

TWIP 钢 TIG 焊接接头的组织与性能

胡志强, 李春福, 宋开红, 陈庆勇, 阳 义, 杨凯朝

(西南石油大学 油气藏地质及开发国家重点实验室, 四川 成都 610500)

摘要:研究了 TWIP(21Mn24Cr5Ni2Al2Si) 钢冷轧板手工 TIG 焊接后的焊接接头组织和力学性能。结果表明, 焊接接头和母材组织均为单一奥氏体, 且不形成孪晶, 拉伸后的组织有少量形变孪晶。母材的抗拉强度和显微硬度远高于焊接接头, 母材伸长率略低于焊接接头; 母材断口为准解理断裂, 无缩颈; 焊接接头为韧窝型韧性断裂, 有明显缩颈。母材和焊接接头的性能有巨大差异, 且 TWIP 效应不明显, 有必要对其整体进行固溶处理。

关键词: TWIP 钢; TIG 焊; 焊缝区; 显微组织; 力学性能

中图分类号: TG142.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 0254-6051(2012)03-0046-05

Microstructure and mechanical properties of TIG welding joint of TWIP steel

HU Zhiqiang, LI Chunfu, SONG Kaihong, CHEN Qingyong, YANG Yi, YANG Kaichao

(State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan 610500, China)

Abstract: Microstructure and mechanical properties of 21Mn24Cr5Ni2Al2Si-TWIP cold rolling plate after manual TIG welding was studied. The results shows that the microstructure of base metal and welded joint both are single austenite, and without twin structure. There is a little deformation twins after tensile test. The tensile strength and hardness of base metal is much higher than welded joint, but the elongation is slightly lower than welded joint; Fracture morphology shows that fracture of base metal is quasi-cleavage fracture without necking down. Fracture of welding joint is dimple-type ductile fracture with clearly necking down. The performance matching of base metal and welding joint has huge difference, and TWIP effect is not obvious. Therefore, solution treatment for the welding metal is very necessary.

Key words: TWIP steel; TIG welding; welding zone; microstructure; mechanical property

TWIP(Twinning induced plasticity) 钢—孪生诱发塑性钢, 具有中等的抗拉强度(R_m 约 600 MPa) 和极高的伸长率($A > 80\%$), 其抗拉强度和伸长率的乘积在 50000 MPa% 以上, 是高强韧性 TRIP 钢的两倍。这种钢是 Grassel 等^[1-2] 在 1997 年研究 Fe-Mn-Si-Al 系 TRIP 钢试验时发现, 孪晶可在形变温度为 $-70 \sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的面心立方奥氏体中形成, 形变速率可低达 10^{-4} s^{-1} 。当 Fe-Mn-Si-Al 系钢锰含量达到 25%, 铝含量超过 3%, 硅含量在 2% ~ 3% 之间时产生 TWIP 效应, TWIP 钢在拉伸过程中没有缩颈。除此之外, 该钢还具有高的能量吸收能力, 如 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时约为 0.5 J/mm^3 , 为传统 IF 钢的两倍以上; 且该钢在 $-196 \sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 形变温度区间内没有低温脆性转变温度。由于 TWIP 钢具有优异的综合性能, 近年来成为新一代延性高强度钢发展的方向, 尤其是在汽车行业, TWIP 钢作为汽车用钢, 可以减重、节能、降低排放和提高安全性。同时在石油行业, 被美国 Cook 称为“石油钻采的登月工程”, 21 世纪钻

井、完井最具革命性的技术之一的“可膨胀管技术”选材方面 TWIP 钢也必定有很大的应用前景^[3]。材料的焊接对材料的生产应用有重要的实际意义, 本文试验研究了 TIG 焊对 TWIP 钢组织和性能的影响。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

