DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.08.020

合金元素对 TWIP 钢组织性能影响的研究进展

崔潇文[1],张贵杰[1],林绍峰[2],王鹤尧[1],陈　晨[1]
(1.华北理工大学 冶金与能源学院,河北 唐山 063210;2.首钢京唐钢铁联合有限公司 生产制造部,河北 唐山 063200)

摘　要:综述了 TWIP 钢的研究现状,介绍了合金元素在 TWIP 钢中的作用以及对组织性能的影响,并对 TWIP 钢今后的发展做出了展望,希望能为 TWIP 钢在汽车行业的应用提供参考。

关键词:TWIP 钢;TWIP 效应;合金元素;组织性能
中图分类号:TG142.1　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)08-0733-06

Research Progress on Effect of Alloying Elements on Microstructure and Properties of TWIP Steel

CUI Xiaowen[1],ZHANG Guijie[1],LIN Shaofeng[2],WANG Heyao[1],CHEN Chen[1]
(1.School of Metallurgy and Energy,North China University of Technology,Tangshan 063210,China;2.Shougang Jingtang Iron and Steel United Co.,Ltd.,Manufacturing Department,Tangshan 063200,China)

Abstract:The research status of TWIP steel is summarized,the role of alloying elements in TWIP steel and the effect on microstructure and properties are introduced,and the future development of TWIP steel is prospected,hoping to provide reference for the application of TWIP steel in automobile industry.

Key words:TWIP steel;TWIP effect;alloy element;structure-property

随着时代的发展,汽车已成为广大家庭中最为重要的出行工具之一,各种汽车用钢等钢材更是有着不可替代的地位。2020 年,尽管受到新冠疫情的影响,国内汽车销量有所下跌,但自 4 月份开始,随着疫情被逐步控制,汽车销量又持续保持增长,全年销量达到 2531.1 万辆,继续蝉联全球第一[1]。钢材产量也是同样,根据国家统计局的数据显示[2],2020 年全国生铁产量 8.88 亿吨、粗钢产量 10.53 亿吨,钢材产量 13.25 亿吨,并且还有所增长。随着汽车的增多,资源和环境问题也日益严峻。有研究表明:如果能让汽车减重 10%,那么油耗就将减少 5%左右[3],这不仅为汽车行业的资源节约提供了一个很好的思路,也可以减少消费者在汽油上的开销,减轻家庭的负担。现在大多数汽车以钢结构为主,但不能只考虑重量而忽略了安全性,这就要求汽车用钢在低重量的同时又有较高的强度。相较于出现更早的钢种[4],新一代高强钢 TWIP 钢同时具有优秀的强度和韧性,以其优良的综合性能迅速成为汽车用钢的重要材料。

1　TWIP 钢简介

1.1　TWIP 钢的由来

TWIP(Twinning Induced Plasticity)钢即孪生诱发塑性钢,它的发现与在它之前就出现的相变诱导塑性(Transformation-Induced Plasticity,TRIP)钢有着密切的联系。早在 20 世纪九十年代末,Grässel[5]等人在研究 Fe-Mn-Si-A1 系 TRIP 钢时,发现当其中的合金元素达到特定的含量时,其强塑积大幅提升,甚至能达到之前的 2 倍,并将最终的成分确定为 Fe-25Mn-3Al-3Si;在对其进一步研究中发现,这种新型钢的高强韧性与通过相变诱导的 TRIP 钢不同,而主要是靠着产生了大量的孪晶细化了晶粒,从而达到了强化的效果,最终将这种新型钢种命名为 TWIP 钢,这也就是第一代 TWIP 钢。图 1 展示了不同高强钢的力学性能[6],可以看出 TWIP 钢综合性能优良,既不会因追求强度而忽视塑性,导致汽车在碰撞时车体结构容易发生脆断,也不会因强度过低在撞击中轻易凹陷,是十分优秀的汽车用钢。

1.2　TWIP 效应

TWIP 效应一般是在较大外力参与下产生的。当外力足够大时,钢材会产生塑性变形,从而产生形变孪晶,这些孪晶就像是房间里的一面面墙一样将

收稿日期:2021-04-02
基金项目:国家自然科学基金(51801063)
作者简介:崔潇文(1996—),河北唐山人,硕士生.研究方向:金属材料成型及工艺研究.电话:15632818651,Email:1161033751@qq.com
通讯作者:张贵杰(1973—),河北唐山人,博士,教授.研究方向:金属材料成型理论与工艺、非线性相变和智能金属材料.电话:15373530296,Email:zhguijie@vip.sina.com

