

奥氏体不锈钢 15Mn-22Cr-0.56N 的热塑性和轧制工艺对其性能的影响

周勇^{1,2} 郎宇平² 荣凡² 刘培英¹

(1 北京航空航天大学材料科学与工程学院,北京 100083;

2 先进钢铁流程及材料国家重点实验室 钢铁研究总院,北京 100081)

摘要 通过热模拟试验和 20% ~ 60% 单道次变形的热轧试验研究了奥氏体不锈钢 15Mn-22Cr-0.56N 的高温拉伸和压缩塑性以及热轧工艺对组织和机械性能的影响。模拟试验结果表明,该钢最佳热塑性区为 1 000 ~ 1 150 ℃;热轧试验结果表明,15Mn-22Cr-0.56N 钢最佳轧制工艺参数为 1 000 ~ 1 050 ℃、40% 变形可得到较高的强-韧性。

关键词 奥氏体不锈钢 15Mn-22Cr-0.56N 热塑性 热轧工艺 机械性能

Hot Plasticity of Austenite Stainless Steel 15Mn-22Cr-0.56N and Effect of Rolling Process on Properties of Steel

Zhou Yong^{1,2}, Lang Yuping², Rong Fan² and Liu Peiying¹

(1 Faculty of Engineering and Science of Materials, Beijing University, Beijing 100083;

2 State Key Laboratory of Advanced Steel Processing and Products, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

Abstract The high temperature tensile and compressing plasticity of austenite stainless steel 15Mn-22Cr-0.56N and effect of hot rolling process on structure and mechanical properties of steel have been studied by thermal simulated test and single pass 20% ~ 60% deformation hot rolling test. Simulated steel results showed that the optimum hot plasticity zone was 1 000 ~ 1 150 ℃; and the hot rolling test results showed that the optimum rolling parameters of steel 15Mn-22Cr-0.56N was 40% deformation at 1 000 ~ 1 050 ℃ by which the steel could get higher strength and toughness.

Material Index Austenite Stainless Steel 15Mn-22Cr-0.56N, Hot Plasticity, Rolling Process, Mechanical Properties

近 10 年来高氮钢的研究有较大进展^[1-4],本文研究了 15Mn-22Cr-0.56N 钢的热塑性和热轧性能。

1 试验材料与方法

1.1 热塑性试验

15Mn-22Cr-0.56N 钢 (%: 0.14C、22.58Cr、14.97Mn、0.56N、0.48Si、0.42Ni、0.002S、0.026P) 在 Gleeble 1500D 热模拟机上进行高温拉伸试验,温度升至 1 200 ℃,保温 10 min,以 10 ℃/s 速度降至或升至 900 ~ 1 250 ℃ 之间不同的拉伸温度,以 0.005 s⁻¹ 应变速率加载拉伸,测定断面收缩率和抗拉强度的值。直径 8 mm,长 15 mm 的试样用于高温压缩试验,测定最大临界变形程度(极限压下率) $\Delta h/H_0$ 。高温压缩试验的升降温规程和拉伸试验相同,只是应变速率用 0.05, 0.5, 1 s⁻¹ 进行单道次压缩,观察压缩后试样侧表面出现的裂纹,根据侧表面出现微裂纹时的压下率绘制热塑性图。

1.2 热轧试验

热轧的具体试验方法为:将锻料加热到 1 150 ℃ 保温 90 min,分别冷到 950, 1 000, 1 050 ℃ 进行单道

次变形 20%、40% 和 60% 轧制,轧后空冷。

2 试验结果与讨论

2.1 固溶处理温度的确定

表 1 结果表明,1 100 ~ 1 200 ℃ 固溶处理后,钢的抗拉强度达到 910 MPa 以上,屈服强度也都达到 540 MPa 以上,塑性均在 50% 左右,冲击功都超过 310 J。

图 1(a) 是试验钢 1 150 ℃ 保温 60 min 水淬后的显微组织。图 1(a) 中的黑点即是未固溶完全的组织。可见,表面有固溶不完全的情况出现,保温时间需要延长。图 1(b)、(c) 分别是拉伸和冲击断口,拉伸断口表现出典型的韧性断裂 3 个特征区:即

表 1 固溶处理温度对 15Mn-22Cr-0.56N 钢力学性能的影响
Table 1 Effect of solid solution treatment temperature on mechanical properties of steel 15Mn-22Cr-0.56N