本试验选用自行研制的 21Mn24Cr5Ni2Al2Si—TWIP 钢, 试验用 TWIP 钢在 VIM25 型真空中频感应炉内冶炼, 熔炼真空度 10^{-3} Pa 。冶炼温度 $1500 \sim 1650\text{ }^{\circ}\text{C}$, 浇注方式采用钢锭模炉内浇铸方式进行, 浇注温度约 $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。试验用钢的铸锭在 RJX-30-13 箱式高温炉内进行 $1050 \sim 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、48 h 的扩散退火, 然后进行开坯, 在 10 t 空气锤上锻造成厚度约为 25 mm 的坯料(始锻温度为 $1100 \sim 1150\text{ }^{\circ}\text{C}$, 终锻温度为 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$)。锻造后的坯料在 $\phi 250\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ 的两辊轧机上进行多道次轧制, 轧制成厚度为 10 mm 的带钢。轧制的始轧温度 $1100 \sim 1150\text{ }^{\circ}\text{C}$, 终轧温度 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。经热轧后的厚钢板在四辊 $\phi 90/\phi 240\text{ mm} \times 250\text{ mm}$ 冷轧机上进行多道次冷轧, 单道次压下量为 10%, 制成 6 mm 厚的钢带。本试验选用的材料状态为压下量为 37% 的冷轧板, 试验材料化学成分见表 1。焊接试样尺寸为

收稿日期: 2011-10-18

作者简介: 胡志强(1985—), 男, 四川荣县人, 硕士研究生, 研究方向为材料物理与化学, 主要从事油气田材料的焊接和腐蚀与防护。E-mail: 332428994@qq.com。通讯作者: 李春福, 教授, 博士生导师。E-mail: lichunfu10@163.com

200 mm×100 mm×6 mm。

表1 试验 TWIP 钢化学成分(质量分数,%)
Table 1 Chemical composition of the tested TWIP steel(wt%)

C	Mn	Cr	Ni	Al	Si	Mo	P	S
0.21	23.80	4.61	1.58	1.76	0.83	0.50	0.016	0.017

1.2 试验方法

本试验焊接方法选用手工钨极氩弧焊。焊接设备为 WSE1-315 交直流 TIG 焊机。考虑到试验材料还没有正式投产,找不到较好匹配的焊丝,本文选用母材作为

焊丝,参考《焊接手册》^[4],焊丝直径与坡口大小有关,选用参考值 2.4 mm。坡口形式为 V 型坡口,坡口设计如图 1。坡口加工采用线切割,焊接坡口经清理去油后方可施焊。焊接参数见表 2。焊接试验板经外观检查, X 射线、超声波及磁粉探伤合格后进行取样及试验。

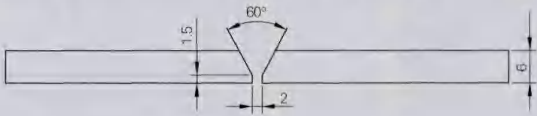


图1 坡口设计
Fig.1 Groove design

表2 TWIP 钢手工 TIG 焊焊接工艺参数
Table 2 Manual TIG welding processes parameters of the TWIP steel

焊层	电源极性	电弧电压/ V	焊接电流/ A	焊接速度/ (cm·min ⁻¹)	氩气流量/ (L·min ⁻¹)	氩气纯度/ %	焊接线能量/ (J·cm ⁻¹)	焊丝直径/ mm	钨极直径/ mm
3	直流	11	160	15	6~10	>99.6	6400	2.4	3.4

分别对拉伸前后焊接接头区域利用线切割制取试样,经打磨、抛光、10% 硝酸酒精腐蚀制备一系列的金相试样,并在 XJG-05 型大型金相显微镜下观察焊缝组织。焊缝拉伸试样沿垂直于焊缝方向取样,拉伸试验按照国家标准 GB/T 2651—2008《焊接接头拉伸试验方法》的规定,在 SHT420SD 微机控制电液伺服万能试验机上进行。在 ZEISS SUPRA 55/55VP 扫描电镜下对焊接接头和拉伸断口进行观察。用 HVS-1000 显微硬度计分别测量焊接接头焊缝、热影响区和母材 3 个区域的显微硬度,按 GB/T 2654—2008《焊接接头硬

