

轧制工艺参数对 0.06C-0.31Mo 微合金化高强度钢组织和性能的影响

吴晓丹¹ Hakcheol Lee² Young Min Kim² Nack J Kim²
(1 太原钢铁公司,太原 030003; 2 韩国浦项工业大学,韩国 790-784)

摘要 用 Gleeble 热模拟试验机研究了 0.06C-0.31Mo V-Nb-Ti-B 微合金化钢再结晶区压下率(35.0% ~ 52.0%)、非再结晶区压下率(60.2% ~ 70.3%)、冷却速度(20 ~ 38 °C/s)等轧制参数对钢的组织 and 机械性能的影响。试验结果表明,随着轧后冷却速度加大,上贝氏体的体积比增加导致钢强度的提高;贝氏体基体中针状铁素体含量越多,上平台能(USE)越大,韧-脆转变温度越低,因此,贝氏体基体中针状铁素体改善管线钢的机械性能。

关键词 0.06C-0.31Mo 微合金化管线钢 控制轧制 组织 机械性能

Effect of Rolling Process Parameters on Structure and Properties of 0.06C-0.31Mo Microalloying High Strength Pipeline Steel

Wu Xiaodan¹, Hakcheol Lee², Young Min Kim² and Nack J Kim²
(1 Technical Center, Taiyuan Iron and Steel Co, Taiyuan 030003;
2 Pohang University of Science and Technology, Korea 790-784)

Abstract The effect of rolling parameters such as 35.0% ~ 52.0% reduction rate in recrystallization region, 60.2% ~ 70.3% reduction rate in non-recrystallization region, cooling rate (20 ~ 38 °C/s) on structure and mechanical properties of 0.06C-0.31Mo V-Nb-Ti-B microalloying steel has been studied by Gleeble thermal simulation machine. The test results showed that with increasing cooling rate, the upper bainite volume percentage increased led to increasing strength of steel, and the more acicular ferrite content in bainite matrix the more upper shelf energy (USE) of steel and the lower ductile brittle transition temperature, therefore the acicular ferrite in bainite matrix could improve the mechanical properties of pipeline steel.

Material Index 0.06C-0.31Mo Microalloying Pipeline Steel, Control Rolling, Structure, Mechanical Properties

为了研究工艺参数对高强度管线钢组织的影响,并获得合适的轧钢条件以保证强度和韧性的最佳结合,运用 Gleeble 进行了热模拟试验。根据热模拟的试验结果,在试验工厂进行了轧制。从组织观察和性能分析,阐述了微观结构和力学性能的关系。

1 试验钢的化学成分

为了提高高强度管线钢的低温韧性,本实验设计的组织为贝氏体基体中含 20% ~ 30% 的针状铁素体。试验钢种化学成分设计是低碳、高锰、Ni-Cu-Mo-V-Nb 微合金化(表 1)。炼钢和轧钢都在浦项钢厂(POSCO)的试验工厂进行。

2 试验结果和分析

2.1 冷却速度(CR)对组织的影响

表 1 试验钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of test steel /%

C	Si	Mn	Ni	Cu	Mo	V	Nb	Ti	B	Al
0.06	0.25	1.80	0.30	0.30	0.31	0.04	0.04	0.01	0.001	0.018
$C_{eq} = C + (Mn/6) + [(Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V)/5] = 0.428$ $P_{cm} = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5B = 0.207$										

图 1 显示了不同冷却速度下热模拟试样的金相组织,在冷却速度慢时(1 °C/s和 5 °C/s),组织中有大量的多边形铁素体(PF),随着冷却速度增加,多边形铁素体(PF)的数量减少,贝氏体(B)的数量增多。从图 1 中观察可知,当冷却速度为 20 ~ 30 °C/s 时,在贝氏体基体中有 20% ~ 40% 的针状铁素体,这与设计的组织接近,所以轧钢的冷却速度确定为 20 °C/s 和 30 °C/s。

2.2 终止冷却温度(FCT)对组织的影响

从图 2 看到,随着终止冷却速度的增高,针状铁素体(AF)和粒状贝氏体(GB)增多。这也可用 CCT 曲线来解释。针状铁素体和粒状贝氏体转变温度范围位于上贝氏体以上,当冷却终止温度高时,例如 500 °C 转变位于粒状贝氏体转变温度区域,所以组织中有大量的粒状贝氏体。当冷却终止温度为 400 °C 时位于上贝氏体(UB)转变温度范围,所以组织中存在大量的上贝氏体。在本试验范围内,随着终止冷却温度的升高,上贝氏体的含量增多。

