冷拔碳钢钢丝电脉冲退火软化处理工艺

孙红镱[1,2], 岳燕星[1], 李 威[2], 李 萍[1]
(1. 哈尔滨理工大学 材料科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 哈尔滨学院 科研处, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘 要:针对传统退火存在的效率低、耗能大、污染环境以及产品表面氧化严重等缺点,提出了利用脉冲电流对 Q235钢丝进行退火处理实验,并自主研制了电脉冲退火实验装置,优化工艺实验参数,通过对金相显微组织及钢丝力学性能变化的分析,对其退火机理进行探索.

关键词:脉冲电流; 碳钢; 位错; 再结晶
中图分类号: TG356 **文献标志码**: A **文章编号**: 1007- 2683(2009)05- 0004- 04

The Process of the Electric Pulse Annealing Treatment to Soften the Hard-drawn Carbon Steel Wire

SUN Hong-yi[1,2], *YUE Yan-xing*[1], *LI Wei*[2], *LI Ping*[1]
(1. School of Material Science and Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150040, China;
2. The Department of Scientific Research, Harbin University, Harbin 150086, China)

Abstract: Aimed at the disadvantage of the traditional annealing, such as, low efficiency, high energy consuming, polluting the environment, bad oxidation of the product surface, and so on, a new technique carrying through the annealing and soften treatment with pulse electric current on the Q235 steels was put forward in the test. The experimental device was designed and the parameter was optimized in this research. And the annealing mechanism was also explored according to the analyzing of the metallurgical structure and the changing of the property of the steel wires.

Key words: pulse electric current; carbon steels; dislocation; recrystallization

经过冷拔工艺处理的低碳钢丝在塑性变形过程中,由于金属内部位错的形成和运动,产生了加工硬化,造成材料的硬脆性,难于连续多道次加工. 因此,需要对经冷拔加工后的钢丝进行退火处理[1-3]. 目前,传统的退火方式主要有加热炉退火、电阻热退火、中高频退火等. 由于退火原理均通过热效应来实现,因而存在效率低、耗能大、污染环境以及产品表面氧化严重等缺点. 为了克服现有退火方法的不足,本文将深入探讨电脉冲退火处理工艺,探索利用高密度电脉冲处理代替传统热效应处理的退火新方法.

1 脉冲退火处理工艺实验

1.1 实验装置

利用自行研制的电脉冲实验装置对冷拔 Q235钢丝进行了一系列电脉冲处理实验,发现冷拔 Q235钢丝在高密度脉冲电流作用下,可达到与传统退火处理同样的效果,即在对高密度脉冲电流处理时,能在极短的时间里实现恢复力学性能的效果,从而提出了电脉冲退火处理新工艺方法,实验装置如图 1所示.

收稿日期: 2008 - 09 - 20
基金项目: 哈尔滨市科技 (改关)计划项目 (2005AA2CG149)
作者简介: 孙红镱 (1970—),男,博士,教授, E-mail: yotelb@263.com.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

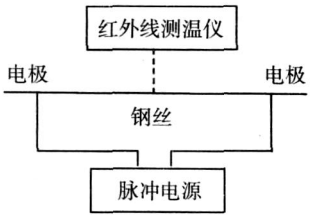


图 1　电脉冲退火处理实验装置示意图

1.2　实验材料及方法

为了进一步探索电脉冲退火机制,对冷拔 Q235 钢丝进行电脉冲处理. 试样制备的长度为 30 cm,直径为 2 mm. 试样两端夹在脉冲电源的铜电极上,通过调节脉冲电源参数进行不同的工艺实验,同时利用红外线测温仪监测钢丝在退火过程中的温升. 然后,对处理前后的钢丝进行抗拉强度、延伸率等力学性能测试,并应用金相显微镜等观察处理前后显微组织的变化.

1.3　实验参数

实验参数设定如表 1所示.

