DOI：10.16410/j.issn1000-8365.2019.04.011

DP590 钢中显微夹杂物含量研究

周景一[1,2]，刘文慧[3]，肖鹏程[1,2]，张彩军[1,2]，胡海亮[1,2]

(1. 华北理工大学 冶金与能源学院，河北 唐山 063210；2. 河北省高品质钢连铸工程研究中心，河北 唐山 063210；3. 华北理工大学 经济学院，河北 唐山 063210)

摘　要：针对某钢厂生产的 DP590 钢的工艺流程(高炉炼铁→BOF→LF 精炼→连铸)，分析了各工序以及铸坯中 T[O]、T[N]和显微夹杂物的类型、来源、数量及组成。结果表明，稳态铸坯中 T[O]=28×10^{-6}，T[N]=29×10^{-6}，显微夹杂的数量为 8 个 /mm^2，显微夹杂类型主要有：CaS-Al_2O_3 类夹杂、CaO-Al_2O_3 类夹杂、Al_2O_3 类夹杂、CaS 类夹杂；粒度分别在 1~10 μm、4~20 μm、1~4 μm、1~10 μm，含量分别为 50%、20%、20%、10%。

关键词：DP590 钢；显微夹杂物；氧氮含量；粒度

中图分类号：TF532　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-8365(2019)04-0376-04

Content of Microscopic Inclusions in DP590 Steel

ZHOU Jingyi[1,2], LIU Wenhui[3], XIAO Pengcheng[1,2], ZHANG Caijun[1,2], HU Hailiang[1,2]

(1. School of Metallurgy & Energy, North China University of Science and Technology, Tangshan 063210, China; 2. Hebei Province High Quality Steel Continuous Casting Engineering Technology Research Centre, Tangshan 063000, China; 3. School of Economics, North China University of Science and Technology, Tangshan 063210, China)

Abstract: The type, source, quantity and composition of T[O], T[N] and microinclusions in the billet of DP590 steel (blast furnace ironmaking, BOF, LF refining, continuous casting) were analyzed. The results show that the steady state slab of T[O]=25×10^{-6}, T[N]=27×10^{-6}, the number of micro-inclusions is 8 p/mm^{-2}, the types of microscopic inclusions are as follows: CaS-Al_2O_3, CaO-Al_2O_3, Al_2O_3 and CaS. Particle sizes range from 1~10 μm, 4~20 μm, 1~4 μm, 1~10 μm, and the content are 50%, 20%, 20%, 10%, respectively.

Key words: DP590 steel; microscopic inclusion; oxygen and nitrogen content; particle size

近年来，我国家庭汽车保有量逐年增高，对于汽车的安全性、轻量化、高性能越来越受到重视。DP590 为高强双相钢，基体组织为铁素体相和马氏体相组成，具有高强度和高韧性的特点，广泛应用于汽车保险杠、B 柱、门槛踏板等零部件中[1,2]。对于汽车用钢来说，良好的表面质量尤为重要，钢中非金属夹杂物的不合理分布，不但会严重恶化钢的性能，而且会导致产品成材率较低、经济效益低下等问题[3]。为了提高 DP590 钢的强度、塑韧性，减轻夹杂物对 DP590 钢的影响，本文主要研究了 DP590 钢中显微夹杂物的形貌、来源及组成，为夹杂物的去除提供依据。

1　试验方案

DP590 钢的生产工艺流程：高炉炼铁→150tBOF→LF 精炼→直弧形板坯连铸机浇注。铸坯断面尺寸为 1 400 mm×250 mm。拉速 1.0~1.4 m/min。

试样钢种高强双相钢的主要化学成分如表 1 所示。

选取一个浇次中具有代表性的 4 个炉次作为试样对象，分别从第一炉开浇头坯、第 3 炉浇铸的正常坯、第 3、4 炉混浇坯和最后一炉尾坯。

将所取试样分别使用锯床和线切割机床进行加工，制备成氧氮试样、金相试样及大样电解试样。取样位置如图 2 所示，在每块铸坯宽度方向，取不同位置上的 3 个氧氮试样，分别是内弧处、1/4 处的中心处及铸坯 1/2 处的外弧处，试样尺寸为 ϕ5 mm×5 mm。金相试样分别在每块铸坯的边部、1/4 处和 1/2 处的内外弧表面及中心处取样，尺寸为 10 mm×10 mm×10 mm。如图 1 所示。