固溶温度/ ℃	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	伸长率 A/%	-40 ℃ 冲击功 A_{KU2} /J
1 100	545	910	53.0	310
1 150	560	930	55.5	320
1 200	540	920	53.0	342

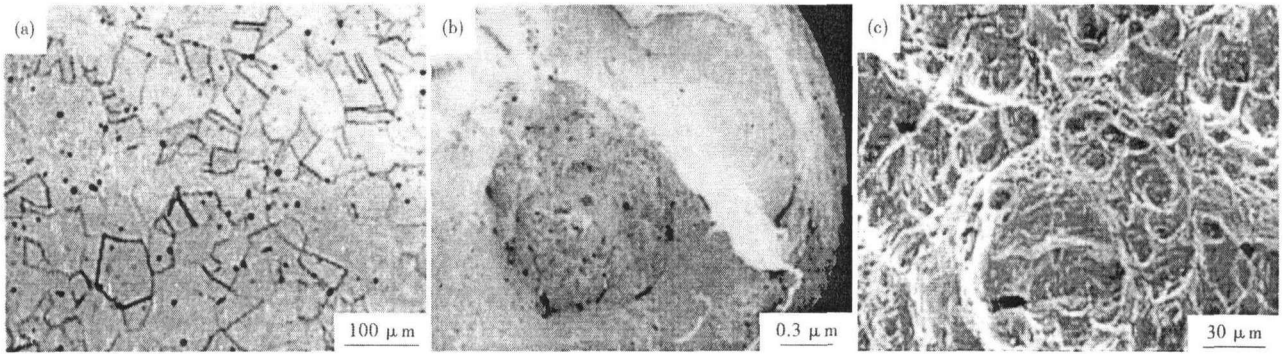


图 1 15Mn-22Cr-0.56N 钢的组织(a)、拉伸断口(b)和冲击断口(c)的形貌,1 150 °C 60 min 水冷

Fig.1 Morphology of structure (a), tensile fracture (b) and impact fracture (c) of steel 15Mn-22Cr-0.56N at 1150 °C for 60min, water cooling

纤维区、放射区和剪切唇区;冲击形貌也主要为韧窝形貌。因此,最后此类钢种的固溶处理定为1 150 °C 保温 90 min 水淬。

2.2 热塑性

图 2(a)是经高温拉伸获得的试验钢热塑性图。由图 2(a)可见,高温拉伸的热塑性在1 000 ~ 1 150

°C 都在 50% 以上,变形抗力随温度的升高而降低。为了更准确地了解试验钢的热塑性,本文又选择 3 种不同速率对试验钢进行高温压缩试验。图 2(b)是高温压缩获得的试验钢热塑性图,纵坐标 Δh 为微裂时的压下量, H_0 为试样原尺寸。由图 2(b)可见,不同速率下压缩的热塑性基本呈现出随着应变

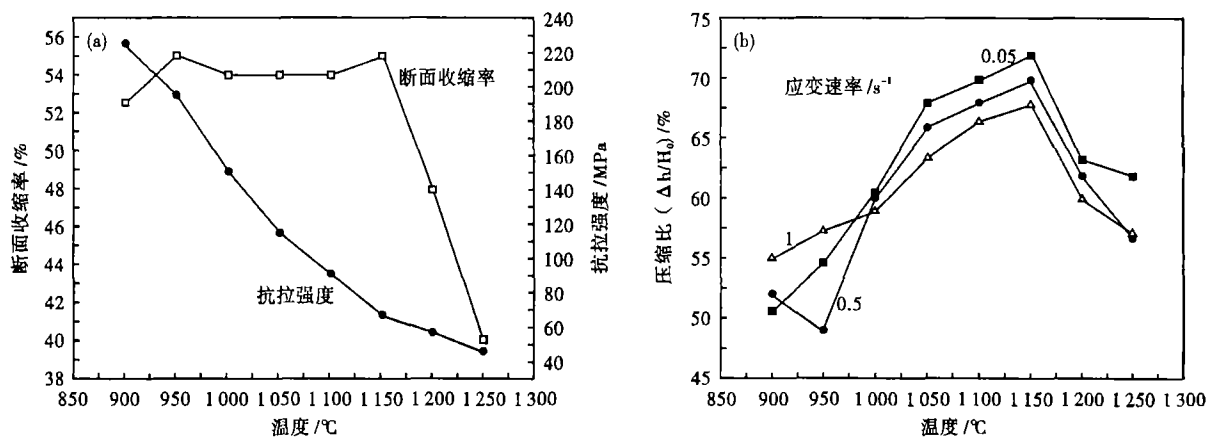


图 2 15Mn-22Cr-0.56N 钢拉伸(a)和压缩(b)热塑性图

Fig.2 Hot plasticity curves of tensile (a) and compression (b) of steel 15Mn-22Cr-0.56N