表 1　实验参数值

试样名称	电流 /A	频率 /Hz	脉冲宽度 /μs	时间 /s
A	5 000	600	50	0
B	5 000	600	50	15
C	5 000	600	50	20
D	5 000	600	50	25

2　实验结果与讨论

2.1　力学性能比较

将原始试样及电脉冲退火处理后的试样进行力学性能测试,测试结果如图 2所示,其中横坐标为拉拔时间,纵坐标为拉拔力,从图 2的对比中可以明显看出,经过电脉冲处理后的钢丝,拉拔抗力明显降低,经计算得出强度明显降低,从未处理

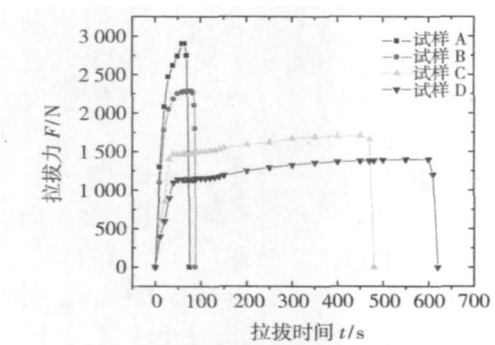
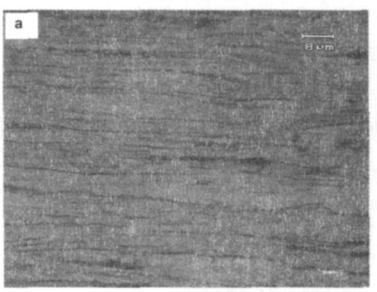


图 2　拉拔力 —拉拔时间曲线对比图

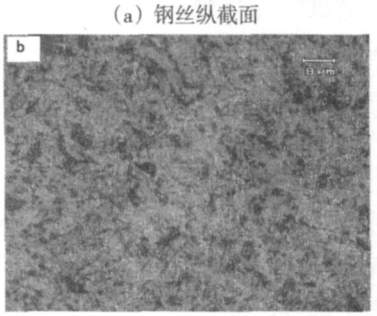
(试样 A)的 923.57 MPa,降低到处理后 (试样 D)的 442.68 MPa,由此可见,脉冲电流处理过后,使得钢丝的内应力明显降低,只有原来的 2/5左右,从而达到了退火软化的目的.

2.2　显微组织变化

应用金相显微镜等观察脉冲退火前后的 Q235 钢丝显微组织的改变. 未经过电脉冲退火软化处理的原始钢丝试样 A,其金相显微组织如图 3所示,在输出电流为 5 000 A,电流频率为 600 Hz,通电时间为 15 s的情况下 (即试样 B),试样温升为 280 ℃,其显微组织如图 4所示. 从原始试样的显微组织金相图

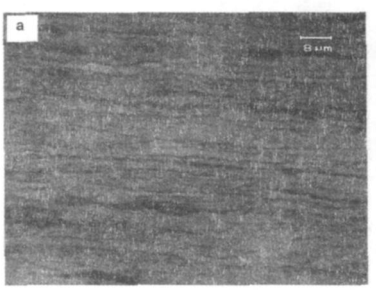


(a) 钢丝纵截面

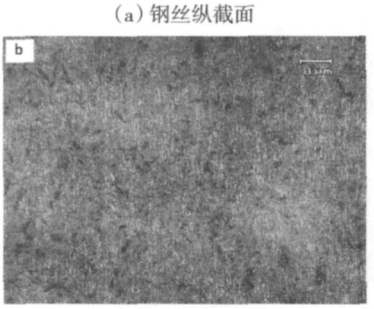


(b) 钢丝横截面

图 3　原始试样 A 显微组织图



(a) 钢丝纵截面



(b) 钢丝横截面

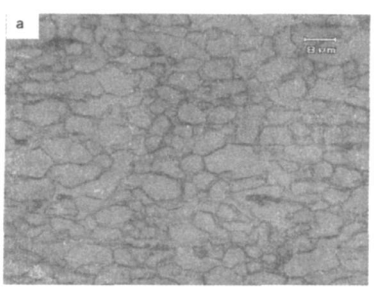
图 4　试样 B 显微组织图

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

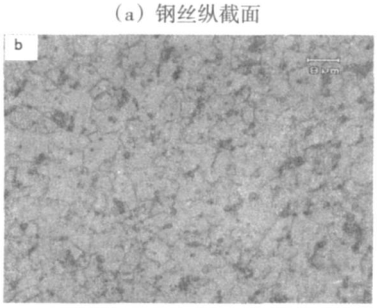
可以看出,在钢丝塑性变形过程中,随着变形量的增大,晶粒逐渐沿着形变方向被拉长,拉长的程度亦随变形量的增加而相应的增大,由多边形变为扁平形或长条形,形变量较大时可被拉成为纤维状.这种纤维状组织能使钢材具有最大的强度,而塑性和韧性最低,造成材料的硬脆性,难以继续进行拉拔[3].从试样 B处理后的纤维组织图来看,试样组织形态变化不大,虽有少量的再结晶晶核,但仍以纤维组织或饼形晶粒为主.即说明再结晶过程还未完全开始.