原来的大晶粒分割成一个个小的晶粒，细化了晶粒，达到了细晶强化的效果。不但如此，被分割后的小晶粒中还会继续出现孪晶，被继续分割，又进一步的细化了晶粒。这些孪晶不但能细化晶粒，还能阻碍位错的运动，当位错移动至此时，由于阻力增大便会堆积至此，即钉扎作用，又进一步对晶粒起到了强化作用[7]。

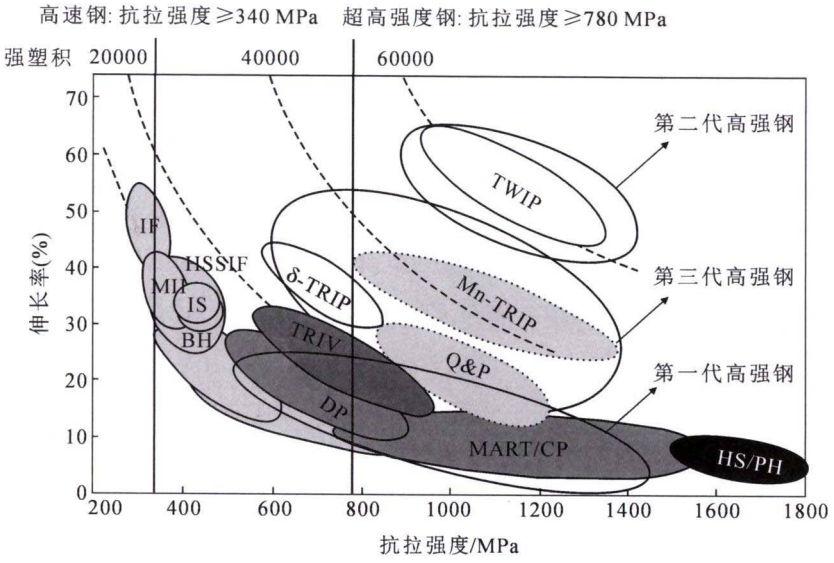


图 1 不同钢材的力学性能图示

Fig. 1 Diagram of the mechanical properties of different steels

2 层错能及其影响

从晶体结构学角度来看，密排原子平面的堆垛应该是有规律的，但是在某些情况下它们的堆垛可能出现错误，如在正常排序中少了一层，这样的类型称为抽出型，或者是多了一层，称为插入型。堆垛错排使能量增加，增加值即为堆垛层错能（Stacking Fault Energy，SEF）[8]。

堆垛层错能是影响 TWIP 钢综合性能的一个关键因素[9]，它能直接影响材料的力学性能和变形机制，同时也是 TWIP 效应得以产生的关键因素。层错能的大小主要与材料的成分和温度有关[10]。当层错能不同时，材料的变形机制也有所不同，Frommeyer 与 Grässel[11,12] 等人通过研究发现当层错能低于 16 mJ/m^{2}时，变形机制主要为马氏体相变。当层错能增大到 25 mJ/m^{2}时，孪晶开始逐步出现，此时的变形机制转换为孪生。如果继续增大层错能到 60 mJ/m^2，位错被激活，滑移系开动，此时的变形机制又转换为了位错滑移。

3 钢中主要合金元素

3.1 锰元素

Mn 元素是 TWIP 钢中最主要的合金元素，相比其他合金元素，含量极高，一般在 15% ~30%，已经可以说是铁锰合金。正是这种独特的 Mn 含量，才使得 TWIP 钢有着普通钢种无可比拟的优良综合性能，其强度可以突破 1 000 MPa，伸长率也能达到 50% 以上[13-14]。Mn 元素的加入可以使 TWIP 钢原本的奥氏体相区得到扩大[15-16]，这就使其能在更大的温度范围内维持奥氏体组织，有利于 TWIP 钢的稳定性。同时，Mn 含量的改变还与层错能的大小密切相关。图 2 为 TWIP 钢层错能大小与 C 元素和 Mn 元素含量的关系[17]，随着 C 元素和 Mn 元素含量的增大，其基体的层错能大小也随之增大，从而诱发 TWIP 效应。

