

· 组织和性能 ·

高强度冷轧汽车用钢 1500MS 连铸板坯的高温力学性能

邓建军^{1,2} 王睿³

(1 中国钢研集团,北京 100081;2 邯钢集团公司,邯郸 056000;

3 北京科技大学钢铁冶金新技术国家重点实验室,北京 100083)

摘要 试验用 1500MS 钢($\% : 0.20\text{C}, 0.31\text{Si}, 1.39\text{Mn}, 0.011\text{P}, 0.001\text{S}, 0.028\text{Als}, 0.26\text{Cr}, 0.028\text{Ti}, 0.0018\text{B}, 0.0048\text{N}$)240 mm 板坯的生产流程为 250 t BOF-LF-RH-板坯连铸。通过 Gleeble-1500 热模拟试验机,测试了试验钢 1 350 ~ 600 °C 的力学性能,得出该钢第 I 脆性区为 1 350 ~ 1 250 °C,第 III 脆性区为 650 ~ 750 °C,在 800 ~ 1 200 °C 铸坯具有良好的热塑性;建立了板坯凝固传热数学模型和计算了铸坯凝固过程的表面温度。1500MS 钢铸坯矫直区域的温度应控制在 800 ~ 1 150 °C。

关键词 高强度冷轧汽车用钢 1500MS 240 mm 连铸板坯 高温力学性能

Mechanical Properties of Casting Slab of High Strength Cold-Rolled Steel 1500MS for Auto at High Temperature

Deng Jianjun^{1,2} and Wang Rui²

(1 China Iron and Steel Research Institute Group, Beijing 100081; 2 Handan Iron and Steel Group Co, Handan 056000;

3 State Key Laboratory Advanced Metallurgy Technology, University of Science and Technology, Beijing 100083)

Abstract The production flowsheet of 240 mm slab of tested steel 1500MS ($\% : 0.20\text{C}, 0.31\text{Si}, 1.39\text{Mn}, 0.011\text{P}, 0.001\text{S}, 0.028\text{Als}, 0.26\text{Cr}, 0.028\text{Ti}, 0.0018\text{B}, 0.0048\text{N}$) is 250 t BOF-LF-RH-slab CC process. The mechanical properties of tested steel at 1 350 ~ 600 °C have been measured by using Gleeble-1500 thermal simulation machine to get I - brittle zone at 1 350 ~ 1 250 °C, and III - brittle zone at 650 ~ 750 °C, and at 800 ~ 1 200 °C the tested steel has better hot plasticity; and the mathematical model of slab solidification heat transfer is established and the surface temperature of casting slab in solidification process is calculated. The temperature of tested steel of steel 1500MS at straightening zone should be controlled at 800 ~ 1 150 °C.

Material Index High Strength Cold-Rolled Steel 1500MS for Auto, 240 mm Slab Casting, Mechanical Properties of Steel at High Temperature

MS 系列为高强钢冷轧汽车板产品,其冷轧钢板纤维组织几乎全部为马氏体组织,其抗拉强度在 1 500 MPa 以上。马氏体由奥氏体急速冷却(淬火)形成,这种情况下奥氏体中固溶的碳原子没有时间扩散出晶胞。

此类钢中由于 Mn 元素含量较高,在连铸过程中易出现质量问题,而钢的高温力学性能与裂纹的形成有很大关系,决定着高温下坯壳所能承受的临界变形的大小^[1]。一些学者系统研究了钢的高温力学性能,并对影响因素进行了研究^[2-4],但是由于钢种成分不同对其高温力学性能影响较大。

目前,邯钢正在大力开发汽车用钢产品,高强冷轧汽车板 1500MS 也正为其攻关产品之一。因此,为了降低裂纹的发生率,为 1500MS 钢制定合理的冷轧制度,有必要对其高温力学性能进行研究。

1 研究方法

1.1 试验钢种成分

试验钢种的冶炼工艺为 250 t 转炉→LF→RH→板坯连铸(1 350 mm × 240 mm),试验钢种成分如表 1 所示。

1.2 试样加工方案

取铸坯样加工成标准的高温拉伸试样,其规格为 Φ10 mm × 120 mm,铸坯取样位置如图 1 所示。

1.3 试验方案

试验采用 Gleeble1500 热模拟试验机。变形温度在 600 ~ 1 350 °C,将试样以 10 °C/s 的速度加热至 1 350 °C,在 1 350 °C 保温 3 min,然后以 3 °C/s 的冷却速率冷却至试验温度(1 330 ~ 600 °C),保温 1 min 后以 2.0×10^{-3} /s 的应变速率进行拉伸试验,直至试样断裂,迅速喷水冷却,保存断口,拉伸过程温

