

刀具用 304/440/304 不锈钢复合板的热轧和性能

刘 靖 李 亮 马永柱

(北京科技大学材料科学与工程学院,北京 100083)

摘 要 采用 $\Phi 500$ mm 和 $\Phi 350$ mm 轧机对 304(20 mm)/440(3.5 mm)/304(20 mm) 不锈钢坯料进行二次复合轧制成 2 mm 不锈钢复合板。经力学性能试验和组织观察表明,复合板拉伸断裂试样无分层现象,板间晶粒相互穿过界面实现冶金结合,复合板硬度较高,达到刀具的使用要求。

关键词 热轧 304/440/304 不锈钢复合板 组织 力学性能

Hot Rolling and Properties of 304/440/304 Stainless Steels Clad Plate for Knife Products

Liu Jing, Li Liang and Ma Yongzhu

(Materials Science and Engineering School, University of Science and Technology, Beijing 100083)

Abstract The 2 mm stainless steel clad plate was twice-compounded rolled by $\Phi 500$ mm and $\Phi 350$ mm mills with 304 (20 mm) / 440 (3.5 mm) / 304(20 mm) stainless steels stock. The results by mechanical properties test and structure observation showed that the tensile fracture samples of clad plate hadn't stratification phenomenon, the grains at inter-plate mutually transferred interface to realize metallurgical bond, and the hardness of clad plate was higher to meet the requirement of knife products using.

Material Index Hot Rolling, 304/440/304 Stainless Steel Clad Plate, Structure, Mechanical Properties

对于日常生活使用的刀剪产品而言,人们既需要有持久的锋利度和耐磨性,又希望刃口用钝后便于修磨。由高碳钢、马氏体型不锈钢等单一材料制成的刀剪产品,很难满足既有较高单项指标(锋利度、耐磨性),又有良好的综合性能(韧性、加工性能)的要求。但由两种或两种以上材料组成的复合钢板可以根据使用要求进行设计,使国产刀具以高档次、优品质进入国际市场^[1]。

1 轧制复合试验研究

1.1 试验材料

制造刀剪产品的复合钢材料由基板(即基体钢)和复板(刃口钢)复合而成。基板要具备较好的韧性及加工性能,试验中选用厚 20 mm,宽 120 mm 的热轧 304(0Cr18Ni9)奥氏体不锈钢作为基板^{2,3},其化学成分如表 1 所示;复板要具有较高的硬度和锋利度以及耐磨性能(持久锋利度),试验中采用了厚 3.5 mm,宽 120 mm 的冷轧 440(7Cr17)不锈钢板作为复合板的复板材料⁴,其化学成分如表 1 所示。

1.2 轧制复合试验研究

1.2.1 组坯焊接

由于在极大的压力下,复板、基板很容易发生错位,从而降低复合强度,同时为了防止加热和轧制过

表 1 304、440 不锈钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of stainless steel 304 and 440 / %

钢号	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
304	≤0.07	≤1.0	≤2.0	17.0 ~ 19.0	8.0 ~ 11.0	≤0.030	≤0.035
440	0.60 ~ 0.75	≤1.0	≤1.0	16.0 ~ 18.0	-	≤0.030	≤0.040

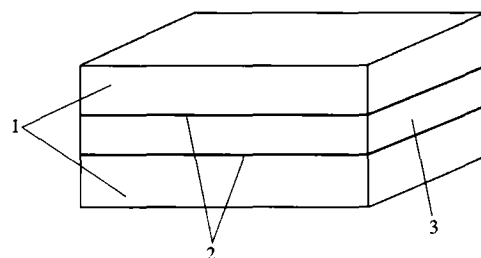


图 1 板坯组装图:1- 304 不锈钢;2- 焊缝;3- 440 不锈钢

Fig. 1 Scheme of assembly of rolling stock: 1- stainless steel 304; 2- welded seam; 3- stainless steel 440

