

## M2 高速钢 $\Phi 183$ mm 锻坯针孔缺陷分析和工艺改进

尤晓东 郝世风 邵青立 何宁

(河冶科技股份有限公司, 石家庄 052165)

**摘要** M2 高速钢( $\% : 0.86\text{C}, 0.39\text{Si}, 0.32\text{Mn}, 0.015\text{P}, 0.006\text{S}, 6.00\text{W}, 4.00\text{Cr}, 4.80\text{Mo}, 1.85\text{V}$ )  $\Phi 183$  mm 圆坯由 2.0 t 电渣锭( $\Phi 500$  mm) 锻制而成。M2 钢锻坯探伤缺陷率为 33.33% ~ 69.23%, 主要为中心部位针孔缺陷。分析表明, 针孔缺陷是钢锭偏析部位在开坯加热和锻制过程中产生过热形成的。通过将电渣重熔电流由 8 000 → 6 800 A 降至 7 000 → 6 000 A, 降低电渣重熔速度, 开锻温度由 1 070 ~ 1 090 °C 降至 1 030 ~ 1 060 °C, 终锻温度由 960 ~ 980 °C 降至 900 ~ 950 °C 以降低中间坯的中心温度等工艺措施, 使 M2 钢  $\Phi 183$  mm 锻坯的探伤缺陷率由 50% 降低到 5.71%。

**关键词** M2 高速钢 2 t 电渣锭  $\Phi 183$  mm 锻坯 偏析 过热 针孔缺陷

## Analysis on Pinhole Defect of $\Phi 183$ mm Forged Billet of High Speed Steel M2 and Process Improvement

You Xiaodong, Hao Shifeng, Shao Qingli and He Ning  
(Heye Special Steel Co Ltd, Shijiazhuang 052165)

**Abstract** The  $\Phi 183$  mm round billet of high speed steel M2 ( $\% : 0.86\text{C}, 0.39\text{Si}, 0.32\text{Mn}, 0.015\text{P}, 0.006\text{S}, 6.00\text{W}, 4.00\text{Cr}, 4.80\text{Mo}, 1.85\text{V}$ ) is forged from 2.0 t ESR ingot ( $\Phi 500$  mm). The nondestructive detect defect ratio of forged billet of steel M2 is 33.33% ~ 69.23% and the main defect is pinhole at center position of billet. Analysis results show that due to producing overheating of billet during heating and forging process the segregation of ingot forms pinhole defect. With process measures including decreasing the ESR current from 8 000 → 6 800 A to 7 000 → 6 000 A to decrease remelting speed, decreasing the beginning forging temperature from 1 070 ~ 1 090 °C to 1 030 ~ 1 060 °C and decreasing the end forging temperature from 960 ~ 980 °C to 900 ~ 950 °C to decrease the center temperature of forging billet, the non-destructive detect defect ratio of  $\Phi 183$  mm forged billet of steel M2 decreases from 50% to 5.71%.

**Material Index** High Speed Steel M2, 2 t ESR Ingot,  $\Phi 183$  mm Forged Billet, Segregation, Overheating, Pinhole Defect

锻圆内部缺陷是影响锻圆产品品质的致命缺陷, 在后续的加工和热处理中都无法予以消除或减小, 只能做判废处理或作为原料改锻其它产品<sup>[1]</sup>。随着市场上锻圆产品订单的增多, 因锻圆无损探伤发现的内部缺陷问题严重影响交货进度, 对公司造成很大的损失, 改善锻圆质量满足交货要求成为公司面对的一个重要问题。产生此类问题的原因也较复杂。从整个生产工序看来, 环节多、流程长, 每个环节上的疏忽都可能与锻圆内部缺陷形成有关。经现场取样分析, 对 M2 锻圆内部缺陷进行了研究, 分析了缺陷形成原因并进行了工艺改进。

### 1 M2 锻材生产工艺及控制要点

M2 高速钢锻圆的生产工艺为:  $\Phi 500$  mm 电渣锭(2.0 t) → 加热 → 20MN 快锻开坯 → 退火 → 抛丸 → 探伤 → 加热 → SX55 精锻机成材 → 退火 → 矫直 → 切头 → 剥皮 → 探伤 → 包装 → 入库。

生产工艺中采用的主要设备有: 中频炉、电渣

表 1 M2 钢试样的分析成分 / %  
Table 1 Analysis of sample of steel M2 / %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W
0.86	0.39	0.32	0.015	0.006	4.00	4.80	1.85	6.00