度试验方法》进行。

2 试验结果及分析

2.1 焊接接头显微组织

图 2 为 21Mn24Cr5Ni2Al2Si—TWIP 钢冷轧和焊缝显微组织,图中没有见到任何孪晶形貌。通过对 XRD 图谱(图 3)分析,母材和焊缝组织中只有 γ -Fe 衍射峰出现,表明焊接前后 TWIP 钢均为单一奥氏体结构。图 2(a)为冷轧板母材组织,具有冷轧过后的带状形态,组织晶界粗大且不连续。通过 TIG 焊接后,焊接

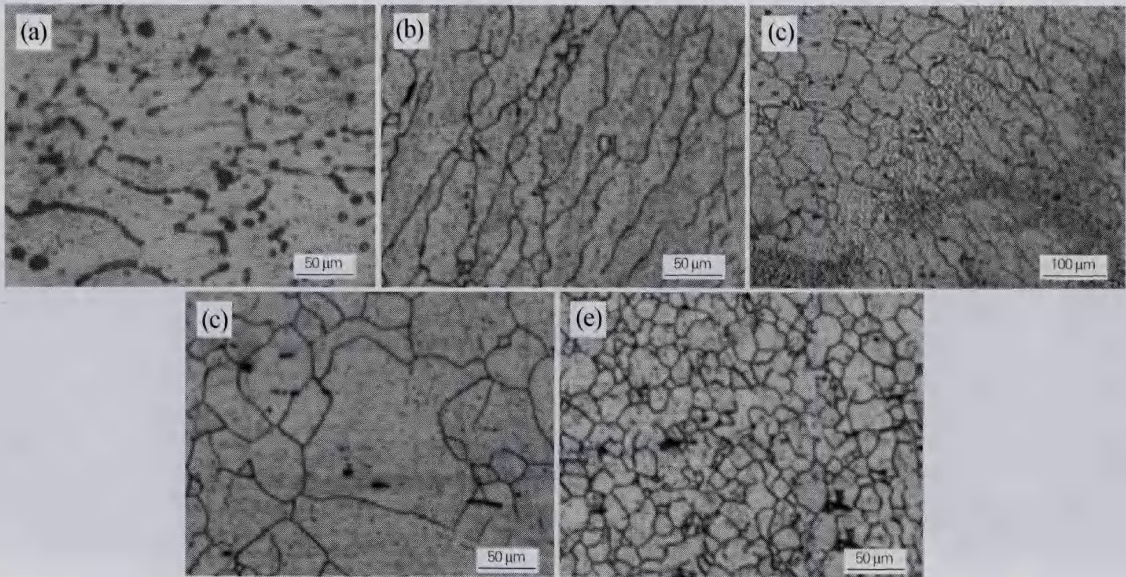


图2 TWIP 钢焊缝显微组织
(a) 母材; (b) 焊缝区; (c) 熔合区; (d) 过热区; (e) 正火区

Fig.2 Microstructure of the TWIP steel welding
(a) base metal; (b) welding zone; (c) fusion zone; (d) overheated zone; (e) normalized zone

接头组织分为焊缝区和热影响区。局部熔化重新结晶形成的焊缝组织具有明显的胞状晶结构,奥氏体胞状晶依附于未熔化的母材金属晶粒平行向焊缝中心生长,形成联生结晶,当晶体最易长大方向与散热最快方

