

40Cr 厚向性能差异化钢板的组织与性能

陈庆安, 刘相华

(东北大学 轧制技术及连轧自动化国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 通常情况下耐磨钢板磨损到一定程度即报废, 因此耐磨钢板厚度方向上不必全为淬硬层, 而现有耐磨钢板热处理都是以全尺寸淬透为目标. 针对此问题, 提出采用瞬时淬火工艺制备厚向性能差异化钢板. 实验选用厚度为 30 mm 的 40Cr 钢板, 处理后其表层为针状马氏体和板条马氏体混合组织, 过渡层由板条马氏体和贝氏体混合组织逐渐过渡为珠光体和铁素体混合组织, 表面硬度 710 HV, 淬硬层深度 9 mm, 过渡层深度 5 mm. 试制的 40Cr 厚向性能差异化钢板具有良好的冲击韧性和耐磨性, 为机械工程行业需要的“表硬里韧”钢板提供了一种新的选择.

关 键 词: 性能差异化; 瞬时淬火; 微观组织; 力学性能; 耐磨性

中图分类号: TG 156.3

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2015)02-0204-04

Microstructure and Mechanical Properties of 40Cr Steel Plate with Differential Properties in Thickness Direction

CHEN Qing-an, LIU Xiang-hua

(State Key Laboratory of Rolling and Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China.
Corresponding author: CHEN Qing-an, E-mail: chenqa1986@163.com)

Abstract: Wear-resistance steel plates may be scrapped when they are worn to a certain degree, so it is not necessary for the steel plates to have full hardening layer in thickness direction. However, the steel plates are all treated with full size quenching now. So, a flash processing technique was used to obtain the steel plate with differential properties in thickness direction. 40Cr steel plate with thickness of 30 mm was used for the experiment. The results show that after flash processing, the plates' surface layers are acicular martensite and lath martensite, and the microstructure of transition layers changes from lath martensite and bainite to pearlite and ferrite. The hardness of surface layers is 710 HV. The depth of hardening layer is 9 mm, while the depth of transition layer is 5 mm. The 40Cr steel plate with differential properties prepared in the experiment exhibits good impact toughness and wear-resistance. The proposed method provides a new choice for mechanical industry which needs “hard surface and tough inside” steel plates.

Key words: differential property; flash processing; microstructure; mechanical property; wear-resistance

耐磨钢板广泛应用于矿山机械、煤炭采运、工程机械、水泥设备等行业^[1-3]. 通常情况下耐磨钢板磨损到一定程度即报废, 因此耐磨钢板厚度方向上不必要全为耐磨层. 现有的耐磨钢板生产工艺为钢板轧制完成后送入数十米长的辊底式加热炉内均匀加热, 然后再进行以全尺寸淬透为目标的大水量快速淬火^[3], 采用这种工艺生产耐磨钢

板能耗较高. 针对此问题, 本文提出了采用瞬时淬火工艺制备厚向性能差异化钢板的新思路.

瞬时淬火作为一种热处理方法, 其技术思路是用辊子运送薄钢板穿过感应加热装置, 将钢板瞬间加热到 900 ~ 1 100 ℃, 然后迅速喷水冷却. 以 AISI8620 钢板为例, 钢板经瞬时淬火处理后, 其强度高达 1 694 MPa, 比马氏体高强度钢(强度

1 585 MPa)提高了 7%^[4]. 厚钢板经瞬时淬火处理后可获得表层具有高硬度和耐磨性、而心部有足够塑性和韧性的厚向性能差异化钢板. 作者在实验室条件下用厚度为 30 mm 的 40Cr 钢板试制厚向性能差异化钢板, 观察并分析钢板厚度方向上的组织变化, 检测其硬度、冲击韧性和耐磨性能等指标, 结果表明厚向性能差异化钢板可作为一种新型耐磨钢板使用.