炉、环形加热炉、20MN 快锻机、台车式退火炉、抛丸机、SX55 精锻机、矫直机、剥皮机等。

为了保证锻圆质量, M2 高速钢锻圆整个生产过程中安排两次探伤, 20MN 快锻开坯抛丸后安排一次探伤(中间坯探伤), SX55 精锻成材剥皮后再安排一次探伤(成品探伤), 保证最终锻圆探伤质量合格。为叙述方便, 下文中将 20MN 快锻开坯后称为中间坯, 将 SX55 精锻成材后称为成品。

试验所用缺陷试样规格为  $\Phi 183$  mm, 材质为 M2 高速钢锻圆, 试样成分见表 1。

### 2 针孔缺陷形成原因分析

#### 2.1 现状调查

对生产中 M2 锻圆出现缺陷率较高的 3 个月的

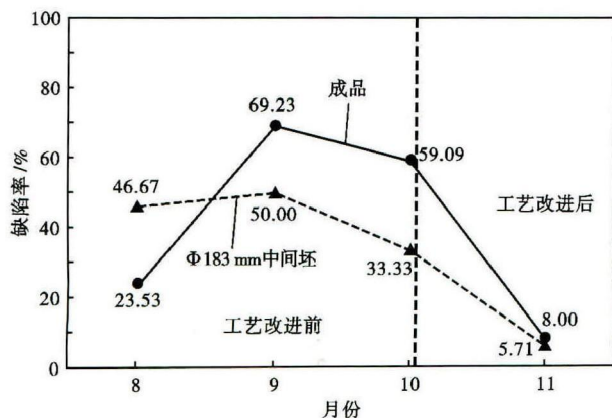


图1 工艺改进前和改进后 M2 钢中间坯和成品的探伤缺陷率  
Fig.1 Nondestructive detect defect ratio of billet and finished product of steel M2 before and after process improvement

中间坯和成品的探伤情况进行了统计,统计结果见图1。从图1中可以看出,工艺改进前成品探伤缺陷率较高,特别是9月份的探伤缺陷率高达69.23%。成品探伤缺陷率的变化趋势和中间坯是一致的,所以判定成品的探伤缺陷主要是中间坯的探伤缺陷遗传导致的,改善中间坯的探伤质量则能显著改善成品的探伤质量。

## 2.2 检验方法和过程

对  $\Phi 183$  mm 规格 M2 锻圆中间坯的探伤缺陷处取样,按 GB226-1991 中“钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法”的要求,采用带锯锯切的方法取厚度为 30 mm 的低倍试样,试面垂直钢材延伸方向,对中间坯试样进行低倍检验。具体的低倍检验方法为,将试样放到 50% (体积比) 盐酸溶液中,加热到 60 ~ 80 °C,保温 15 min,试样取出后用酒精刷洗吹干。

对  $\Phi 183$  mm 规格 M2 锻圆中间坯的缺陷试样

进行切割,分别对试样的中心位置(代表缺陷位置)和试样的横截面1/4直径位置(代表正常位置)取样,采用光学显微镜对其进行显微组织观察。

## 2.3 检验结果及分析

图2(a)为  $\Phi 183$  mm 试样的低倍照片。从图2(a)低倍检验看,试样心部有较明显的针孔状缺陷。

图2(b)为试样缺陷位置的放大倍数为50倍的金相照片。从图2(b)中可以看出,在显微镜金相形貌下,中间黑色部分为针孔缺陷,缺陷尺寸较大,呈不规则的形状。

图3为试样缺陷位置和正常位置的放大倍数为100倍的显微组织对比照片,图3中白色的为碳化物,从纵向看,缺陷位置[图3(b)]与正常位置[图3(a)]相比,缺陷位置周围碳化物在晶界处堆积的宽度增大,堆积严重,并且部分碳化物已经长大,显示角状化。从横向看[图3(c)与图3(d)],缺陷位置[图3(d)]周围白色面积明显增大,碳化物堆积情况更明显。综上所述,缺陷位置发生在偏析处。

## 2.4 缺陷分析

对 M2 高速钢来说,中心缺陷的产生原因主要有未锻透和过热两种。如果是未锻透,提高加热温度或增大道次变形量是有效的办法。如果是过热则需要降低过热部位的实际钢温,采取措施包括降低加热温度或减小每次的压下量等办法。对这两种中心缺陷的改善对策是完全相反的,因此对产生缺陷的原因进行准确地判断,并采取有效的对策是重要的。