速率的增大,热塑性逐渐降低的趋势。

含氮奥氏体不锈钢中含有较高的碳和氮,会引起在锻造和轧制过程中碳、氮化物的大量析出,造成含氮奥氏体不锈钢出现沿晶断裂现象,表现出韧性值低^[5]。由于试验钢的碳、氮含量分别为 0.14%、0.56%,在温度较低时,钢板轧制后会有大量碳、氮化物的析出,影响试验钢的塑性和韧性。图 3 是用 Thermo-calc 相图软件计算不同温度下的相含量,如铁素体(BCC),碳、氮化物和 σ 相(SIGMA),纵坐标 NP(*)表示相的质量百分含量(%),可以看到在 900 ~ 1 000 °C 范围内明显有碳、氮化物析出,特别是在 1 000 °C 以上还有氮化物析出。图 4 是应变速率为 0.5 s⁻¹ 热压缩后的显微组织。热压缩塑性试验

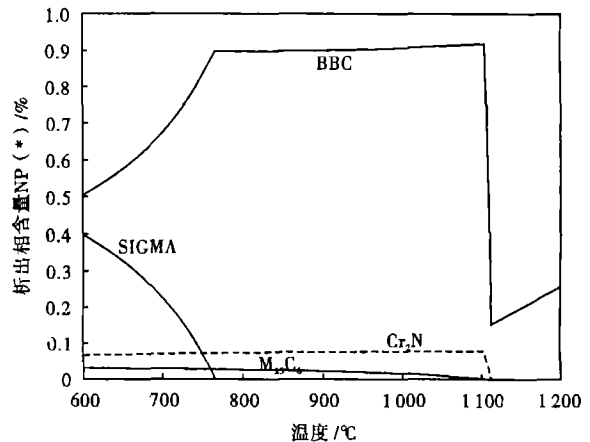


图 3 温度对 15Mn-22Cr-0.56N 钢中各析出相含量的影响
Fig.3 Effect of temperature on content of each precipitated phase in steel 15Mn-22Cr-0.56N

后,观察试样显微组织发现,900,950 °C 微裂时晶粒晶界析出了碳、氮化物(图 4a),而1 000 °C 以上却观察不到,可能是由于动态再结晶的发生(图 4b、c)使得晶粒细小,晶界很窄,即使有氮化物的析出也很难观察到。发生的动态再结晶晶粒有效阻碍裂纹的长大,从而提高热加工性^[6]。1 200 °C 以上晶粒变得粗大(图 4d)。

