

# 《机车车辆用铸钢制动盘显微组织测试规范》

(征求意见稿)

## 编制说明

### 1 工作简况

#### 1.1 任务来源

根据《市场监管总局办公厅关于印发 2024 年国家计量技术规范制定、修订及宣贯计划的通知》（市监计量发[2024]40 号）要求，由全国铁路专用计量技术委员会归口，中车戚墅堰机车车辆工艺研究所股份有限公司、中车大连机车车辆有限公司、中车南京浦镇车辆有限公司、北京纵横机电科技有限公司、中铁检验认证中心有限公司等单位共同负责制定《机车车辆用铸钢制动盘显微组织测试规范》。现已完成征求意见稿。

本规范为首次制定。

#### 1.2 制修订本规范的必要性

随着高铁、标动的大力发展，对铸钢件的要求日益提高。首先，材料方面近年来广泛采用了 B/C/D/E 级铸钢以外的多种新型牌号（如 ZG20Mn5、18MnNiV、等）；其次，工艺方面正火或正火+回火已远不能满足对服役性能的要求，多采用调质处理代替；再次，行业标准欠缺，目前铸钢调质标准仅有 TB/T 2942.2，且仅适用于 E 级铸钢。

铸钢制动盘作为机车车辆的关键零部件，采用 ZG24CrNiMo 材质，合金含量高出 E 级铸钢约一倍。首先，铸态组织无论在何种冷却条件（缓冷、砂冷、空冷、风冷等）下均以贝氏体为主，现行标准 TB/T 2942.2 中涉及的四种铸钢材质的铸态组织则均是以珠光体+铁素体为主，二者根本没有相关性和可参照性。其次，铸钢制动盘采用一次正火+回火或两次正火+回火的预处理工艺，而传统铸钢以一次正火作为预处理，二者在工艺上存在本质区别，在上述铸态基础上得到的组织也是完全不同。再次，调质处理作为最终热处理手段，铸钢制动盘因合金含量极高，使得奥氏体稳定性良好，极难在正常工艺范围附近出现过热甚至过烧的现象。因此，目前铸钢制动盘和耙板等关键产品在检测和验收过程中处于无标可依的状态。

另外，随着我国轨道交通向高速、高寒、重载等方向的迅速推进，传统铸钢材料将逐步被高合金铸钢替代，制定属于轨道交通行业标准动车组相关材料显微组织规范将是一个中长期的工作目标。通过本规范的制定，一方面可以明确多种铸钢材料-工艺-组织-性能之间的匹配关系；另一方面可以指导生产，降低废品率，制定合理的生产工艺和检测依据。

#### 1.3 编制过程

在本规范的编制过程中，完成了大量的基础研究、试验验证工作和编写工作，确保了规范性和合理性。本规范编制过程概要如下：

**起草阶段：**2024 年 3 月 10 日，根据 2024 年第一批制修订计划项目，成立了起草工作组，明确了规范的主要技术内容、进度安排及有关要求，开始撰写初稿。在起草过程中，广泛收集项目相关产品的国内外标准和技术资料，对铸钢相关标准进行了深入的研究和分析，并组织有关单位对关键技术问题及制定内容进行了研讨，在此基础上形成了规范征求意见稿。

## 2 编制原则

- 2.1 规范格式统一、规范，符合 JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》要求。
- 2.2 规范内容符合统一性、协调性、适用性、一致性、规范性要求。
- 2.3 规范技术内容安全可靠、成熟稳定、经济适用、科学先进、节能环保。
- 2.4 规范实施后有利于提高铁路产品质量、保障运输安全，符合铁路发展需求。

## 3 主要内容

- 3.1 本规范规定了机车车辆用铸钢制动盘显微组织测试的计量特性、测试条件、测试项目和方法、评级图等，适用于适用于机车车辆用铸钢制动盘显微组织的测试。
- 3.2 本规范规定了铸钢制动盘铸态金相图谱，根据产品生产过程，调整冷却方式浇注铸钢制动盘实物毛坯和试块毛坯，具体冷却方式包括：高温开箱+空冷，随箱冷却，冒口（缓冷）取样，小试块模铸等；编制不同状态下的金相图谱。
- 3.3 本规范规定了铸钢制动盘正火态金相图谱，结合生产工艺，对 1 中所包括铸态组织进行正火处理，包括一次正火和二次正火，加热工艺由加热不足，轻微欠热，正常，轻微过热、严重过热等几部分组成；编制不同状态下的金相图谱。式更改为 1~8 级的级别划分方式。
- 3.4 本规范规定了铸钢制动盘正火+回火态金相图谱，在 2 的基础上，对不同组织状态进行回火处理，编制不同状态下的金相图谱。
- 3.5 本规范规定了铸钢制动盘调质态金相图谱，在预处理（正火+回火）的基础上，进行淬火+高回处理，淬火温度选择由加热不足，轻微欠热，正常，轻微过热、严重过热等几部分组成；编制不同状态下的金相图谱。
- 3.6 本规范参考 TB/T 2942.2-2018《机车车辆用铸钢件 第 2 部分：金相组织检验图谱》等技术文件，结合实际应用编制。

