

12Mn 钢圆坯的高温力学性能

王 旭¹, 魏 军¹, 仇圣桃¹, 李召岭², 李 维², 刘学森², 张 勇²

(1. 钢铁研究总院连铸技术国家工程研究中心, 北京 100081; 2. 天津钢铁集团有限公司, 天津 300301)

摘 要: 采用 Gleeble-1500D 热/力模拟试验机, 测试了 12 Mn 钢圆坯的高温力学性能, 获得 600~1 300 °C 范围内铸坯的抗拉强度、断面收缩率以及应力-应变曲线。结果表明, 12 Mn 钢圆坯的抗拉强度较好, 650 °C 时其值为 275 MPa, 抗拉强度随温度的升高而降低; 圆坯第 III 脆性区较宽, 温度范围为 600~1 000 °C, 在其温度范围内断面收缩率小于 60%; 12 Mn 圆坯在不同温度下的应力随应变先升高后降低, 最后趋于水平。最后采用 Thermal-cal 软件对第 III 脆性区析出相进行了验证。

关键词: 12Mn 钢; 圆坯; 抗拉强度; 断面收缩率; 应力应变; Thermal-cal 软件

中图分类号: TF76, TG115.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-7638(2019)01-0166-05

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2019.01.029

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



听语音
与作者互动
聊科研

High-temperature Mechanical Properties of 12Mn Steel Round Billet

Wang Xu¹, Wei Jun¹, Qiu Shengtao¹, Li Zhaoling², Li Wei², Liu Xuesen², Zhang Yong²

(1. National Engineering Research Center of Continuous Casting Technology, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081, China; 2. Tianjin Iron and Steel Group Co., Ltd., Tianjin 300301, China)

Abstract: The high-temperature mechanical properties of 12Mn steel round billet were tested by using a Gleeble-1500D thermal/force simulation tester. Tensile strength, the reduction of area (ψ) and stress-strain curve in the range of 600~1 300 °C were obtained. The results show that of 12 Mn steel round billet has high strength. The tensile strength at 650 °C is 275 MPa, and it decreases with increasing temperature. The third brittleness temperature zone of the round billet is wide with temperature range at 600~750 °C, and the reduction of area (ψ) in the temperature range is less than 60 %. The stress of the 12Mn round billet at different temperatures increases firstly with the strain and then decreases, and finally tends to be stable. Finally, the precipitation phase of the III brittle zone was verified by Thermal-cal software.

Key words: 12Mn steel, round billet, tensile strength, the reduction of area, stress-strain curve, Thermal-cal software

0 引言

高温力学性能是指在正常工作情况下, 即温度和力共同作用情况下的性能, 常用断面收缩率、抗拉强度和应力应变曲线作为高温力学性能指标。抗拉强度反映了铸坯在工作状态下抵抗外界应力的

小。高温力学性能是制定连铸工艺的基础条件。

王卫永、刘兵^[1]对 Q460 钢材采用恒温加载进行拉伸试验, 发现 Q460 钢高温下的力学性能优于普通钢; Qiang 等^[2]对高强度 S460N 钢进行了试验, 得到高温下的力学性能参数, 且与 EC3^[3], AISC^[4] 和 AS4100^[5] 作了对比; 李国强、蒋首超等^[6-7]对 SM41、

收稿日期: 2018-09-26

作者简介: 王旭(1987—), 男, 博士研究生, 主要研究方向为方圆坯质量控制, E-mail: wx4594@126.com。通讯作者: 仇圣桃, 博士生导师。

Q345 和 16Mn 三个钢种测定了高温力学性能,并作了较为全面的叙述。但是上述研究均未涉及到钢种 12Mn,笔者研究了 12Mn 的高温力学性能,主要包括抗拉强度、断面收缩率和应力应变曲线。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

本试验所使用的材料均来自天津钢铁有限责任公司实际生产的无缝管 12Mn 连铸圆坯,取自正常连续生产的同一段连铸圆坯,试样加工尺寸为 12 mm×12 mm×130 mm,试样两边加工出一道宽 0.005 mm 左右、深 8 mm 的螺纹。其成分见表 1。

表 1 试验材料(12Mn)化学成分(质量分数)
Table 1 Chemical compositions of 12Mn steel %

C	Mn	P	S	Si	Al _{Total}
0.1	1.24	0.013	0.002	0.28	0.03

1.2 试验方法

本试验所用仪器为 Gleeble1500D 热/力模拟机,为美国 DSI 科技公司研发。该试验机组成系统有计算机控制、加热和力学测试系统。其中具体设备有:主机(由真空槽、加载机架及试样夹具和加热变压器组成)、伺服装置与液压源、应变与应力测量设备等。通过电流加热试样;力学测试系统还可以对载荷、位移等参数进行监测;计算机控制系统用闭环控制,进而可以实现力学参数及温度的精确控制。