程中发生氧化,轧制前需将它们焊接起来,在复合板后部还要预留一个排气孔,以便在轧制过程中排出残留在基板和复板间的气体(图 1)。

1.2.2 加热温度和压下规程的确定

304 不锈钢的热加工塑性温度区间是 930 ~ 1 280 °C,440 不锈钢的热加工塑性温度区间是

1 170 ~ 1 200 °C^[5]。为了更好地降低变形抗力和提高塑性,有利于两种金属通过热轧达到相互间的原子结合,加热温度应尽量高一些,本试验中选取的加热温度为1 200 °C,保温 15 min。

复合金属轧制首道次变形量必须很大,以促进组元的冶金结合,提高结合强度。实践中发现对于某些材料如 Ni/304/Cu 复合材料经 2 个大压下量道次还不能复合,只有经过一定的变形总量之后,才能良好复合^[6]。鉴于此,采用如下轧制规程:

(1) 不锈钢复合板初次复合。将图 1 所示的焊合好的钢板加热至 1 200 °C,保温 15 min 后,在轧制力为 1 500 t 的 Φ500 mm 热轧机上进行轧制。总压下量为 31.5 mm,4 道次平均分配完成,轧后复合板厚度为 12 mm,总压下率为 72.4%,试验中将初次复合定义为 1 火轧制。

(2) 不锈钢复合板二次复合。将 1 火轧制的复合板再次加热至 1 200 °C 保温 15 min,在轧制力为 1 500 kN 的 Φ350 mm 热轧机上进行轧制。第 1、2、3 道次压下量分别为 4、4、2 mm,最终板料断面尺寸为 204 mm × 2 mm。此次复合轧制定义为 2 火轧制。

2 复合板力学性能研究

2.1 拉伸试验

试验采用平板式试样,试验结果如表 2 所示。

表 2 304/440/304 不锈钢复合板的拉伸和弯曲试验结果
Table 2 Results of tensile and bending test of 304/440/304 stainless steel clad plate

轧制	拉伸性能				弯曲性能		
	$\sigma_{0.2}/$ MPa	$F_{max}/$ kN	$\sigma_b/$ MPa	$\psi/$ %	最大压 力/kN	弯曲 程度/°	结合 状态
1 火	337.0	191.8	639.0	22.9	18.9	180	无分层
2 火	431.5	42.2	671.7	22.3	2.6	180	无分层

由试验结果可得,1 火轧制后试样拉断后的断口成剪切状,没有明显的颈缩现象,为脆性断裂,同时该拉断后试样在基板与复板之间出现分层现象,表明界面结合是不牢固的;2 火轧制后试样没有出现分层现象,说明轧制过程中的加热次数及轧制总变形量对复合板的界面结合强度及材料塑性有较大的影响。

2.2 弯曲试验

试样的取样方向、部位按照 GB2975-1998 和 GB6397 执行。试样尺寸的测量、试验设备和试验条件按照 GB232-1995 执行,试样加工成长条状,试验结果见表 2。

1 火和 2 火轧制的试样在弯曲后均未发生分层

现象,但 1 火轧制的试样在弯曲处出现了少量细微的裂纹,这一现象也说明复合板的成形性与轧制过程中的加热次数有关。

2.3 维氏硬度

试验中采用 0.5 kg 的载荷,保持 10 s 后卸载进行测量。由于 2 火轧制试样为最终用于生产的复合板,所以只研究了其基板与复板的硬度分布,试验过程中取点位置如图 2 所示。