使用自动磨样机对所取金相试样进行研磨、抛光制样，采用德国 Leica 公司的 DM6M 显微镜对样

收稿日期：2018-12-11

基金项目：河北省自然科学基金项目(E2015209207)，华北理工大学青年科学研究基金项目(Z201631)

作者简介：周景一(1989-)，河北唐山人，硕士，讲师. 研究方向：连铸质量控制. 电话：0315-8805429，E-mail：tangshanzhjy@163.com

表1 DP590目标成分范围 w(%)

Tab.1 Chemical composition requirement of DP590 steel

C	Si	Mn	S	P	Al	Cr	N
0.09~0.11	0.22~0.28	1.55~1.65	≤0.008	≤0.018	0.030~0.050	0.50~0.60	≤50×10^{-6}

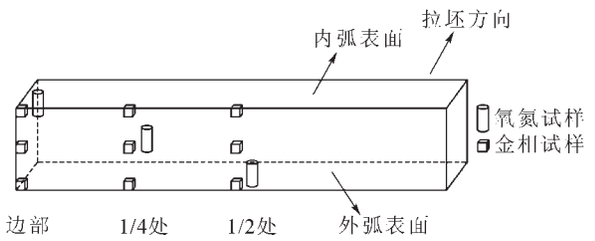


图 1 取样位置

Fig.1 The sample position

品进行观察和定量分析。在 500 倍视场下对每个试样连续观察 100 个视场，运用统计法，统计每个视场夹杂物的数量、形貌、尺寸及分布。为了更进一步分析显微夹杂物的粒度分布，根据不同夹杂物尺寸的影响程度进行分级，按尺寸分为 5 级，分别是 <2.5 μm，2.5~5 μm，5~10 μm，10~20 μm，>20 μm，采用直线法进行统计。根据统计的结果分析显微夹杂物数量，采用单位面积内夹杂物的当量个数（粒度 7.5 μm）来表征夹杂物含量。夹杂物当量个数的统计公式如下[10]：

$$I=\frac{\sum(S_i\cdot n_i)}{N\cdot\pi\cdot B^2\cdot D^2/16}$$

式中，I 为单位面积上相当于当量直径 B 的夹杂的个数（个 /mm^2）；B 为夹杂当量直径，本计算中 B=7.5 μm；S_i 为不同级别夹杂的平均面积 mm^2（平均直径分别为 1.25、3.75、7.5、15、30 μm）；n_i 为各级夹杂个数 D 为视域直径，500 倍时，D=271.465 μm；N 为视场数，本计算中为 100 个。因此，显微夹杂物含量 I 为单位面积上当量直径为 7.5 μm 的夹杂物的个数。

2 研究结果及分析

2.1 铸坯中氧含量变化

氧元素在铸坯中主要以氧化物的形式存在，在实际生产中大部分钢厂主要以 w(T.O)含量来评价铸坯的洁净度。运用 LECO 氧氮测试仪测定，氧含量在不同铸坯内的全氧含量。头坯、稳态坯、混浇坯、尾坯全氧含量平均值如图 2 所示。

由图 2 可知：

（1）稳态铸坯 T[O]平均为 28×10^{-6}，全氧含量较低，说明夹杂物控制水平较好，钢液洁净度较高；

（2）头坯 T[O]平均为 36×10^{-6}，与稳态坯平均值相比增加 29%，说明需进一步优化头坯用途，避免头坯质量影响整个浇次的铸坯洁净度水平；

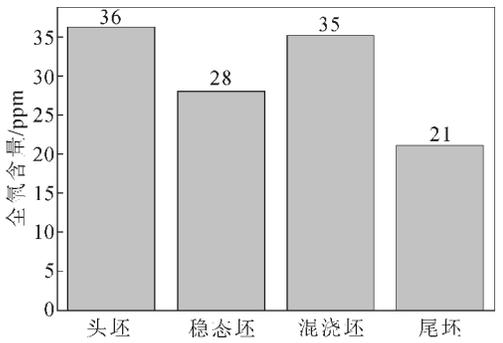


图 2 铸坯中氧含量

Fig.2 Oxygen content in slab

（3）混浇坯 T[O]平均为 35×10^{-6}，与稳态坯平均值相比增加 25%，说明需进一步优化混浇坯用途，建议对混浇坯进行降级使用；

（4）尾坯 T[O]平均为 21×10^{-6}，与稳态坯平均值基本一致。

2.2 铸坯中氮含量变化

如果钢中氮含量过高，将会影响 IF 钢的深冲性能。钢液中氮含量更能直接反应钢液与空气接触的程度。大型钢铁企业均将氧氮含量控制水平作为评价 IF 钢洁净度的一项重要标准。头坯、稳态坯、混浇坯、尾坯氮含量平均值如图 3 所示。

