

热作模具钢的原位统计分布分析

王海舟, 李美玲, 张秀鑫, 吴超

(钢铁研究总院, 北京 100081)

[摘要] 采用原位统计分布分析技术对不同来源的模具钢进行解析, 获得了模具钢坯横剖面较大尺度范围内各化学组成的位置分布、状态分布、含量分布的一系列新信息; 定量表征了不同来源模具钢的最大偏析度、统计偏析度、统计符合度、统计致密度、统计疏松度、夹杂物种类和含量以及粒度统计分布等参数的差异性, 可用于不同来源模具钢质量差异解析的参考。

[关键词] 原位统计分布分析; 模具钢; 统计偏析度; 统计符合度; 夹杂

[中图分类号] TG115 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2009)10-0039-09

1 前言

用于制造冷冲模、热锻模及增压铸模等模具的模具钢根据模具的使用性质可以分为两大类, 使金属在冷状态下变形的冷模具钢, 其冷模的工作温度一般低于 250 ℃; 使金属在热状态下变形的热模具钢, 其模腔的表面温度高于 600 ℃。高性能的热作模具钢应具有良好的耐热性能、抗热疲劳性能及耐液态金属冲蚀性能、高淬透性、优良的综合力学性能和较高的抗回火稳定性。特别是用于制造冲击载荷较大, 型腔复杂的长寿命锤锻模、锻造压力机用模具或镶块、铝合金挤压模、铝镁锌等金属长寿命压铸模具以及部分高寿命耐磨塑料模具, 要求使用高性能的热作模具钢, 应具有高淬透性和淬硬性、高韧性、高热强性和耐磨性, 碳化物细小分布均匀、抗冷热疲劳性能和抗溶蚀性能、优良的冷热加工性能。由于模具的关键部位或部件大部分是多向受力, 要求模具有良好的纵、横向性能。采用炉外精炼、真空脱气、电渣重熔等措施, 有助于降低成分的偏析度和疏松度, 减少钢中夹杂物的含量, 提高钢材的等向性, 改善横向的韧性和塑性, 大幅度地提高工模具的使用寿命。笔者采用原位统计分布分析方法^[1]对不

同来源的热作模具钢的偏析、疏松和夹杂的分布进行解析研究。

2 实验仪器、方法、主要参数和材料

1) 仪器。金属原位分析系统 OPA-100, 由北京纳克分析仪器公司制造。

2) 试样扫描方式和速度。试样扫描方式为线性扫描, 扫描速度为 1 mm/s。

3) 火花激发参数。激发频率: 480 Hz; 激发电容: 7.0 uF; 激发电阻: 6.0 Ω; 火花间隙: 2.0 mm; 氩气纯度: 99.999%; 氩气流量: 80 mL/s; 电极材料: 45°顶角纯钨电极, 直径 3 mm。信号采集速度为 100 kHz/通道。校准曲线的制作和分析结果的处理采用 OPA-100 软件进行处理。

4) 测定元素及其波长。C: 193.0 nm; S: 180.7 nm; Mn: 293.3 nm; Si: 288.1 nm; P: 178.3 nm; Ni: 231.6 nm; Cr: 267.7 nm; V: 311.0 nm; Mo: 281.6 nm; Al: 396.2 nm; Ti: 337.2 nm。

5) 试样名称。不同来源 1 号, 2 号, 3 号 H13 热作模具钢试样。

6) 材料主要成分。材料的主要成分为: C 约 0.4%; Si 约 1%; Mo 约 1%; Cr 约 5%。

[收稿日期] 2009-08-13; 修回日期 2009-08-21

[基金项目] 科技部仪器技术改造升级基金资助项目(JCG99-5)

[作者简介] 王海舟(1940-), 男, 福建福州市人, 教授, 研究方向为冶金材料统计表征及冶金过程控制分析; E-mail: hzwangnacis@yahoo.com.cn

7) 试样形状及分析区域。扫描分析部位为试样横剖面中部:50 mm × 24 mm。

3 实验结果与讨论

3.1 不同模具钢横剖面各位置不同元素信息的获得方法

金属原位统计分布分析技术是指金属材料较大尺度范围内各化学组成及其状态的定量统计分布规律的分析技术,是宏观平均含量和微区分析外的另一种表征材料成分性能的综合统计表征方法^[1,2]。该方法以所获得材料中各位置、不同化学组成的原始信息为基础,进行系统统计解析,从而实现大尺度范围内,各化学组成的位置分布、状态分布、含量分布的统计表征,得到一系列的新信息,如材料中各成分的位置分布、最大偏析度的准确定位和定量、统计偏析度、统计符合度、统计致密度、各夹杂物分类定量、位置分布和粒度统计分布等。

如何快速获得大尺度范围内各位置、各化学组成的原始定量信息,是实现原位统计分布分析技术的关键环节之一。大尺度、快速、小束斑、多组分、原始、定量是其核心。可选择的激发源有火花放电、激光烧蚀及各类探针等;可选择的检测系统有光谱、质谱及能谱等。火花源放电—光谱具有很好的多组成同时定量性,但火花脉冲放电束斑直径达3~4 mm,定点预燃连续放电导致重熔,使信号失去了原始性,不能反映激发处的原始状态。笔者研究提出了火花单次放电理论,发现激发斑点直径为4 mm的脉冲放电是由几十个火花单次放电组成,其单次放电斑点仅为纳米~微米级,束斑与激发位置材料状态相关,各通道信号强度与该位置成分含量定量相关。