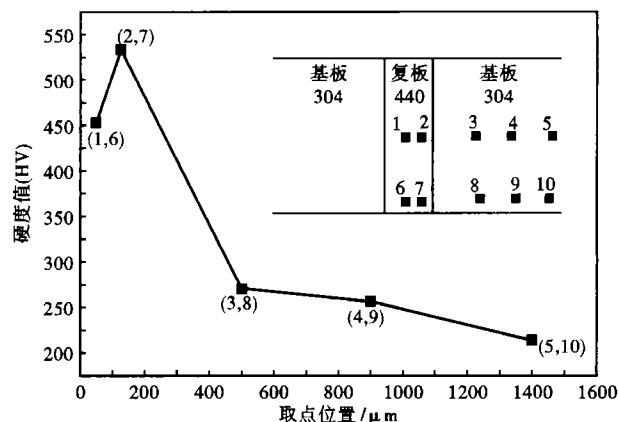


图 2 复合板硬度测试位置和硬度平均值分布曲线
Fig. 2 Hardness test location and distribution curves of hardness of clad plate

从表 1 可知,440 不锈钢具有较高的碳含量,所以复板的硬度远高出两侧基板的硬度,并且在轧制过程中还伴有加工硬化的作用,所以热轧过程中的塑性变形也使硬度相应的提高。

3 金相组织分析

由图 3(a)可见,复合板晶粒大小不均匀。这是由于 1 火轧制时变形量不够大,造成部分晶粒发生了再结晶,部分晶粒还没有来得及实现再结晶,导致复合板晶粒的大小不均。另外塑性变形不够大,使界面间金属没有实现冶金结合,故复合界面的结合线清晰可见,1 火轧制试样拉断后出现的分层现象也验证了这一点。由图 3(b)可见,2 火轧制后基板和复板结合状态良好,很难分辨出基板和复板之间的界面,两板间的晶粒相互穿过界面实现了真正的冶金结合。

4 扫描电镜观察

选取两火轧制试样进行扫描电镜试验,以观察复合过程中基板与复板中元素扩散情况。在复合板横截面上依次选取垂直于横截面方向的 8 个点,对点进行成分分析,取点位置如图 3(c)所示。根据各

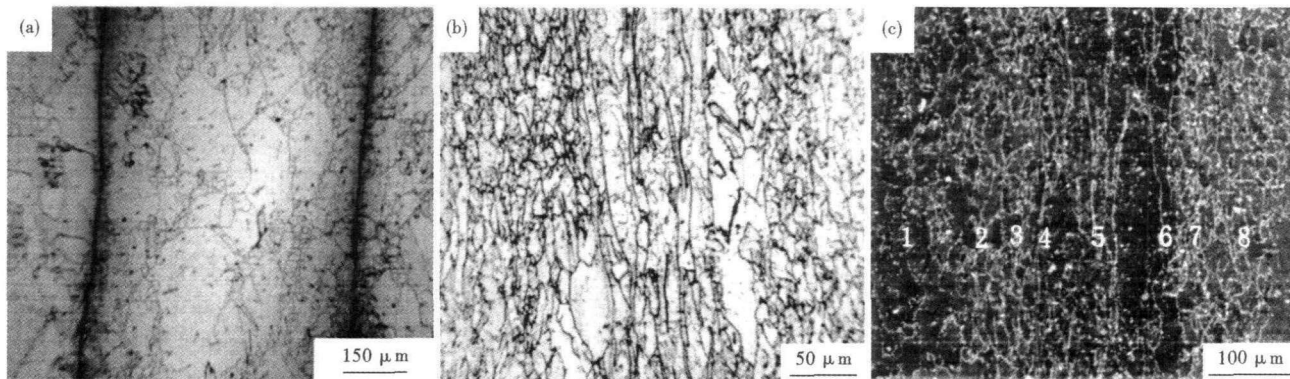


图 3 复合板 1 火试样(a)和 2 火试样(b)的组织;(c)2 火试样 SEM 能谱分析位置

Fig.3 Structure of once rolled sample (a) and twice rolled sample (b) of clad plate; and location for X-ray energy dispersive spectrum analysis at twice rolled sample of clad plate (c)

