

· 组织和性能 ·

控轧控冷工艺对 SCM435 钢盘条组织和性能的影响

阮士朋^{1,2,3} 王利军^{2,3} 陈继林^{2,3} 郭明仪^{2,3} 翟进坡^{2,3}

(1 北京科技大学冶金工程研究院,北京 100083;2 邢台钢铁有限责任公司技术中心,邢台 054027;

3 河北省线材工程技术研究中心,邢台 054027)

摘要 试验钢 SCM435 (C: 0.33 ~ 0.38, Si: 0.15 ~ 0.35, Mn: 0.60 ~ 0.85, P ≤ 0.025, S ≤ 0.025, Cr: 0.90 ~ 1.20, Mo: 0.15 ~ 0.30) 盘条的生产流程为 80 t BOF-LF-280 mm × 325 mm 铸坯-160 mm × 160 mm 热轧坯-热连轧成 Φ16 mm 盘条。试验研究了 160 mm × 160 mm 热轧坯由常规轧制工艺(开轧 1 060 °C,精轧 930 ~ 950 °C,吐丝 860 ~ 900 °C,冷却速度 0.5 ~ 0.6 °C/s)和控轧控冷工艺(开轧 1 060 °C,精轧 820 ~ 850 °C,吐丝 780 ~ 820 °C,冷却速度 0.4 ~ 0.5 °C/s)对 SCM435 钢热轧盘条组织和力学性能的影响。结果表明,随着精轧温度的降低和冷却速度的减小,钢热轧盘条的组织得到改善,抗拉强度明显降低;常规工艺轧制 SCM435 钢热轧盘条的抗拉强度平均 952 MPa,组织为铁素体 + 珠光体 + 贝氏体 + 马氏体,控轧控冷工艺轧制的 SCM435 钢热轧盘条的抗拉强度平均 817 MPa,组织为均匀的铁素体 + 珠光体。结合控轧控冷工艺原理对钢的组织 and 性能变化进行了分析。

关键词 SCM435 钢 Φ16 mm 盘条 控轧控冷 组织 力学性能

Effect of Control-Rolling-Cooling Process on Structure and Properties of Steel SCM435 Rod Coil

Ruan Shipeng^{1,2,3}, Wang Lijun^{2,3}, Chen Jilin^{2,3}, Guo Mingyi^{2,3} and Zhai Jinpo^{2,3}

(1 Metallurgy Engineering Research Institute, University of Science and Technology, Beijing 100083;

2 Technology Center, Xingtai Iron and Steel Corp Ltd, Xingtai 054027;

3 Hebei Province Engineering and Technology Research Center for Wire Rod, Xingtai 054027)

Abstract The production flowsheet of test steel SCM435 rod coil (C: 0.33 ~ 0.38, Si: 0.15 ~ 0.35, Mn: 0.60 ~ 0.85, P ≤ 0.025, S ≤ 0.025, Cr: 0.90 ~ 1.20, Mo: 0.15 ~ 0.30) is 80 t BOF-LF-280 mm × 325 mm casting bloom-160 mm × 160 mm hot-rolled billet-hot continuous rolling to Φ16 mm rod coil. The effect of 160 mm × 160 mm hot-rolled billet rolling to rod coil processes by normal rolling (beginning rolling at 1 060 °C, finishing rolling at 930 ~ 950 °C, finishing exit temperature 860 ~ 900 °C, cooling rate 0.5 ~ 0.6 °C/s) and control-rolling-cooling (beginning rolling at 1 060 °C, finishing rolling at 820 ~ 850 °C, finishing exit temperature 780 ~ 820 °C, cooling rate 0.4 ~ 0.5 °C/s) on structure and mechanical properties of steel SCM435 hot-rolled rod coil has been tested and studied. Results show that with decreasing the finishing temperature and cooling rate, the structure of steel hot-rolled rod coil is improved and the tensile strength of steel decreases obviously, that is the average tensile strength of steel SCM435 hot-rolled rod coil rolled by normal rolling process is 952 MPa with structure of ferrite + pearlite + bainite + martensite, while the average tensile strength of SCM435 hot-rolled rod coil rolled by control rolling-cooling process is 817 MPa with structure of ferrite + pearlite. Based on the principle of control-rolling-cooling the analysis on change of structure and properties of steel has been carried out.

