

对修订我国航空用钢纯洁度 检查方法的建议

六〇二处 杨和轩

钢中非金属夹杂物的化学组成、数量、大小及其分布形态反映钢被污染的程度,叫做纯洁度。它对钢的塑性、韧性、疲劳和工艺性能有很明显的影响,是一项很重要的材质指标。

检查钢纯洁度的方法很多,目前广为采用的是比较法和金相定量法,比较法是指将显微镜(高倍)下观察到的夹杂物与标准评级图片进行比较以确定级别的方法。它的受检面积小,一般还用宏观(塔形试样)检查与之配合;金相定量法是指用显微镜在大面积上测定夹杂物的长度或用定量金相技术测定夹杂物面积百分

率的方法。前一种方法简便易行,但只能得到半定量的结果;后一种方法比较繁琐或需用精密的仪器,但能够得到定量的结果。

我国检查钢纯洁度的方法属比较法。为了弄清它与国外方法的差异,我们选用英国罗·罗公司材料纯洁度标准MSRR9964、美国材料试验学会钢中非金属夹杂物含量测试方法标准ASTM E45与我国钢中非金属夹杂物显微试验法标准YB25-77和美国宇航材料规范AMS 2301D与我国塔形车削发纹试验法标准YB47-64,对15炉钢棒材做了纯洁度对比试验,结果

表

钢号	冶炼方法	规格(毫米)	炉号	按YB25-77检验夹杂物			按YB47-64检查发纹			按AMS2301D检查发纹			受检总面积 总视	
				塑性夹杂物 (级)	分散脆性夹杂物 (级)	集中脆性夹杂物 (级)	条数 (条)	最长 (毫米)	总长 (毫米)	条数 (条)	最长 (毫米)	总长 (毫米)		
													(毫米 ²)	场数
30CrMoA1A	电炉	φ48	77T1209	0.5 0.5	2.0 2.5	3.5 3.0	5	3	11	5	14	30	1443.2	1804
		φ70	A 661842	0.5 0.5	1.5 1.5	1.0 1.0	0	0	0	0	0	0	1489.6	1862
		φ90	A761103	0.5 0.5	2.0 2.0	2.0 2.0	5	3	10	6	6	18	1524.8	1906
	电炉+电渣	φ100	928-171	0.5 0.5	2.0 2.5	3.0 2.0	0	0	0	1	1	1	1109.6	1387
		φ110	D32127	0.5 0.5	2.0 1.0	1.0 1.0	0	0	0	0	0	0	1464.8	1831
		φ60	9D10284	0.5 0.5	1.0 1.0	1.0 1.0	0	0	0	0	0	0	1490.4	1863
1Cr11Ni2W2MoV	电炉+电渣	φ35	8D70608	0.5 0.5	1.0 1.0	1.0 1.0	0	0	0	0	0	0	806.4	1008
		φ65	83-456	0.5 0.5	0.5 1.0	1.0 1.0	0	0	0	0	0	0	1209.6	1762
		φ70	1D40326	0.5 0.5	1.0 1.0	1.0 1.0	0	0	0	0	0	0	1274.4	1598
		φ100	81-331	0.5 0.5	1.0 1.0	1.0 1.0	0	0	0	0	0	0	1410.4	1763
		φ95	9D30162	0.5 0.5	1.0 1.0	1.0 1.0	0	0	0	0	0	0	1516.8	1896
		φ55	9D50269	0.5 0.5	1.0 1.0	1.0 1.0	0	0	0	0	0	0	1036.8	1296
		φ70	81-632	0.5 0.5	1.0 1.0	0.5 1.0	0	0	0	0	0	0	1523.2	1904
		φ120	83-673	0.5 0.5	1.0 1.5	1.0 1.0	0	0	0	0	0	0	1464	1830
GX-8	电炉+电渣	φ160	0D70023	0.5 0.5	2.0 2.0	1.0 1.5	0	0	0	0	0	0	1448.8	1811

露暴出我国现行方法有一些严重的缺点。现将对比试验方法及结果整理于后。

一、取样和检查方法

MSRR9964 和 ASTM E45都规定在坯料阶段检查钢的纯洁度。每炉批按 YB47—64制取 3 个塔形试样并按常规检查发纹，然后将试样进行淬火、低温回火，磨去氧化皮，按 AMS 2301D用大电流充磁再检查发纹。两次发纹检查都在国产 JDC-9000 型万能磁力探伤机上进行。

每炉批还从棒材切取1~2片厚度为13毫米的高倍试样。高倍试样从轴心到边缘连续切取，受检面平行于纵轴。MSRR9964规定：电炉钢需高倍检查 3900 毫米²、电渣钢需高倍检查 1900毫米²的面积。本次试验对每炉只取了1000

