

不锈钢 022Cr25Ni22Mo2N 电渣锭锻造裂纹原因分析和工艺改进

张 军¹ 李造宇¹ 杨 娥¹ 张永强¹ 贾余超²

(大冶特殊钢股份有限公司 1 高品质特殊钢湖北省重点实验室; 2 锻造厂, 黄石 435001)

摘 要 20 t EAF-VOD-LF-VD-铸棒-2.5 t 电渣重熔锭锻成 Φ200 mm 圆棒上发现大量表面横向裂纹,采用扫描电镜对裂纹的微观形貌进行观察,分析结果表明,裂纹是由于锻造前加热温度过高,导致了晶界熔融而造成的。通过试验和生产实践得出,022Cr25Ni22Mo2N 钢电渣锭加热温度由原 1 180 ℃ 降至 1 110 ℃ 时,消除了锻材裂纹。

关键词 不锈钢 022Cr25Ni22Mo2N 电渣锭 锻造 裂纹 过热

An Analysis on Forging Cracks of ESR Ingot of Stainless Steel 022Cr25Ni22Mo2N and Process Improvement

Zhang Jun¹, Li Zaoyu¹, Yang E¹, Zhang Yongqiang¹ and Jia Yuchao²

(1 Hubei Key Laboratory of High Quality Special Steel; 2 Forging Works, Daye Special Steel Co Ltd, Huangshi 435001)

Abstract It is found that a large amount of surface transverse cracks at Φ200 mm round bar forged from 2.5 t ESR ingot remelted from 20 t EAF-VOD-LF-VD-casting electrode. To observe the morphology of cracks by scanning electron microscope the analysis results show that overheating of ingot before forging leads to melting of grain boundary to form forging cracks. It is obtained by test and production practice that as steel 022Cr25Ni22Mo2N ingot heating temperature decreases from original 1 180 ℃ to 1 100 ℃ the forgings cracks are eliminated.

Material Index Stainless Steel 022Cr25Ni22Mo2N, ESR Ingot, Forging, Cracks, Overheating

022Cr25Ni22Mo2N 属于超低碳含氮奥氏体不锈钢,合金含量高达 50% 左右。因其具有良好的耐腐蚀性,通常使用在高压、高温、强腐蚀环境中^[1-4]。

本文主要对 022Cr25Ni22Mo2N 不锈钢在开发过程中锻造出现的裂纹进行了原因分析,并通过温度梯度实验,发现锻造该钢种的最优加热温度。通过对 022Cr25Ni22Mo2N 不锈钢的锻造加热温度进行调整后裂纹消除,最终棒材成品通过检验各项性能达到国家标准要求。

1 材料生产工艺

022Cr25Ni22Mo2N 不锈钢采用 20 t 电弧炉 + VOD + LF-VD 进行冶炼浇铸成 2.5 t 铸棒(截面 Φ410 mm),5 t 气体保护电渣重溶 2.5 t 钢锭(截面 Φ500 mm),20MN 快锻开坯 + 16MN 精锻机锻造成 Φ200 mm 的圆棒。主要成分^[5]见表 1。

022Cr25Ni22Mo2N 不锈钢在 20MN 快锻生产时加热温度按照 1 180 ℃ 控制,开锻温度 1 100 ℃,终锻温度 930 ℃。钢锭刚开始锻造时变形量控制在单边 30 mm 左右,表面开始出现撕裂状横向裂纹,见图 1(a)。对锻造压下量进行调整减少到 15 mm 左右,裂纹还是继续出现。坯料空冷后发现除明

显的大撕裂状裂纹外,还发现在许多孔洞。用砂轮机除去氧化皮后发现孔洞表面布满细裂纹,裂纹呈网状分布,见图 1(b)。根据锻造生产情况分析,压下量控制在 20 mm 以内,变形量很小,锻造过程反应出钢锭塑性不足。