在缺陷产生原因分析上,主要根据金相照片中缺陷周围是否有碳化物堆积、缺陷的大小以及形状

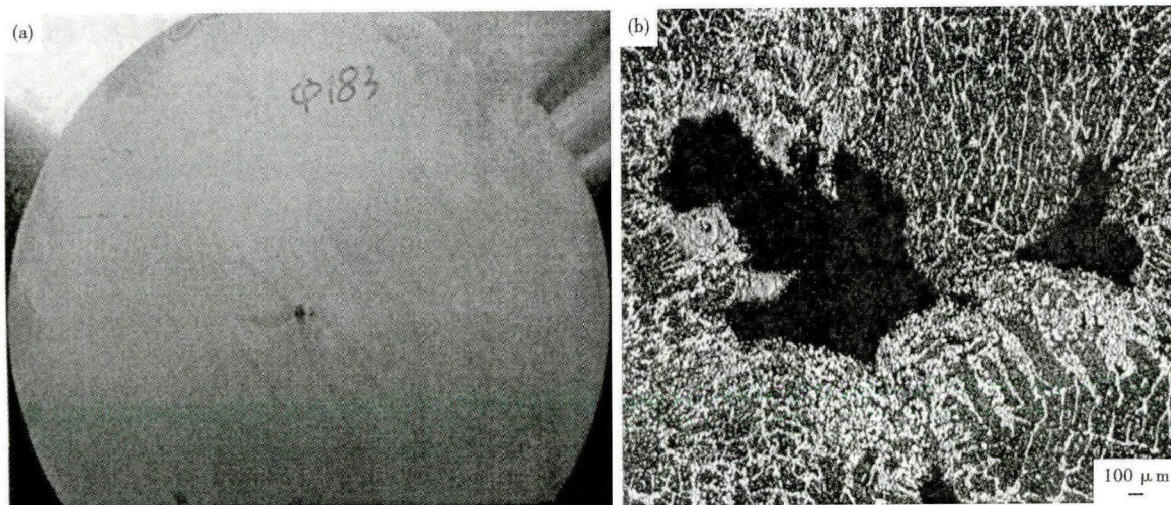


图2 M2 钢  $\Phi 183$  mm 锻造圆坯针孔缺陷试样低倍组织(a)和显微组织(b)形貌

Fig.2 Morphology of macrostructure (a) and microstructure (b) of pinhole position in sample of steel M2  $\Phi 183$  mm forged round billet

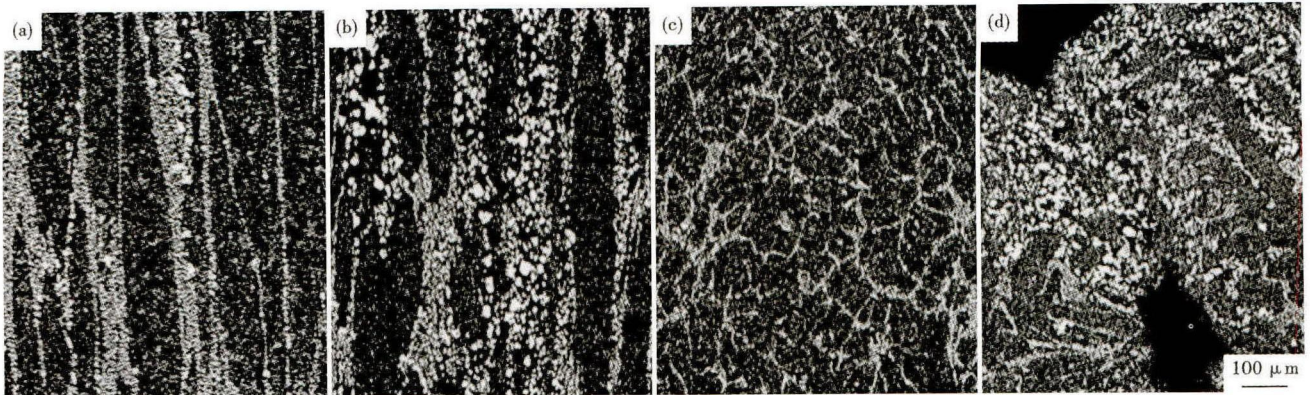


图 3 M2 钢锻坯正常位置(a)(c)和缺陷位置(b)(d)的组织形貌:(a)(b)纵向;(c)(d)横向

Fig. 3 Morphology of structure at normal position (a) (c) and defect position (b) (d) in forged billet of steel M2: (a) (b) longitudinal; (c) (d) transversal