在输出电流为 5 000 A,电流频率为 600 Hz,通电时间为 20 s的情况下 (即试样 C),试样温升为 330 ℃,其显微组织如图 5所示,在通电时间为 25 s的情况下 (即试样 D),试样温升为 390 ℃,其显微组织如图 6所示.而从试样 C和 D处理后的显微组织图来看,拉伸变形的晶粒已被再结晶的等轴铁素体晶粒所代替,此时珠光体已趋于球粒化.

在退火过程中,形成一些位向与变形晶粒不同、内部缺陷较少的等轴小晶粒,这些小晶粒不断向变形金属中扩展,直至冷变形的拉长晶粒完全消失为止,这一过程称为再结晶[4-5].图 5及图 6所示的细小铁素体等轴晶即为退火时形成的再结晶晶粒,这表明,此时金属组织已经发生了明显的再结晶.而经过再结晶的冷变形钢材,其强度、硬度显著下降,塑性和韧性显著提高,内应力完全消除,加工硬化状态消除[6-8],使钢又重新恢复到了冷变形之前的状态.

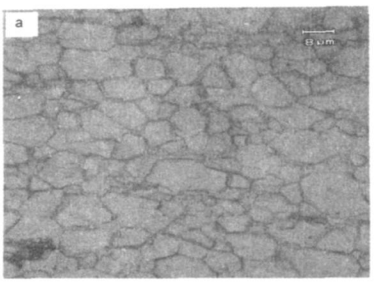


(a) 钢丝纵截面

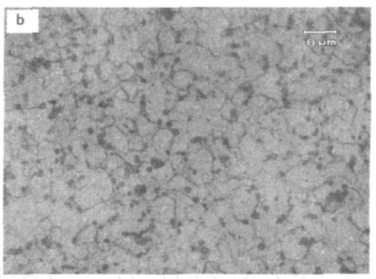


(b) 钢丝横截面

图 5 试样 C显微组织图



(a) 钢丝纵截面



(b) 钢丝横截面

图 6 试样 D显微组织图

2.3 分析与讨论

实验研究结果表明,脉冲电流对金属材料的塑性变形和组织转变与性能有显著影响.一般利用传统退火工艺退火时,钢丝的再结晶温度大约在 650 ℃左右,而利用脉冲电流退火时,在 330 ℃左右就可以发生再结晶,明显降低了再结晶的起始温度,加速了其回复与再结晶,提高了再结晶形核率,从而使金属的各项性能指标得到快速恢复.

钢丝在脉冲电流作用下,再结晶温度降低的原因在于形核过程和再结晶晶粒的长大过程,再结晶有两种形核机制:晶界凸出形核和亚晶形核.对于变形程度小于 20%的金属,其再结晶核心多为晶界凸出形核,而亚晶形核则在大变形量下发生.本文中钢丝变形量较大,再结晶形核应为亚晶形核.因此,冷拔碳钢钢丝的再结晶可能以孪生形核和亚晶吞并长大形核为主要的形核过程.若从热力学的角度来看,经冷变形后,塞积的位错运动过程中阻力增大,储存弹性能大,脉冲电流作用的部分能量也以某种方式储存在于晶体内,金属组织处于不稳定的高自由能状态,这将使形核的驱动力增大,有较强的再结晶倾向,从而导致再结晶起始温度下降.

而另一方面,脉冲电流在金属中会产生高强的电子流,可以加快晶内位错的消失,推动位错的滑移和攀升,加速位错进入亚晶界的攀移过程,使晶界角度长大速度加快,从而缩短再结晶形核所需要的时间.同时,当给金属材料加上脉冲电流时,晶体结构也就处在了电脉冲产生的磁场中,在磁场的作用下,

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

由于所谓的位错 - 障碍基本对相互结合的障碍不存在了,结合能减小的同时,滑移阻力也随之减小.这样在相同的应力作用下,位错滑移更容易进行,从而有利于再结晶的形核及长大,降低了再结晶发生的温度,并提高再结晶形核率,使材料的强度、硬度相应降低,塑性提高,最终达到了软化退火的目的.

3 结　语

1)实验结果表明,经过电脉冲处理后的钢丝,拉拔抗力明显降低,达到了退火软化的目的.

2)通过金相显微组织分析对脉冲退火工艺机理进行了探索性研究,发现脉冲电流的通入可以使再结晶形核的驱动力增大,且磁场的存在可以提高位错的滑移能力,有利于再结晶的形核及长大,这都将导致再结晶起始温度的降低.