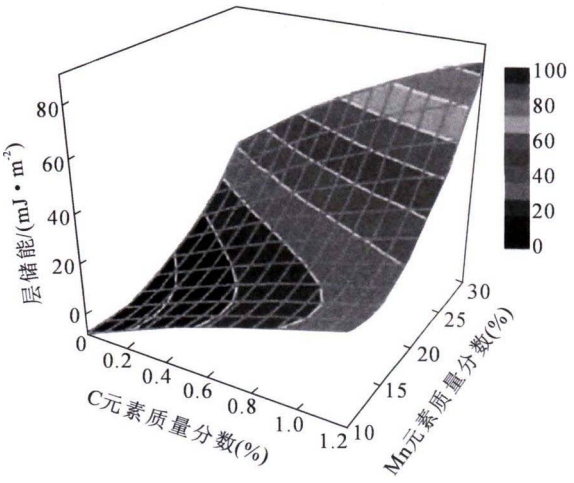


图 2 TWIP 钢层错能大小与 C 和 Mn 含量的关系

Fig. 2 Relationship between stacking fault energy and C and Mn contents in TWIP steel

Bouaziz[18] 等人的研究表明，层错能的大小直接关系到位错的滑移模式。李冬冬[17] 等人也通过对 Fe-13Mn-1.0C 和 Fe-22Mn-1.0C 两种 Mn 含量的 TWIP 钢层错能测定并进行了拉伸试验分析其组织与性能，其中 Fe-13Mn-1.0C 钢的层错能为 27 mJ/m^2，Fe-22Mn-1.0C 钢的层错能为 37 mJ/m^2，而力学性能的测试结果也证实 Fe-22Mn-1.0C 钢的屈服强度和抗拉强度略低，伸长率却大幅提高。这是因为当层错能较高时，扩展位错相较于低层错能时会趋于更窄，这就使位错更容易开动起来，实现交滑移，但这也就导致其抗拉强度和屈服强度有所下降。

对于 Mn 元素对 TWIP 钢组织与性能的影响，大量科研工作者的研究表明，在一定的范围内，随着 Mn 元素含量的增加，其屈服强度和抗拉强度有所下降，而伸长率有所提升，表现出强度下降而塑性升高的趋势。王玉昌[19] 等人通过确定的 C 含量，进行了两组实验，第一组为 Fe-20Mn-0.4C 与 Fe-22Mn-0.4C，第二组为 Fe-20Mn-0.6C，Fe-22Mn-0.6C 和 Fe-24Mn-0.6C，进行了拉伸试验；同时利用 ThermoCalc 软件 TCFE6 数据库进行了模拟计算。图 3 为不同 Mn 含量下 TWIP 钢屈服强度、抗拉强度和伸长率的变化趋势[19]，都符合上述规律。

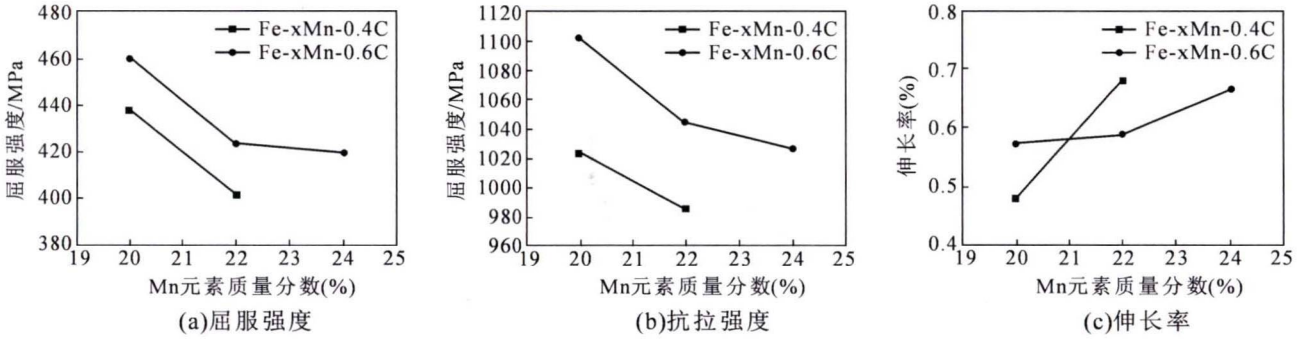


图 3 不同 Mn 含量下 TWIP 钢力学性能的变化趋势[19]

