

ICS 25.200
J 36
备案号: 57807—2017

JB

中华人民共和国机械行业标准

JB/T 13027—2017

重载齿轮渗碳热处理技术要求

The technical requirements of carburizing heat treatment for heavy load gears

2017-01-09 发布

2017-07-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 渗碳重载齿轮材料和要求	2
4.1 常用材料和分类	2
4.2 原材料质量	2
4.3 锻件质量	3
4.4 预备热处理	3
4.5 待处理工件	3
5 设备技术要求	3
5.1 渗碳炉	3
5.2 缓冷装置	4
5.3 淬火装置	4
5.4 回火炉	4
5.5 清洗机及辅助设备	4
6 试样	4
6.1 试样分类及材料要求	4
6.2 随炉试样	4
6.3 过程试样	5
7 渗碳工艺	5
7.1 渗碳淬火	5
7.2 缓冷	5
7.3 回火	5
7.4 强化喷丸	6
8 渗碳齿轮的技术要求	6
8.1 表面硬度	6
8.2 心部硬度	6
8.3 有效硬化层深度	6
8.4 表面碳含量	6
8.5 金相组织	6
8.6 表层晶界内氧化深度	7
9 质量检验	7
9.1 表面硬度	7
9.2 心部硬度	7
9.3 金相组织	8
9.4 有效硬化层深度	8
9.5 表面碳含量	8

9.6 畸变.....	8
10 能源消耗要求.....	8
11 安全卫生与环境保护要求.....	8
12 产品报告单.....	8
附录 A (资料性附录) 渗碳齿轮有效硬化层深度推荐值.....	10
图 1 齿形试样.....	5
图 2 金相组织及心部硬度检验部位.....	7
表 1 渗碳重载齿轮常用材料和分类.....	2
表 2 非金属夹杂物类别要求.....	2
表 3 渗碳齿轮的表面硬度.....	6
表 4 表面硬度不均匀性允许偏差.....	6
表 5 金相组织的级别要求.....	7
表 6 渗碳齿轮表层晶界内氧化的允许深度.....	7
表 7 金相组织检验项目及部位.....	8
表 A.1 渗碳齿轮有效硬化层深度推荐值.....	10

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国热处理标准化技术委员会 (SAC/TC 75) 归口。

本标准负责起草单位：河北汇工机械设备有限公司、北京机电研究所、南京高速齿轮制造有限公司、江苏丰东热处理及表面改性工程技术研究有限公司、内蒙古第一机械集团有限公司、西安福莱特热处理有限公司。

本标准参加起草单位：同济大学、苏州创力矿山设备有限公司。

本标准主要起草人：杨钟胜、徐跃明、彭彬、朱百智、李峰、史有森、马立晓、杨忠林、李俏、高玉魁、郭晖、陈良。

本标准为首次发布。

重载齿轮渗碳热处理技术要求

1 范围

本标准规定了渗碳重载齿轮的常用钢种、热处理设备及工艺、质量检验、能源消耗、安全卫生与环境保护要求等。

本标准适用于重载齿轮的气体渗碳热处理。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺）

GB/T 1979 结构钢低倍组织缺陷评级图

GB/T 3077 合金结构钢

GB/T 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法

GB/T 4341.1 金属材料 肖氏硬度试验 第1部分：试验方法

GB/T 5216 保证淬透性结构钢

GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法

GB/T 7232 金属热处理工艺 术语

GB/T 8121 热处理工艺材料 术语

GB/T 9450 钢件渗碳淬火硬化层深度的测定与校核

GB/T 9452 热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 10561 钢中非金属夹杂物含量的测定 标准评级图显微检验法