力学性能测试试样来自连铸圆坯,试样的尺寸为 $\phi 10$ mm×110 mm,两端有螺纹,见图 1。

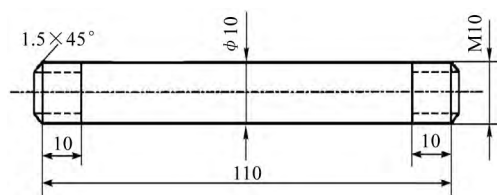


图 1 测试试样示意

Fig.1 Schematic diagram of the specimen

首先在试样中间部位焊接上铂—铑热电偶,套上一个石英管(直径约 10.2 mm、长为 30 mm)。安装后,通入氩气(流量数值为 1 L/min),按照图 2 所示曲线进行温度控制。以 10 °C/s 的速度加热至 1 350 °C;然后保持 5 min,以 3 °C/s 降温。温度下

降到所需温度,保持 2 min 后再进行拉伸试验,应变速率数值为 1×10^{-3} /s。试验温度选取温度依次为 600、650、700、750、800、850、900、950、1 000、1 050、1 100、1 150、1 200、1 250、1 300 °C。

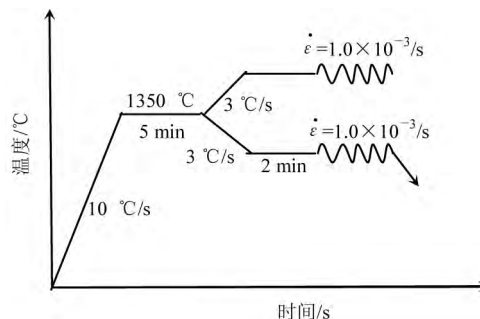


图 2 试验过程

Fig.2 Schematic diagram of tensile test

试样首先测量加热前直径,试样拉断、冷却后测量断口处的直径,代入式(2)得到该温度下的断面收缩率(R_A)。记录最大载荷,代入式(1)计算该温度下抗拉强度。为防止断口锈蚀,测量完断口尺寸后用醋酸纸将断口包裹起来。并保存在干燥皿中。试验得到最大载荷 F 代入式(3)得到应力 δ ,拉伸后的长度 L 代入式(4)得到应变。

$$\sigma_b = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad (1)$$

$$R_A = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{应力 } \delta = \frac{F}{A_0} \quad (3)$$

$$\text{应变 } \xi = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (4)$$

其中, σ_b 为抗拉强度, N/mm²; R_A 为断面收缩率,%; $P_{\max}$ 为拉伸时最大载荷, N; A_0 为拉伸前试样截面积, mm²; A 为拉伸后试样的截面积, mm²; F 为载荷; L_0 为试样的原始标记长度, mm; L 为试样变形后的长度, mm。

2 结果与讨论

2.1 抗拉强度的测定

由图 3 可知,试样在 600~800 °C 下,抗拉强度随温度的升高而急剧下降,800~1 300 °C 温度时,抗拉强度随温度升高而缓慢下降。经数据拟合成抗拉强度和温度的关系式为 $\delta_b = 115.366 + 24\ 355.136\ 328 \exp(-0.011\ 16T)$ 。与相同成分的船板钢^[8]比较可知,

650 ℃时船板钢抗拉强度为 170 MPa, 12 Mn 为 275 MPa。这说明 12 Mn 抵抗外界应力能力较强。当温度升高时, 原子间结合力会出现降低, 位错进行滑移。温度越高, 原子越容易发生跃迁, 进而形成空穴, 这样就会造成更大的缺陷, 结果就是材料宏观性能降低。另外温度升高会降低第二、三相相对位错的阻碍, 钉扎减弱使得抗拉强度下降^[9], 而 12Mn 成分中 Mn、Si 含量高于船板钢, 所以会出现相同温度下, 抗拉强度高的情况。下一步工作验证不同合金含量对高温抗拉强度的影响。