表 1 试验 1500MS 钢的化学成分 /%

Table 1 Chemical composition of tested steel 1500MS /%

C	Si	Mn	P	S	Als	Ti	Cr	B	N
0.20	0.31	1.39	0.011	0.001	0.028	0.039	0.26	0.0018	0.0048

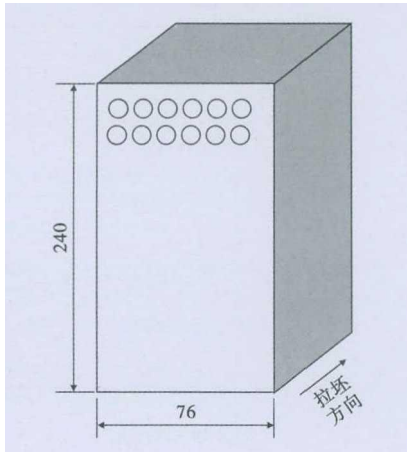


图 1 铸坯取样位置示意图

Fig. 1 Schematics of sampling location at casting slab

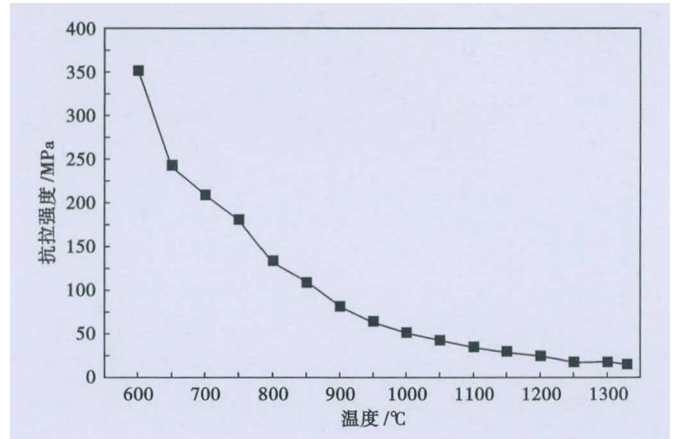


图 3 温度对 1500MS 钢抗拉强度的影响

Fig. 3 Effect of temperature on tensile strength of steel 1500MS

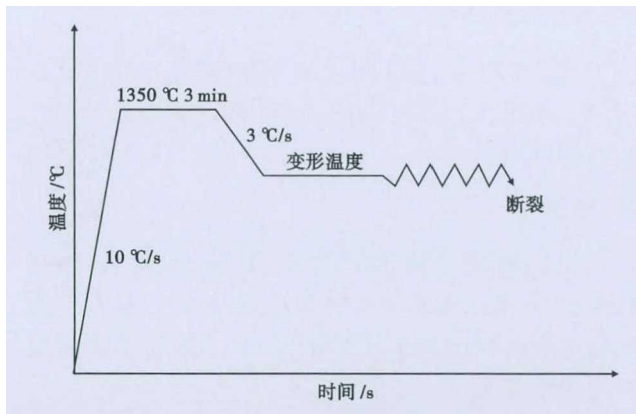


图 2 高温拉伸实验温度示意图

Fig. 2 Schematics of high temperature of steel for tensile testing

度控制示意图如图 2 所示。

2 试验结果

2.1 试验结果分析

在试样拉断过程中,中心部分由于颈缩现象处于三向拉伸应力状态,首先引起断裂,而当其断开后边缘部分材料继续拉伸,使其在受剪应力最大的截面上剪切断裂。

抗拉强度(σ)是指铸坯抵抗均匀塑性变形的最大应力,是衡量铸坯是否产生裂纹的依据,当应力超过其抗拉强度时,铸坯就产生裂纹。断面收缩率是衡量铸坯试样塑性好坏的重要指标,反映了铸坯在各拉伸温度下的韧性, ψ 值越大,铸坯在外力作用下发生塑性变形的能力越强,抵抗裂纹的能力越好。