1 钢板制备与实验方法

选用厚度为 30 mm 的 40Cr 热轧态钢板制备厚向性能差异化钢板, 其化学成分(质量分数, %)为: C 0. 42, Si 0. 22, Mn 0. 66, Cr 0. 86, Ni 0. 021, P 0. 043, S 0. 0079, Cu 0. 027.

图 1 为采用瞬时淬火工艺制备厚向性能差异化钢板的实验装置示意图: 将钢板置于感应器下方并使钢板以一定速度向右运动, 感应器对钢板进行扫描式加热, 通过调整感应加热电源输出功率和钢板移动速度, 使钢板表层及表层以下一定深度被加热到预期温度后进行喷水冷却. 淬火过程中采用热电偶对钢板温度进行实时监测并记录, 测温点距钢板上表面 10 mm. 40Cr 钢的 A_{C3} 为 788 ℃^[5], 传统淬火加热温度一般选择在 A_{C3} 以上 30 ~ 50 ℃. 感应加热过程中加热速度非常快, 而加热速度会影响奥氏体转变温度: 加热速度越快, 奥氏体开始转变温度和转变终了温度越高, 因此该过程加热温度一般要高于传统淬火加热温度. 本实验感应加热电源频率 4 kHz, 输出功率 80 kW, 感应器与钢板间距 3 mm, 通过调整钢板移动速度将测温点温度控制在 850 ℃ 左右.

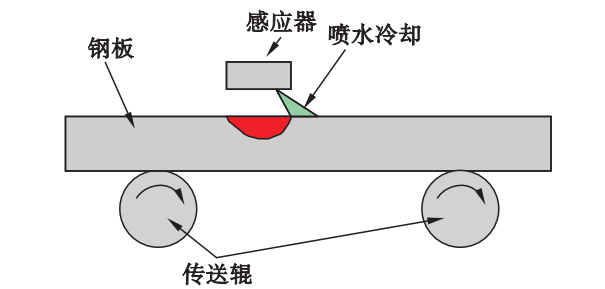


图 1 实验装置示意图
Fig. 1 Schematic of experimental set-up

在试制钢板上截取 10 mm × 10 mm × 30 mm 试样, 经粗磨, 抛光, 以及用光学显微镜观察试样无划痕后, 用 4% 硝酸酒精溶液进行腐蚀, 再用 JSM - 5500LV 型扫描电镜观察其微观组织. 根据国标 GBT5617—2005, 用维氏显微硬度计检测其

淬硬层深度, 从钢板表面到压痕中心之间的距离每次增加 0. 5 mm, 并由硬度数据绘制出硬度变化曲线. 冲击试验在 Instron 9250HV 型仪器式落锤冲击试验机上进行, 试样尺寸 10 mm × 10 mm × 55 mm, 测试温度为室温, 并用 JSM - 5500LV 型扫描电镜观察其断口形貌. 为对比厚向性能差异化钢板与厚向全淬透钢板的冲击韧性, 设计两种类型试样进行测试, 如图 2 所示.