对应于每一单次放电点,即每一单次放电过程,由于采用多道分光系统同时测定,每一个单次放电实际上可以同时得到该点的多元素强度信号,其各元素单次放电信号的强度比分别与其所对应位置的各元素含量间具有很好的定量相关性。

以火花单次放电分析理论为基础研究了实践金属原位统计分布分析的两项关键技术:无预燃连续激发同步扫描定位技术和单次放电信号分辨提取技术,并研制成功金属原位(统计分布)分析仪器^[3]。该仪器可以快速获得材料大尺度范围内,各位置、各通道(元素)的数以十万计的原始定量信息,从而实现原位统计分布分析,并已成功应用于连铸方坯、板坯、舰船用钢、管线钢、不锈钢及高温合金等材料

的表征与解析,并进一步扩展到非平面及异形材料(断口、焊缝、焊管、叶片、球扁钢等)的解析^[4~6]。

3.2 各元素在模具钢中不同位置分布

当对材料进行无预燃连续扫描激发时,发生数万次、数十万次、乃至数百万次单次放电,每一个单次放电,均可同时获得各元素火花光谱信号。数百万个光谱信号与试样表面不同位置相对应,同时每一信号的强度反映了该位置各化学成分原始状态。对这些信号的系统解析,进而获得被测样品的各成分定量统计分布信息,即获得所扫描分析的区域内在材料的不同位置各元素含量的统计定量分布,其结果可以用二维等高图或三维视图的方式,给予直观的定量表述。可以获得任意坐标点(x, y),各元素的准确含量以及任意线段内各元素定量变化规律。

该方法所得到的不同模具钢坯横剖面的各成分分布三维视图直观地显示出3种试样中各元素的分布趋势的差异,也可以采用横剖面各元素含量分布的二维等高图的方式定量显示各元素在试样中的不同位置(x, y)的(含量)分布,对不同试样间各成分分布的差异性进行比较。图1为不同模具钢中碳元素含量分布的三维视图与二维等高图,可直观反映出1号模具钢碳元素分布的均匀度优于2号和3号样品。

3.3 不同模具钢坯横剖面各元素的最大偏析度

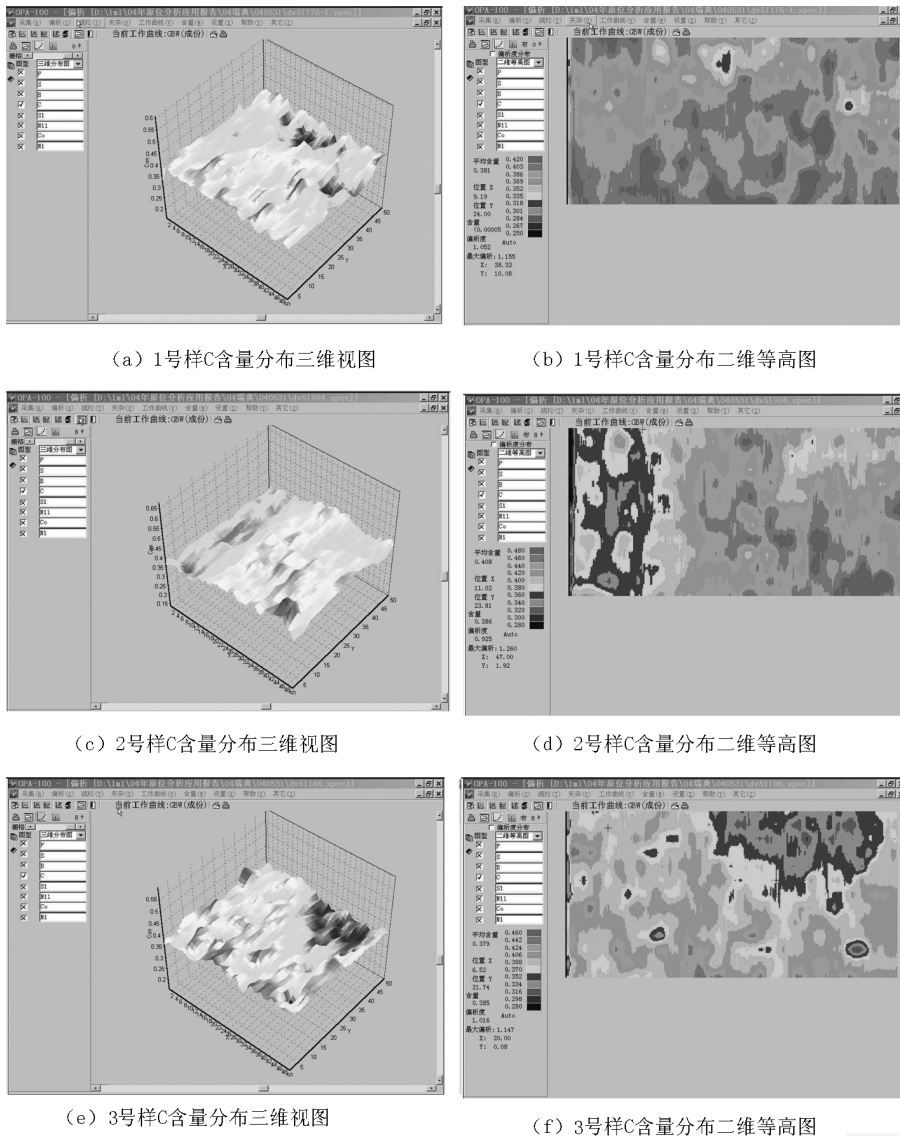
采用原位统计分布技术由于可以得到铸坯横剖面上任何位置(x, y)上的准确含量,因此可以十分准确地得到含量最高(或最低)点的位置坐标(x, y)及准确含量 C_{\max} 。从数以万计的数据中可以更准确地得到其含量的中位值 C_0 ,从而十分准确地得到最大偏析点(x, y)的偏析度^[7,8]:

$$P_{(x, y)} = (C_{\max}/C_0) \quad (1)$$

同时,也可以根据要求计算出以最高偏析点为中心的最大偏析区(例如1 mm × 1 mm 或 ϕ 1 mm)内的平均含量(C_{\max}^A),其与全部结果的平均值(C_A)的比值用以表征最大偏析度,即:

$$P_A = (C_{\max}^A/C_A) \quad (2)$$

表1列出了3种不同模具钢坯碳元素最大偏析点的准确位置及其最大偏析度的准确数值,由表1可以看出,2号试样的最大偏析度显然比1号和3号试样大。



(a) 1号C含量分布三维视图

(b) 1号C含量分布二维等高图

(c) 2号C含量分布三维视图

(d) 2号C含量分布二维等高图

(e) 3号C含量分布三维视图

(f) 3号C含量分布二维等高图

图 1 不同模具钢坯横剖面碳含量分布图

Fig. 1 Distribution maps of carbon content on the vertical section of mould steel billet samples

表 1 不同模具钢坯中碳元素的最大偏析度

Table 1 The biggest segregation degrees of carbon on the vertical section of mould steel billet samples

试样号	测定结果		
	平均值/%	最大偏析点位 置(x, y)/mm	最大偏析度
1号	0.381	(38.33, 10.08)	1.155
2号	0.408	(47.00, 1.92)	1.260
3号	0.379	(20.00, 0.08)	1.147

3.4 不同模具钢坯横剖面上指定线段的成分变化

为了了解铸坯某一剖面指定线段的成分变化趋势,采用间隔取样分析法所描绘出的分布曲线不仅无法连续,而且曲线结果的重复性很差。原位统计

分布分析技术可以得到所测定剖面上数以万计与位置相对应的各元素的含量信息,对这些信息进行解析,即可得到任意线段内各元素的分布曲线^[2]。例如,在试样的特定线段范围内($x = \dots$ 或 $y = \dots$)某元素含量的定量变化曲线,它具有非常好的重复性以及准确性。

图 2 为 3 种模具钢坯在扫描区随机提取 $y \approx 12 \text{ mm}$ 及 $y \approx 20 \text{ mm}$ 处碳含量沿 x 方向变化曲线,它反映出 x, y 方向性能差异性,2 号样品沿 x 方向碳含量的分布逐步增大,具有明显的方向性。表 2 列出了相关线段的碳含量变化极差。2 号试样碳元素含量变化曲线波动大, x 方向成分最大变化极差分别为 0.130 % 及 0.119 %,极差变化比率分别为

31.9%与29.2%。而1号和3号试样 x 方向碳元素含量的变化曲线变化幅度较小。

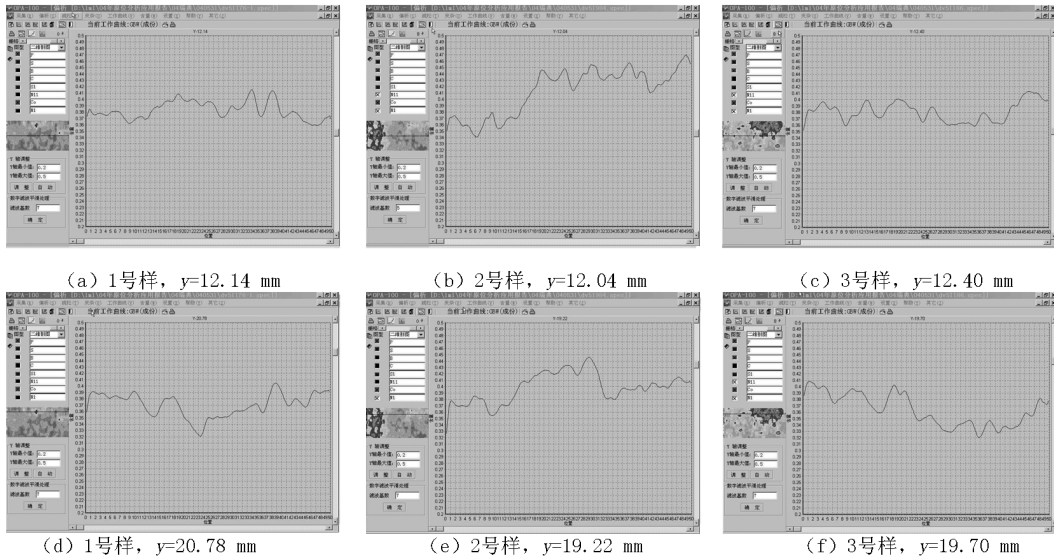


图2 不同模具钢坯横剖面沿 x 方向碳含量变化曲线

Fig. 2 Variations of carbon content along the specified line - segment (x) on the vertical section of mould steel billet samples