不同温度下的抗拉强度(σ)与断面收缩率(ψ)是表明钢的高温力学性能优劣的两个重要指标,热强度曲线(σ -T)及热塑性曲线(ψ -T)是钢的高温力学性能的特征曲线,由特征曲线可以得到钢裂纹敏感性的重要信息。

2.2 抗拉强度变化

图 3 是 1500MS 钢种抗拉强度随温度的变化情况示意图,从图 3 中可以看出,随着温度的降低该钢种的抗拉强度逐渐增大。拉伸温度为 1 330 °C 时,抗拉强度为 14.9 MPa。拉伸温度在 1 330 ~ 1 250 °C 时,钢种抗拉强度变化不大,甚至略有降低,1 250 °C 时该钢种抗拉强度仅为 16.9 MPa。随着拉伸温度降低,1 250 ~ 900 °C 时抗拉强度上升幅度变快,到 900 °C 时该钢种抗拉强度增至 81.3 MPa。当温度由 900 °C 继续降低,抗拉强度急剧上升,到 600 °C 时该钢种抗拉强度增至 352.4 MPa。

2.3 断面收缩率变化

图 4 是 1500MS 钢种试样拉断后形貌图,从图 4 中可以看出,当拉伸温度为 600 ~ 850 °C 时,除 700 °C 试样外,其他试样表现为断口直径较小,断面不齐,塑性较好。当拉伸温度在 900 ~ 1 150 °C 时,断口出现明显的“缩颈”现象,且断面发生熔化现象而光滑,塑性较好。当温度 1 200 ~ 1 330 °C 时,断口直径较大,塑性不佳。

图 5 是 1500MS 钢种断面收缩率随温度的变化图,从图 5 中可以看出,在 1 330 °C 时该钢种的断面

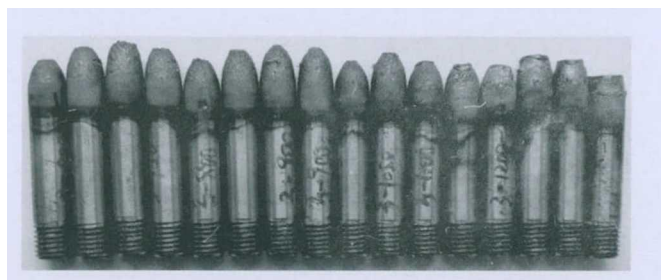


图 4 1500MS 钢种试样拉断后形貌(从左至右为 600 ~ 1 330 °C 试样)

Fig. 4 Morphology of fracture of steel 1500MS tensile specimen, from left to right 600 °C to 1 330 °C

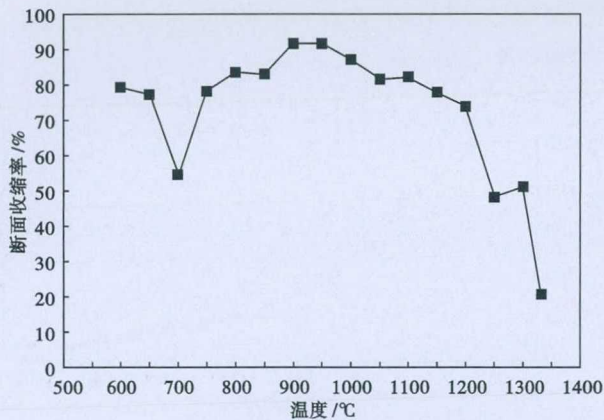


图5 温度对1500MS钢断面收缩率的影响

Fig. 5 Effect of temperature on reduction of area of steel 1500MS

收缩率(ψ 值)仅20.6%,热塑性不佳。当温度降低至1300℃和1250℃时,钢种 ψ 值升高至51.2%和48.0%,有一定的热塑性。当温度继续降低至1200℃时,该钢种的断面收缩率明显提升,达到73.9%。当温度进一步降低,1200~750℃时,该钢种的热塑性虽有起伏,但断面收缩率均保持在70%以上,并在950℃和900℃达到最大值,其 ψ 值分别为92.0%和91.8%,750℃时 ψ 值为78.4%。当温度进一步降低,钢种的断面收缩率陡然下降,在700℃时仅为54.5%,但温度进一步降低至650℃时,断面收缩率恢复到77.3%,在600℃时该钢种断面收缩率为79.7%。综合来看,该钢种在1330~1200℃和750~650℃时,热塑性不佳;钢种在900、950℃附近时热塑性最佳;钢种在1200~750℃时,该钢种的热塑性良好, ψ 值均在70%以上。