## 4 关键指标的确定

### 4.1 试验方案设计

本规范旨在明确铸钢制动盘和车钩两大类铁路关键产品的金相标准，目前，铸钢制动盘工艺路线为：铸造-正火-正火-回火-调质，共五个阶段，可采集铸态、残余铸态、调质三种主要状态下的金相图谱；而车钩工艺路线为：铸造-正火-回火，可采集铸态、残余铸态、正火三种状态下的金相图谱。为减少成分波动对试验准确性带来的影响，计划在制动盘本体或等效厚度的试板上取样进行相关试验研究。



图 1 铸钢制动盘试验技术路线

在 700~900℃ 范围每隔 30℃ 进行两次正火和淬火试验，在 900~1100℃ 范围每隔 50℃ 进行两次正火和淬火试验。

### 4.2 铸态组织

轨道交通铸钢制动盘通常采用砂型铸造+缓冷的方式进行，为了获得多样性的铸态组织，特制定专用厚板模具进行浇注，浇注后采用三种冷却方式，分别为砂冷、空冷和风冷。

ZG25CrNiMo 铸态分为 6 级，按第一评级图评定，其评级说明见表 1。

表1 铸态组织

级别	金相组织特征	规范正文中相应图号
1	一次奥氏体晶界型条状铁素体+贝氏体组织	1
2	一次奥氏体晶界型粗块状铁素体+贝氏体组织	2
3	一次奥氏体晶界型细粒状铁素体+贝氏体组织	3
4	粗大位向的贝氏体组织	4
5	粗大位向的贝氏体组织+少量枝晶分布的马氏体组织	5
6	粗大位向的贝氏体组织+较多量枝晶分布的马氏体组织	6

#### 4.3 正火组织

对上述多种铸态下的试块进行正火处理，在 700~900℃范围每隔 30℃加热保温，在 900~1100℃范围每隔 50℃加热保温。

ZG25CrNiMo 正火组织为 7 级，按第二评级图评定，其评级说明见表 2。

表2 正火组织

级别	金相组织特征	规范正文中相应图号
1	一次奥氏体晶界型铁素体+贝氏体	图 7、图 8
2	粗大位向的贝氏体	图 9、图 10
3	粗大位向的贝氏体+回火索氏体	图 11、图 12
4	贝氏体+马氏体，奥氏体晶粒细小	图 13、图 14
5	贝氏体+马氏体，奥氏体晶粒局部稍粗	图 15、图 16
6	贝氏体+马氏体，奥氏体晶粒稍粗	图 17、图 18
7	贝氏体+马氏体，奥氏体晶粒粗大	图 19、图 20

#### 4.4 正火+回火组织

对上述 7 种正火状态下的试样进行回火，贝氏体形态保持不变，马氏体变为回火索氏体。

ZG25CrNiMo 正火+回火组织为 7 级，按第三评级图评定，其评级说明见表 3。

表3 正火+回火组织

级别	金相组织特征	规范正文中相应图号
1	一次奥氏体晶界型铁素体+贝氏体	图 21、图 22
2	粗大位向的贝氏体	图 23、图 24
3	粗大位向的贝氏体+回火索氏体	图 25、图 26
4	贝氏体+回火索氏体，奥氏体晶粒细小	图 27、图 28
5	贝氏体+回火索氏体，奥氏体晶粒局部稍粗	图 29、图 30
6	贝氏体+回火索氏体，奥氏体晶粒稍粗	图 31、图 32
7	贝氏体+回火索氏体，奥氏体晶粒粗大	图 33、图 34

#### 4.5 调质组织

在上述正火的基础上，对试块进行调质处理，700~900℃范围每隔 30℃进行加热保温，900~1100℃范围每隔 50℃加热保温。

ZG25CrNiMo 调质组织分为 7 级，按第四评级图评定，其评级说明见表 4.