2.3 热轧试样的金相组织

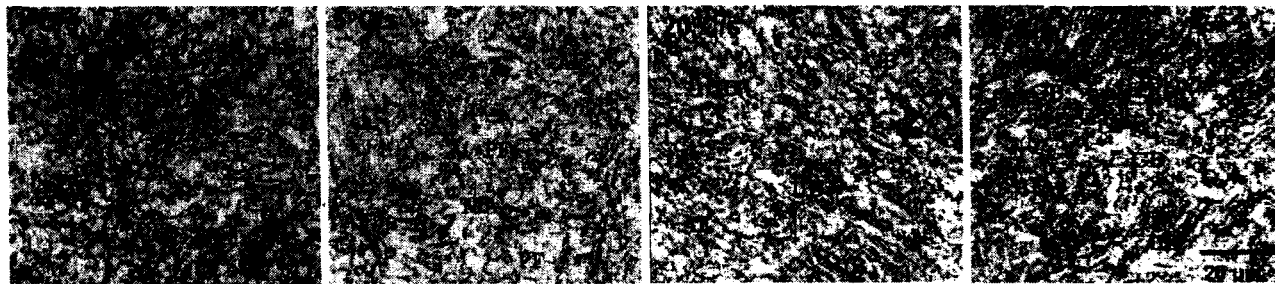


图 1 冷却速度(CR)对管线钢组织的影响
Fig. 1 Effect of cooling rate (CR) on structure of pipeline steel



图 2 终止冷却温度(FCT)对管线钢组织的影响(冷却速度 20 °C/s)
Fig. 2 Effect of finishing cooling temperature (FCT) on structure of pipeline steel, cooling rate 20 °C/s

通过观察金相组织(图 3)得出,由于热轧工艺不同(见表 2),试样 A 组织为 UB(80%) + AF(10%),试样 B 组织为 UB(80%) + AF(10%),试样 C 组织 GB(65%) + AF(25%) + UB(10%)。

从图 3 还可看出,试样 B 和 C 的组织比 A 细

小。从表 2 得知试样 A 粗轧的压下率为 35.0%,精轧的累计压下率为 70.3%。试样 B 和 C 粗轧压下率为 52.0%,精轧为 60.2%。从轧制试样微观组织的比较得知,与精轧阶段大的压下率相比,粗轧阶段采用大的压下率对组织细化有更明显的作用。

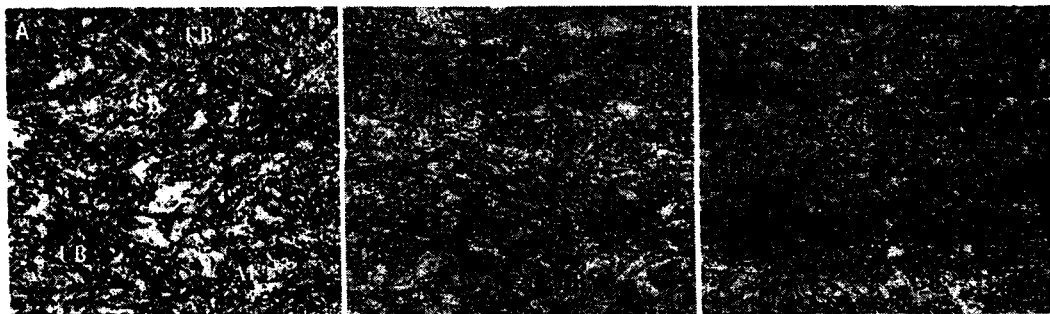


图 3 不同工艺参数轧制的管线钢试样 A、B、C 的组织
Fig. 3 Structure of samples A, B and C of pipeline steel rolling with different process parameters

表 2 热模拟试验的轧钢工艺参数
Table 2 Rolling parameters of thermal simulation test

项目	各试样的工艺参数		
	A	B	C
再结晶区的压下率/%	35	52	52
非再结晶区的压下率/%	70.3	60.2	60.2
开始冷却温度/°C	780	780	780
冷却速度/(°C·s ⁻¹)	38	22(20)	30
终止冷却温度/°C	380	450	520(450)

2.4 试验钢的抗拉强度

从表 3 得知,试样 A 抗拉强度大于 B 和 C,试样 B 和 C 的抗拉强度接近,这是由于它们的金相组织不同。试样 A 组织中上贝氏体的量最多,上贝氏体由铁素体板条组成,板条中间是富碳的奥氏体和马氏体岛。针状贝氏体转变是剪切模式,位错密度高,比粒状贝氏体和针状铁素体的强度高。