GB/T 13299 钢的显微组织评定方法

GB/T 13324 热处理设备术语

GB 15735 金属热处理生产过程安全、卫生要求

GB/T 15822.1 无损检测 磁粉检测 第1部分：总则

GB/T 16924 钢件的淬火与回火

GB/T 17107 锻件用结构钢牌号和力学性能

GB/T 17358 热处理生产电耗计算和测定方法

GB/T 17394.1 金属材料 里氏硬度试验 第1部分：试验方法

GB/T 19944 热处理生产燃料消耗计算和测定方法

GB/T 25744 钢件渗碳淬火回火金相检验

GB/T 30822 热处理环境保护技术要求

GB/T 32529 热处理清洗废液回收及排放技术要求

GB/T 32541 热处理质量控制体系

JB/T 5000.15 重型机械通用技术条件 第15部分：锻钢件无损探伤

JB/T 10174 钢铁零件强化喷丸的质量检验方法

3 术语和定义

GB/T 7232、GB/T 8121、GB/T 13324 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

重载齿轮 heavy load gear

传递功率大、承载大、低速、受冲击载荷大的齿轮。

注：重载齿轮主要是矿山、冶金、建材、起重运输、矿用汽车、轨道交通、风电、航天、军用装备等领域的主机配套齿轮和通用减速器中的齿轮。

4 渗碳重载齿轮材料和要求

4.1 常用材料和分类

渗碳重载齿轮常用材料和分类见表 1。

表1 渗碳重载齿轮常用材料和分类

分类依据	种类	常用钢材牌号
按承载能力	一般承载能力用渗碳钢	20CrMnTi、20CrMnMo、20CrNiMo、12CrNi2、12CrNi3、20CrNi2Mo、17Cr2Ni2Mo 等
	高承载能力用渗碳钢	20Ni4Mo、20Cr2Ni4、12Cr2Ni4、18Cr2Ni4W 等
按淬透性	中淬透性渗碳钢 (油淬临界直径 $\phi 20\text{ mm} \sim \phi 50\text{ mm}$)	20CrMnTi、20CrMnMo、20CrNiMo、12CrNi2、12CrNi3、12Cr2Ni4、20CrNi2Mo、17Cr2Ni2Mo (17CrNiMo6、18CrNiMo7-6) 等
	高淬透性渗碳钢 (油淬临界直径 $\phi 50\text{ mm} \sim \phi 100\text{ mm}$)	20Ni4Mo、20Cr2Ni4、18Cr2Ni4W 等

4.2 原材料质量

4.2.1 齿轮用钢应具有钢厂提供的质量证明书，并按规定进行抽检和复核。

4.2.2 材料的化学成分、力学性能及表面质量应不低于 GB/T 3077 和 GB/T 5216 的要求。

4.2.3 材料的一般疏松、中心疏松及偏析等低倍缺陷应按照 GB/T 13299 和 GB/T 1979 的规定进行检验。

4.2.4 材料的奥氏体晶粒度应为 5 级以上。晶粒度按 GB/T 6394 的规定进行检验。

4.2.5 钢材的淬透性带宽应不大于 6 HRC。有特殊要求时，距端淬试样末端一定距离的硬度范围由用户与钢厂协商确定。

4.2.6 对可靠度要求高的重载齿轮，需保证材料的纯净度，应采用真空二次精炼或电渣重熔的方法冶炼钢材。钢材的含氧量应控制在 $\leq 0.002\%$ （质量分数），含氢量应控制在 $\leq 0.0002\%$ （质量分数），钢材中的非金属夹杂物的测试方法应符合 GB/T 10561 的规定，其类别要求应符合表 2 的规定。当有特殊要求时，按供需双方协议规定。