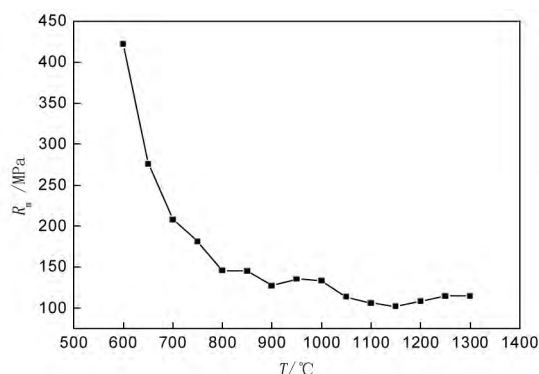


图3 12 Mn 钢圆坯试样高温抗拉强度和温度的变化关系
Fig.3 Relationship of tensile strength with temperature for 12 Mn round billet

2.2 断面收缩率的测定

断面收缩率 R_A 是连铸坯塑性好坏的象征, R_A 反映了连铸坯正常生产过程中塑性变形能力的强弱。数值越大, 说明铸坯产生表面裂纹可能性就会大大降低。如图 4 所示, 在 600~1 000 ℃ 出现第三脆性区, 断面收缩率在 900 ℃ 时下降至低谷, R_A 值仅为 40%。第三脆性区是铸坯产生表面裂纹重要因素, 有如下两方面导致脆化^[10-12]: $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变过程中产生的脆化和 γ 晶界脆化。奥氏体向铁素体转变时, 奥氏体晶界上出现了薄膜状初生铁素体, 其强度值仅为奥氏体强度的 1/4, 由于晶界集中产生的不均匀变形最终导致晶界脆裂。奥氏体晶界处的第二相质点在外界作用下发生滑移, 形成了孔洞, 因此晶界变得更脆, 裂纹就会产生; 在 1 000~1 300 ℃ 内, 断面收缩率 R_A 均大于 60%, 是 12Mn 钢连铸坯最佳塑性区。

根据铃木洋夫等人对半融化后冷凝钢研究表明^[13], 断面收缩率小于 60% 时, 塑性就会变得很差, 连铸坯容易出现表面裂纹, 当断面收缩率大于 60% 时, 裂纹不会在铸坯表面出现。

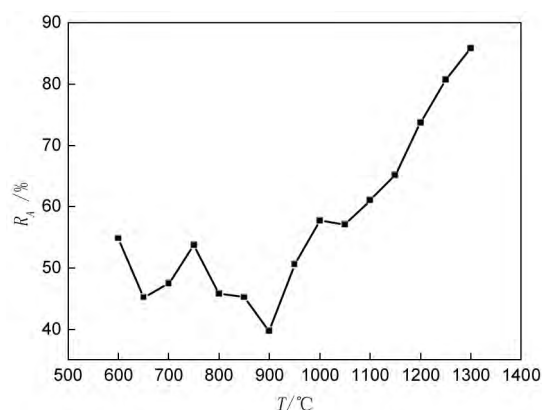


图4 12 Mn 钢圆坯试样的高温断面收缩率和温度的变化关系
Fig.4 Relationship of hot ductility of 12 Mn round billet with temperature

利用 Thermal-cal 软件计算 12Mn 钢所有相从 2 000 ℃ 降到 500 ℃ 的析出, 结果如图 5 所示。从图 5 可以看出, 在 600~1 000 ℃ 的第二相主要是 AlN。因此可以证明奥氏体中导致晶界脆化的第二相质点即 AlN 质点。

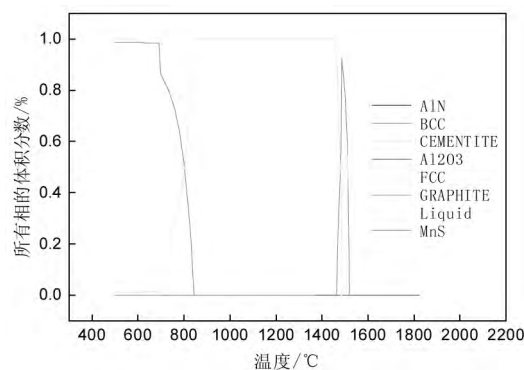


图5 12 Mn 钢中平衡相与温度的关系
Fig.5 Relation between temperature and equilibrium phases in steel 12 Mn

2.3 应力—应变的测定

由图 6 可知, 变形开始阶段, 应力随着应变的增加而迅速增加, 这时试样在弹性变形的范围内。应力增加超过屈服强度的时候, 试样产生塑性变形, 而且伴随界面均匀缩小, 但应力仍保持增加趋势, 不过增大幅度减小。当应变增大到一定的值后, 应力出现下降, 应力应变集中到了某一区域, 发生了塑性变形, 即出现“颈缩”。值得注意的是 600 ℃ 曲线出现了向下锯齿状的特征。这表明试样在形变过程中存在局部失稳, 拉伸过程形变以滑移或孪生变形为