Fig. 3 The change trend of the mechanical properties of TWIP steel under different Mn content [19]

刘洪波[20] 等人利用 Gleeble-3500 热机械模拟器在恒定应变速率 $3\times10^{-3}\,s^{-1}$ 和 700 ~ 1 200 ℃ 的温度分别研究了 3 种 Mn 含量 w(%) 为14.94、18.21 和 23.6 的 TWIP 钢的延展性；但文蛟[21] 团队建立了基于位错的应变硬化模型在 Mn 含量 22% ~26% 的范围内进行了研究，并通过张力拉伸试验测定了其力学性能，也都符合上述规律。

3.2　铝元素

Al 元素作为 TWIP 钢中的主要合金元素之一，早在第一代 TWIP 钢中就加以运用，又在第三代 TWIP 钢出现后得到了进一步的改良优化。Al 是一种轻质合金，原子序数很小，它能固溶于钢的基体中引起晶格畸变，使基体点阵扩张，降低了钢的平均摩尔质量，增加了钢的摩尔体积，从而降低钢的密度，起到了减重的效果。同时 Al 元素还能提高奥氏体的堆垛层错能，从而改变钢的强化机制，引发 TWIP 效应，提高钢的力学性能。以上两点，让新型汽车钢能保持良好强度的同时减轻重量，这对今天所要求的节能减排也有着重要的意义。但是，Al 元素的添加量不能过高，由于其易氧化的特性，可能在工业生产中产生不利影响。

王力[22] 设计了 3 种 Al 含量 w(%) 为 6、8 和 10 的 Fe-10Mn-xAl-0.25C TWIP 钢，进行了室温拉伸实验并分析了组织与性能；发现随着 Al 元素含量的提高，钢的抗拉强度略有下降，硬度有所提高。田艳中[23] 团队同样设计了 3 种 Al 含量的 TWIP 钢，通过电子通道衬度成像、透射电子显微镜和 X 射线衍射形貌术技术研究了微观结构的演变，发现铝的添加降低了背应力水平，抑制了孪生能力，并增加了堆垛层错能，从而导致加工硬化率降低。其次，Al 的添加改善了摩擦应力水平并促进了短程有序效应，从而使位错滑移由波状向平面模式转变。最后，动态应变时效效应使位错得以固定，从而形成高位错激活体积；随着塑性应变的增加，形变孪晶和短程有序效应限制了位错滑动，导致了低位错激活体积，说明了堆垛层错能、短程有序效应和动态应变时效效应可以通过添加 Al 元素对 Fe-Mn-C-(Al) 系 TWIP 钢的力学性能和组织演变产生影响。

4　钢中微合金化元素

4.1　铌、钒、钛元素

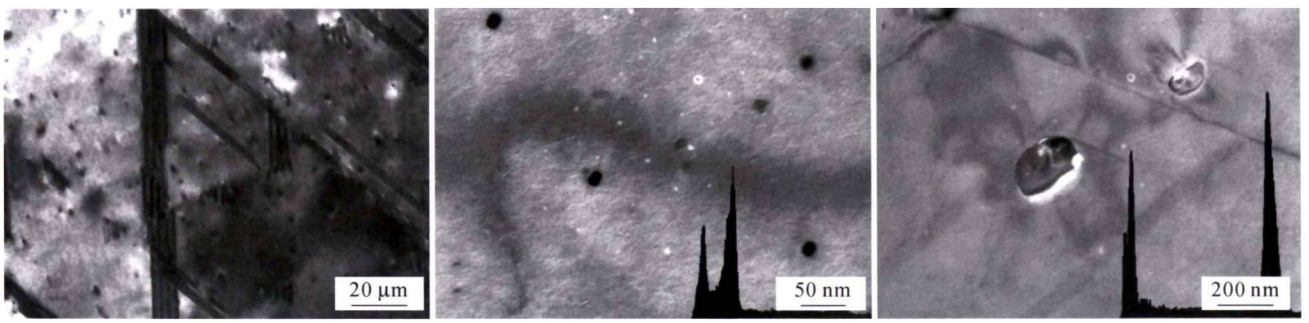
相较于 Mn 元素这种在 TWIP 钢中占比相当高的合金元素，微合金元素在钢中的含量非常低，但是却能使钢的一种或几种性能得到明显的变化。通过控制微合金元素的种类与添加量，能使钢材的性能发生定向的变化，朝着期望的强度硬度和塑性韧性