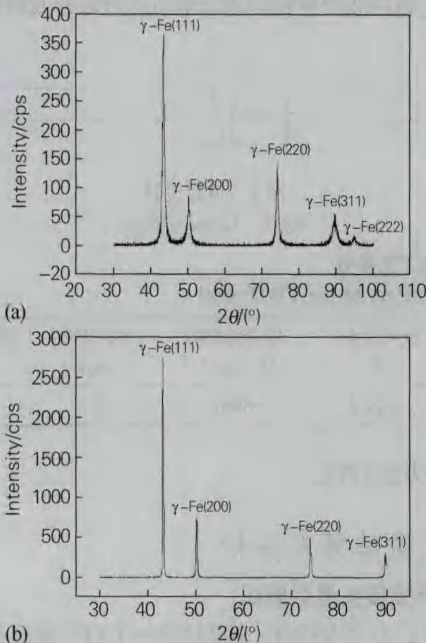


图3 TWIP钢母材(a)和焊缝(b)的XRD图谱
Fig. 3 XRD patterns of base metal (a) and welding (b) of the TWIP steel

向或最大温度梯度方向一致时,则最有利于晶粒长大,便优先得到成长,可以一直长到熔池中心,形成粗大的柱状晶体^[5],如图2(b)和图2(c)。热影响区各点所经历的焊接热循环不同,造成整个热影响区组织和性能不均匀,具有非常明显的四个特征区域,如图2(c~f)分别为热影响区的熔合区、过热区、正火区和部分相变区。熔合区熔合线不明显,但清晰可见焊缝和过热组织的过渡,如图2(c),是因为采用母材作为焊丝,焊

缝成分和母材相似。在过热区,如图2(d),由于焊接热作用,母材处于过热状态,母材原来的条带状组织发生再结晶,奥氏体晶粒发生严重长大现象,冷却之后形成粗大的组织,转变为等轴晶,在紧邻焊缝的过热区等轴晶明显粗化。紧挨着过热区的母材被加热到 A_{c3} 以上部位,将发生重结晶,在空气中冷却得到均匀而细小的奥氏体组织,相当于热处理时的正火组织,该区域具有良好的塑性和韧性^[6],如图2(e)。

图4为21Mn24Cr5Ni2Al2Si—TWIP钢冷轧焊缝经过拉伸试验后的显微组织,与图2最大的区别就是图4中的晶粒沿着拉伸方向被拉长,并且组织中都不不同程度地产生了形变孪晶,图4(a)母材组织最为明显,焊接接头组织中的形变孪晶比较少且比较细。米振莉等^[7]指出形变孪晶遗传了退火孪晶的取向,形变孪晶的产生与发展将受到晶粒取向和变形量的双重影响,形变孪晶总是在具有最有利取向的晶粒内生成,然后随着变形的进行,经过孪生协调晶粒的取向,逐渐使孪晶在大多数晶粒内形成。本文焊接选用的是冷轧态组织,不存在退火孪晶,再加上焊接热循环的影响,焊接接头组织不均匀,导致了在拉伸过后焊接接头组织中变形孪晶数量少而细密。

2.2 焊接接头力学性能分析

2.2.1 焊接接头的拉伸性能

试样在2 mm/min的拉伸速率下拉断后得到母材的抗拉强度为1278 MPa,伸长率为7.3%,没有屈服强度;而焊接接头的抗拉强度下降到675 MPa,屈服强度为645 MPa,伸长率有所上升,能达到10.8%。图5是冷轧母材和冷轧焊接接头的工程应力-应变曲线,从图5中曲线上可以看出,母材在经历弹性变形后并没有发生屈服,而焊接接头经过弹性变形后塑性变形也不明显。