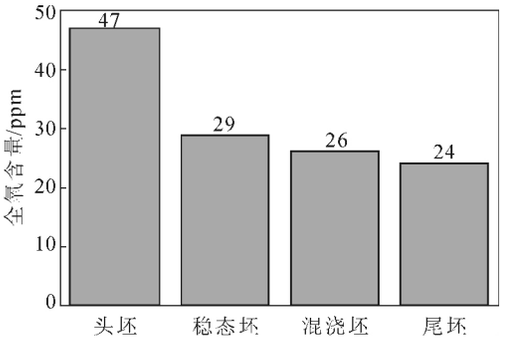


图 3 铸坯中氮含量

Fig.3 Nitrogen content in slab

由图 3 可知：

（1）稳态铸坯[N]含量 29×10^{-6}，与中间包出口区相比变化不大，说明正常浇注过程中钢液保护浇注效果良好。

（2）头坯中氮含量平均为 47×10^{-6}，较稳态坯高 62%，进一步优化开浇工艺管理，避免头坯质量危害整个浇次的铸坯洁净度水平。

(3)混浇坯[N]含量平均为 26×10^{-6},与稳态坯平均值基本一致。

(4)尾坯[N]含量平均为 24×10^{-6},与稳态坯平均值基本一致。

2.3 DP590 显微夹杂物含量

实验分析显微夹杂金相试样。钢中显微物含量个数平均值如图 4 所示。

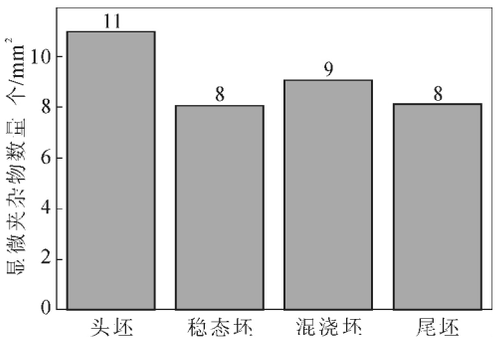


图 4 铸坯中显微夹杂含量分布

Fig.4 Distribution of microscopic inclusions in slab

由图 4 可知:

(1)稳态铸坯显微夹杂含量 8 个 /mm²,夹杂物控制水平较好。

(2)头坯中显微夹杂含量平均为 11 个 /mm²,与稳态坯平均值相比增加 38%。说明在开浇非稳态阶段,钢水洁净度较差,需要进一步确定开浇头坯用途。

(3) 混浇坯显微夹杂含量平均为 9 个 /mm²,与稳态坯平均值基本一致。

(4)尾坯显微夹杂含量平均为 8 个 /mm²,与稳态坯平均值基本一致。

2.4 显微夹杂物种类及来源分析

显微夹杂分为 4 种。

第 1 种为 $CaS\text{-}Al_2O_3$ 类夹杂,约占 50%,粒度在 1~10 μm 之间,其形貌及成分如图 5、表 2 所示。

第 2 种为 $CaO\text{-}Al_2O_3$ 类夹杂,约占 20%,粒度在 4~20 μm 之间,其形貌及成分如图 6、表 3 所示。

第 3 种为 Al_2O_3 类夹杂, 约占 20%, 粒度在 1~4 μm 之间,其形貌及成分如图 7、表 4 所示。

第 4 种为 CaS 类夹杂, 约占 10%, 粒度在 1~10 μm 之间,其形貌及成分如图 8、表 5 所示。

3 结论

(1)稳态铸坯全氧含量较低,钢液洁净度较高。头坯 T[O]与稳态坯平均值相比增加 29%,需进一步优化头坯用途, 避免头坯质量影响整个浇次的铸坯洁净度水平;混浇坯头坯 T[O]与稳态坯平均值相比增加 25%,说明需进一步优化混浇坯用途,建议对混浇坯进行降级使用;尾坯 T[O]与稳态坯平均值基本一致,控制较好。