表2 非金属夹杂物类别要求

类别	A	B	C	D
细系	≤ 3.0	≤ 2.5	≤ 1.0	≤ 1.5
粗系	≤ 2.0	≤ 1.5	≤ 1.0	≤ 1.0

4.2.7 带状组织按 GB/T 13299 的规定检验, Cr-Mo、Cr-Ni-Mo 钢应 ≤ 3 级, 其他钢种应 ≤ 2 级。

4.3 锻件质量

4.3.1 用钢锭锻造时, 其锻造比一般不小于 3。

4.3.2 大型齿轮锻件热处理时应防止开裂, 必要时应进行正火或正火+回火, 以改善组织和机械加工性能。可根据锻件的材料牌号选择正火+回火或调质热处理工艺。

4.3.3 由钢锭直接锻成的大型重载齿轮锻坯, 尤其是高 Cr、Ni、Mo 合金钢制作的锻坯, 应进行预防白点退火以消除白点和氢脆。

4.3.4 锻件应根据技术要求按 JB/T 5000.15 的规定进行无损检测, 其力学性能应符合 GB/T 17107 的要求。

4.4 预备热处理

渗碳的齿坯应进行预备热处理, 如正火、调质等。对畸变控制要求较高的齿轮应首选调质, 调质后钢的组织是回火索氏体, 其渗碳体呈球粒状, 组织均匀细密。

4.5 待处理工件

4.5.1 待处理工件的外表面不应有氧化皮、锈斑、油垢、污渍、碰伤、裂纹。待处理工件应根据技术要求按 GB/T 15822.1 的规定无损检测。待处理工件的表面粗糙度应符合技术要求。待处理工件应进行倒角和倒棱处理。

4.5.2 根据待处理工件的钢号(或化学成分)和预先热处理情况以及质量要求、防渗部位和防渗措施等制定工艺规范。

5 设备技术要求

5.1 渗碳炉

5.1.1 炉体基本要求

5.1.1.1 渗碳炉应具有良好的密封, 保持炉压稳定。

5.1.1.2 渗碳炉应配置超温联锁保护、安全温度与渗碳气氛供给的联锁控制装置、废气燃烧联锁控制与排放装置等, 确保设备安全可靠运行。应配备循环风机及炉气循环装置以满足渗碳工艺中炉温和气氛均匀性的要求。