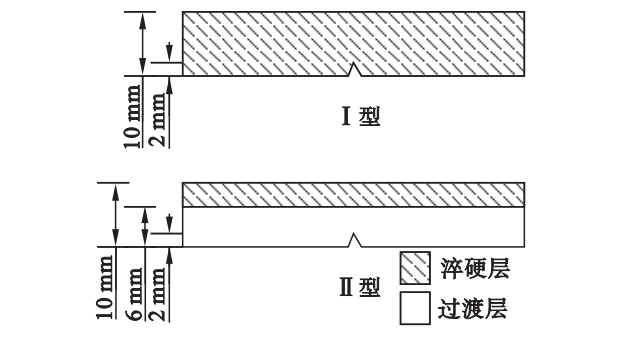


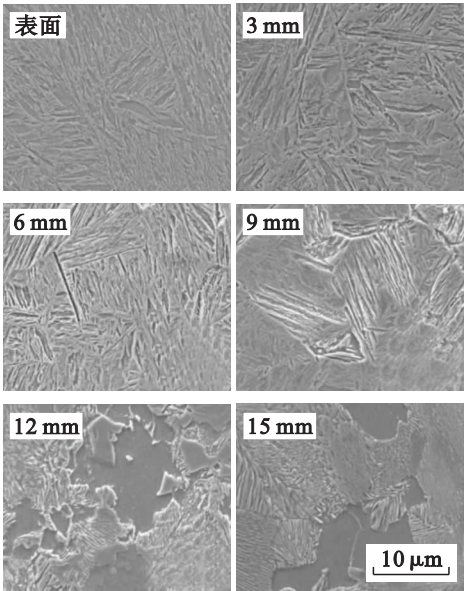
图 2 不同类型冲击试样示意图
Fig. 2 Schematic of different specimens subjected to impact test
I 型—全淬透钢板; II 型—试制钢板.

用 ML - 100 型动载磨粒磨损试验机进行磨损实验, 主要模拟如挖掘机、球磨机、水泥选矿等设备在极为恶劣的工作环境下所产生的磨损情况. 上试样为实验材料, 尺寸为 10 mm × 10 mm × 30 mm, 下试样为 40Cr, 尺寸为 $\phi 50$ mm × 19 mm, 硬度为 57HRC; 通过调整冲锤高度获得 2 J 冲击能量, 上下试样间以 30 kg/h 砂流量通过 1 700 ~ 2 360 μ m 的石英砂, 硬度约 800 HV ~ 1 200 HV. 磨损时间为 60 min, 磨损后将试样置于丙酮溶液中用超声波清洗 25 min, 然后用 0. 1 mg 精度的电子天平称重, 得到试样失重量.

2 结果与讨论

2. 1 组织分析

图 3 为性能差异化钢板距表面不同深度的微观组织. 从图中可以看出, 距钢板表面 3 mm 处为针状马氏体和板条马氏体混合组织, 6 mm 处以针状马氏体和板条马氏体混合组织为主, 并开始出现贝氏体组织, 9 mm 处为板条马氏体和贝氏体混合组织, 12 mm 处为贝氏体、铁素体和珠光体混合组织. 从 6 mm 处到 9 mm 处, 针状马氏体逐渐减少, 贝氏体增加; 从 9 mm 处到 12 mm 处, 板条马氏体和贝氏体都逐渐减少, 珠光体和铁素体增加; 15 mm 处为原始珠光体和铁素体组织.



图中数字为距表面深度

图 3 性能差异化钢板的微观组织

Fig. 3 Microstructure of 40Cr steel plate with differential properties

厚钢板瞬时淬火过程形成的奥氏体存在两个不均匀性:①在厚度方向上越靠近钢板表面,奥氏体的平均含碳量越高,这是由于感应加热过程中存在集肤效应,越靠近钢板表面温度越高,奥氏体中溶解的碳就越多;②在同一厚度处奥氏体的含碳量也不均匀,这是由于感应加热速度非常快,碳没有足够时间扩散.在 0~6 mm 处,碳含量较高的奥氏体转变为针状马氏体,碳含量较低的奥氏体转变为板条马氏体.在 6~9 mm 处,碳含量较高的奥氏体转变为板条马氏体,碳含量较低的奥氏体转变为贝氏体.图 4 为距钢板表面 10 mm 处的温度历程,可以看出该处的冷却速度约 60 ℃/s.由 40Cr 钢的动态 CCT 曲线可知,当冷却速度大于 20 ℃/s 时会得到全部马氏体组织^[5];而在瞬时淬火过程中,即使在 60 ℃/s 的冷却速度下,依然得到部分贝氏体组织.其原因是瞬时淬火过程中

