错上,在位错上析出的铜颗粒易转变为3R多型变体结构或fcc结构,因此认为位错的存在加速铜的析出和粗化。有的则是从过饱和和基体中直接析出,认为是由于基体中空位的迁移使部分铜原子发生偏聚形成原子团进而形成与基体共格的富铜相。铜富集区的有序畴为沉淀析出创造了有利条件。最近的研究^[9]表明,Fe-Cu二元系中铜的析出过程中不仅会有bcc结构的铜偏聚区、fcc结构的 ϵ -Cu及9R结构,中间还会出现类B2结构的特殊准晶类似相^[10]。由于沉淀析出属于经典的形核成长机制,要求成分涨落产生均匀沉淀,因而这种铜富集区的有序畴必然可为铜的时效析出提供场所。就目前看来,对铜在钢中的沉淀贯序还没有形成统一的认识,且析出过程受诸多因素影响,所以铜在钢中的析出规律还有待进一步研究。

根据文献[11]中铜在 α 铁基体中平衡固溶度的计算公式,计算出的400~600℃平衡固溶度见图4。图4表明,随着温度升高,铜在 α 铁基体中的平衡固溶度增大。结合试验结果和图4,可以解释在本试验条件下,1#钢和2#钢随着温度的升高,析出相变化的原因:随着温度的提高,加速了铜的扩散,促进了沉淀物的析出,但同时也使得铜在钢中的固溶度增加,降低了铜在钢中的过饱和度,在较低温度固溶度较小时,沉淀析出的速度较慢,析出颗粒长大速度慢,析出相少而小。而随着温度的提高,析出相数量增加,到达一定温度之后,达到峰值;随后随着温度继续提高,铜析出颗粒长大粗化,固溶于基体中的铜量也增多,沉淀析出颗粒长大,数量减少,对位错的钉扎作用减弱,析出粒子呈过时效状态,对材料的析出强化作用降低。

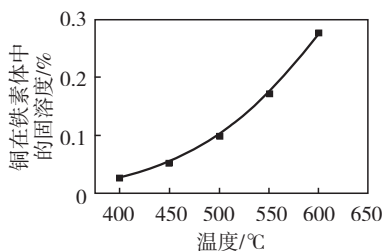


图4 铜在铁素体中的平衡固溶度

与铜含量低的1#钢相应温度时效结果相比,铜含量高的2#钢析出相数量多。原因是在相同的固溶条件下,铜含量越高,固溶于基体中的铜量就越高,当经相同温度时效处理后,铜颗粒的沉淀析出数量就越多。

4 结论

4.1 等温时效处理条件下,随着时效处理温度升高,两种含铜试验钢铜析出物数量均呈先增加后减少的趋势。随着时效处理温度进一步提高,由于铜的固溶度增大和析出物的熟化,析出颗粒数量减少,体积变大。

4.2 在本试验的温度条件下,不同铜含量的钢等温时效处理后,含铜量高的钢(2.04% Cu)在500 °C时效后析出物数量达到峰值,含铜量低的钢(1.04% Cu)达到值的时效处理温度为550 °C。

4.3 相同温度时效处理后,含铜量高的(2.04% Cu)钢的析出物量比含铜量低的钢(1.04% Cu)高,但在

600 °C等温时效处理后,两者的差别变小。

参考文献:

- [1] 安治国,任慧平,刘宗昌,等.1.18Cu高纯钢等温时效时富铜相的析出行为[J].特殊钢,2006,27(2):20-22.
- [2] 李闯,王学敏,周桂峰,等.低碳贝氏体钢中的时效析出行为[J].北京科技大学学报,2006,28(6):534-538.
- [3] 尹桂全,杨才福,吕忆农.超低碳含铜微合金钢中时效析出相的晶体结构[J].材料热处理学报,2010,31(12):91-96.
- [4] 章守华.合金钢[M].北京:冶金工业出版社,1981.
- [5] 余永宁.金属学原理[M].北京:冶金工业出版社,2000.
- [6] N. Maruyama, M. Sugiyama, T. Hara, et al. Precipitation and Phase Transformation of Copper Particles in Low Alloy Ferritic and Martensitic Steel [J]. Materials Transactions, JIM, 1999, 40 (4):268-277.
- [7] S. K. Dhua, D. Mukerjee, D. S. Sarma. Influence of Tempering on the Microstructure and Mechanical Properties of HSLA-100 steel Plates [J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2001, 32(9):2 259-2 270.
- [8] A. GHOSH, B. MISHRA, S. DAS, et al. Microstructure, Properties and Age Hardening Behavior of a Thermomechanically Processed Ultralow-Carbon Cu-Bearing High-Strength Steel [J]. Metallurgical and materials transactions, 2005, 36A: 703-713.
- [9] S. W. Thompson, G. Krauss, C.-C. Tseng. A New Model of Interphase Precipitation in Copper-containing Steels [J]. Journal of Materials Science Letters, 1998, 17(24):2 075-2 078.
- [10] 任慧平.含铜高纯钢基本强化行为的研究[D].北京:北京科技大学,2001:58-82.
- [11] 雍岐龙.钢铁材料中的第二相[M].北京:冶金工业出版社,2006.

Influence of Aging Temperature on the Precipitation of Copper in Ultra Low Carbon Steel with Different Copper Contents

HAN Wenxi¹, LI Xihai¹, YUAN Pengju¹, YANG Zhongmin²

(1 Laiwu Iron and Steel Group Corporation, Laiwu 271104, China;

2 Research Institute of Structural Materials, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081, China)

Abstract: Two kinds of ultra low carbon steels with different copper contents were isothermally aged in the temperature range between 400 °C and 600 °C for 1 h, and then the influence of aging temperature on the precipitation of copper was revealed by Scanning Electron Microscope and Transmission Electron Microscope. The results showed that, with aging temperature increasing, the precipitation of copper amount appeared to have decline trend after an initial ascent; the steel with higher copper content (2.04% Cu) appeared a peak amount at the aging temperature of 500 °C; but the steel with lower copper content (1.04% Cu) appeared a peak amount at the aging temperature of 550 °C; at the same aging temperature, the precipitate amount of the steel with high copper content was more than the amount of the steel with lower copper content; moreover, the difference of the precipitate amount between the two kinds of tested steels was decreased at 600 °C.

Key words: ultra low carbon steel; aging temperature; copper precipitation

学会动态

鲁冀晋琼粤川辽七省金属(冶金)学会第十九届矿山学术交流会在济南召开

2012年10月12-15日,鲁冀晋琼粤川辽七省金属(冶金)学会第十九届矿山学术交流会在济南市召开,七省学会及有关单位和人员共132位代表参加了会议。会议开幕式由山东金属学会秘书长袁立宝主持,山东金属学会副理事长、山钢集团总经理助理万鲁愚致辞,山钢集团副总经理兼山钢矿业董事长崔聚荣到

会并作专题报告,山钢集团矿业部部长兼山钢矿业总经理王广云做会议总结。本届交流会共收到论文297篇,其中收录论文集294篇,创历届会议之最,其中山东省参加交流论文172篇。经大会评选,58篇论文获优秀论文一等奖,95篇获二等奖,144篇获三等奖。

(张作金)