

· 试验研究 ·

新型易切削不锈钢 TBPS 中 MnS 夹杂相对热塑性的试验研究

罗 刚 王辉绵

(太原钢铁(集团)有限公司先进不锈钢材料国家重点实验室,太原 030003)

摘 要 试验易切削不锈钢 TBPS (/% : 0.02C, 0.75Si, 1.50Mn, 0.008P, 0.21S, 19.70Cr, 1.10Mo, 0.11Pb, 0.008Te) 由真空感应炉 + 电渣重熔 (Φ350 mm, 500 kg 锭) 冶炼, 用 Gleeble 3800 热模拟机试验研究 900 ~ 1 200 °C、变形量 10% ~ 70% 时电渣锭中 MnS 夹杂的相对热塑性。结果表明, 在 900 ~ 1 100 °C 时, 随着变形量的增加, MnS 夹杂的相对变形指数 γ 变小; 在 1 200 °C, 变形量对 MnS 夹杂相对变形指数 γ 影响较小; 且随着变形温度升高, MnS 夹杂的相对变形指数 γ 减小, 特别在 1 200 °C, 相对变形指数 γ 显著减小; 为降低 MnS 延展变形以获得较好的易切削性能, TBPS 宜采用高的温度和大的道次变形量进行热变形。

关键词 易切削不锈钢 TBPS 硫化锰夹杂 相对热塑性 温度 变形量

Test and Study on Relative Hot Plasticity of MnS Inclusion in a New Free-Cutting Stainless Steel TBPS

Luo Gang and Wang Huimian

(State Key Laboratory of Advanced Stainless Steel, Taiyuan Iron and Steel Group Co Ltd, Taiyuan 030003)

Abstract The test free-cutting stainless steel TBPS (/% : 0.02C, 0.75Si, 1.50Mn, 0.008P, 0.21S, 19.70Cr, 1.10Mo, 0.11Pb, 0.008Te) is melted by vacuum induction furnace + electro-slag remelting (ESR) (Φ350 mm, 500 kg ingot), and the relative hot plasticity of MnS inclusion in ESR ingot with deformation 10% ~ 70% at 900 ~ 1 200 °C has been tested and studied by Thermomechanical Simulator Gleeble 3800. The results show that at 900 ~ 1 100 °C with increasing deformation the relative plasticity index γ of MnS inclusion decreases; at 1 200 °C the effect of deformation on the relative plasticity index γ of MnS inclusion is minor; and with increasing the deformation temperature, the relative plasticity index γ of MnS trends towards decreasing, especially at 1 200 °C the relative plasticity index γ decreases obviously. In order to decrease the elongation deformation of MnS to get better free-cutting performance, it available for steel TBPS to hot deform by larger pass deformation at higher temperature.

Material Index Free-Cutting Stainless Steel TBPS, MnS Inclusion, Relative Hot Plasticity, Temperature, Deformation

制笔行业的圆珠笔头结构复杂、精度高, 一般均在全自动生产设备上加工, 其生产特点是工序多、切削速度快、装配和加工尺寸精度高, 因此圆珠笔头材料除了要满足耐磨、耐蚀要求外, 还要有优异的切削性能^[1]。目前此类材料几乎全部依靠进口, 如日本下村特殊精工 SF20T^[2-3]、日本大同特钢的 DSR6F 超易切削不锈钢等^[4]。太钢采用向不锈钢中添加改善切削性能的硫(S)、铅(Pb)和碲(Te)元素合金化的方法, 开发了一种以 MnS 夹杂为主, Pb、Te 复合强化切削性能的中高铬易切削不锈钢 TBPS。

球形或纺锤形硫化物比线条型更有利于提高材料的切削性能^[5]。本文研究了易切削不锈钢 TBPS 中 MnS 夹杂相对基体的变形规律, 通过合理制定热轧工艺、减少硫化物夹杂的相对延展以提高切削性能。

1 试验材料与方法

试验材料通过 1 t 真空感应炉 + 电渣重熔工艺制备而成, 锭型为 Φ350 mm、500 kg, 成分及实物见

表 1 和图 1(a)。在电渣锭横截面 1/2 R 处取样, 机加工成规格为 Φ10 mm × 15 mm 的热压缩试样。热压缩模拟试验在 Gleeble 3800 热模拟机上进行。试

表 1 试验钢 TBPS 的分析成分 / %
Table 1 Analysis of tested steel TBPS / %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Pb	Te
0.02	0.75	1.50	0.008	0.21	19.70	1.10	0.11	0.008