表2 碳含量沿 x 方向变化极差

Table 2 Range of carbon content along the specified line - segment (x)

试样号	平均值/%	测定结果		
		线段坐标/mm	极差 $\Delta C(C_2 - C_1)/\%$	极差变化比率/%
1号	0.38	$y = 12.14$	0.052 (0.415 - 0.363)	13.6
		$y = 20.78$	0.083 (0.321 - 0.404)	21.8
2号	0.408	$y = 12.04$	0.130 (0.470 - 0.340)	31.9
		$y = 19.22$	0.119 (0.446 - 0.327)	29.2
3号	0.379	$y = 12.40$	0.063 (0.413 - 0.350)	16.6
		$y = 19.70$	0.088 (0.408 - 0.320)	23.2

3.5 模具钢坯各位置各元素按不同含量的权重比率(频度)统计分布

模具钢坯横剖面各化学组成的数以十万计火花单放电信号强度反映了各原位置的不同化学成分含量及原始状态信息,可以对各位置的含量按不同含量出现的频度进行统计解析,计算出各元素不同含量段出现的权重比率(频度)统计分布。在模具钢坯中,与各原位置相对应的各元素不同含量所占的比率,可以定量表征模具钢的均匀性。从不同含量所占权重比率的频度分布图的峰形可直观判定某元素的偏析状况。如图3所示,2号试样碳元素的

不同含量频度统计分布图,其峰形较宽且不对称,出现歧峰呈多峰分布,且歧峰的位置出现在低含量段的前区,说明样品中碳含量存在明显的负偏析区,从碳含量—位置分布二维等高图(见图1)可准确发现碳元素在样品坐标($x = 0 \sim 16$ mm, $y = 0 \sim 24$ mm)范围内为负偏析区;3号样品也出现了歧峰,说明碳元素在3号模具钢坯上分布也不均匀,在样品坐标($x = 26 \sim 45$ mm, $y = 14 \sim 25$ mm)范围内也出现了负偏析区;而1号试样碳元素的不同含量频度统计分布图,峰形较窄且对称,则表示碳含量在1号模具钢坯上分布比较均匀。

3.6 模具钢中各化学成分特定含量区间的统计符合度

对各元素不同含量的权重比率统计分布进一步解析,可得到某元素在特定含量区间(如允许差范围内)所占的权重比率,或称出现频度,用以定量表征其特定含量区间的统计符合度(H),其数值越大,表明在此材料中该元素在固定含量区间的符合度较好,也可说明其分布的均匀性较好。如表3所示,在2号试样中,碳元素在其平均含量的国家标准规定允许差范围内($C_0 \pm R$)所占频度,即统计符合度,仅为55.34%,远小于1号和3号试样,也表明1号、3号试样均匀性较好,特别是1号试样统计符合度达97.60%。

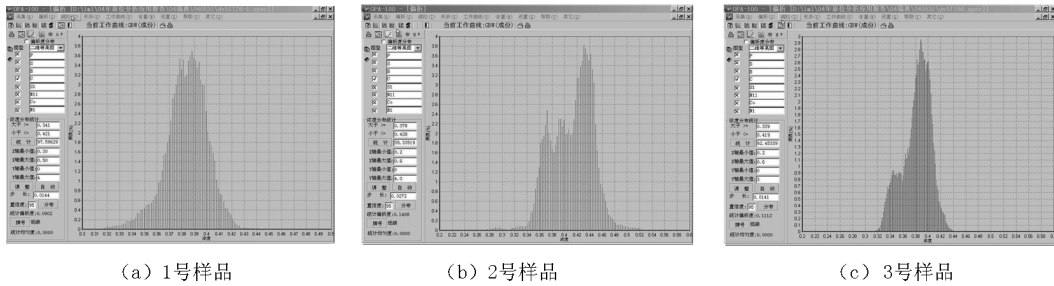


图3 模具钢坯横剖面各原位置碳含量的权重比率统计分布

Fig. 3 Frequency distributions of different carbon content on the vertical section of mould steel billet samples

表3 碳元素在特定含量区间范围内所占的权重比率(统计符合度)

Table 3 Statistic degree of accord with carbon content within the permissive content range (weight ratios) %

项 目	1号样品	2号样品	3号样品
含量特定范围	0.381 ± 0.040	0.408 ± 0.040	0.379 ± 0.040
统计符合度	97.60	55.34	92.45

表4 95%置信度时碳含量置信区间(统计偏析度)

Table 4 Statistic degree of segregation of C within the permissive content range of 95 % %