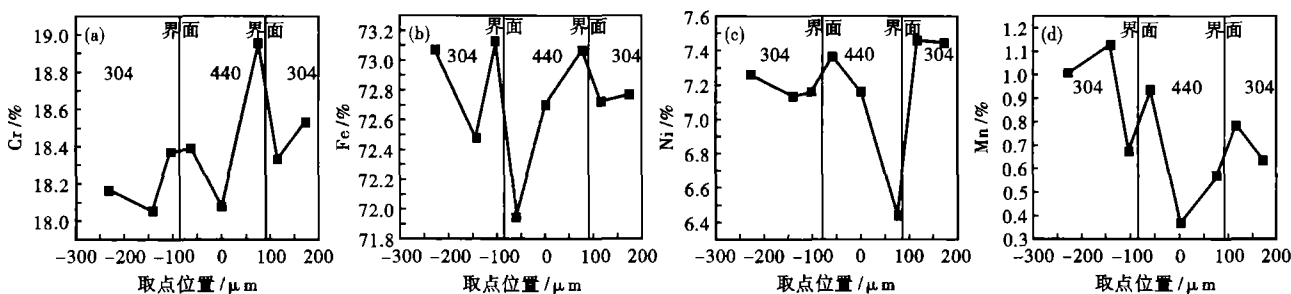


图 4 复合板界面处主要元素含量的变化:(a)Cr;(b)Fe;(c)Ni;(d)Mn

Fig.4 Change of main elements content at interface of clad plate: (a) Cr; (b) Fe; (c) Ni; (d) Mn

点能谱数据作出了 2 火试样各元素原子百分比变化趋势图,如图 4 所示。

从试验结果可以看出,基板和复板的铬含量比较接近,所以铬的扩散现象并不明显(图 4a)。复合板两侧基板的镍元素含量有一定的降低,而中间复板镍元素的含量则有了明显的升高(图 4c)。这是由于基板和复板中镍元素的含量相差较大,从而使镍元素由基板向复板扩散造成的。镍元素可以提高不锈钢的淬透性和可淬性,同时还可以提高马氏体不锈钢的回火稳定性,所以少量的镍可有效地降低马氏体不锈钢回火的软化程度。因而,镍元素的扩散,增加了马氏体不锈钢 440 的淬透性和可淬性,进一步提升复合板的复板硬度。

从图 4(d)可见,复板中锰元素含量有所下降,这对复合板的硬度会产生一定的影响。锰元素是奥氏体形成元素,锰元素的减少会使奥氏体相区减小,马氏体转变过程中 M_s 点上移和残余奥氏体量减少, M_s 点的上移增大了马氏体转变的过冷度,从而获得更多的马氏体组织。锰含量减少 1%, M_s 点会提升 33 ℃,并且奥氏体会减少 20%。因而锰元素含量下降,会对两火轧制的复合板中马氏体含量

的增加、硬度的提高起到一定的促进作用。所以尽管轧制过程中复合板的复板碳含量有一定降低,但因为上述两个因素的作用,复合板的硬度并没有明显的下降。

5 结论

两火轧制后 304/440/304 不锈钢复合板界面实现了冶金结合,界面结合牢固。两火轧制后的基、复板厚度均匀,复板硬度较高,满足刀具使用要求。

参考文献

- 1 常万祯. 2004 年全国刀剪行业信息中心工作总结及 2005 年工作重点. 五金科技, 2005, 17(6): 4
- 2 韩裕昌. 不锈钢热轧型材调研报告. 长城技术, 1992(4): 12
- 3 刘洪涛, 王培智. 国际钢号(0Cr18Ni9)与日本标准钢号 SUS304(0Cr18Ni9)的对比. 重型机械科技, 2003(2): 52
- 4 徐增华. 金属耐蚀材料-第五讲马氏体不锈钢. 腐蚀与防护, 2001, 22(5): 229
- 5 陆世英. 不锈钢. 北京: 原子能出版社, 1995
- 6 Chang R R. Optimal Design of Laminated Composite Torque Wrench. Computers and Structures, 2001(79): 57

刘 靖(1965-),女,副教授,1989 年清华大学毕业,塑性加工工艺和技术研究。

收稿日期:2008-07-02