提高的方向发展，再加上加工工艺上的进一步优化，来满足实际生产生活中的特殊需求，这对钢材的改良与升级有着重要的意义。

例如本文中所介绍的 TWIP 钢，虽然其在强度、塑性等方面都已经十分优秀，在广大的汽车用钢中名列前茅，但其自身依旧存在缺点。TWIP 钢在室温下为面心立方结构，这使其具有良好的塑性，但相对的屈服强度较低。但是科研工作者们发现，只需添加少量的微合金元素，产生析出强化等作用，便可以使其屈服强度得到明显的提升，Scott[24] 等人便提出将微合金化技术应用于 TWIP 钢的研究。目前 TWIP 钢中较为常见的微合金元素主要有铌(Nb)、钒(V)、钛(Ti)，少数研究中添加了镍(Ni)、钼(Mo)、硼(B)、铬(Cr)等元素[25-27]。

Nb、V 、Ti 3 种微合金元素在钢中的作用相似，它们都是通过与钢中的 C、N 元素等形成纳米尺寸的碳化物或氮化物，通过固溶强化或析出强化的方式进行强化。而且随着科学技术的进步，冶炼设备更加精密，钢中的 C 含量降低，这就能使微合金元素的溶解度进一步提高。

Nb 元素作为 TWIP 钢中常见的微合金元素之一，对它的研究也有很多。李华英[28] 等人通过对含 Nb 和不含 Nb 的两种 TWIP 钢进行了拉伸实验，对比了它们的力学性能，发现含 Nb 的钢的屈服强度明显高于不含 Nb 的钢；同时利用透射电镜观察了其微观组织并进行了能谱分析，其形貌如图 4(a)所示，图 4(b)和图 4(c)中出现了两种明显的析出相，经分析应为未溶解的 NbC 粒子，它们可以阻碍晶界迁移，抑制晶粒长大，奥氏体晶粒也就更为细小。丁桦[29] 等人同样用添加 Nb 和未添加 Nb 的 Fe-Mn-Al-Si 系 TWIP 钢进行组织与性能的研究，发现含 Nb 的钢表现出高的屈服强度，但抗拉强度较低，这说明其在变形过程中发生了 TWIP 效应。Gwon[30] 等人研究了 V 含量 w(%)分别为 0、0.11、0.21 和 0.31 时，Fe-17Mn-0.45C-1.5Al-1Si-xV 钢的组织和拉伸性能的变化；图 5 为其工程应力-应变曲线图[30]，可以看出含 V 钢屈服强度明显提高，抗拉强度略有提高，但总伸长率降低。在对含 V 钢中 VC、TiC-VC 和 TiC 等各种析出物进行分析后发现，添加 V 后钢的晶粒尺寸更小，观察到较高的孪晶活性，晶界处的局部应力更高，这些高应力促进了添加 V 钢中变形孪晶的晶界形核。Tewary[31] 等人对 Ti 微合金化低碳高锰 TWIP 钢退火后的变形行为进行了研究，与 Nb 和 V 类似，组织中也出现了 TiC 析出物，晶粒也得到细化。



(a)析出物+层错　(b)热形变过程中的析出物　(c)奥氏体化过程中未溶解的析出物

图 4 含 Nb 钢固溶处理后析出物 TEM 形貌及能谱分析

Fig. 4 TEM morphology and energy spectrum analysis of precipitates after solution treatment of Nb-containing steel