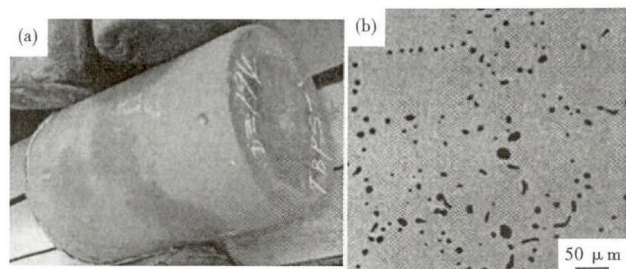


图 1 TBPS 钢电渣锭 (a) 和锭中 MnS 夹杂形貌 (b)
Fig. 1 Morphology of steel TBPS ESR ingot (a) and MnS inclusion in ingot (b)

验过程为:以 10 ℃/s 的速率升温 1 250 ℃ 保持 2 min,再以 5 ℃/s 的速率降温到 900,1 000,1 100,1 200 ℃,保温 2 min 后以 0.1 ℃/s 变形速率压缩,变形量为 10%,30%,50%,70%。试验结束后,立即对试样进行淬火以保留高温组织。

2 试验结果及讨论

从图 1(b)可以看出, TBPS 钢在变形前(电渣锭), MnS 夹杂呈椭球形, 尺寸较大, 平均直径约为 5 μm, 长-短径比约为 1.657。经不同温度和变形量的热压缩后, MnS 会发生部分回溶, 尺寸略有减小(图 2)。当压缩变形 10% 时, MnS 变形程度很小, 基本保留了铸态时的球形或椭球形特征, 如图 2(a₁, b₁, c₁, d₁) 所示。随着变形量的增加, MnS 夹杂延展变形也逐渐增加, 特别是当变形量 50% 以上时, MnS 夹杂发生了明显延展变形, 大部分呈纺锤形, 个别甚至呈长条型形状, 如图 2(a₃, b₃, c₃, d₃) 和