5.1.1.3 渗碳炉应配有定碳装置、试样装置和供红外分析仪取气分析的接口。

5.1.2 温度控制

5.1.2.1 仪表系统类型及系统准确度要求和校验周期应符合 GB/T 32541 的规定。

5.1.2.2 炉温均匀性应按 GB/T 9452 的规定进行测定, 要求炉温均匀性不超出 $\pm 8^{\circ}\text{C}$ 。

5.1.3 气氛控制

5.1.3.1 渗碳气氛推荐使用滴注式气氛、吸热式气氛或氮气+甲醇气氛。使用氮气+甲醇气氛时, 应采取措施确保氮气和甲醇的流量比例稳定。

5.1.3.2 对于渗碳气氛碳势控制, 应配备主控和监控系统。主控使用氧探头, 监控使用氧探头或 CO_2 红外分析仪。

5.1.3.3 碳势控制精度不超出 $\pm 0.05\% \text{C}$ (质量分数)。

5.2 缓冷装置

5.2.1 缓冷设备必要时可配备可通入的保护气氛或介质的流量控制装置，以防止工件在缓冷过程中的氧化、脱碳。

5.2.2 缓冷设备必要时可配备能调节缓冷速度的降温装置。

5.3 淬火装置

5.3.1 淬火装置应配有淬火冷却介质的搅拌、加热和冷却系统。

5.3.2 淬火装置的温度应能调节和控制，并应配有超温报警装置。

5.3.3 淬火装置应配有防爆、灭火、排烟、液位监控等安全设施。

5.4 回火炉

5.4.1 回火炉应配备炉气循环装置，高温回火炉还应配备保护气氛装置。

5.4.2 仪表系统类型及系统准确度要求和校验周期应符合 GB/T 32541 的规定。

5.4.3 炉温均匀性应按 GB/T 9452 的规定进行测定，要求炉温均匀性不超出 $\pm 8^{\circ}\text{C}$ 。

5.5 清洗机及辅助设备

5.5.1 清洗机及所有辅助设备应能满足工艺及安全使用的需要。

5.5.2 清洗过程中产生的废气、废液的排放和处理应符合 GB 15735 和 GB/T 32529 的规定。

6 试样

6.1 试样分类及材料要求

6.1.1 试样分为随炉试样和过程试样。

6.1.2 对于一般要求的齿轮，试样的材料应符合以下要求：

- a) 试样材料应与齿轮是同一牌号的材料；
- b) 试样材料的化学成分和淬透性应与齿轮相同；
- c) 试样渗碳前应具有与齿轮相同的预备热处理状态。

6.1.3 对于要求严格的齿轮，试样材料应与齿轮是同一炉号的材料，试样渗碳前应具有和齿轮相同的预备热处理状态。

6.1.4 加工试样时应保证其表面粗糙度与齿轮相同。

6.2 随炉试样

随炉试样是作为检验渗碳淬火后质量的代表性试样，试样的形状和尺寸应能代表齿轮渗碳淬火后的实际情况。随炉试样可采用齿形试样或圆棒试样，推荐采用齿形试样。

6.2.1 齿形试样

齿形试样应至少含有 3 个轮齿，齿根以下截面厚度大于或等于齿根圆齿厚的 1/2，或根据齿轮的模数选取，一般应大于 10 mm，齿宽为齿根圆齿厚的 2 倍~3 倍，如图 1 所示。

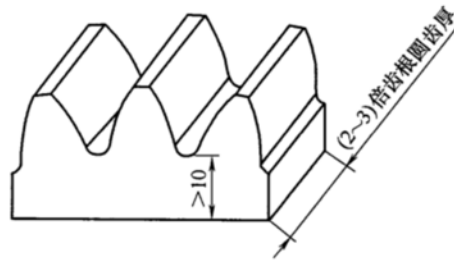


图1 齿形试样

6.2.2 圆棒试样

不同模数重载齿轮的渗碳层、心部硬度及心部组织检验的圆棒试样尺寸应符合以下规定：

——圆棒试样推荐尺寸为：

- 最小直径： $6m_n$ ；
- 最小长度： $12m_n$ 。

——经用户同意，可采用小型试样：

- 最小直径： $3m_n$ ；
- 最小长度： $6m_n$ 。

注： m_n 为齿轮的模数。

6.3 过程试样

过程试样可采用圆棒试样，不同模数重载齿轮的过程圆棒试样尺寸可根据渗碳炉试样孔的大小选择。

7 渗碳工艺

7.1 渗碳淬火

7.1.1 渗碳应根据渗碳件材料和技术要求选择合适的工艺。常用工艺推荐使用渗碳后重新加热淬火。

7.1.2 对于渗碳后需机械加工或由于钢材特性渗碳后需预冷以及需经1~2次高温回火或球化退火的齿轮，应进行重新加热淬火。

7.1.3 对于12CrNi3A、20Cr2Ni4A、18Cr2Ni4WA、20Ni4MoA等高合金渗碳钢制作的重载齿轮，因合金含量高，尤其是Ni含量高，为了减少渗碳层中残留奥氏体的含量，在渗碳空冷后，应在 $650^{\circ}\text{C}\sim 680^{\circ}\text{C}$ 进行1~2次高温回火，每次保温3h~8h，然后进行重新加热淬火($780^{\circ}\text{C}\sim 800^{\circ}\text{C}$)和低温回火(160°C)。

7.1.4 渗碳温度根据工件材料、硬化层深度确定，一般在 $890^{\circ}\text{C}\sim 950^{\circ}\text{C}$ 范围内选择。

7.1.5 渗碳时的碳势控制应避免形成粗大或网状、块状碳化物。

7.2 缓冷

7.2.1 缓冷速度应进行适当的控制，以防止缓冷时形成网状碳化物。

7.2.2 工件应缓冷到不低于 350°C ，并及时进行加热淬火或高温回火处理。

7.3 回火

7.3.1 高温回火温度一般为 $600^{\circ}\text{C}\sim 700^{\circ}\text{C}$ ，保温时间参照GB/T 16924的规定。