项目	1号样品	2号样品	3号样品
含量置信区间 ($C_1 - C_2$)	0.364 ~ 0.398	0.380 ~ 0.436	0.358 ~ 0.400
中位值置信 扩展幅度(Z)	0.034	0.057	0.042
中位值(C_0)	0.381	0.408	0.379
统计偏析度(S)	9.02	14.08	11.12

3.7 模具钢中各化学成分分布的统计偏析度

对模具钢中所获得的数以万计各原位置不同成分的含量,按含量区间的权重比率统计分布进一步解析,还可以得到所占权重比率特定置信度(95%)的含量置信区间($C_1 \sim C_2$)及中位值(C_0)置信扩展幅度[$Z = (C_2 - C_1)/2$],即95%置信度时,覆盖的含量范围为($C_0 \pm Z$)。中位值置信扩展区间(Z)与中位值(C_0)的比率为中位值置信扩展率($S = Z / C_0$),也可用于表征材料的统计偏析度,判定材料的质量。表4列出了不同铸坯试样95%置信度时,碳元素含量置信区间及中位值扩展率。含量置信区间越小,表明碳元素在材料中的分布越均匀。考虑到试样中碳元素含量差异的影响,采用中位值置信扩展率(S)作为某元素在材料中偏析度的表征更为合理。中位值置信扩展率(S),即统计偏析度,其值越大,表明碳元素在材料中的分布偏析越严重。在2号试样中,95%置信度时碳元素的中位值置信扩展率,即统计偏析度(S)为14.08%,高于1号及3号试样。1号试样的统计偏析度最小,仅为9.02%。

3.8 不同模具钢坯中各元素分布

同时可以获得S, Si, Mn, P, Ni, Mo, V, Cr及Al等元素分别在1号、2号和3号模具钢样品剖面的含量-位置二维等高图及其不同含量段所占权重比率的频度分布图。各模具钢样品的含量频度分布图显示:2号样品中,各元素均出现非对称性的歧峰,呈多峰分布,且都出现在频度分布图前区,即低含量段,呈显著负偏析,表明上述元素在样品中存在较大范围的负偏析区;3号的部分元素(Si, Mn, Mo, V, Cr)也出现非对称性的歧峰,同样出现在频度分布图前区(低含量段),呈负偏析,2号、3号试样在相应元素含量-位置二维等高图上均出现较大范围的显著负偏析区;唯1号样品各元素的不同含量段的频度分布比较对称,未出现歧峰。通过统计解析,得到各元素的最大偏析度、统计偏析度及统计符合度,分别列于表5~表7。1号试样中C, S, Si, Mn, P, Ni, Mo, V, Cr各元素的统计偏析度均小于2号、3号,其统计符合度值均高于2号、3号模具钢,其最大偏析度值最小。上述元素在1号模具钢中的分布较均匀。

表 5 模具钢各试样中不同元素含量的最大偏析度

Table 5 The biggest segregation degrees of each element content on the vertical section of mould steel billet samples %

元素	1 号样品	2 号样品	3 号样品
C	1.155	1.260	1.147
S	1.151	1.395	1.355
Si	1.114	1.121	1.186
Mn	1.070	1.078	1.119
P	1.378	1.426	1.694
Ni	1.082	1.100	1.153
Mo	1.101	1.136	1.141
V	1.303	1.346	1.365
Cr	1.110	1.150	1.163
Al	2.651	1.619	1.592

表 6 模具钢各试样中不同元素的统计偏析度

Table 6 Statistic degree of segregation of each element content on the vertical section of mould steel billet samples %

元素	1 号样品	2 号样品	3 号样品
C	9.02	14.08	11.12
S	7.04	19.82	8.01
Si	10.10	12.56	14.83
Mn	6.54	8.11	9.70
P	34.99	41.92	49.23
Ni	6.64	8.81	11.62
Mo	8.91	10.15	11.77
V	22.22	26.61	29.68
Cr	11.59	14.65	15.69
Al	49.68	25.49	24.17

表 7 模具钢各试样中不同元素含量的统计符合度

Table 7 Statistic degree of accord with each element content within the permissive content range on the vertical section of mould steel billet samples %

元素	1 号样品		2 号样品		3 号样品	
	中位值	统计符合度	中位值	统计符合度	中位值	统计符合度
C	0.381	97.60	0.408	55.34	0.379	92.45
S	0.004	100.00	0.005	97.38	0.004	100.00
Si	1.008	66.41	0.991	45.01	0.957	45.40
Mn	0.439	95.59	0.425	91.02	0.429	82.34
P	0.012	96.75	0.013	94.42	0.012	85.57
Ni	0.147	99.56	0.164	97.29	0.177	92.10
Mo	1.355	90.94	1.414	66.23	1.333	56.10
V	0.789	50.93	0.836	37.99	0.781	31.28
Cr	5.308	78.94	5.406	56.61	5.201	56.32
Al	0.021	93.66	0.026	98.62	0.032	96.54