母材在拉伸过程中没有发生明显的缩颈,宏观断

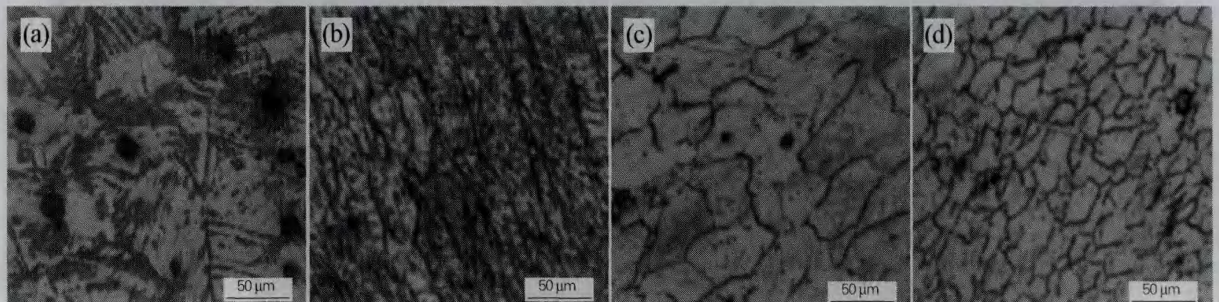


图4 TWIP钢拉伸态冷轧焊缝显微组织
(a) 母材; (b) 焊缝区; (c) 过热区; (d) 正火区

Fig. 4 Microstructure of cold-rolling welding of the TWIP steel at tensile state
(a) base metal; (b) welding zone; (c) overheated zone; (d) normalizing zone

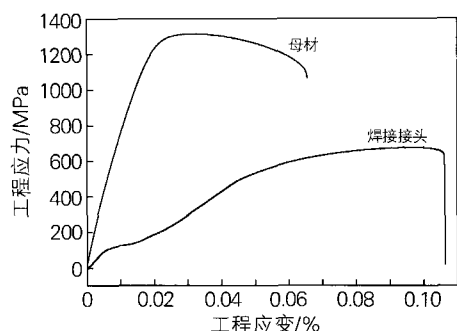


图5 TWIP钢冷轧母材和冷轧焊接接头工程应力-应变曲线

Fig. 5 Engineering stress-strain curves of cold-rolling base metal and cold rolling welded joint of the TWIP steel

口为结晶状,小刻面亮但不发光;焊接接头拉伸过程中发生了明显的缩颈,塑性变形主要发生在焊缝,断口具有剪切唇和放射区。

图6是母材和焊缝断口的SEM形貌,从图6(a)中看出,母材断口中存在少量韧窝,并且在小平面之间发生塑性变形以撕裂的方式相连,由于准解理断裂是介于解理断裂和韧窝断裂之间的一种断裂模式,断裂机制接近韧窝断裂时撕裂棱突起特别明显呈花瓣状^[8],属于脆性断裂。从图6(b)中可以看出,焊接接头断口的微观形貌呈现出许多细小、等轴状的韧窝结构,断口的韧窝很深且沿深度方向呈锥状,是典型的韧性断裂。

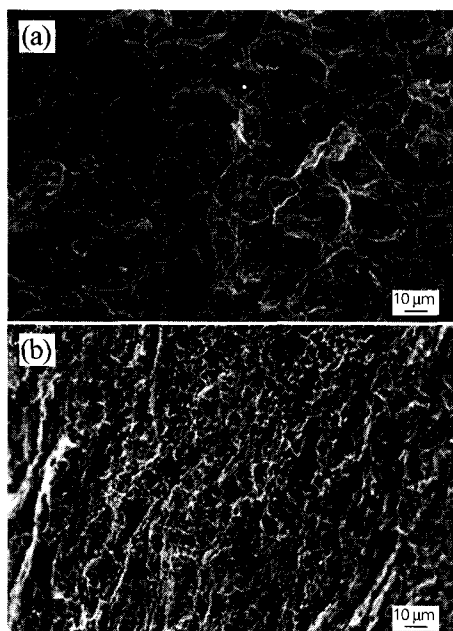


图6 TWIP钢冷轧态拉伸断口SEM形貌
(a) 母材; (b) 焊缝

Fig. 6 SEM morphologies of tensile fracture of the TWIP steel at cold-rolling state
(a) base metal; (b) welding zone