7.3.2 淬火后应及时进行低温回火，低温回火温度根据工件的最终硬度要求确定，一般为 $160^{\circ}\text{C}\sim 220^{\circ}\text{C}$ ，保温时间参照GB/T 16924的规定。

7.3.3 对于要求高的重载齿轮，磨齿后（或粗精磨齿之间）可再进行一次低温回火。

7.4 强化喷丸

为了改善齿根表面的应力状态，同时把齿根表面在热处理过程中形成的不良组织和应力状态对性能的影响降低到最小程度，渗碳齿轮在淬火和低温回火后应对齿根部位进行强化喷丸。重载齿轮强化喷丸的质量检验方法应符合 JB/T 10174 的规定。

8 渗碳齿轮的技术要求

8.1 表面硬度

渗碳齿轮的表面硬度根据产品技术要求应符合表 3 的规定。渗碳淬火后齿轮的表面硬度不均匀性应符合表 4 的规定。

表3 渗碳齿轮的表面硬度

洛氏硬度试验法 HRC	维氏硬度试验法（表面硬度对照） HV1	肖氏硬度试验法 HS
54~58	580~675	69~75
56~60	610~730	74~83
58~62	675~765	79~84

表4 表面硬度不均匀性允许偏差

工件类别	硬度不均匀性允许偏差		
	洛氏硬度试验法 HRC	维氏硬度试验法 HV1	肖氏硬度试验法 HS
重要件	3	75	5
一般件	4	102	6

8.2 心部硬度

渗碳齿轮的心部硬度应不低于 25 HRC，对于重要齿轮一般为 30 HRC~5 HRC。渗碳齿轮心部硬度的检验一般在随炉试样上进行，有特殊要求时，可通过解剖工件进行。

8.3 有效硬化层深度

8.3.1 有效硬化层深度的测量方法应符合 GB/T 9450 的规定，硬化层深度偏差应不大于 10%。有效硬化层深度的测量推荐采用齿形试样。

8.3.2 渗碳淬火齿轮成品的有效硬化层深度应符合设计要求，可参照附录 A。

8.3.3 齿根部位的有效硬化层深度应不小于节圆处的 50%。

8.4 表面碳含量

表面碳含量可按剥层法或光谱法检测，齿表面碳的质量分数一般应控制在 0.7%~1.0% 范围内。当要求韧性较好时，取下限；当要求耐磨性较好时，取上限。

8.5 金相组织

渗碳层的金相组织应按 GB/T 25744 的规定进行检验并评级，其结果应符合表 5 的要求。

表5 金相组织的级别要求

工件类别	马氏体级别	残留奥氏体级别	碳化物级别	心部组织级别
重要件	≤3级	≤3级	≤2级	≤3级
一般件	≤4级	≤4级	≤3级	≤4级

8.6 表层晶界内氧化深度

渗碳齿轮表层晶界内氧化的允许深度与渗层深度有关，允许深度应符合表6的规定。

表6 渗碳齿轮表层晶界内氧化的允许深度

渗层深度 e^a mm	晶界内氧化的允许深度 b μm	
	一般件	重要件
$e \leq 0.75$	17	12
$0.75 < e \leq 1.50$	25	20
$1.50 < e \leq 2.25$	38	20
$2.25 < e \leq 3.0$	50	25
$e > 3.0$	60	30

^a 渗层深度为设计层深。
^b 若超差，可与用户协调采用控制喷丸或其他合适的措施进行补救。

9 质量检验

9.1 表面硬度

表面硬度应按 GB/T 230.1、GB/T 4340.1、GB/T 4341.1 和 GB/T 17394.1 规定的方法进行检验。局部渗碳时，硬度检验部位不应在渗碳与未渗碳部位的交界处。