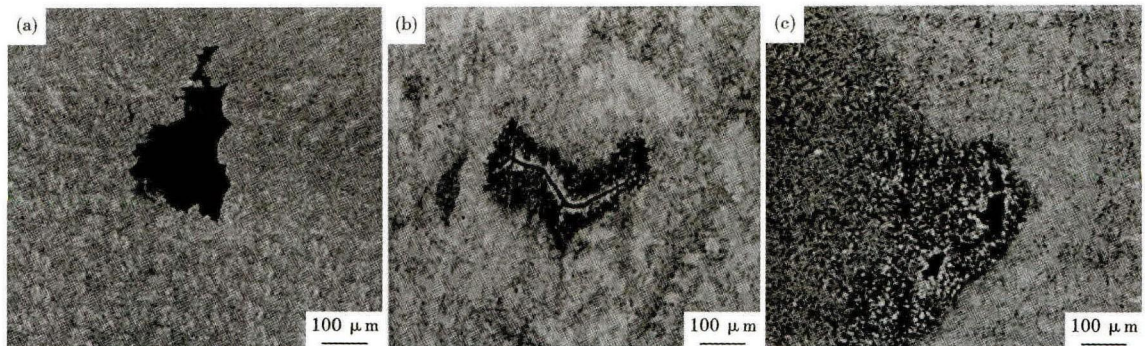


图 4 M2 钢锻坯典型中心缺陷组织形貌:(a)未锻透;(b)过热;(c)偏析钢锭加热锻打时局部过热

Fig. 4 Morphology of structure of typical center defects of steel M2 forged billet: (a) no-forging through; (b) over heating; (c) local over heating for ingot with segregation during heating and forging

等来推断中心缺陷的形成原因。几种代表性的中心缺陷微观组织照片如图 4 所示,其中图 4(a)中的中心缺陷周围没有碳化物堆积,缺陷的尺寸较大,从而可以断定为未锻透造成的缺陷,图 4(b)中的中心缺陷在碳化物堆积区域的内部,缺陷的尺寸较小,并呈细长形,所以推断为过热造成的缺陷。图 4(c)缺陷在偏析带内部,缺陷形态比图 4(b)要大,同时缺陷周围碳化物出现长大现象,而这种长大只是在缺陷周围出现,分析这种缺陷产生的原因是由于钢锭偏析在钢锭加热锻打时造成的局部过热而形成的裂纹<sup>[2]</sup>。

对比图 2(b)和图 4,图 2(b)试样缺陷与图 4(c)缺陷微观组织照片相似,所以判断缺陷产生的原因为钢锭偏析部位在开坯加热锻打过程中产生过热而造成的内部缺陷。

### 3 工艺改进

#### 3.1 改进措施

大型锻件的缺陷主要来自两个方面,一是在冶

表 2 工艺改进前后 2 t 电渣锭(Φ500 mm)重熔工艺参数  
Table 2 Parameters of ESR process for 2 t ingot (Φ500 mm) before and after process improvement

工艺参数	熔速/ (kg·min <sup>-1</sup> )	电流/ A	电压/ V
改进前	7.0 ± 0.5	8 000—6 800	58 ~ 60
改进后	≤ 7.0	7 000—6 000	58 ~ 60

炼过程或浇铸过程中形成的冶金缺陷,二是在锻造和热处理过程中形成处理缺陷<sup>[3]</sup>。根据缺陷产生的原因分析制定其改进措施,可通过两个办法来解决:

#### (1) 改进电渣重熔工艺参数。

研究表明<sup>[4,6]</sup>,降低电渣重熔的熔速有利于改善组织和减小偏析,表 2 为工艺改进前后电渣重熔工艺参数,将 Φ500 mm 电渣锭的重熔速度由(7.0 ± 0.5) kg/min 降低到 7.0 kg/min 以下,以此达到减少钢锭偏析的目的。