2.2.2 焊接接头显微硬度

图7中横坐标表示垂直于焊缝方向的距离,0为焊缝中心,0~4 mm区间为焊缝区,4~10 mm区域为热影响区,10~16 mm区域为母材区。从图7中显微硬度分布来看,母材硬度和焊接接头硬度明显不均匀,母材硬度明显高于焊缝和热影响区组织,硬度在370 HV0.1左右,而焊缝和热影响区的显微硬度波动不大,在200 HV0.1左右。由于母材在成形过程中,受冷轧塑性变形的作用,产生大密度位错滑移和机械孪晶导致硬度比较高。焊缝组织相当于母材和焊丝重新熔化,在较大的冷却速度下重新结晶成粗大的晶粒,加上焊缝金属无冷作硬化效应,使其硬度相对母材较低。而热影响区硬度降低的主要原因是发生再结晶导致母材原有的冷作硬化效果消失^[9]。

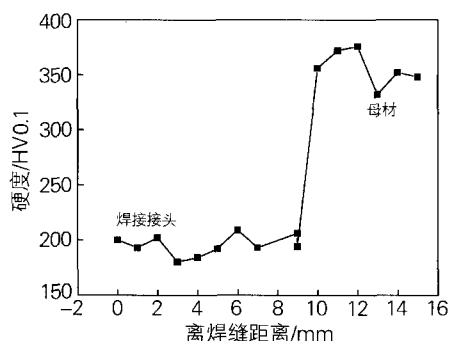


图7 TWIP钢显微硬度分布

Fig. 7 Microhardness distribution of the TWIP steel

3 结论

1) 21Mn24Cr5Ni2Al2Si—TWIP钢以母材为焊丝,采用TIG焊接,得到的焊接接头显微组织具有典型的焊缝区和热影响区,焊接前后组织均为单一奥氏体,整个组织中没有见到孪晶形成;拉伸后的显微组织沿拉伸方向晶粒被拉长,并伴有少量的形变孪晶产生。

2) 通过力学性能试验得出,母材的抗拉强度和显微硬度远远高于焊接接头;而焊接接头的伸长率略高于母材,塑性变形主要发生在焊接接头处,并伴有缩颈现象,母材断裂时没有缩颈;断口SEM分析得出,母材断裂方式为准解理断裂,而焊接接头为韧窝型塑性断裂。

3) 结合TWIP钢焊接接头组织和力学性能分析得出,冷轧态TWIP钢TIG焊接接头组织和母材组织性能差异比较大,TWIP效应不明显。TWIP效应要求其形变前的组织为单一奥氏体,并且晶粒内部存在一定尺寸和数量的退火孪晶^[10],因此想要TWIP钢焊接接头充分发挥TWIP效应,母材和焊接接头性能有较

稀土钇对 AZ80 镁合金微观组织和性能的影响

李高林¹, 文九巴^{1,2}, 贺俊光¹, 马景灵¹, 杨永顺¹, 李君峰¹

(1. 河南科技大学 材料科学与工程学院, 河南 洛阳 471003;

2. 河南省有色金属材料科学与工程重点实验室, 河南 洛阳 471003)

摘要:采用扫描电镜(SEM),金相显微镜(OM),X射线衍射(XRD),拉伸试验及腐蚀失重等测试手段对添加不同含量稀土钇对AZ80镁合金微观组织和性能的影响进行了研究。结果表明,适量钇的添加使得AZ80镁合金的组织得到细化, β -Mg₁₇Al₁₂相的数量显著下降,并且由连续网状分布变为断续、均匀分布,同时生成新的稀土相Al₂Y。添加0.5%Y时,合金室温下抗拉强度达到199.286 MPa,伸长率为6.155%,分别增加了7.49%,7.98%,腐蚀速率为0.2585 mg·cm⁻²·d⁻¹,仅为原始合金的48.07%,表现较好的综合性能。