3.9 不同模具钢坯中夹杂物原位统计分布分析

3.9.1 不同模具钢坯中夹杂物含量分析

当火花单次放电发生在夹杂位置时,与固溶区的放电信号相比,出现放电信号的异常增大,而其出现异常值的频度则与夹杂物的含量具有相关性^[7-9]。可以根据异常信号出现的频次与总信号的频次(固溶态的信号频次与夹杂物信号的频次之和)的比值以及对应元素的总含量,计算出夹杂物的准确含量,而无须依赖夹杂物的标准物质。由于是大面积扫描得到的结果,因而更具有代表性,因而可以得到在材料中不同位置夹杂物统计定量分布的信息。3个模具钢试样中存在铝及钙的夹杂物,其含量如表 8 所示,并观察到较多 Al, Ca 单次放电异常火花(见图 4)。

表 8 Al 夹杂物和 Ca 夹杂物定量分析结果

Table 8 Content of Al - and Ca - inclusions on the vertical section of mould steel billet samples

样品号	Al 类夹杂/%	Ca 类夹杂/%
1 号	0.000 283	0.000 12
2 号	0.000 208	0.000 18
3 号	0.000 318	0.000 053

3.9.2 夹杂物组成分析

根据原位分析的通道合成技术,对所得到的各通道的单次火花数据进行异常放电信号合成,可准确解析钢中夹杂物的存在状态。表 9 列出了 3 个试样中各种铝夹杂物所占的比例。由 Al, Ca, S 三种元素的异常单次火花通道合成表明,铝类夹杂物相当一部分以 Al - Ca - S 形式存在(见图 5);一部分铝类夹杂物以 Al - Ca - X(O)形式存在;还有部分铝类夹杂物以 Al - X(N)形式存在。

表 9 铝类夹杂物种类分析

Table 9 Individual content for Al - different inclusions on the vertical section of mould steel billet samples %

样品号	Al - Ca - S	Al - Ca - X(O)	Al - Y(N)
1 号	52.39	19.87	27.74
2 号	32.82	43.26	23.92
3 号	33.73	46.41	19.83

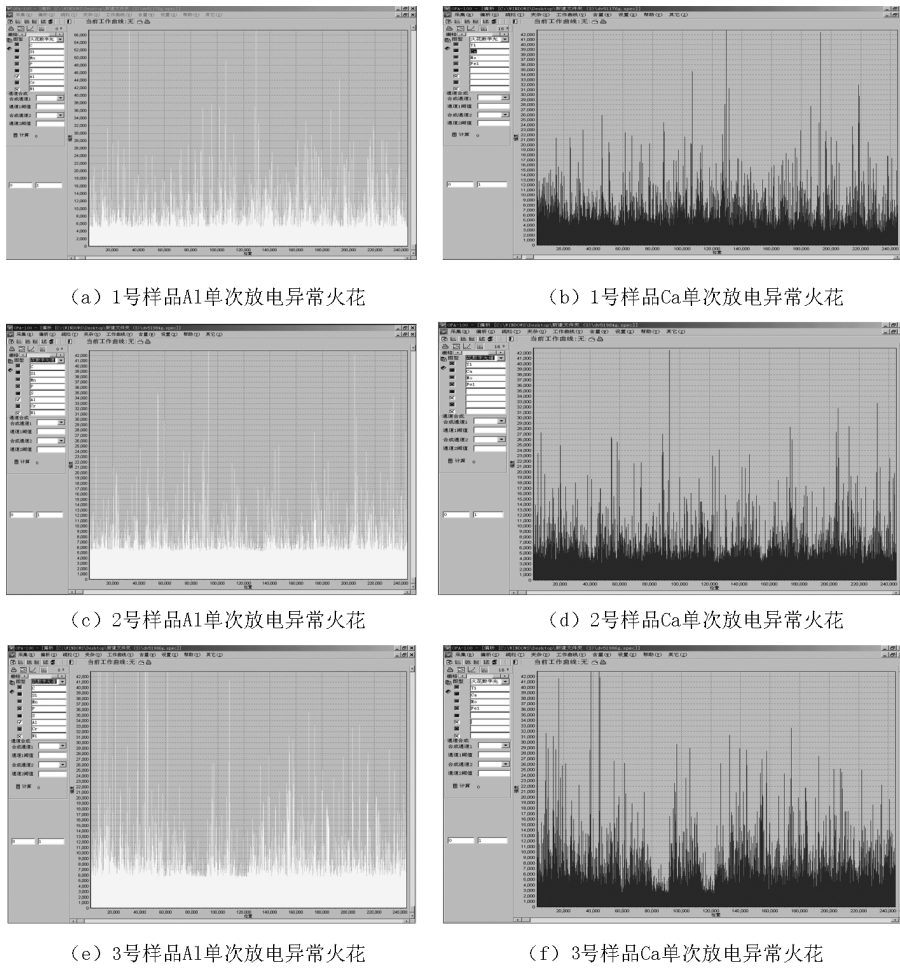


图 4 不同模具钢坯 Al, Ca 火花单次放电异常信号图

Fig. 4 Abnormal discharge information of Al, Ca of single discharge on the vertical section of mould steel billet samples