表4 调质组织

级别	金相组织特征	规范正文中相应图号
1	回火贝氏体+回火索氏体	图 35、图 36
2	回火索氏体+不规则未溶铁素体	图 37、图 38
3	回火索氏体+极少量颗粒状未溶铁素体	图 39、图 40
4	回火索氏体，组织均匀，晶粒细小	图 41、图 42
5	回火索氏体，奥氏体晶粒度局部稍粗	图 43、图 44
6	回火索氏体，奥氏体晶粒度稍粗	图 45、图 46
7	回火索氏体，板条马氏体束长	图 47、图 48

综上，通过砂型缓冷、空冷和风冷三种不同的冷却速率，各种状态下的铸铁组织共包含六个级别：一次奥氏体晶界型条状铁素体+贝氏体组织；一次奥氏体晶界型粗块状铁素体+贝氏体组织；一次奥氏体晶界型细粒状铁素体+贝氏体组织；粗大位向的贝氏体组织；粗大位向的贝氏体组织+少量枝晶分布的马氏体组织；粗大位向的贝氏体组织+较多量枝晶分布的马氏体组织。

通过定制专用模具，浇注 ZG25CrNiMo 试板，再对试板进行金相试样和力学性能试样的加工。在 700~900℃范围每隔 30℃进行两次正火和淬火试验，在 900~1100℃范围每隔 50℃进行两次正火和淬火试验。结果表明：750℃以下加热，因为尚未进入两相区，组织表现为高温回火状态；750~800℃区间加热，进入两相区，淬火组织为马氏体+条块状铁素体，随着加热温度的上升，铁素体的量逐渐减少；800℃以上加热，铁素体全部消失，淬火组织为单相马氏体，当温度超过 1000℃时，晶粒逐渐开始长大，温度达到 1100℃时，晶粒明显长大。

#### 4.6 研制过程中的主要问题和解决方案

##### ①材料淬透性太强

ZG25CrNiMo 材料具有极强的淬透性，使得其在砂冷情况下几乎只得到粗大位向的贝氏体组织，很难观察到其余第二相组织，这样铸态图谱显得非常单一。为了获得更具代表性的铸态组织图谱，主要从以下几个方面进行了试验：1）模具，专门定制厚大的板状模具，浇注产品壁厚远大于盘面，同时增设发热帽口，降低冷却速度；2）冷速，专门设定不同的冷却方式，砂型缓冷、空冷、风冷等；最终获得 5 种不同形态的组织图谱。

##### ②材料稳定性好

ZG25CrNiMo 材料具有极强的稳定性，不易过热、过烧，800~1100℃范围内淬火+回火，性能指标变化不明显，这样就很难将图谱与性能进行匹配。因此，需要进一步降低低温区的淬火温度和提高高温区的温度或延长保温时间。

样品编号	抗拉强度 Rm(MPa)	规定塑性延伸强度 Rp0.2(MPa)	断后伸长率 A(%)	断面收缩率 Z(%)	冲击吸收能量 KV2(J)
639-4	1105	1023	11.0	46	68 70 72
643-2	845	636	17.0	50	50 51 56
647-9	1058	957	15.0	56	84 80 74
681-1	645	445	22.0	63	57 48 49
682-8	1109	1008	12.0	43	78 72 76
683-7	1068	982	13.5	54	86 90 92
684-6	1092	1014	13.5	49	76 74 86
687-5	1091	1013	14.0	55	68 74 74
688-3	1090	1020	13.5	54	76 72 74

### ③铸造缺陷

铸件不可避免的存在疏松等铸造缺陷，缺陷的存在对性能造成了显著的影响，甚至大于工艺的改变对性能的影响，这使得不同工艺下的组织因缺陷的影响很难做出准确的判断



样品编号	抗拉强度 Rm(MPa)	规定塑性延伸强度 Rp0.2(MPa)	断后伸长率 A(%)	断面收缩率 Z(%)
1	1091	854	3.5	10
2	1125	903	9.0	17
3	1116	1053	10.0	23
4	1095	1054	5.0	14
5	1111	895	3.0	7
6	1025	971	1.5	5
7	1121	1070	6.0	13
8	1068	843	4.0	17

样品编号	-40℃ 冲击吸收能量 KV2(J)	20℃ 冲击吸收能量 KV2(J)	-20℃ 冲击吸收能量 KV2(J)
1	36/24/36/38	56/58/56/50	46/43/40/37
2	31/33/45/38	56/56/61/50	56/34/52/53
3	45/55/32/40	60/44/61/45	51/44/42/48
4	43/44/38/40	64/57/67/55	35/56/48/58

### 7 采标情况

本规范未采用相关的国际标准。

### 8 重大分歧意见的处理经过和依据

无

### 9 其他应予说明的事项。

无

起草工作组

2024 年 8 月