图 2(a₄, b₄, c₄, d₄)。

用量化指标来表征 MnS 夹杂和基体之间的变形差异, 以及变形温度、变形量对其产生怎样的影响对控制热轧过程中 MnS 延展变形具有重要意义。

MnS 夹杂和基体之间的变形差异可以用夹杂物相对塑性指数 γ(也称相对变形指数)来表征^[6], 即

$$\gamma = \varepsilon_i / \varepsilon_s \tag{1}$$

式中: ε_i- MnS 夹杂应变; ε_s- 试样基体等效应变。显然相对塑性指数 γ(也称相对变形指数)越小, MnS 夹杂(相对)越不容易变形。

$$\varepsilon_i = \ln(\lambda_1 / \lambda_0) \tag{2}$$

式中: λ₀, λ₁- MnS 夹杂变形前、后的长-短径比, λ₀ = 1.657。

$$\varepsilon_s = 3/2 \ln h = 3/2 \ln(h_0 / h_1) \tag{3}$$

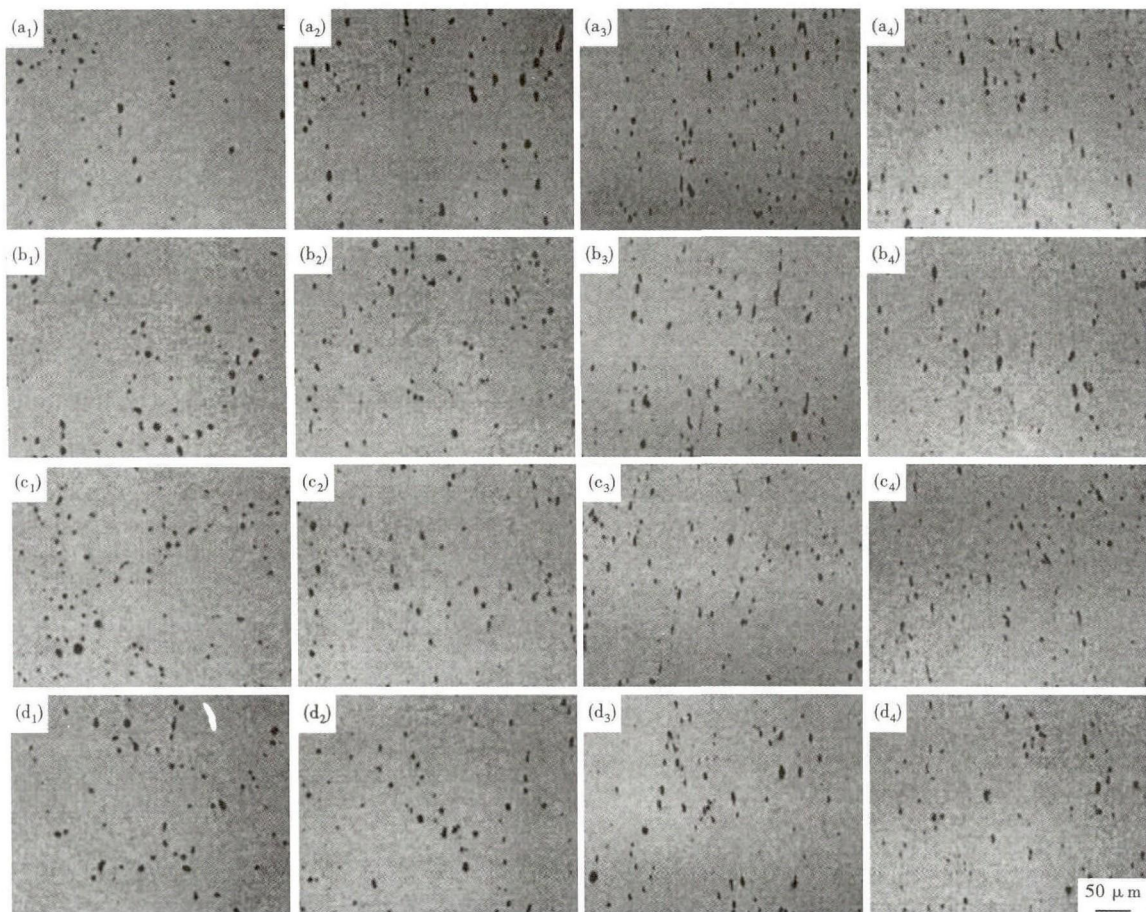


图 2 TBPS 电渣锭经 10% (a₁, b₁, c₁, d₁), 30% (a₂, b₂, c₂, d₂), 50% (a₃, b₃, c₃, d₃) 和 70% (a₄, b₄, c₄, d₄) 热压缩后的 MnS 形貌 (0.1 s⁻¹): (a₁, a₂, a₃, a₄) 900 ℃; (b₁, b₂, b₃, b₄) 1 000 ℃; (c₁, c₂, c₃, c₄) 1 100 ℃; (d₁, d₂, d₃, d₄) 1 200 ℃

Fig. 2 Morphology of MnS inclusion in steel TBPS ESR ingot being in hot-compression with deformation 10% (a₁, b₁, c₁ and d₁), 30% (a₂, b₂, c₂ and d₂), 50% (a₃, b₃, c₃ and d₃) and 70% (a₄, b₄, c₄ and d₄), 0.1 s⁻¹, at 900 ℃ (a₁, a₂, a₃ and a₄); 1 000 ℃ (b₁, b₂, b₃ and b₄); 1 100 ℃ (c₁, c₂, c₃ and c₄) and 1 200 ℃ (d₁, d₂, d₃ and d₄)

式中: h_0 、 h_1 - 基体变形前、后的厚度。

利用图像分析软件 Image-gro plus 对 TBPS 热压缩样以及铸坯中共 3 682 个 MnS 夹杂形态进行统计,将 MnS 夹杂长-短径比平均值和基体变形量相关数据代入上述公式,计算出各种压缩试验变形条件下 MnS 夹杂相对变形指数,结果见表 2 和图 3。

试验结果可以看出,随着变形温度升高,MnS 夹杂的相对变形指数 γ 基本呈减小趋势,特别是当变形温度升高至 1 200 °C 时,MnS 夹杂的相对变形指数 γ 达到最小。说明在高的变形温度下 MnS 相对金属基体更加不容易变形。这可能是由于金属化合物 MnS 和铁素体型金属固溶体基体属于不同的晶体结构体系,后者变形抗力随着温度升高而下降的速度要比前者快而造成的^[7]。

当变形温度较低,在 900 °C,变形量越大,MnS 相对变形指数 γ 越小;当变形温度较高,在 1 000, 1 100 °C 和 10% 小变形时,MnS 相对变形指数 γ 较大,但随着变形量增加 MnS 相对变形指数 γ 明显减小;当变形温度为 1 200 °C 时,变形量对 MnS 相对变形指数 γ 几乎没有影响。

在变形过程中,金属基体和夹杂物界面之间会产生摩擦力。随着变形量的增加,摩擦力变大,MnS 就会在摩擦力的作用下沿着变形方向产生延展变形。另一方面,随着二者界面的增加,越来越多的金属基体倾向于绕过夹杂物流动变形,从而在一定程度上削弱了夹杂物的变形,结果表现为随着变形量增加,MnS 夹杂的相对变形指数减小。但当温度升

表 2 TBPS 钢中 MnS 夹杂平均长-短径比 ($\bar{\lambda}_1$) 和相对变形指数 (γ)