#### (2) 改进快锻开坯加热工艺。

图 5 为工艺改进前后快锻开坯加热工艺曲线,从图 5 中可以看出,工艺改进后,与原工艺相比增加

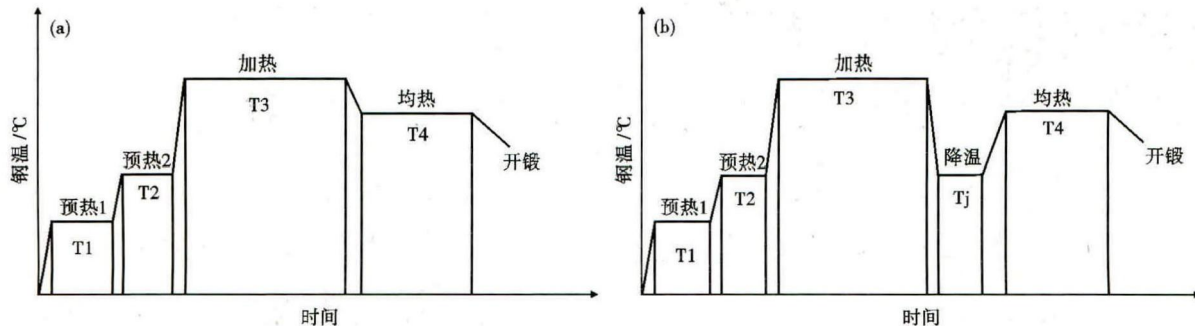


图 5 工艺改进前(a)后(b)快锻开坯 M2 钢锭加热工艺曲线

Fig. 5 Heating curves of steel M2 ingot for breakdown before (a) and after (b) process improvement

表 3 工艺改进前后 M2 钢 Φ183 mm 坯锻造工艺参数

Table 3 Parameters of forging process for Φ183 mm billet of steel M2 before and after process improvement

锻造工艺	加热温度 /℃					开锻温度 /℃	终锻温度 /℃
	T1	T2	T3	Tj	T4		
改进前	800 ~ 900	1 000 ~ 1 100	1 140 ~ 1 180	-	1 050 ~ 1 100	1 070 ~ 1 090	960 ~ 980
改进后	800 ~ 900	1 000 ~ 1 100	1 140 ~ 1 180	1 020	1 030 ~ 1 080	1 030 ~ 1 060	900 ~ 950

了一个降温段(Tj),钢锭加热处理完成后(T3)快速降温到1 020 ℃(Tj),保温一段时间后待钢锭中心温度降低后再升温到均热温度(T4)保温,降低开坯时电渣锭的心部钢温,同时将均热段的温度降低约 20 ℃,以防止钢锭过热,表 3 为工艺改进前后锻造工艺参数。

### 3.2 改进效果

经过改进措施的实施,中间坯和成品的超声波探伤缺陷率有了明显的改进,图 1 为工艺改进前后 Φ183 mm 中间坯和成品的探伤缺陷率,从图 1 中可以看出,工艺改进后中间坯探伤缺陷率降至 5.71%,成品探伤缺陷率降至 8.00%。

## 4 结论

M2 锻圆内部针孔缺陷形成原因为钢锭偏析部位在开坯加热锻打过程中产生过热而造成。采取的改进措施为减少钢锭的偏析和降低开坯加热后中间坯的中心温度。改进措施实施后,有效改进了 M2

锻圆内部针孔缺陷情况,Φ183 mm 锻坯探伤缺陷率由 50% 降低至 5.71%。

### 参考文献

- [1] 孙钰锋,王 静. 锻圆内部低倍裂纹缺陷的研究[J]. 机械制造与研究,2007,36(1):47-48.
- [2] 金井智则,中崎盛彦,高须一朗,等. 工具钢自由锻制品的中心缺陷发生防止[J]. Sanyo Technical Report,2007,14(1):50-57.
- [3] 许常青. 大型锻件的缺陷定性分析[J]. 科学之友,2008(24):5-7.
- [4] 牛建科. GH2036 合金电渣重熔工艺探讨[J]. 特钢技术,2005,10(1):24-26.
- [5] 董艳伍,姜周华,肖志新,等. 电渣重熔工艺参数对钢锭凝固质量的影响[J]. 东北大学学报,2009,30(11):1598-1601.
- [6] 马党参,周 健,张忠侃,等. 电渣重熔速度对 H13 钢组织和冲击性能的影响[J]. 钢铁,2010,45(8):80-84.

尤晓东(1974-),男,主任工程师,北京科技大学(本科)毕业,高速钢及模具钢的锻造。E-mail:HSSYOU@sina.com

收稿日期:2015-08-15

欢迎订阅 2016 年《特殊钢》杂志

全国各地邮局均可订阅(可破订)

邮发代号:38-183

定价:16.00 元/期 96.00 元/年

邮编:435001

地址:湖北省黄石市黄石大道316号新冶钢-大冶特殊钢股份有限公司《特殊钢》杂志社