9.2 心部硬度

心部硬度的检验部位如图2所示。

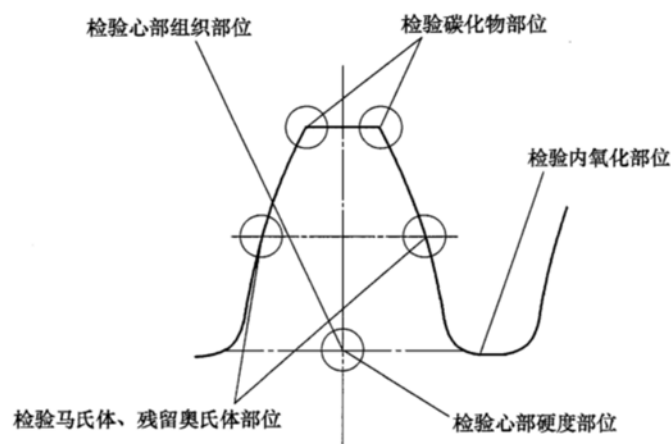


图2 金相组织及心部硬度检验部位

9.3 金相组织

9.3.1 渗碳齿轮经淬火回火后的金相组织检验部位如图 2 所示。

9.3.2 金相组织检验项目及检验方法应符合 GB/T 25744 的规定，检验项目及部位见表 7。

表7 金相组织检验项目及部位

序号	检验项目	检验部位
1	马氏体	在距表面 0.05 mm~0.15 mm 处进行检验，齿形试样应在齿宽中部节圆部位的法向截面进行检验
2	残留奥氏体	
3	碳化物	齿角
4	表层晶界内氧化深度	齿轮的齿根表层
5	心部组织	当采用圆棒试样时，在试样横截面中心处检验；当采用齿形试样时，应在齿宽中部法向截面轮齿中心线与齿根圆相交处检验

9.4 有效硬化层深度

有效硬化层深度是指齿轮经所有热处理工序后于齿宽中部法向截面上，在节圆处沿垂直于齿面方向从表面至 550 HV1 硬度处的距离。

9.5 表面碳含量

表面碳含量是指从渗碳齿轮表面到 0.15 mm 深度处的碳含量。

9.6 畸变

淬火回火后，可用特定量具测量工件畸变情况，测量内容可根据工件技术要求确定。畸变量（可为校正后畸变量）应控制在技术要求的范围内。

10 能源消耗要求

重载齿轮渗碳热处理过程的能源消耗应符合 GB/T 17358 和 GB/T 19944 的规定。

11 安全卫生与环境保护要求

重载齿轮渗碳热处理过程的安全卫生要求应符合 GB 15735 的规定。环境保护要求应符合 GB/T 30822 的规定。

12 产品报告单

12.1 根据要求可按每批或每炉开具报告单。

12.2 报告单应包括但不限于下列内容：

- a) 工件的名称和图号；
- b) 产品的技术要求；
- c) 工件材料牌号；
- d) 单件重量及数量；

- e) 质量检验结果;
- f) 操作者的姓名或代号;
- g) 质量检验员的姓名或代号;
- h) 报告日期。

附录 A
(资料性附录)
渗碳齿轮有效硬化层深度推荐值

不同模数齿轮渗碳后的有效硬化层深度推荐值见表 A.1。

表A.1 渗碳齿轮有效硬化层深度推荐值

单位为毫米

模数	渗碳齿轮有效硬化层深度	模数	渗碳齿轮有效硬化层深度
3	0.65~1.00	14	2.60~3.50
4	0.75~1.30	16	3.00~3.90
5	1.00~1.50	18	3.00~3.90
6	1.30~1.80	20	3.60~4.50
7	1.50~2.00	22	3.70~4.60
8	1.80~2.30	25	4.00~5.00
9	1.80~2.30	28	4.00~5.00
10	2.00~2.60	32	4.00~5.00
11	2.00~2.60	≥32	5.00~6.00
12	2.30~3.20		

注：有效硬化层深度的硬度界限值为 550 HV1。