毫米²左右的试样。这些试样在原始状态下制备，然后在有网格的普通金相显微镜下放大100倍逐个观察每个视场。网格上每一格是0.05毫米，容易将观察到的夹杂物长度测量出来。测量中，将长度 ≥0.075 毫米的夹杂物（主夹杂物）分成若干档进行记录；对长度<0.075毫米的球形氧化物（基体夹杂物）则用ASTM E 45 上的改型JK图D类图片与之比较定出级别。ASTM E45规定 JK图上每一级夹杂物的严重度是该级别的最低含量，MSRR9964规定为最高含量。我们按后者处理。待一批试样检查完毕后，任选其中两个试样，进行淬火、再制备，按YB25-77评定夹杂物的级别。

二、对比试验结果分析

15炉钢棒材的纯洁度对比检查结果见表1。从这些数据中可以得出怎样的结论呢？

1

按 MSRR9964 检查 纯洁度												
主 夹 杂 物				空白	基 体 夹 杂 物							
≤0.25毫米 的夹杂物 总 长 (毫米)	>0.25~0.38 毫米夹杂物 总 长 (毫米)	>0.38~0.76 毫米夹杂物 条 数 (条)	≥0.76毫米 夹杂物 条 数 (条)		粗 系 列				细 系 列			
					½级	1.0级	1½级	2.0级	½级	1.0级	1½级	2.0级
10.15	3.10	8	0		34	853	649	1	1	73	152	0
2.825	0	0	0		34	494	622	66	11	94	438	77
6.89	2.05	4	0		51	800	394	0	4	263	337	2
138.775	34.60	70	0		0	0	0	0	0	0	0	0
12.05	0.95	3	0	558	6	987	385	0	3	84	287	0
1.25	0.25	0	0		69	457	413	89	0	330	422	64
0.50	0	0	0		6	707	159	0	4	13	100	0
0.70	0	0	0		1	689	757	1	1	12	295	0
8.45	0.95	0	0		9	778	194	0	4	142	409	0
0.61	0	0	0		2	900	358	0	0	92	397	0
4.375	3.55	8	0		20	883	628	0	0	97	259	0
1.29	0	0	0		3	813	253	0	2	32	182	0
0.495	0	0	0		10	750	829	34	5	42	230	0
0.59	0	0	0		5	1012	483	0	2	86	236	0
51.75	2.85	2	0		2	865	463	4	0	0	167	0

1. 我国航空用钢棒技术条件YB674-73、YB675-73规定钢的供应状态有热轧、冷轧、回火和退火等多种。即同一牌号的钢棒,由不同的钢厂供应时,可能有多种状态。YB47-64并未指明钢在什么状态下检查发纹,而生产中都在供应状态下检查。我们知道,供应状态下的钢不一定是马氏体组织,其碳化物往往析出于晶界上,磁导率不均匀,有可能扰乱发纹显示;另一方面,我国磁力探伤说明书规定的充磁电流强度小,又可能使一些细小的发纹迹象不能被显示出来。这些情况说明,按YB47-64用磁力探伤方法检查钢的发纹尚存在问题。AMS 2301D的优点在于:①规定了塔形试样须经过淬火并回火至一定硬度,使钢能在回火马氏体状态下检查发纹;②用大电流充磁以提高磁场强度。两个方法的工艺参数不同,必然导致检查结果出现差别。所以,928-171按YB47-64检查时未见发纹,而按AMS2301D检查却显示出发纹来了;按AMS2301D检查77T1209、A761103两炉钢的塔形试样显现的发纹严重度大一些,频度高一些。因此,修订我国航空用钢纯洁度的检查方法的内容中必须含磁力探伤方法的修订,AMS2301D值得借鉴。

2. 生产实践告诉我们:钢棒上的发纹数量和尺寸随其直径变化。 $\phi > 100$ 毫米的钢棒上几乎没有发纹; $\phi \leq 100$ 毫米的钢棒,随其直径变小,发纹数量增多,平均尺寸增大;当直径小至某一尺寸时,发纹数量达到峰值。此次对比试验的情况亦如此。如从高级别的集中脆性夹杂物和严重度的主夹杂物看,0D70023炉应当有发纹,因其直径太大却未看到。怎样解释这个现象呢?因为塔形试验属宏观检验之例。检查受人视力的限制,尺寸 < 0.4 毫米的发纹迹象很难分辨出来。要分辨它们,必须待钢有较大的变形,使其尺寸增大。所以,发纹主要在 $\phi < 100$ 毫米的棒材上出现。并且,随其直径变小而数量增多、平均尺寸增大,至一定直径达到峰值之后,进一步轧制时,一些发纹被吞并,另一些被轧碎,数量反而减少。这说明发纹