Material Index Steel SCM435, Φ16 mm Rod Coil, Control-Rolling-Cooling, Structure, Mechanical Properties

SCM435 钢属于中碳铬钼系合金冷锻钢,调质后具有较高的抗疲劳强度和抗冲击能力,广泛应用于制造 10.9 ~ 12.9 级高强度紧固件。因该钢含有一定的铬钼元素,具有较高的淬透性能,在生产热轧盘条时往往容易产生淬火组织,如贝氏体或马氏体^[1],造成抗拉强度较高,加工困难。正常情况下 SCM435 钢热轧盘条生产紧固件需经软化退火、一次拉拔、球化退火、二次拉拔、冷锻成型及调质处理等工艺制程^[2]。如果通过控轧控冷工艺优化降低 SCM435 钢热轧盘条的抗拉强度,则可省略下游客户软化退火工序,降低加工制造成本^[3]。本文研究了控轧控冷工艺对 SCM435 钢热轧盘条组织和性能

的影响规律,为开发简化退火 SCM435 钢热轧盘条提供了参考。

1 试验材料及方法

试验所用钢坯为邢钢生产的 SCM435 钢坯,其生产流程为:80 t 转炉-LF 精炼-大方坯连铸机(钢坯断面尺寸为 280 mm × 325 mm),其主要化学成分见表 1。其力学性能受控轧控冷工艺的影响较大,当采取不同的控轧控冷工艺时,其抗拉强度在 650 ~ 1 050 MPa。

将 SCM435 大方坯经过加热及开坯轧制成横截面为 160 mm × 160 mm 的热轧钢坯,再将 SCM435

表 1 试验 SCM435 钢的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of tested steel SCM435 / %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0.33 ~ 0.38	0.15 ~ 0.35	0.60 ~ 0.85	≤ 0.025	≤ 0.025	0.90 ~ 1.20	0.15 ~ 0.30

热轧钢坯依次经加热、粗轧、中轧、精轧、控冷等工序轧制成 $\Phi 16$ mm 的热轧盘条,轧制工艺方案分别按照表 2 进行,工艺 1 为常规工艺轧制方案,工艺 2 为优化后的控轧控冷工艺方案。对轧制后的盘条利用 WDW50 微控电子万能试验机对试验盘条进行力学性能测试,利用 Leica DM2700M 光学显微镜(OM)进行显微金相组织观察。

2 试验结果及分析

2.1 常规和控轧控冷工艺轧制盘条的力学性能

常规轧制与控轧控冷工艺条件下的 SCM435 钢热轧盘条的力学性能检测结果对比见表 3。

由表 3 可见,常规轧制工艺下,SCM435 钢热轧盘条的抗拉强度在 900 ~ 1 000 MPa,平均抗拉强度为 952 MPa;采用控轧控冷工艺后,SCM435 钢热轧盘条的抗拉强度降低到 690 ~ 880 MPa,平均值为 817 MPa。

由表 3 还可见相对于常规轧制,控轧控冷工艺 SCM435 钢热轧盘条的抗拉强度有了明显的降低,但同时也可以发现,控轧控冷工艺条件下,抗拉强度的波动范围较大,这与冷却速度降低后,盘条在冷却辊道上搭接与非搭接处的冷却速度不一致有关。常规轧制工艺下,伸长率和断面收缩率平均值分别为 13.5% 和 32%,而采取控轧控冷工艺后,盘条伸长率和断面收缩率均有一定程度的升高,伸长率和断面收缩率平均值分别达到 17.5% 和 50%,断面收缩率的升高尤其明显。

2.2 常规和控轧控冷工艺轧制盘条的组织

表 2 常规轧制与控轧控冷工艺热轧 SCM435 钢盘条的工艺参数

Table 2 Parameters of process of normal rolling and control-rolling-cooling process of steel SCM435 rod coil

工艺	开轧温度/ ℃	进精轧 温度/℃	吐丝 温度/℃	冷却速度/ ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$)
常规轧制(1)	1 060	930 ~ 950	860 ~ 900	0.5 ~ 0.6
控轧控冷(2)	1 060	820 ~ 850	780 ~ 820	0.4 ~ 0.5