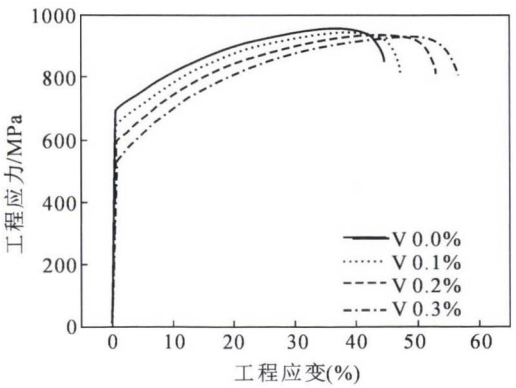


图 5 含 V 钢的工程应力-应变曲线

Fig. 5 Engineering stress-strain curve of steel containing

由此可见 Nb、V 、Ti 3 种微合金元素都对改良 TWIP 钢的组织与性能有着重要的作用；同时，这三种合金元素不但可以单独加入钢中，还可以复合添加；利用他们各自的优势，探索一个适当的配比，进一步提升 TWIP 钢的力学性能或定向改良。但这个方向的研究还相对较少，在今后的科研中可以多加侧重。

4.2　稀土元素

稀土(RE)元素就是化学元素周期表中镧系元素，以及与镧系的 15 个元素密切相关的元素——钪

(Sc)和钇(Y)共 17 种元素。稀土的原子结构相似，离子半径相近并且在自然界密切共生。

稀土元素的作用有很多，贯穿钢的冶炼生产到组织性能。稀土元素能脱硫、脱氧，提高钢的冶炼质量，并且能与钢中的夹杂物发生反应，减轻夹杂物的影响，改良钢的性能。由于稀土元素原子半径大，不能形成固溶体，会在晶界析出，抑制晶粒长大，起到了细化晶粒的作用；还能阻碍碳化物的析出，使钢不易脆断。稀土元素还有吸氢的作用，氢脆(白点)一直是钢中的一个严重缺陷，主要就是因为氢未及时排除而残留在钢中形成小气泡；这些小气泡就可能在钢材轧制时被压扁而发展成微裂纹，如果这些微裂纹进一步扩展，就可能导致脆断的发生，严重影响钢材的性能。所以广大科研人员也一直在寻找解决办法，稀土元素能与氢形成化合物，还能够抑制裂纹的萌生和扩展，减轻氢脆的不良影响。赵阳阳[32]制备了含有 0.02% 稀土元素的 Fe-15Mn-1.5Al-0.6C TWIP 钢进行了研究，与没有加入稀土元素的相比，含有 0.02% 稀土元素的 TWIP 钢屈服强度、抗拉强度和伸长率都得到了提高；图 6 为两种钢室温下的工程应力-应变曲线[32]，含稀土元素的 TWIP 钢明显处在较高的水平。其强度得到提高的主要原因稀土原子的固溶强化作用和诱导 TWIP 效应产生更多的孪晶。而尺寸细小且均匀的晶粒和晶界中大角度晶界所占比例被提高，使得 TWIP 钢的塑性得到了提高。

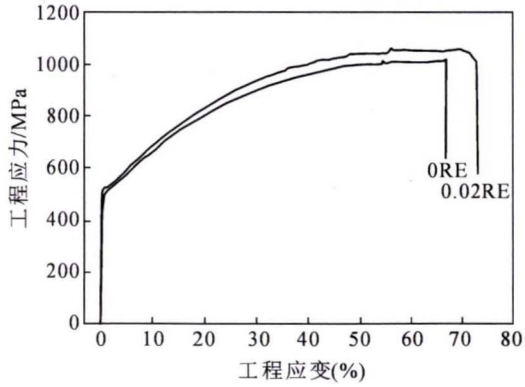


图 6 0RE 和 0.02RE TWIP 钢在室温下的工程应力-应变曲线

Fig. 6 Engineering stress-strain curves of 0RE and 0.02RE TWIP steel at room temperature

中国疆域辽阔，地大物博，成矿条件优越，稀土矿产资源十分丰富探明的储量居世界之首，堪称得天独厚。在这方面的研究也在如火如荼的进行中，并且已经取得了不小的成就。但是比起对其他合金元素的研究，对稀土元素的研究还是甚少。稀土资源如能得到良好的开发利用，将对钢材的改良与发展起到重要的推进作用。

5 结语

TWIP 钢作为一种优秀的新型高强钢，有着广阔的应用前景，各国科研人员也是投入其中，不断探索其高强度高塑性的原因，并对其不断地改进。目前，TWIP 钢已经发展到了第 3 代，综合性能越来越优良，应用也越来越广泛。但目前的研究主要是以其力学性能和添加各种微量合金元素的影响为主，而对其内在机理的研究相比之下还是较少。可以预见，探究和阐明微量合金化元素对 TWIP 钢组织性能影响的深层机理将会对 TWIP 更广泛的应用起到很大促进作用。

参考文献：

[1] 中国汽车工业协会. 2020 年汽车工业经济运行情况[EB/OL]. [2-15]. http://www.caam.org.cn/chn/4/cate_39/con_5232916.html.