3)脉冲电流退火工艺简单,加热时间短,提高金属材料的塑性指标明显.这种方法将为提高金属材料的性能开辟一条新的途径,对促进节能高效的新退火工艺发展将具有非常重要的意义.

参 考 文 献:

[1] CONRAD H. Effects of Electric Current on Solid State Phase Transformations in Metals[J]. Mater. Sci. Eng, 2000, A287: 227 - 237.

[2] YANG Di, CONRAD H. Exploratory Study into the Effects of an Electric Field and of High Current Density Electro Pulsing on the Plastic Deformation of TiAl[J]. Intermetallics, 2001 (9): 943 - 947.

[3] 姚可夫,王沛玉.脉冲电流对金属材料塑性变形和组织结构与性能的影响[J].机械强度, 2003, 25(3): 340 - 342.

[4] 付威际,古兵平,单凯军等.退火温度对 CSP基板冷轧冲压板再结晶温度和组织的影响[J].材料热处理技术, 2008, 37(8): 42 - 47.

[5] 田绍权,徐卓辉,唐国翌.电脉冲处理对冷拔铜丝组织与性能的影响[J].材料热处理学报, 2006(6): 102 - 104.

[6] 田昊洋,唐国翌,丁　飞.高能电脉冲处理对镁合金丝材性能的影响[J].有色金属, 2008(4): 135 - 137.

[7] 刘兴江,王建中,苍大强.电脉冲处理对纯铜再结晶温度的影响[J].热加工工艺(热处理版), 2006(5): 96 - 98.

[8] 刘晓平,陈　强,杨　程.电脉冲改善金属材料组织的应用现状[J].铸造设备研究, 2008, 19(4): 64 - 66.

(编辑:付长缨)

(上接第 3页)

拟结果表明:在超塑单向拉伸过程中空洞半径和体积分数随着真应变的增加而增加,空洞长大模型呈指数增长模型;

2)将 ZK60合金超塑单向拉伸过程中空洞长大的数值模拟结果和实验结果进行比较得出:当真应变为 1.48时,模拟的空洞半径最大为 13.66 μm,体积分数为 9.09%,而对应实验条件下的实验结果为:空洞半径最大为 14.9 μm,体积分数为 9.3%.其实验数据与模拟结果在趋势上吻合良好.

参 考 文 献:

[1] MOHR I T, MABUCHI M. Microstructural Evolution and Superplasticity of Rolled Mg-9Al-1Zn [J]. Material Science and Engineering A, 2000, 290: 139 - 144.

[2] 吴诗 C. 金属超塑性变形理论[M]. 北京:国防工业出版社, 1997. 51 - 52.

[3] WATANABE H, MUKAI T, NITH G. Low Temperature Superplasticity in a ZK61 Magnesium-Based Composite[J]. Key Scripta Materialia, 2003, 42: 249 - 255.

[4] MOHR I T, MABNCAIIM, NAKAMNRA M, et al. Miorostruture Evolution and Superplasticity of Rooled Mg-9A1-Zn[J]. Materials Science and Engineering A, 2003, 290: 139 - 144.

[4] 王　敏,马彩霞. LY12铝合金在超塑性变形中的空洞行为[J].塑性工程学报, 2007(1): 27 - 30.

[5] 宋美娟,王智祥,汪凌云,等.轧制镁合金板材超塑性变形时的空洞损伤行为[J].有色金属学报, 2006(4): 1 - 4.

[6] WANG M, GUO H Z, LIU Y J. Cavity of Al-Cu-Mg Alloy During Superplastic Deformation[R]. Harbin, Harbin Ntitute of Technology(HIT), 2006.

[7] XIANG Yi-bin, WU Shi-chun. Numerical Simulation of Cavity Damage Evolution in Superplasitc Bulging Process[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 75: 224 - 330.

[8] WU H Y, CHIU C H, SHEU S H, et al. Effect of Die Surface Roughness on Deformation Characteristics and Cavitation During Blow Forming in a Superplastic 5083 Alloy[J]. Materials Transactions, 2007, 48: 2483 - 2488.

[9] SHAO J, GUO H P, LI Z Q, et al. Cavitation Behavior of Fine-grained 1420 Al-Li Alloy During Superplastic Deformation[R]. Harbin, Harbin Intitute of Technology(HIT), 2006.

[10] 卢志文,彭伟平,李培杰,等. AZ31镁合金铸轧板材的热变形空洞演化行为[J].中国有色金属学报, 2009(5): 785 - 792.

(编辑:王　萍)

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net