主^[13-14]。当局部区域无法承受载荷时,发生断裂。变形抗力随温度下降而下降,这是因为温度使得点阵原子活动能力增加。

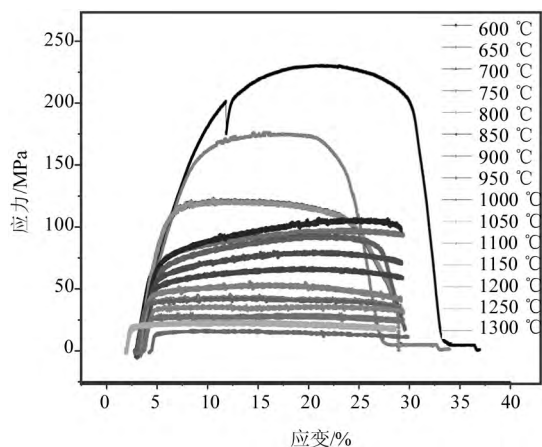


图 6 不同温度下的 12 Mn 钢圆坯试样应力应变曲线
Fig.6 Stress-strain curves of Q235 round billet at different temperatures

变形温度较高时,很快超越弹性变形进而发生塑性变形。在塑性变形阶段,位错密度不断增加,加工硬化变强,应力增加,畸变能增高,这是由于动态

再结晶为主要驱动力所致^[15]。动态再结晶产生的交滑移和攀移使位错逐渐消失,降低了畸变能,导致软化抵消其中一部分加工硬化,使得应力缓慢降低直至水平^[16]。在高温情况下,位错滑移的驱动力增大,动态再结晶容易出现。因此试样就会出现应力随应变增加而缓慢下降的情况。这说明试样变形温度较高时,动态软化作用占主导地位。温度越高,塑性就好,动态软化增强,软化速率加快。实际情况下峰值应力随变形温度升高会出现降低^[17]。

3 结论

1) 12Mn 钢圆坯高温抗拉强度随温度升高而下降,其数学模型为; 12Mn 抗拉强度相对于船板钢较高。

2) 在 600~1 000 °C 出现第三脆性区,断面收缩率在 900 °C 时下降至低谷, R_A 值仅为 40%。第三脆性区晶界脆化原因为 AlN 质点析出,并通过 Thermal-cal 得到了验证。

3) 分析研究 12Mn 圆坯不同测试温度下的应力应变曲线,结果表明应力随温度上升开始逐渐升高,然后下降,最后趋于水平。

参考文献

- [1] Wang Weiyong, Liu Bing, Li Guoqiang. Experimental study on high temperature mechanical properties of high strength Q460 steel [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2012(s1): 34-39.
(王卫永, 刘兵, 李国强. 高强度 Q460 钢材高温力学性能试验研究 [J]. 防灾减灾工程学报, 2012(s1): 34-39.)
- [2] Qiang X, Bijlaard F, Kolstein H. Dependence of mechanical properties of high strength steel s690 on elevated temperatures [J]. Construction and Building Materials, 2012, 30: 73-79.
- [3] European Committee for Standardization(ECS). Eurocode3: Design of steel structures [S]. Part1.2: Structural Fire Design, EN 1993-1-2. Brussels: 2005.
- [4] AISC. Specification for structural steel buildings [R]. Chicago: American Institution of Steel Construction, 2005.
- [5] Australian Standards; Steel structures [S]. AS 4100. Sydney, Australia; 1998.
- [6] Li Guoqiang, Chen Kai, Jiang Shouchao, et al. Experimental study on material properties of Q345 steel at high temperature [J]. Building Construction, 2001(1): 53-55.
(李国强, 陈凯, 蒋首超, 等. 高温下 Q345 钢的材料性能试验研究 [J]. 建筑结构, 2001(1): 53-55.)
- [7] Chen Kai. Study on fire resistance performance and practical design method of variable section portal steel frame structure [D]. Shanghai: Tongji University, 2000.
(陈凯. 变截面门式钢刚架结构抗火性能及实用设计方法研究 [D]. 上海: 同济大学, 2000.)
- [8] Gan Yong. Practical handbook of modern continuous casting steel [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2010.
(干勇. 现代连续铸钢实用手册 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010.)
- [9] Ha Kuanfu. Microscopic theory of mechanical properties of metals [M]. Beijing: Science Press, 1983.
(哈宽富. 金属力学性质的微观理论 [M]. 北京: 科学出版社, 1983.)
- [10] Zhu Liguang, Lu Wengang. Study on high temperature mechanical properties of GCr15 bearing steel [J]. Special Steel, 2007, 28(4): 7-9.