Table 2 Average ration longitudinal-transverse axis ($\bar{\lambda}_1$) and relative deformation index (γ) of MnS inclusions in steel TBPS

温度/ °C	$\varepsilon = 10\%$		$\varepsilon = 30\%$		$\varepsilon = 50\%$		$\varepsilon = 70\%$	
	$\bar{\lambda}_1$	γ	$\bar{\lambda}_1$	γ	$\bar{\lambda}_1$	γ	$\bar{\lambda}_1$	γ
900	1.788 0	0.481 3	2.020 5	0.370 7	2.266 4	0.301 2	2.587 8	0.246 8
1 000	1.815 3	0.577 4	1.907 4	0.263 1	2.162 5	0.256 1	2.329 9	0.188 7
1 100	1.824 3	0.608 5	1.908 9	0.264 5	2.143 3	0.247 5	2.483 0	0.224 0
1 200	1.701 6	0.168 0	1.826 9	0.182 4	2.000 5	0.181 2	2.288 0	0.178 7

高至 1 200 °C,可能是 MnS 夹杂的变形抗力显著降低,二者界面间的稍许摩擦力就会使 MnS 夹杂产生延展变形,从而表现为高温时 MnS 相对变形指数 γ 几乎不受变形量的影响。

3 结论

(1) 易切削不锈钢 TBPS 经热压缩模拟轧制变形后,MnS 夹杂发生延展变形。

(2) 变形量对 MnS 夹杂相对变形指数 γ 具有显著影响。900 ~ 1 100 °C 时,随着变形量的增加,MnS 夹杂的相对变形指数 γ 变小;当变形温度升至 1 200 °C 后,MnS 夹杂的相对变形指数 γ 与变形量关系不大。

(3) 随着变形温度升高,MnS 夹杂的相对变形指数 γ 基本呈减小趋势,特别是当变形温度升高至 1 200 °C 时,MnS 夹杂的相对变形指数 γ 达到最小。

(4) 从降低 MnS 延展变形以获得良好的切削性能的角度考虑,易切削不锈钢 TBPS 宜采用高的变形温度和大的道次变形量进行热变形。

国家科技支撑计划项目资助(2011BAE31B00)

参考文献

- [1] 高佩,陈康敏,许晓静,等.圆珠笔头用新型易切削不锈钢的组织与力学性能[J].材料导报,2009,23(专刊XII),496-499.
- [2] 邱雄成,应必烈.LX-24 工位笔头自动加工机床及工艺技术要点[J].中国制笔,2006(2):33-38.
- [3] 潘明初.中性墨水与笔头的匹配[J].中国制笔,2007(2):9-12.
- [4] 长征.超易切削不锈钢“DSR6F”[J].金属功能材料,2002(2):46-46.
- [5] Ramalingam S, Basu K, Malkin S. Deformation Index of MnS Inclusions in Resulphurized and Lead Steels[J]. Materials Science and Engineering, 1997, 29(2):117-121.
- [6] 娄德春,崔昆,吴晓春,等.硫化锰夹杂物的热变形行为[J].钢铁研究学报,1996,8(6):11-14.
- [7] Luo C H, Ståhlberg U. An Alternative Way for Evaluating the Deformation of MnS Inclusions in Hot Rolling of Steel[J]. Scandinavian Journal of Metallurgy, 2002, 31(3):184-190.

罗刚(1980-),男,博士(2011年中科院金属所),工程师,2003年东北大学(本科)毕业,易切削、高强度经济型等不锈钢研究。E-mail:35084353@qq.com

收稿日期:2015-10-15

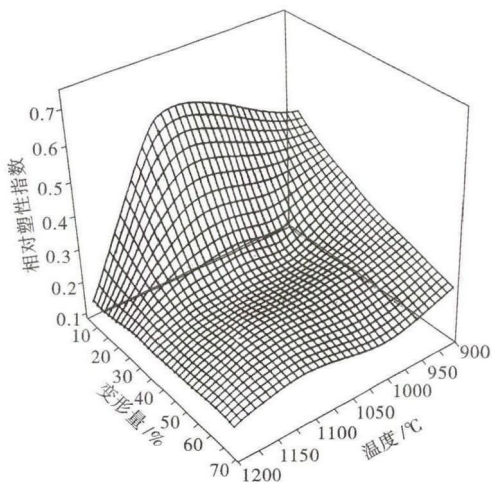


图 3 变形量和温度对 TBPS 钢中 MnS 夹杂相对塑性指数的影响

Fig. 3 Influence of deformation and temperature on relative plasticity index of MnS inclusion in steel TBPS