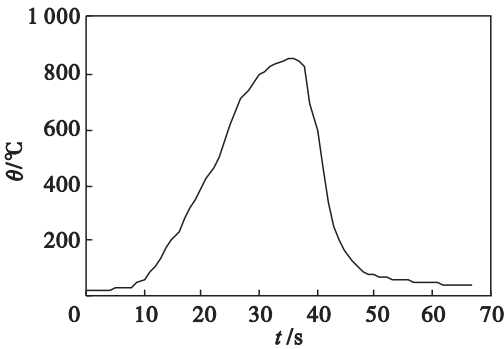


图 4 测温点温度历程

Fig. 4 Temperature history of test point

奥氏体成分不均匀和奥氏体中含碳量减少两方面因素都使 C 曲线左移,扩大了贝氏体转变区,使含碳量较低的奥氏体发生贝氏体转变^[4,6-9].

2.2 硬度及淬硬层深度

图 5 为 40Cr 钢板经感应淬火后厚度方向上硬度变化曲线,钢板的淬硬层深度约 9 mm,过渡层深度约 5 mm,表面硬度为 710 HV. 由图 5 可以看出,淬硬层硬度从 710 HV 逐渐降至 600 HV,过渡层硬度从 600 HV 急剧下降至 250 HV. 淬硬层的硬度随深度的增加逐渐减小,这是由于马氏体硬度主要取决于其含碳量.随着温度的降低,奥氏体中溶解的碳减少,淬火后马氏体中的含碳量就随之减小,硬度也随之降低.过渡层的硬度随板条马氏体和贝氏体含量的减少而急剧下降.

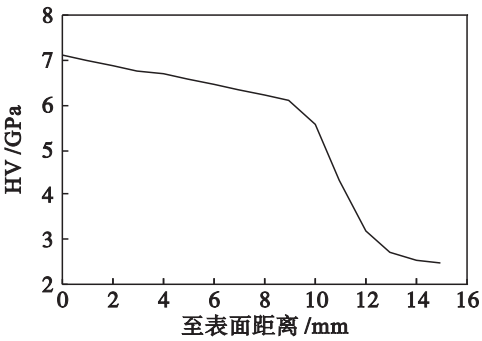


图 5 厚度方向上硬度变化曲线

Fig. 5 Hardness distribution curve in thickness direction

2.3 冲击韧性

两种类型试样的冲击韧性如表 1 所示,可以看出,性能差异化钢板试样冲击吸收功明显高于全淬透钢板试样,即前者冲击韧性优于后者,平均提高了一倍左右;可见过渡层组织对提高钢板的冲击韧性有重要意义.图 6 为淬硬层与未淬硬层的冲击断口形貌.可以看出,淬硬层断口存在大量河流状花样,以穿晶断裂为主,属于脆性断裂;过渡层断口存在细小韧窝,并可见解理面,以韧性断裂为主,辅以解理断裂,属于混合型断裂.

表 1 不同类型试样的冲击韧性 Table 1 Impact toughness of different specimens	
试样类型	冲击吸收功/J
全淬透钢板	9,12,10
试制钢板	20,19,21

2.4 耐磨性能

表 2 为试制钢板和高锰钢 ZGMn13Cr2 的冲击磨料磨损实验结果. ZGMn13Cr2 试样作为标准试样,其相对耐磨性为 1.00,试制钢板的相对耐磨性是其耐磨性与高锰钢耐磨性的比值.由实验

结果可以看出,试制钢板的耐磨性比 ZGMn13Cr2 提高了 86%。在冲击磨料磨损条件下,硬度和韧性是影响钢板耐磨性的主要因素,性能差异化钢板通过淬硬层的高硬度抵抗磨损,通过未淬硬层足够的强度和韧性抵抗外力冲击。

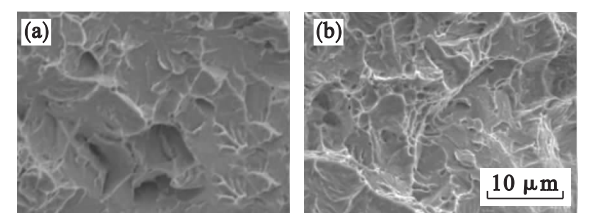


图 6 冲击断口 SEM 形貌

Fig. 6 SEM images of impact fracture morphology

(a)—淬硬层; (b)—过渡层.