关键词:AZ80合金;稀土钇;微观组织;力学性能;腐蚀性能

中图分类号:TG146.2+2 **文献标志码:**A **文章编号:**0254-6051(2012)03-0050-04

Influence of yttrium on microstructure and properties of AZ80 magnesium alloy

LI Gaolin¹, WEN Jiuba^{1,2}, HE Junguang¹, MA Jingling¹, YANG Yongshun¹, LI Junfeng¹

(1. School of Material Science and Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang Henan 471003, China;

2. Henan Key Laboratory of Non-ferrous Metal Materials Science and Processing Technology, Luoyang Henan 471003, China)

Abstract: The effects of yttrium with different content on the microstructures and properties of AZ80 alloy were investigated at room temperature by using of scanning electron microscope (SEM), optical microscope (OM), X-ray diffractometer (XRD), tensile tester and corrosion weightlessness method. The results show that proper content of Y can refine the microstructures of AZ80 magnesium alloy obviously, decrease the quantity of β -Mg₁₇Al₁₂ phases sharply, change their morphology from continuous network to discontinuous disperse after the addition of Y, and a new phase Al₂Y formed. The optimal performance was obtained when the Y content in the alloys was 0.5%, the tensile strength and the elongation of the alloy were 199.286 MPa and 6.155%, increased by 7.49% and 7.98% compared with AZ80 alloy respectively, the corrosion rate was 0.2585 mg·cm⁻²·d⁻¹, only the 48.07% compared with AZ80 alloy.

Key words: AZ80 alloy; yttrium; microstructure; mechanical property; corrosion resistance

收稿日期:2011-09-13

基金项目:西北工业大学凝固技术国家重点实验室开放课题项目(SKISP201008);河南省自然科学基金项目(092300410132);河南省科技攻关项目(072102230007)

作者简介:李高林(1984—),男,河南开封人,硕士,研究方向为镁合金的开发与应用。E-mail:ligaolin092@163.com

好的匹配,对母材和焊接接头进行固溶处理显得非常有必要。本文只是针对TWIP钢冷轧焊接组织和性能分析,后续工作将对TWIP钢焊缝固溶处理工艺进行研究。

参考文献:

- [1] Grassel O, Frommeyer G, Derder C, et al. Phase transformation and mechanical properties of Fe-Mn-Si-Al TRIP-steels [J]. Phys France, 1997(5):383-391.
- [2] Grassel O, Ruger L, Frommeyer G, et al. High strength Fe-Mn-(Al, Si) TRIP/TWIP steels development properties application [J]. International Journal of Plasticity, 2006, 16(3):1391-1409.
- [3] 孟庆昆, 谢正凯, 冯来, 等. 可膨胀管技术概述 [J]. 钻采工艺,

AZ80镁合金由于其高比强度(密度为1.738 g/cm³)、较好热传导性(122 W·m⁻¹·K⁻¹)及电磁屏蔽特性等优越的性能,已被广泛用于计算机、通信和电子生产等工业领域。近年来,AZ80镁合金作为结构材料方面的应用也迅速发展^[1-3],为了提高镁合金的性能,人们进行了大量的研究^[4-6],结果表明稀土元素可以显著

2003,26(4):67-68.

- [4] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册 [M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- [5] Tjong S C, Zhu S M, Ho N J, et al. Microstructural characteristics and creep rupture behavior of electron beam and laser welded AISI 316L stainless steel [J]. Journal of Nuclear Materials, 1995, 227(12):24-31.
- [6] 张文钺. 焊接冶金学 [M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [7] 米振莉,唐荻,江海涛,等. Fe-28Mn-3Si-3Al TWIP钢变形过程中孪晶观察 [J]. 钢铁, 2007, 42(12):73-76.
- [8] 崔贤贤,王长利. 金属断口分析 [M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1998.
- [9] 陈伯鑫. 焊接冶金原理 [M]. 北京:清华大学出版社,1991.
- [10] 李大赵,卫英慧,侯利锋,等. 冷轧压下量对TWIP钢组织与性能的影响 [J]. 金属热处理, 2010, 35(5):63-68.