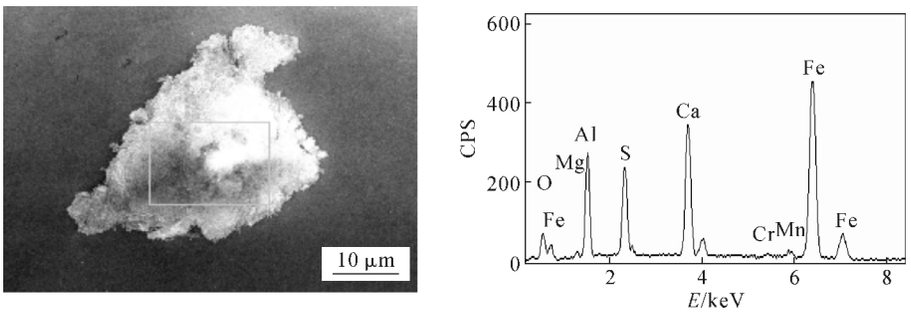


图 5 $CaS\text{-}Al_2O_3$ 夹杂物的形貌及能谱图

Fig.5 Morphology and EDS spectrum of $CaS\text{-}Al_2O_3$ inclusions

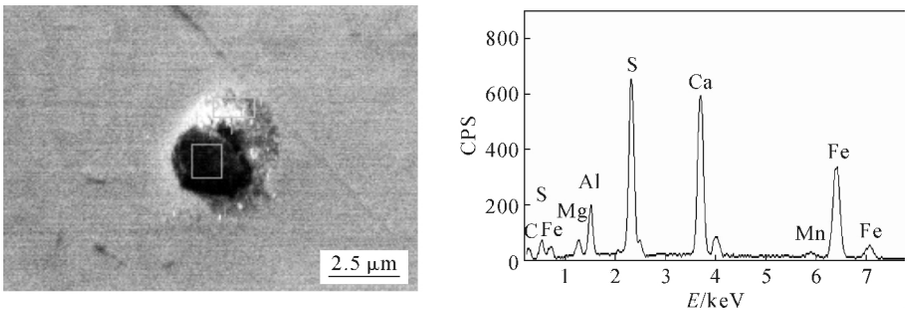


图 6 $CaO\text{-}Al_2O_3$ 夹杂物的形貌及能谱图

Fig.6 Morphology and EDS spectrum of $CaO\text{-}Al_2O_3$ inclusions

表2 $CaS–Al_2O_3$夹杂物的成分 w(%)

Tab.2 Chemical composition of $CaS–Al_2O_3$ inclusions

成分	C	O	Al	Ca	Mn	Fe
含量	4.73	34.18	28.90	0.24	0.55	31.40

表3 $CaO–Al_2O_3$夹杂物的成分 w(%)

Tab.3 Chemical composition of $CaO–Al_2O_3$ inclusions

成分	C	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Mn	Fe
含量	10.01	12.06	2.07	5.02	-	15.9	20.56	-	1.27	33.09