表 2 冲击磨料磨损实验结果

Table 2 Results of impact abrasive wear experiment

试样材料	原始质量/g	磨后质量/g	相对耐磨性
ZGMn13Cr2	23. 675 2	23. 483 6	1. 00
试制钢板	23. 216 8	23. 113 9	1. 86

3 结 论

1) 试制 40Cr 性能差异化钢板表层为针状马氏体与板条马氏体混合组织,过渡层由板条马氏体和贝氏体混合组织逐渐过渡为珠光体和铁素体混合组织.在瞬时淬火过程中,由于奥氏体成分不均匀和奥氏体中含碳量减少,即使冷却速度大于临界淬火速度,也会有部分含碳量较低的奥氏体发生贝氏体转变.

2) 试制 40Cr 性能差异化钢板表面硬度达 710 HV,淬硬层深度约 9 mm,过渡层深度约 5 mm,其冲击韧性优于厚向全淬火钢板,过渡层组织对提高钢板冲击韧性有重要意义.

3) 试制 40Cr 性能差异化钢板耐磨性比高锰钢 ZGMn13Cr2 提高了 86%,可作为一种新型耐

磨钢板使用,为机械工程行业需要的“表硬里韧”的钢板提供了一种新的选择.

参考文献:

[1] Song H Y, Li C M, Lan L Y, et al. Impact toughness of NM400 wear-resistance steel[J]. *Journal of Iron and Steel Research*, 2013, 20(8) : 72 – 77.

[2] Cao Y, Wang Z D, Kang J, et al. Effects of tempering temperature and Mo/Ni on microstructures and properties of lath martensitic wear-resistant steel[J]. *Journal of Iron and Steel Research*, 2013, 20(4) : 70 – 75.

[3] 曹艺,王昭东,吴迪,等. NM400 高强度低合金耐磨钢的组织与性能[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2011, 32(2) : 241 – 244.

(Cao Yi, Wang Zhao-dong, Wu Di, et al. Microstructure and mechanical properties of HSLA wear-resistant steel NM400 [J]. *Journal of Northeastern University: Natural Science*, 2011, 32(2) : 241 – 244.)

[4] Lolla T, Cola G, Narayanan B, et al. Development of rapid heating and cooling (flash processing) process to produce advanced high strength steel microstructures [J]. *Materials Science and Technology*, 2011, 27(5) : 863 – 875.

[5] 高秀华,庞波,齐克敏,等. 冷镦钢 ML40Cr 盘条奥氏体连续冷却转变曲线[J]. 热加工工艺, 2006, 35(14) : 38 – 42.

(Gao Xiu-hua, Pang Bo, Qi Ke-min, et al. Continuous cooling transformation curve of undercooling austenite in ML40Cr cold heading steel[J]. *Hot Working Technology*, 2006, 35(14) : 38 – 42.)

[6] Cola G. Properties of bainite nucleated by water quenching in 80 ms[C] // 1st International Symposium on Steel Science. Kyoto, 2007: 187 – 190.

[7] Bhadeshia H K D H. Very short and very long heat-treatments in the processing of steel[J]. *Materials and Manufacturing Processes*, 2010, 25(1/2/3) : 1 – 6.

[8] Bhadeshia H K D H. Phase transformations contributing to the properties of modern steels [J]. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences—Technical Sciences*, 2010, 58(2) : 255 – 265.

[9] Jiang Z Q, Du J M, Feng X L. Study and application of heat treatment of multi-element wear-resistant low-alloy steel[J]. *Journal of Iron and Steel Research*, 2006, 13(1) : 57 – 61.