的检查结果在较大的程度上受钢变形程度的支配,有局限性。ASTM E45规定对 $\phi > 100$ 毫米的钢棒进行改锻,使尺寸为80毫米的坯料制成塔形试样,其目的就是为了在接近出现发纹峰值的尺寸上检查它们。我国新的航空用钢纯洁度检查方法应该吸取这个经验。

3. 电渣钢的纯洁度比电炉钢高,按YB47-64检查,通常见不到尺寸 ≥ 0.6 毫米长的发纹。因为电渣重熔能将大型的夹杂物击碎并去除其中的大部分。据此,人们习惯于把它当作纯洁度特别高的所谓无发纹钢用于重要受力构件。其实,有些电渣钢的非金属夹杂物级别并不高,可达到相应标准二组级别。928-171是一个典型例子,按YB25-77评定,它的集中脆性夹杂物达3.0级;按MSRR9964测量,它的主夹杂物呈弥散状分布,表2是该炉钢一个试样上的弥散分布情形。出现这种情况的原因有两点:①YB674-73将电渣钢纯洁度的质量纳标线订在电炉钢水平上,使钢厂能够用纯洁度极低的母材经电渣重熔,将大型夹杂物击碎,满足无发纹要求,而不问夹杂物级别高低交货;②所谓无发纹钢是指没有尺寸 ≥ 0.6 毫米的发纹,而含尺寸 < 0.6 毫米者。即是说,不允许有尺寸 ≥ 0.6 毫米的发纹,但允许有许多尺寸 < 0.6 毫米的发纹存在。发纹和非金属夹杂物级别是纯洁度的两个方面,二者之间有一些联系,更多地存在区别,不能相互代替;无发纹是一个不确切的概念,不代表钢的真正纯洁度。在当前执行YB674-73和YB675-73的情况下,要获得纯洁度与之相应的钢,需在订货中提出比相应标准更严的夹杂物组别要求,否则不能达到目的。目前,钢厂能够接受的电渣钢夹杂物级别是:脆性夹杂物、塑性夹杂物各不大于1.5级,两者之和不大于2.5级。

4. 在采用比较法确定钢纯洁度的国家(公司或组织)中,美国、法国透博公司、ISO的标准都推荐用JK图或改型JK图作标准图片,我国YB25-77用它自己的标准图片。由此,引起我国的比较法与美国等的比较法有显著的差

别：①JK图将钢中的夹杂物分为A（硫化物）、B（氧化物）、C（硅酸盐类）、D（球形氧化物）四类，每一类又分为粗、细两个系列。按它评级，能够分别评出钢中每一类夹杂物的粗或细的级别，然后标出平均值作为判定纯洁度的依据。YB25-77的标准图片只将夹杂物分为脆性的和塑性的两类，不含球形氧化物。它又按最恶劣的视场评级。这样评级的结果钢中不含全部夹杂物，不代表真正的纯洁度。例如，按YB25-77评定表1中三炉电炉钢，将得出A6 61842的纯洁度最好的结论；若按JK图评级，同时用四类夹杂物级别来衡量，由于它有球形氧化物存在，将不会得出上述结论。②JK图已被国际公认，YB25-77的评级图自成体系。这样，按前者的评级结果可以在国际上交流，按后者的评级结果不能做到此点。因此，修订我国航空用钢纯洁度检查方法的又一内容是将

JK图图标，使我国方法向国际标准靠拢。

与 ASTM E45 推荐的方法不同，MSRR 9964规定的是金相定量法。它的优点是：①它用大面积的高倍观察取代宏观检查，使其结果较小地受钢变形程度的影响；②它将夹杂物的长度分成若干档，根据钢的使用条件控制最大夹杂物的长度和细小夹杂物在单位面积上的总长以及球形氧化物的点数；③它明确规定试样的取样位置在钢锭的头、中、尾三个部位。因此，它反映出来的纯洁度最可靠，对航空用钢有着特殊的重要的意义。所以，尽管比较法简便易行，英国人仍然采用自己的方法，其缺点是受检面积太大、繁琐。如果有了定量金相显微镜，这个困难就会迎刃而解了。