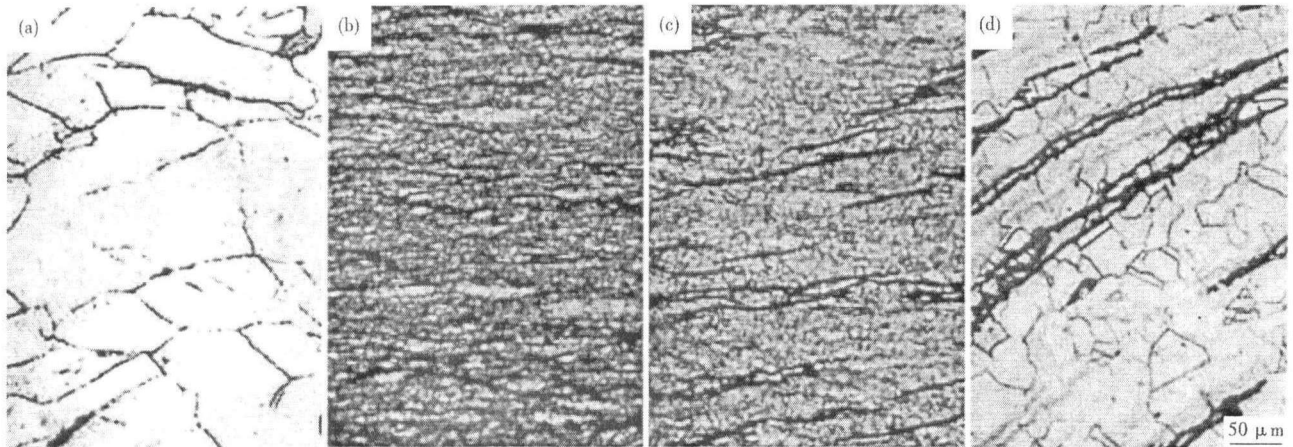


图 4 15Mn-22Cr-0.56N 钢经应变速率 0.5 s^{-1} 热压缩后的组织:(a) 900 °C,(b) 1 050 °C,(c) 1 100 °C,(d) 1 250 °C

Fig. 4 Structure of steel 15Mn-22Cr-0.56N hot-compressed with strain rate 0.5 s^{-1} at 900 °C (a), 1 050 °C (b), 1 100 °C (c) and 1 250 °C (d)

表 2 热轧工艺对 15Mn-22Cr-0.56N 钢力学性能的影响
Table 2 Effect of hot rolling process on mechanical properties of steel 15Mn-22Cr-0.56N

固溶温度/ °C	变形量/ %	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	伸长率 A /%	-40 °C 冲击功 A_{KU2} /J
950	20	855	1 070	42.5	139
	40	850	1 090	40.3	180
	60	925	1 150	38.0	129
1 000	20	825	1 070	46.3	173
	40	795	1 060	44.8	207
	60	845	1 100	44.0	165
1 050	20	828	1 065	45.3	207
	40	760	1 035	44.8	217
	60	898	1 125	39.3	145

以上。最小为 129 J,最大达到 217 J(表 3)。同一变形温度下的趋势是变形 40% 的冲击功最大,而变形 60% 的最小;另外,除 1 050 °C 变形 60% 外,同一变形量的不同热加工温度的冲击功基本趋势是:
 $A_{KU2}(J)_{1050\text{ °C}} > A_{KU2}(J)_{1000\text{ °C}} > A_{KU2}(J)_{950\text{ °C}}$ 。

3 结论

(1) 试验钢热塑性曲线具有高温塑性区,高温塑性区为 1 000 ~ 1 150 °C。 ≤ 950 °C 变形抗力很大, ≥ 190 MPa,高于 1 150 °C 热塑性呈直线下降,晶粒粗大。因此,终轧温度应在 1 000 ~ 1 150 °C。

2.3 热轧性能分析

与固溶态相比,热轧后的试验钢屈服和抗拉强度都有较大的提高:屈服强度提高 200 MPa 以上;抗拉强度提高 100 MPa 以上。在同一温度下,屈服与抗拉强度在变形量为 40% 时最小,在 60% 变形量后强度达到最大(表 2)。

各变形温度下,各变形量的冲击功都在 100 J

(2) 试验钢在 950 ~ 1 050 °C 变形 40% 时动态再结晶较明显,变形 60% 动态再结晶大面积分布,变形 40% 时,各性能结合得最佳。

“973”二期基金项目(编号:2004CB619103)

参考文献

- 1 Frisk K. 氮在钢中的某些有益作用. 高氮钢译文集(1). 上海钢铁研究所,1990:1
- 2 周灿栋,丁伟中,蒋国昌. 高氮钢的显微组织和机械性能的特点及其发展. 包头钢铁学院学报,1999,18(4):393
- 3 崔光洙,邸洪双,刘相华,等. 304HC 不锈钢的热塑性及变形抗力的模型. 东北大学学报,2001,6(22):656
- 4 Gavriljuk V G, Berns H. High Nitrogen Steel-Structure, Properties, Manufacture, Applications, New York: Springer-verlag Berlin Heidelberg, 1999
- 5 Stein G, Hucklenbroich I, Feichtinger H. Current and Future Applications of High Nitrogen Steels. Materials Science Forum, 1999:151
- 6 Yuji Ikegami, Rikio Nemoto. Effect of Thermo-mechanical Treatment on Mechanical Properties of High-nitrogen Containing Cr-Mn-Ni Austenitic Stainless Steels. ISIJ International, 1996:855

周 勇(1982-),男,在读硕士研究生,研究方向为资源节约型不锈钢。

收稿日期:2007-08-23