- (朱立光,路文刚.GCr15 轴承钢高温力学性能的研究 [J].特殊钢,2007,28(4):7-9.)
- [1] Wu Guangliang,Sun Yanhui,Zhou Chunquan,*et al.*Experimental study on high temperature mechanical properties of CSP slab (Q235B) [J].Iron and Steel,2006,41(5):73-77.
(吴光亮,孙彦辉,周春泉,等.CSP 板坯(Q235B) 高温力学性能试验研究 [J].钢铁,2006,41(5):73-77.)
- [2] Cai Kaike,Cheng Shifu.Principles and processes of continuous casting steel [M].Beijing: Metallurgical Industry Press,1994.
(蔡开科,程士富.连续铸钢原理与工艺 [M].北京:冶金工业出版社,1994.)
- [3] Lankford W T.Some considerations of strength and ductility in the continuous-casting process [J].Metallurgical Transactions, 1972,3(6):1331-1357.
- [4] Dang Ziju,Cai Kaike,Zhang Yan,*et al.*High temperature mechanical properties of continuous casting billet [J].Journal of University of Science and Technology Beijing,1993,15(S2):24-26.
(党紫九,蔡开科,张艳,等.连铸坯高温力学性能专辑 [J].北京科技大学学报,1993,15(S2):24-26.)
- [5] Tai Yanfeng,Jiang Laizhu,Tang Hongmei,*et al.*Study on thermal deformation of as-cast microstructure of duplex stainless steel 2205 [J].Journal of Iron and Steel Research,2010,22(8):45.
(泰焰锋,江来珠,棠红梅,等.双相不锈钢 2205 铸态组织的热变形研究 [J].钢铁研究学报,2010,22(8):45.)
- [6] Wu Yingjie,Shen Peng,Zhou Yong.Study on high temperature deformation behavior of 1Cr22Mn15N stainless steel [J].Large Castings,2009(5):11-13.
(武英杰,申鹏,周勇.1Cr22Mn15N 不锈钢的高温变形行为研究 [J].大型铸锻件,2009(5):11-13.)
- [7] Wang Yingchun,Zhang Li,Fang Yuan.Study on as-cast high temperature mechanical properties of thin slab [J].Steelmaking, 2008,24(5):40-44.
(王迎春,张立,方园.薄板坯的铸态高温力学性能研究 [J].炼钢,2008,24(5):40-44.)

编辑 杨冬梅

2019 中国钛年会暨钛产业高峰论坛 第三届中国钛谷国际钛产业博览会即将召开

由宝鸡市人民政府、中国有色金属工业协会钛锆钎分会主办,宝鸡高新区管委会、北京海闻展览有限公司承办的“第三届中国钛谷国际钛产业博览会”将于 2019 年 4 月 26-28 日在宝鸡会展中心隆重举办。本届展览会将涵盖军工装备、航空航天、海洋船舶、石油工业、医疗器械、汽车制造、生活用品等多个钛产品应用领域。特别设置中国钛谷展区、国际展区、高校研发展区、钛与生活四大特色展区,同期举办高峰论坛、项目洽谈、品牌推广等多场活动,通力打造宝鸡国际钛产业经贸交流平台。

钛产业是《中国制造 2025》发展高端装备的重要新材料产业之一,也是“十三五”规划中战略性新兴产业的发展重点。近年来,各地方立足自身优势竞相发展钛产业;国产航母、国产 C919 大飞机、4 500 m 国产载人潜水器“深海勇士号”、天宫系列空间实验室等国之重器均采用了来自中国制造的钛产品,中国现已成为世界钛产品第一大生产和消费国。钛产业作为素享“中国钛谷”美誉的宝鸡市经济发展的主要引擎和产业发展的关键载体,规模居全国首位、世界第二,市委、市政府坚持把钛产业作为全市重点打造的千亿支柱产业之一,2018 年出台《宝鸡市钛产业发展规划(2018—2022)》,紧紧抓住工业 4.0 转型的机遇,以大数据、互联网+、工业“云”等创新驱动,积极推动建设钛及钛合金新材料产业集群,在国内外钛产业发展中发挥着重要引领作用。

展览会作为市场推广最佳平台,无论贵公司规模大小,展会全部为您提供一个优质的商业契机,参展是一项最高效的营销方式,通过展会现场参展商品及国内外市场、有关竞争者的信息和技术,皆可了解行业发展趋势,以便调整自身产品及技术,适应市场需求和发展。现诚邀以下产业相关公司报名参展。

会议网址: <http://www.ti-expo.com/>