2 裂纹检测分析

对锻坯裂纹处取样分析,通过扫描电镜观察,在奥氏体晶界处出现了多处开裂及孔洞,是比较典型的过热形貌。这表明钢材在 1 180 ℃ 加热导致因温度过高而形成过热组织,见图 2(a)。通过孔洞处未完全熔化的晶界物质成分和基体成分对比发现,熔化的物质成分铁素体形成元素 Cr、Mo 含量高,奥氏体形成元素 Mn、Ni 含量低,见表 2,根据舍夫勒组织图^[6]Cr/Ni 当量计算评估和对金相结果的观察,未完全熔化的晶界物质为铁素体组织。锻造开裂是因为加热温度过高导致奥氏体晶界处铁素体组织熔化形

表 1 022Cr25Ni22Mo2N 钢的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of steel 022Cr25Ni22Mo2N / %

项目	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	N
标准成分	≤ 0.03	≤ 2.00	≤ 0.40	≤ 0.030	≤ 0.015	21.00 ~ 23.00	24.00 ~ 26.00	2.00 ~ 3.00	0.120 ~ 0.160
实际成分	0.01	1.16	0.10	0.010	0.002	21.59	24.36	2.21	0.142

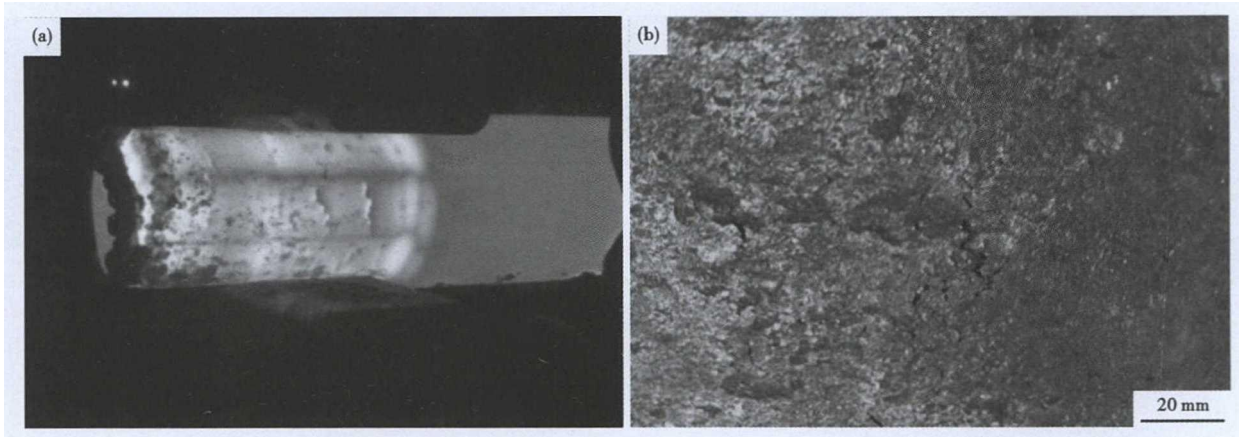


图1 022Cr25Ni22Mo2N 钢锻造横向裂纹(a),表面横向细裂纹(b)的形貌

Fig. 1 Morphology of transverse cracks (a) and surface transverse micro-cracks (b) of forgings of steel 022Cr25Ni22Mo2N