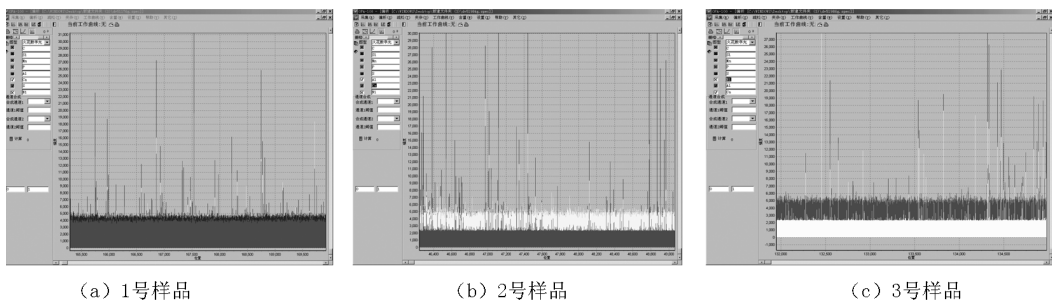


图 5 不同模具钢试样中 Al, Ca, S 异常火花合成图

Fig. 5 Channel synthesized information from Al, Ca and S channels on the vertical section of mould steel billet samples

3.9.3 夹杂物粒度分析

研究表明,火花单次放电具有界面优先放电的特性,多沿析出相、夹杂物的边界放电,因此其放电点的束斑为非约束性束斑,并取决于放电点的材料状态,由于在夹杂及析出相的边界放电,束斑大小反映了夹杂物(或析出相)粒径(周长),束斑大小从纳

米到微米不等,在夹杂物处出现单次放电异常信号响应的强度大小和其粒度密切相关。因此通过对异常信号进行定量统计分布分析研究,可以得到夹杂物的粒度分布。各模具钢样品中 Al 类夹杂物的粒度分布统计结果见表 10。

表 10 Al 夹杂物的粒径分布统计结果

Table 10 Grain size distribution of Al - inclusions on the vertical section of mould steel billet samples

样品号	< 3 μm	3 ~ 5 μm	5 ~ 10 μm	> 10 μm	最大粒径/ μm
	统计权	统计权	统计权	统计权	
	重/%	重/%	重/%	重/%	
1号	90.65	6.21	2.85	0.29	18.86
2号	91.90	6.26	1.73	0.11	12.87
3号	90.64	6.75	2.29	0.32	16.61

度 D_i , 即:

$$D_i = I_{Fe,i} / I_{Fe,max} \quad (4)$$

对试样上所得到的数以万计不同位置的表观致密度统计平均值,即为统计致密度 D 。

$$D = \sum_{i=1}^N D_i / N \quad (5)$$

式(5)中, N 为放电的总次数。统计致密度是材料致密(疏松)程度综合评价参数,理论致密材料的统计致密度应为 1。

式(6)为材料中每一个位置的表观致密度与统计致密度的均方差与统计致密度的比值 P_r , 定义为统计疏松度,可作为材料疏松度的表征参数。

$$P_r = \frac{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (D_i^2 - D^2)) / N}}{D} \quad (6)$$

所有统计解析结果可以采用三维视图或二维等高图的方式图示,能直观地显示出缺陷及疏松的位置及分布,也可准确计算出材料的特定位置表观致密度以及材料的统计致密度,以此作为材料疏松度的一个定量判定比较方法。

图 6 是 3 种不同模具钢坯横剖面致密度的三维视图或二维等高图。可以直观地表述铸坯的缩孔、疏松的部位及其变化,得到剖面上任意指定位置 (x, y) 致密度的数值,并由整个剖面所得到的数以万计所有点的致密度,统计计算准确地得到铸坯横剖面统计致密度及统计疏松度(见表 11)。1 号模具钢的统计致密度达 0.942 9(统计疏松度 7.09), 优于 2 号及 3 号模具钢。

3.10 不同模具钢坯的统计致密度(统计疏松度)

根据原位统计分布分析可以得到的每一个单次放电位置各元素的含量。单次放电发生在致密位置时,其各元素含量的总和 100 %; 单次放电发生在疏松或缺陷位置时,其各元素含量的总和应小于 100 %。因此可以将每一单次放电位置各元素含量的总和,表征该位置的致密度(D_i),可称之为该单次放电位置的表观致密度。即:

$$D_i = C_{A,i} + C_{B,i} + \dots \quad (3)$$

式(3)中, D_i 为第 i 次放电位置的表观致密度; $C_{A,i}$ 为第 i 次放电位置的 A 元素含量; $C_{B,i}$ 为第 i 次放电位置的 B 元素含量;以此类推。理论上致密位置的所有元素含量的总和应为 100 %,即致密位置的表观致密度 D_i 应为 1,而实际上各位置的表观致密度大多小于 1。

对于非合金钢材料第 i 次放电位置的表观致密度的计算可以简化,用铁信号强度进行统计。根据原位统计分布分析可以得到每一单次放电位置铁元素的光谱信号。 i 位置单次放电铁元素光谱信号强度 ($I_{Fe,i}$), 单次放电发生在材料的致密位置时,铁元素光谱强度信号应为最大值 ($I_{Fe,max}$)。其比值 ($I_{Fe,i} / I_{Fe,max}$) 近似于该 i 单次放电位置的表观致密