表 3 常规轧制与控轧控冷工艺 SCM435 钢 $\Phi 16$ mm 盘条的力学性能Table 3 Mechanical properties of steel SCM435 $\Phi 16$ mm rod coil produced by normal rolling and control-rolling-cooling process

工艺	抗拉强度/ MPa	伸长率/ %	断面收缩 率/%
常规轧制(1)	900 ~ 1 000(952)	12 ~ 16(13.5)	26 ~ 40(32)
控轧控冷(2)	690 ~ 880(817)	15 ~ 22(17.5)	45 ~ 57(50)

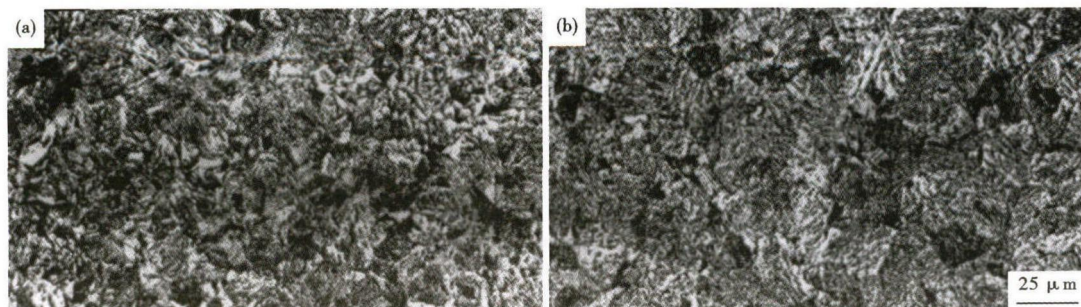
注:表中括号内数值为力学性能平均值

常规轧制与控轧控冷工艺条件下的 SCM435 钢热轧盘条的典型显微组织见图 1 和图 2。

由图 1 和图 2 可见,常规轧制工艺下的 SCM435 钢组织为铁素体 + 珠光体 + 贝氏体 + 马氏体组织,该工艺下出现了较多的淬火态组织(贝氏体和马氏体),会造成抗拉强度的升高和塑性的降低,这与力学性能的检测结果一致,进一步观察可见边部组织中的铁素体含量较心部铁素体少,而贝氏体含量较心部明显增加,这与边部冷却速率相对心部较大有关;而采用控轧控冷工艺后金相组织有了明显的变化,组织表现为均匀的铁素体 + 珠光体,消除了淬火态组织,且边部和心部的组织基本达到一致的状态。同时从晶粒度上可以看到控轧控冷工艺的 SCM435 钢晶粒也得到细化。

2.3 讨论

控轧控冷工艺对组织和相变具有较大的影响^[4]。常规轧制变形温度较高,变形奥氏体在较高

图 1 常规轧制工艺 SCM435 钢 $\Phi 16$ mm 热轧盘条的组织形貌,铁素体 + 珠光体 + 贝氏体 + 马氏体:(a)心部;(b)边部Fig. 1 Morphology of structure of steel SCM435 $\Phi 16$ mm rod coil produced by normal rolling process, ferrite + pearlite + bainite + martensite: (a) center; (b) edge

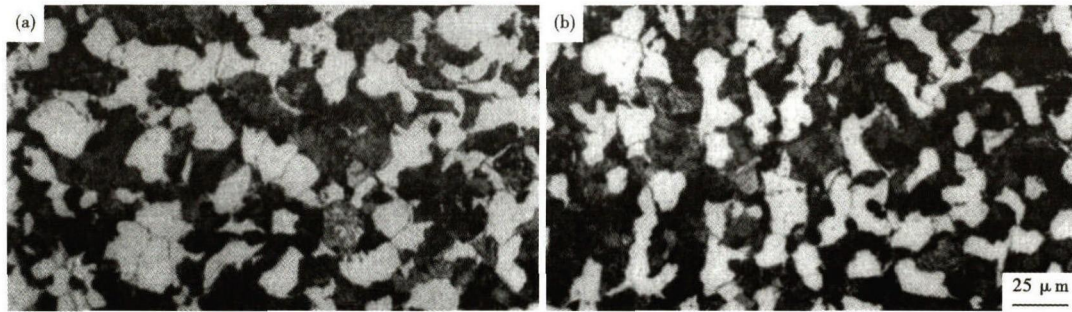


图2 控轧控冷工艺 SCM435 钢 $\Phi 16$ mm 热轧盘条的组织形貌,铁素体 + 珠光体:(a)心部;(b)边部

Fig.2 Morphology of structure of steel SCM435 $\Phi 16$ mm rod coil produced by control-rolling-cooling process, ferrite + pearlite: (a) center; (b) edge