铃木洋夫等的研究表明^[5,6],如以 $\psi < 60\%$ 作为判定依据,试验钢从熔点到600℃之间存在3个脆性温度区,其中第Ⅱ脆性温度区只在应变速率大于 10^{-2} s^{-1} 时出现。由此可知,钢种1500MS的第Ⅰ脆性区温度在1250℃~ T_m ;第Ⅲ脆性区温度在700℃左右。

因此,1500MS钢种连铸过程,铸坯扇形段的目标表面温度特别是矫直区域的表面温度应控制在750~1200℃。为保险起见,最好控制在800~1150℃。

3 结果应用

根据文献[7]中的模型,建立板坯(1350 mm × 240 mm)凝固过程数学模型,计算铸坯在凝固过程中表面温度的变化情况,如图6所示。在拉速1.0、1.2、1.4 m/min变化时,整个矫直段铸坯表面温度较

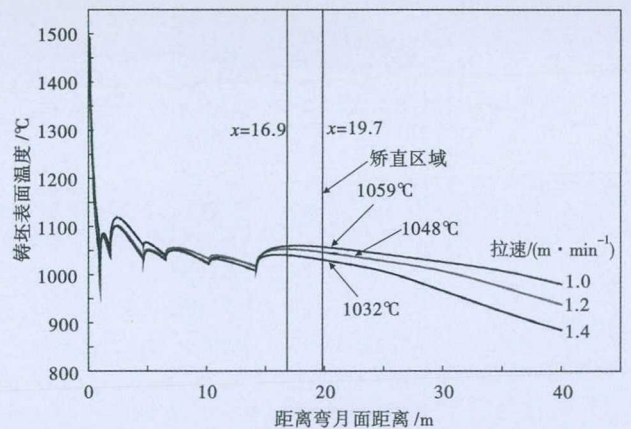


图6 连铸过程1500MS钢铸坯表面温度变化

Fig. 6 Change of surface temperature of steel 1500MS slab in casting

为平稳,在出矫直段铸坯表面温度分别为1032、1048、1059℃,均在800~1150℃的铸坯高温塑性较好的区域。

4 结论

(1) 钢种1500MS的第Ⅰ脆性区温度在1250℃~ T_m ;第Ⅲ脆性区温度在700℃左右。铸坯扇形段的目标表面温度特别是矫直区域的表面温度应控制在800~1150℃。

(2) 针对此钢种建立了凝固过程铸坯传热模型,计算了其铸坯在连铸过程表面温度变化情况,结果表明在现有的工艺条件下,其铸坯表面温度控制均在合理的温度区间内。

参考文献

- [1] 王新华,朱国森,于会香,等. 高碳钢连铸板坯高温力学性能[J]. 北京科技大学学报,2005,27(05):545-548.
- [2] 迟宏宵,徐辉霞,方峰,等. M2高速钢的高温力学性能[J]. 中国冶金,2016,26(01):31-34.
- [3] 刘青,张建峰,张晓峰,等. 合金弹簧钢连铸坯高温力学性能分析[J]. 重庆大学学报,2013,36(05):44-50.
- [4] 刘青,张立强,王良周,等. 汽车用钢连铸坯的高温力学性能[J]. 北京科技大学学报,2006,28(02):133-137.
- [5] Suzuki H G, Nishimura S and Yamaguchi S. Characteristics of Embrittlement in Steel Above 600 °C [J]. Tetsu-to-Hagane, 1979, 65 (14):2038-2046.
- [6] Suzuki H G, Nishimura S and Imamura J. Hot Ductility in Steels in the Temperature Range Between 900 and 600 °C [J]. Tetsu-to-Hagane, 1981, 67(8):1180-1189.
- [7] 李波,王宏明. 连铸板坯凝固传热模型研究及应用[J]. 江苏冶金,2005,33(03):1-5.

邓建军(1970-),男,博士生,高级工程师,1991年北京科技大学(本科)毕业,新品种开发和新技术应用。