表3 试样A、B和C力学性能的比较

Table 3 Comparison of mechanical properties of sample A, B and C

试样	YS/MPa	UTS/MPa	YS/UTS	EL/%
A	802	926	0.87	17.0
B	623	744	0.84	20.6
C	629	760	0.83	20.5

多相组织的金属中,屈服主要发生在软相中,所以屈服强度主要取决于柔软相。试样B和C软相(针状铁素体)含量相似,即使含有不同类型的贝氏体,它们也表现出相似的屈服行为。

2.5 组织对试验钢低温韧性的影响

从表4可以看出,与试样A相比,试样B和C具有较高的上平台能(USE)。

表4 试样A、B、C低温韧性的比较

Table 4 Comparison of low temperature toughness of sample A, B and C

试样	USE/J	DBTT/°C
A	90	-85
B	290	-97
C	310	-105

一般来说,从Charpy冲击试验获得的上平台能(USE)受到基体以及第二相的种类、体积比和尺寸的影响^[1,2]。块状铁素体(PF)的最高上平台能为300~500 J,针状铁素体(AF)和贝氏体(B)表现出的最高上平台能分别是300~400 J和150~300 J,这表明在较低温度下转变的组织具有较低的上平台能。试样B和C含有20%~30% AF,试样A仅仅含有10% AF,所以试样B和C的上平台能比试样A高。试样C比B的上平台能高,因试样C含有65%粒状贝氏体(GB),试样B含有60%的上贝氏体(UB)。

试样A、B和C都具有较低的韧-脆转变温度(DBTT),这是因为其贝氏体基体中都含有一定量的针状铁素体。针状铁素体转变过程包括剪切类型和扩散类型转变。针状铁素体在轧制过程中的转变温度稍高于上贝氏体转变。

晶粒取向小于15°的相邻的铁素体晶粒组成的晶粒束被称为有效晶粒。有效晶粒起到了阻碍裂纹扩展的作用。与贝氏体相比,针状铁素体的有效晶粒小,从而针状铁素体具有良好的韧性^[3,4],特别是好的韧-脆转变温度(DBTT)。对于贝氏体,初生奥氏体晶粒尺寸为有效晶粒尺寸,因为贝氏体是由角晶小的相互平行的板条组成。

从图4看出,裂纹扩展路径在针状铁素体晶界改变方向,从而阻碍了裂纹的扩张。因此贝氏体基体中含一定量的针状铁素体能有效地改善韧性。



图4 Charpy冲击试样中裂纹的扩展路径
Fig.4 Crack propagation path of Charpy impact sample

3 结论

(1)随着冷却速度的提高,上贝氏体的体积比增加,并且通过控制冷却速度和终止冷却温度可以控制各构成相的体积比(上贝氏体、针状铁素体和粒状贝氏体)。终止冷却温度提高,粒状贝氏体的体积比增加。

(2)初轧阶段采用大的压下率对组织细化有显著的作用。

(3)试样A的屈服和拉伸强度比试样B、C高,这是因为试样A中的上贝氏体含量较多,而试样B、C中针状铁素体的含量超过25%。

(4)贝氏体基体中针状铁素体的含量越多,上平台能(USE)越大,同时,它由于针状铁素体的有效晶粒尺寸小,能降低高强度微合金钢的韧-脆转变温度(DBTT)。

(5)贝氏体基体中存在针状铁素体能改善管线钢的机械性能。

参考文献

- 1 Koo J Y. Metallurgical Design of Ultra-high Strength Steels for Gas Pipelines, Proceedings of the 13th International Offshore and Polar Engineering Conference, Honolulu, Hawaii USA, 2003, 4:10
- 2 Kim Y M, Kim S K, Lim Y J, et al. ISIJ International, 2002, 42:1571
- 3 Ming-chun Zhao, Ke Yang, Yiyang Shan. The Effects of Thermo-mechanical Control Process on Microstructures and Mechanical Properties of a Commercial Pipeline Steel, Materials Science and Engineering 2002, A335:14
- 4 Kim Y M, Lee H, Yoo J Y. Microstructural Characteristic of Acicular Ferrite in Linepipe Steels, Proceeding of ISOPE 2005, Seoul, Korea (2005)

吴晓丹(1977-),女,助理工程师,2006年韩国浦项工业大学毕业,从事电工钢研究。

收稿日期:2006-07-10