的温度下发生再结晶和晶粒长大过程,此时晶粒长大的驱动力较大,晶粒长大比较充分;在控制轧制条件下,随着变形温度降低,晶粒长大的驱动力减小,晶粒长大过程受到抑制,再结晶晶粒变得细小,当变形温度进一步降低后,再结晶的驱动力变小,变形过程不发生再结晶,此时即在未再结晶区轧制,得到变形后被拉长的奥氏体,在变形奥氏体晶界或亚晶界等位置储存大量能量,在后续的相变过程会优先形核,相变后得到均匀细小的晶粒。

常规工艺轧制的 SCM435 钢变形温度较高,其变形过程属于完全再结晶区轧制,变形奥氏体发生再结晶及晶粒长大过程,相变后得到的晶粒相对较大,大的晶粒利于淬火组织的形成;同时由于 SCM435 钢含有较高的 Cr、Mo 元素, Cr、Mo 元素均是强碳化物形成元素,并具有固溶强化的作用,同时可使奥氏体分解速度减慢,降低淬火的临界冷却速度,有助于贝氏体和马氏体的形成;也就是说 Cr、Mo 元素都会提高钢的淬透性能,使 SCM435 钢在较低的冷却速度下即可得到贝氏体和马氏体等淬火态组织,常规轧制工艺得到的 SCM435 钢热轧态组织中往往含有一定的贝氏体和马氏体组织,从而造成其抗拉强度升高。

控轧控冷工艺条件下, SCM435 钢变形温度降低,轧后得到未变形奥氏体并积累大量的应变能,在后续的相变过程会促进铁素体和珠光体转变,同时低温变形可使 CCT 曲线左移^[4], CCT 曲线左移,相当于增加了淬火的临界冷却速度,降低了钢的淬透性能,在相同的冷却工艺下相对于常规轧制获得的贝氏体量就会减少或避免贝氏体的产生,此次控轧控冷工艺方案中结合冷却设备能力对冷却速度进一

步进行了优化,使冷却速度在常规冷却的基础上进一步降低,从而更有利于获得铁素体和珠光体组织,避免了贝氏体和马氏体等淬火态组织的出现,从而使抗拉强度有了明显的降低。

3 结论

(1) 常规轧制工艺的 SCM435 钢热轧盘条抗拉强度较高,平均值 952 MPa,组织为铁素体 + 珠光体 + 贝氏体 + 马氏体。

(2) 控轧控冷工艺通过降低精轧温度和吐丝温度以及冷却速度,得到了组织为铁素体 + 珠光体的 SCM435 钢热轧盘条,抗拉强度降低到平均 817 MPa。

(3) 低温轧制会使 CCT 曲线左移,增加了淬火的临界冷却速度,有利于获得均匀的铁素体 + 珠光体组织。

参考文献

- [1] 段贵生. SCM435 合金冷镦钢盘条控轧控冷工艺[J]. 特殊钢, 2008, 29(1): 45-47.
- [2] 沈奎, 麻晗, 王世芳, 等. 洁净度和控轧控冷工艺对 SCM435 热轧盘条塑性指标的影响[J]. 特殊钢, 2012, 33(5): 61-64.
- [3] 汪开忠, 孙维, 于同仁. 简化退火高强度冷镦钢 SCM435 盘条的研制[J]. 特殊钢, 2006, 27(6): 63-64.
- [4] 畠英雄, 家口浩, 下津佐正. 制御压延・制御冷却による線材の高品質化[J]. 神戸製鋼技報, 2000, 50(1): 29-32.
- [5] 徐东, 朱苗勇, 唐正友, 等. SCM435 钢奥氏体连续冷却转变行为[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2013, 34(3): 356-359.

阮士朋(1983-), 男, 博士生(北京科技大学), 副主任工程师, 2006 年河北工业大学(本科)毕业, 高品质线材产品研发。E-mail: shipengruan@163.com

收稿日期: 2016-04-11