5. MSRR9964用E1、E2两个标准(表3)判定电渣钢的纯洁度。我们用该标准判定表1中12炉电渣钢的纯洁度，结果单位面积上允许

表 2

0.2/1	0	0.1/2	0.1/1	0	0	0.1/1	0	0	0.1/2		
	0.25/1	0	0.125/1 0.20/1	0.20/1	0	0.1/1	0.2/1	0.1/1	0	0	0.1/2
	0.1/1	0	0.2/1 0.1/1	0	0	0.15/1	0.15/1	0	0	0	0.15/1
	0	0.1/1	0	0.25/1	0.2/1	0.15/3	0	0	0	0.3/1	0.35/1
	0.4/1	0.1/1	0.2/1	0.1/1	0.2/2	0.2/1	0.25/1	0	0.2/1 0.5/1	0	0.2/1 0.125/2
0.08/1 0.075/1	0.20/1 0.28/1	0.18/1	0.27/1	0.25/1	0.08/1	0.12/1	0.075/1	0.22/1 0.075/1	0	0	0
0.12/1	0	0	0.17/1	0	0	0	0.08/1 0.12/1	0	0	0.15/1	0.2/1
0.07/1	0.30/1	0.2/1 0.17/1	0.1/1	0.2/1	0.15/1	0.45/1	0.15/1	0	0	0.35/1	0.15/1
0.07/1	0	0.07/1	0.4/1	0.42/1	0	0	0	0.1/1	0.08/1	0.2/1	0.17/1
	0	0	0	0.47/1	0	0.1/1 0.12/1 0.13/1	0.35/1	0	0	0.075/1	0
	0.35/1	0	0.15/1	0.15/1	0.26/1	0.12/1	0.2/1 0.075/1	0.32/1	0.12/1	0.08/1 0.3/1	0.15/1

注：分子代表夹杂物长度，分母代表夹杂物条数。

标 准	主 体 夹 杂 物			基体夹杂物按 ASTM E45评级	
	在每625毫米 ² 内允许的夹杂物 总 长 (毫 米)	允许最长的夹杂物 条 数 (条)	不允许存在的 夹杂物长度 (毫米)	一般视场	偶 尔 可 见 视 场
E1	>0.07~0.25毫米的夹杂物 总长度应≤0.50	<0.38毫米的夹杂物 允许1条	≥0.38毫米的 夹杂物	细型 $\frac{1}{2}$ 级	细型1级
E2	>0.07~0.38毫米的夹杂物 总长度应≤0.76	>0.38~0.76毫米的 夹杂物, 每个铸锭 允许1条	>0.64毫米的 夹杂物	A 细型 $\frac{1}{2}$ 级	
				B 的任何 C 一 种	
				D 细型1级	细型2级

存在的细小夹杂物总长都合格, 但允许存在的最大夹杂物的条数却超出标准。其中超出E1的有928-171、D32127、9D10284、1D40326、9D30162、0D70023六炉, 超出E2的有928-171、D32127、9D30162、0D70023四炉。关于球形氧化物, 除928-171之外, 其他的炉批都超出标准。这个事实说明两个问题: ①我国航空用电渣钢的纯洁度没有达到英国的水平; ②MSRR 9964对纯洁度的控制比我国现行方法严格一些。

三、结 论

根据上述试验结果, 得出以下结论。

1. 钢的纯洁度高低, 主要取决于钢的冶炼方法。表1试验结果表明, 同一钢种采用不同的冶炼方法, 可得到不同的结果, 电渣钢的发纹和夹杂物的数量、长度比电炉钢的少。因此, 需要量材选用合适的冶炼方法, 以便保证航空用钢的纯洁度等的要求。

2. 钢的纯洁度检查方法的精确度高低不等, 按下列顺序递降: MSRR9964; ASTM E45; YB25-77。表1试验结果证明, 同一炉号, 同一冶炼方法的钢种, 采用不同的测试方法, 得出的结果也不一样。我们认为: MSRR 9964规定的金相定量法较严格也较合理, 符合

实际情况, 能反映生产水平。其次是ASTM E45推荐的方法, 此法已为不少国家或航空公司移植, 亦已成为ISO国际标准组织推荐的标准方法。因此, 需要采用合理的检验方法。

3. 为了适应国际交流的需要, 以及提高我国钢的检验方法质量使之接近国际水平, 我们建议: 参照有关国际先进方法, 及早修订我国钢的纯洁度检验方法。

附记: 本试验由王忠秋、朴钟夏、代玉和、史建逊共同完成。

◁▷ ▷▷ ▷▷

(上接第41页)

参 考 文 献

- [1] 化学通报, No.3, 1962, 71.
- [2] Кастерина, Т.Н., Калинина, Л.С., Химические методы исследования синтетических смол и пластических масс, 1963.
- [3] 董庆年, 红外光谱法, 石油化学工业出版社, 1977.
- [4] Haslam, J., Willis, H.A., Identification and Analysis of Plastics, Second Edition, 1972.
- [5] 化学研究, 中国科学院化学研究所, 第2期, 1977.