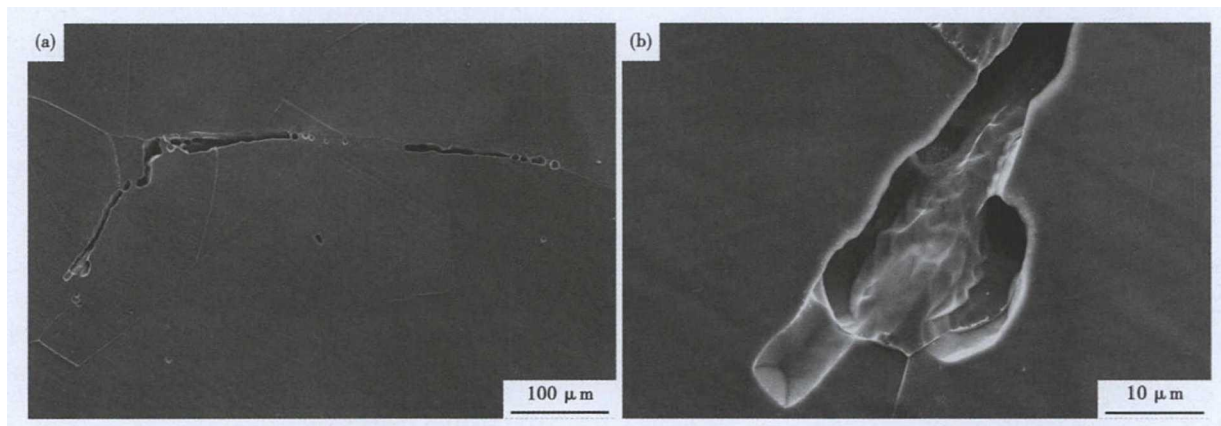


图2 022Cr25Ni22Mo2N 钢锻坯裂纹形貌:(a)×500;(b)×5000, SEM

Fig. 2 Morphology of cracks of forged products of steel 022Cr25Ni22Mo2N: (a) ×500; (b) ×5000, SEM

表2 熔化物质与基体成分比较/%

Table 2 Comparison between components of melted mass and matrix / %

区域	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo
熔化物质	40.36	-	41.50	9.74	8.41
基体	27.11	1.57	45.74	21.82	3.77

成过热组织所致,见图2(b)。

其中:

$$Cr_{eq} = 1\% Cr + 1\% Mo + 1.5\% Si + 0.5\% Nb \quad (1)$$

$$Ni_{eq} = 1\% Ni + 30\% C + 0.5\% Mn \quad (2)$$

3 加热实验

针对 022Cr25Ni22Mo2N 不锈钢锻造加热时过热现象,在 022Cr25Ni22Mo2N 电渣钢锭尾部同一部位切取 4 块 20 mm × 20 mm 试样在同一加热炉分别在不同温度下保温 3 h 后水冷,磨制金相试样直接在扫描电镜下观察晶界形貌,通过观察发现当加热温度超过 1 120 °C 时,022Cr25Ni22Mo2N 钢的奥氏体

晶界处开始发生不同程度的熔化,晶界上出现熔化后的孔洞,呈不连续状(图3)。温度越高,晶界熔化越严重,晶界上的孔洞越多^[7]。022Cr25Ni22Mo2N 钢的晶界腐蚀检验结果如表 3 所示。

4 工艺改进及效果

通过对锻造开裂原因分析和不同加热温度梯度实验,锻造加热温度由 1 180 °C 降到 1 100 °C 调整。

表3 1 200 °C, 1 150 °C, 1 120 °C 和 1 100 °C 加热的 022Cr25Ni22Mo2N 钢金相检验结果

Table 3 Metallographic examination results of steel 022Cr25Ni22Mo2N heated at 1 200 °C, 1 150 °C, 1 120 °C and 1 180 °C

编号	取样部位	加热制度	金相结果
1	电渣钢锭尾部,皮下 20~40 mm 处	加热温度 1 200 °C, 保温 3 h, 水冷。	晶界有连续孔洞
2	电渣钢锭尾部,皮下 20~40 mm 处	加热温度 1 150 °C, 保温 3 h, 水冷。	晶界有间断性孔洞
3	电渣钢锭尾部,皮下 20~40 mm 处	加热温度 1 120 °C, 保温 3 h, 水冷。	晶界有间断性孔洞
4	电渣钢锭尾部,皮下 20~40 mm 处	加热温度 1 100 °C, 保温 3 h, 水冷。	晶界没有孔洞