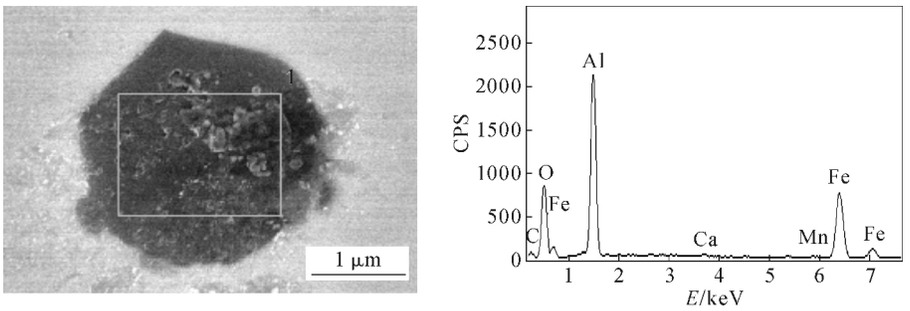


图 7　Al_2O_3 夹杂物的形貌及能谱图

Fig.7　Morphology and EDS spectrum of Al_2O_3 inclusions

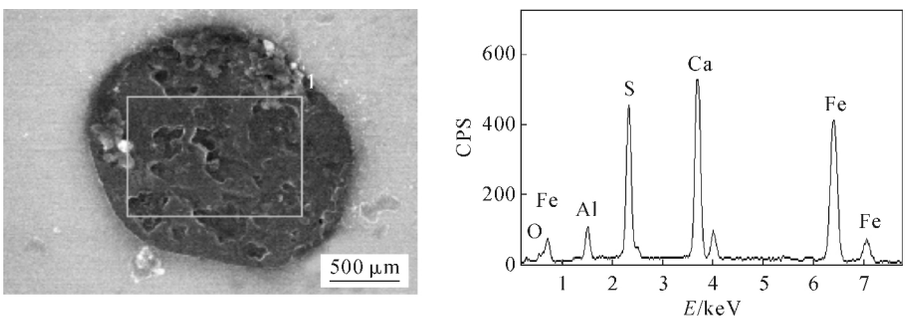


图 8　CaS 夹杂物的形貌及能谱图

Fig.8　Morphology and EDS spectrum of CaS inclusions

表4 Al_2O_3夹杂物的成分 w(%)

Tab.4 Chemical composition of Al_2O_3 inclusions

成分	O	Mg	Al	S	Ca	Cr	Mn	Fe
含量	8.94	0.65	11.66	7.96	14.85	0.77	1.62	53.55

表5 CaS夹杂物的成分 w(%)

Tab.5 Chemical composition of CaS inclusions

成分	O	Al	S	Ca	Fe
含量	2.12	4.02	14.81	24.68	54.37

（2）稳态铸坯[N]含量 29×10^{-6}，说明正常浇注过程中钢水保护浇注效果良好；头坯中氮含量较稳态坯高 52%，需进一步优化开浇工艺管理，避免头坯质量危害整个浇次的铸坯洁净度水平。混浇坯、尾坯[N]含量与稳态坯平均值基本一致，控制较好。

（3）稳态铸坯显微夹杂含量控制水平较好；头坯中显微夹杂含量与稳态坯平均值相比增加 38%。说明在开浇非稳态阶段，钢液洁净度较差，需要进一步确定开浇头坯用途。混浇坯与尾坯显微夹杂含量和稳态铸坯含量基本一致。

参考文献：

[1] 赵茂国，肖鹏程，朱立光，等. 铸造过程中 DP590 钢大型夹杂物研究[J]. 铸造技术, 2018, 39 (2): 281-283.

[2] 潘贻芳，吴波，李秉一，等. 帘线钢精炼与连铸过程中夹杂物的研究[J]. 炼钢，2014，30(4):52-56.

[3] 陆演. DP590 先进高强度钢板成形性能及其在汽车 B 柱中的应用研究[D]. 重庆：重庆大学，2011.

[4] 王建昌，张永亮，段建平. 80 t 转炉–钢包吹氩–连铸冶炼过程对 Q235A 钢气体夹杂含量的影响[J]. 特殊钢，2008，29(1):57-59.

[5] 吕建刚，肖李鹏. 钢中非金属夹杂物及其金相检验[J]. 理化检验(物理分册)，2015，51(4):229-233，242.

[6] 马芳，王滨. 国内外钢中非金属夹杂物检验标准解析[J]. 理化检验(物理分册)，2016，52(6):405-408.

[7] 杨伶俐，刘建华，包燕平，等. X70 钢的清洁度在精炼与连铸过程中的变化[J]. 北京科技大学学报，2007(s1):97-100.

[8] Cicutti C E, Madias J, Gonzalez J C. Control of microinclusions in calcium treated aluminium killed steels [J]. Ironmaking and Steelmaking, 1997, 24(2): 155-159.

[9] Cheng J, Eriksson R, Jonsson P. Determination of macroinclusions during clean steel production [J]. Ironmaking and Steelmaking, 2003, 30(1): 66-72.

[10] 么洪勇，张彩军，刘善喜，等. 汽车大梁钢显微夹杂物含量分析[J]. 铸造技术，2018，39(3):546-549，557.

书讯

《铸造缺陷及其对策》

由日本铸造工学会编写，由大连理工大学张俊善教授和尹大伟先生翻译成中文，机械工业出版社出版。通俗易懂地解说各种铸造缺陷，能够帮助现场的铸造技术人员及时判断他所遇到的缺陷属于何种类型的缺陷，找出缺陷产生的原因及解决方案，是铸造相关人员的好帮手。全书分 8 部分，247 页，234 千字。16 开，精装，定价 58 元，特快专递邮购价：80 元。

邮购地址：铸造技术杂志社

（710048　西安理工大学 608 信箱）

联 系 人：李巧凤 029-83222071