[2] 中国铁合金网. 2020 年 1-12 月钢铁行业运行情况[EB/OL]. [2-15]. http://www.ferro-alloys.cn/News/Details/296477.

[3] SENUMA T. Physical metallurgy of modern high strength steel sheets [J]. ISIJ International, 2001, 41(6): 520-532.

[4] 姚静，徐国祥，李晓霞，等. 高强钢性能及板材先进加工技术的研究[J]. 铸造技术，2014，35(6)：1295-1298.

[5] GRÄSSEL O, FROMMEYER G. Effect of martensitic phase transformation and deformation twinning on mechanical properties of Fe-Mn-Si-Al steels[J]. Materials Science and Technology, 1998, 14(12): 1213-1217.

[6] 李枝梅，代永娟. 汽车用 TWIP 钢性能的研究进展[J]. 材料热处理学报，2019，40(2)：1-7.

[7] 林超. Fe-Mn-Si-Al 孪晶诱导塑性钢在动态加载条件下的变形机制和组织性能研究[D]. 成都：西南交通大学，2018.

[8] 冯瑞. 金属物理学第一卷[M]. 北京：科学出版社，1998.

[9] 彭仙. C 对 Fe-Mn-Cu-C 系 TWIP 钢层错能及孪生诱发塑性行为的影响[D]. 福州：福州大学，2013.

[10] SCOTT C, ALLAIN S, FARAL M, et al. The development of a new Fe-Mn-C austenitic steel for automotive application[J]. Revue de Métallurgie, 2006(6): 293-302.

[11] FROMMEYER G, GRÄSSEL O. High strength TRIP/TWIP and superplastic steels: development, properties, application[J]. Revue de Métallurgie, 1998, 95(10): 1299-1310.

[12] GRÄSSEL O, KRÜGER L, FROMMEYER G, et al. High strength Fe-Mn-(Al, Si) TRIP/TWIP steels development-properties-application [J]. International Journal of Plasticity, 2000, 16(10): 1391-1409.

[13] MIN C J, HYUNGSOO L, ALIREZA Z, et al. Exceptional combination of ultra-high strength and excellent ductility by inevitably generated Mn-segregation in austenitic steel [J]. Materials Science & Engineering A, 2018, 737: 69-96.

[14] 梁高飞，林常青，于艳，等. 高强塑性高锰钢的研究进展[J]. 铸造技术，2009，30(3)：404-407.

[15] FROMMEYER G, BRÜX U, NEUMANN P. Supra-ductile and high-strength manganese-TRIP/TWIP steels for high energy absorption purposes[J]. Iron and Steel Institute of Japan International, 2003, 43(3): 438-446.

[16] MI Z, TANG D, ZHAO A, et al. Mechanical Properties and microstructure evolution during deformation of Fe - Mn - C TWIP steel [J]. Steel Research International, 2012, 83(4): 346 - 351.

[17] 李冬冬,钱立和,刘帅,等. Mn 含量对 Fe - Mn - C 孪生诱发塑性钢拉伸变形行为的影响[J]. 金属学报, 2018, 54(12): 1777 - 1784.

[18] BOUAZIZ O, ALLAIN S, SCOTT C, et al. High manganese austenitic twinning induced plasticity steels: A review of the microstructure properties relationships [J]. Current Opinion in Solid State & Materials Science, 2011, 15(4): 141 - 168.

[19] 王玉昌,兰鹏,李杨,等. 合金元素对 Fe - Mn - C 系 TWIP 钢力学行为的影响[J]. 材料工程, 2015, 43(9): 30 - 38.

[20] LIU H B, LIU J H, WU B W, et al. Effect of Mn and Al contents on hot ductility of high alloy Fe - xMn - C - yAl austenite TWIP steels [J]. Materials Science & Engineering A, 2017, 708: 360 - 374.