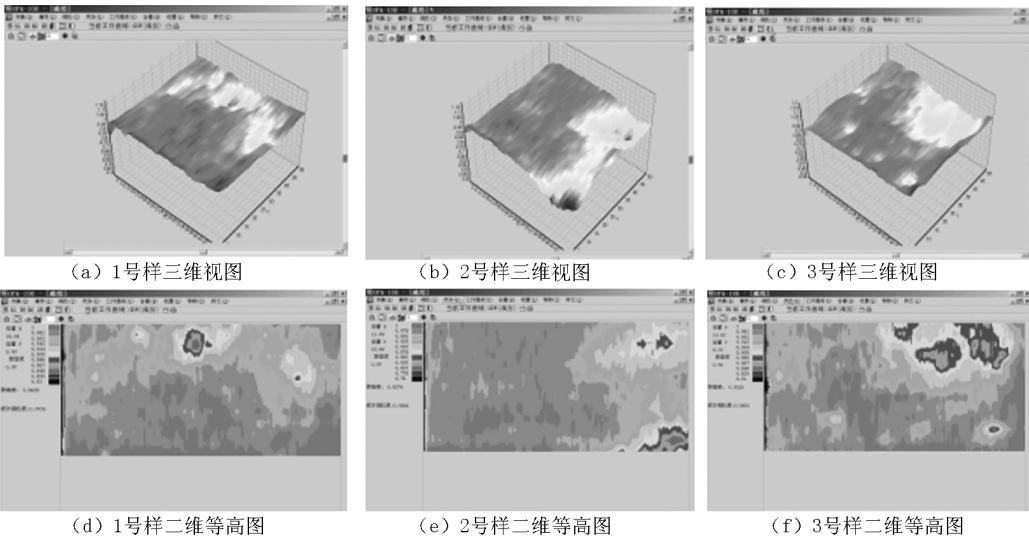


图 6 不同模具钢坯横剖面表观致密度分布图

Fig. 6 The density distribution on the vertical section of mould steel billet samples

表 11 各试样统计致密度

Table 11 The statistic density on the vertical section of mould steel billet samples

项目	1号样品	2号样品	3号样品
统计致密度	0.942 9	0.927 6	0.932 6
统计疏松度	7.09	8.94	8.31

4 结语

金属原位统计分布分析技术是指金属材料较大尺度范围内各化学组成及其状态的定量统计分布规律的分析技术,是宏观平均含量和微区分析外的另一种表征材料成分性能的综合统计表征方法。以火花单次放电无预燃连续激发光谱高速采集解析技术为基础研究成功的金属原位分析仪能有效地实现金属材料的原位统计分布分析,该方法以所获得材料中各位置、不同化学组成的原始信息为基础,进行统计解析,从而实现大尺度范围内,各化学组成的位置分布、状态分布、含量分布统计表征,得到一系列的新信息。采用该项技术对不同来源的模具钢进行解析,定量表征了不同质量热作模具钢试样的最大偏析度、统计偏析度、统计符合度、统计致密度、以及夹

杂物种类、含量以及粒度统计分布的差异性。

参考文献

- [1] 王海舟. 原位统计分布分析—材料研究及质量判据的新技术[J]. 中国科学(B辑), 2002, 32(6): 481-484
- [2] 王海舟, 赵 沛, 陈吉文, 等. 低合金钢连铸坯的原位统计分布分析研究[J]. 中国科学(E辑), 2005, 35(3): 206-270
- [3] 王海舟. 21世纪冶金分析的若干问题[J]. 钢铁, 2000, 35(1): 73-78
- [4] 王海舟. 金属原位分析系统[J]. 中国冶金, 2002, (6): 20-22
- [5] 杨志军, 王海舟. 火花光谱原位分析技术对连铸方坯质量分析的应用研究[J]. 钢铁, 2002, (增刊): 189-193
- [6] 杨志军, 王海舟. 用原位分析方法研究连铸板坯的偏析和夹杂[J]. 钢铁, 2003, 38(3): 61-63
- [7] 王海舟, 李美玲, 陈吉文, 等. 连铸钢坯质量的原位统计分布分析研究[J]. 中国工程科学, 2003, 5(10): 34-42
- [8] 杨志军, 王海舟. 不同结晶态低合金钢方坯的原位分析[J]. 钢铁, 2003, 38(9): 67-71
- [9] Hongbin Gao, Liangjing Yuan, Haizhou Wang. Original position statistic distribution analysis for Al inclusion in continuous-casting thin slab[J]. Advanced Materials Research, 2007, 15-17: 798-803

Original position statistic distribution analysis (OPA) on the quality of mould steel billet

Wang Haizhou, Li Meiling, Zhang Xiuxin, Wu Chao
(Central Iron & Steel Research Institute, Beijing 100081, China)

[Abstract] Through the analysis of mould steel from different sources by the original position statistic distribution analysis (OPA), new information on the position, state and content distribution of each chemical component in the cross section of mould steel was obtained in a relatively wide range. As a result, the differences among the parameters of mould steel from different sources were quantitatively characterized, including the biggest segregation, the statistic degree of segregation, statistic degree of accord with contents (statistic degree of homogeneity), the statistic density as well as the content, variety and statistic size distribution of the inclusions. The experimental results could be used as reference for analyzing the quality variance of mould steel from different sources.

[Key words] original position statistic distribution analysis; mould steel; degree of statistic segregation; degree of statistic homogeneity; inclusion