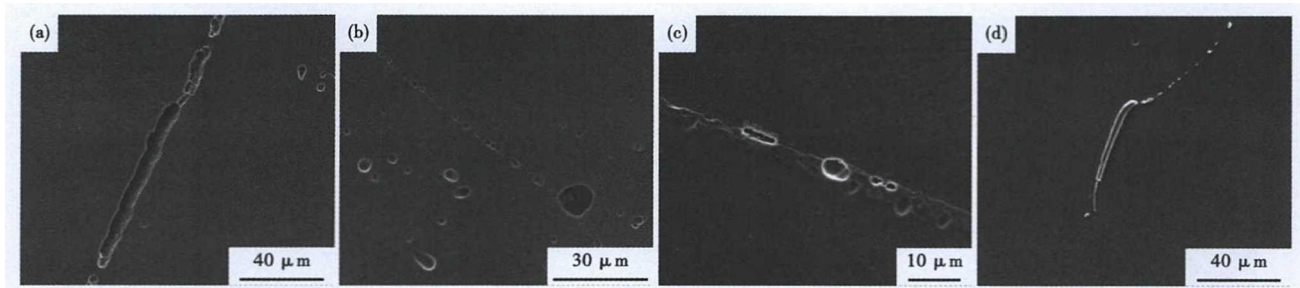


图 3 (a)1 200 °C,(b)1 150 °C,(c)1 120 °C和(d)1 080 °C加热的 022Cr25Ni22Mo2N 钢晶界形貌

Fig. 3 Morphology of grain boundary of steel 022Cr25Ni22Mo2N heated at 1 200 °C (a), 1 150 °C (b), 1 120 °C (c), and 1 080 °C (d)

表 4 锻造工艺参数调整前后对比

Table 4 Comparison of forging process parameters before and after modification

锻造工艺	加热温度/°C	保温时间/h	锻造设备	压下量控制/mm	表面状态
调整前	1 180	3	20MN 快锻机	15 ~ 30	表面横向裂纹
调整后	1 100	3	20MN 快锻机	40 ~ 80	表面无裂纹

表 5 022Cr25Ni22Mo2N 钢锻材的检测性能

Table 5 Examination performance of forgings of steel 022Cr25Ni22Mo2N

项目	$R_{p0.2}$ /MPa	R_m /MPa	A/%	Z/%	晶间腐蚀	休氏实验
标准	≥270	580 ~ 780	≥25	≥40	-	-
检测值	302/302	638/636	46.5/48.0	76/78	合格	合格

选用同母炉电渣钢锭重新在 20MN 快锻机进行生产,在钢锭锻造变形过程中双边压下量控制在 40 ~ 80 mm,材料表面未发现锻造裂纹,成材后对钢材进行检测也未发现表面裂纹(表 4)。

5 检验结果

对锻造工艺的加热温度调整后,材料顺利完成锻造。通过对材料进行检验,各项性能满足标准规定要求。同时对高倍组织观察,未发现铁素体,晶界处未发现裂纹(表 5)。

6 结论

(1)022Cr25Ni22Mo2N 不锈钢锻造开裂的原因

是由于加热温度过高晶界处的铁素体熔化导致锻造开裂。加热温度越高,晶界处铁素体熔化越严重。

(2)通过加热温度梯度实验,022Cr25Ni22Mo2N 钢在温度超过 1 120 °C 时,晶界处铁素体过热和过烧而局部熔化,加热温度控制在 1 100 °C 以下。

(3)022Cr25Ni22Mo2N 钢锻造加热温度控制在 1 100 °C 时,锻造过程未发现开裂现象,成材后各项性能指标满足标准要求。

参考文献

- [1] 余 蓉. 超低碳含氮奥氏体钢 00Cr25Ni22Mo2N[J]. 沪昌科技, 1996,5(6):35-40.
- [2] 杨宜生. 尿素级不锈钢的性能及其应用研究[J]. 特殊钢, 1991, 12(3):8-15.
- [3] 丁文炎,邵 羽,王建勇,等. 尿素级超低碳奥氏体不锈钢管的研制及应用[J]. 钢管, 2013,42(5):35-40.
- [4] 李 磊. 储氢合金反应床用 00Cr25Ni22Mo2N 奥氏体不锈钢性能研究[D]. 北京:中国科学院大学, 2015.
- [5] GB/T20878-2007, 不锈钢和耐热钢牌号及化学成分[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [6] 陆世英,张廷凯,康喜范. 不锈钢[M]. 北京:原子能出版社, 1995:15.
- [7] 程怡萱. 钢的相变显微组织[M]. 杭州:浙江大学出版社, 1989: 88.

张 军(1983-),男,工程师,2006 年太原理工大学(本科)毕业,不锈钢产品研发。E-mail:zhangjun@citicsteel.com

收稿日期:2018-06-12