[21] LIU F, DAN W J, ZHANG W G. Strain hardening model of TWIP steels with manganese content[J]. Materials Science & Engineering A, 2016, 674: 178 - 185.

[22] 王力. Al 元素对轻质高强 Fe - Mn - Al 钢组织及力学性能的影响及其作用机理[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2016.

[23] YANG H K, TIAN Y Z, ZHANG Z F. Revealing the mechanical properties and microstructure evolutions of Fe - 22Mn - 0.6C - (x) Al TWIP steels via Al alloying control [J]. Materials Science & Engineering A, 2018, 731: 61 - 70.

[24] SCOTT C, REMY B, COLLET J L. Precipitation strengthening in high manganese austenitic TWIP steels[J]. International Journal of Materials Research, 2012, 102(5): 538 - 549.

[25] MIJANGOS D, MEJÍA I, CABRERA J M. Characterization of inclusions and second-phase particles in high-Mn TWIP steels microalloyed with Ti, Ti/B, Nb, V and Mo in as-solutioned condition[J]. MRS Advances, 2020, 5(59): 3023-3033.

[26] YEN H W, HUANG M X, SCOTT C, et al. Interactions between deformation - induced defects and carbides in a vanadium-containing TWIP steel[J]. Scripta Materialia, 2012, 66(12): 1018 - 1023.

[27] SALASREYES A E, ALTAMIRANOGUERRERO G, CHÁVEZALCALÁ J F, et al. Influence of boron content on the solidification structure, magnetic properties and hot mechanical behavior in an advanced as-cast TWIP steel[J]. Metals, 2020, 10(9): 1230 - 1252.

[28] 李华英,丁桦,丁昊,等. 合金元素和固溶温度对 TRIP/TWIP 钢组织性能的影响[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2013, 34(2): 209 - 213.

[29] DING H, LI H Y, DING H, et al. Partial inverse grain size dependence of strength in high Mn steels microalloyed with Nb[J]. Journal of Iron and Steel Research International, 2012, 19(9): 68 - 72.

[30] GWON H, KIM J, SHIN S, et al. The effect of vanadium micro-alloying on the microstructure and the tensile behavior of TWIP steel [J]. Materials Science & Engineering A, 2017, 696: 416 - 428.

[31] TEWARY N K, GHOSH S K, SAHA R, et al. Deformation and annealing behaviour of a low carbon high Mn TWIP steel microalloyed with Ti[J]. Philosophical Magazine, 2019, 99(20): 2487 - 2516.

[32] ZHAO Y Y, WANG J F, ZHOU S, et al. Effects of rare earth addition on microstructure and mechanical properties of a Fe - 15Mn - 1.5Al - 0.6C TWIP steel[J]. Materials Science & Engineering A, 2014, 608: 106 - 113.

西安普胜机电设备有限公司
XIAN PUSHENG MECHANICAL& ELECTRICAL EQUIPMENT CO.,LTD,.

西安普胜机电设备有限公司是专业从事仪器仪表、耗材、生产、销售、维护的科技公司。公司拥有高水平、高素质的科研生产团队和一流的销售、售后服务团队。

普胜公司秉承"诚信、务实、开拓、创新"的经营理念以满足客户的需要。以先进的技术和优质的服务,多年现场应用经验,为用户提供成熟的检测方案并为用户解决现场疑难问题。我们的坚持用户第一,信誉至上。

●主要产品 智能、高效、精确、快捷的型砂試驗儀器
——实现您建造现代化型砂试验室的梦想!

炉前分析仪

测温仪

高精度炉前分析仪
便携式智能测温仪
LXH-1冷芯盒制样机
SSZ震摆式筛砂机
SYS-B砂型表面硬度计
ZSL智能热湿拉测试仪
STZ直读式透气性测定仪
ZTY智能透气性测定仪
SHY树脂砂混砂机
SWY液压强度试验机
GET-11型智能发气性测定仪

●其他产品: 高精度样杯 高精度快速热电偶 在线式系列非接触红外测温仪

●维修服务: 测温仪、炉前分析仪及各种电路板维修。

地 址: 710054西安市雁塔路南段99号
联系人: 王志兵 15009251740 电话/传真: 029-83255097
顾 问: 西安理工大学教授 魏 兵 13609155628
邮 箱: zhuzaogy@163.com 仪器维修: 13309279348