



中华人民共和国国家标准

GB/T 39430—2020

高可靠性齿轮毛坯技术要求

Specifications for the blanks of high reliability gears

2020-11-19 发布

2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 毛坯分类 1

 3.1 按零件工况分类 1

 3.2 按材料特性分类 1

 3.3 按应用领域分类 2

4 技术要求 2

 4.1 原材料 2

 4.2 化学成分 2

 4.3 锻造 3

 4.4 交货状态 4

 4.5 力学性能 4

 4.6 低倍组织 5

 4.7 断口 8

 4.8 高倍组织 8

 4.9 淬透性 8

 4.10 超声波探伤 10

 4.11 形状与尺寸 10

 4.12 外观 10

 4.13 标记 10

 4.14 其他 11

5 生产过程控制与产品检验 11

 5.1 过程控制 11

 5.2 质量一致性要求 11

 5.3 检验方法 13

参考文献 14

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国齿轮标准化技术委员会(SAC/TC 52)提出并归口。

本标准起草单位:郑州机械研究所有限公司、贵州安大航空锻造有限责任公司、韶关市中机重工股份有限公司、北京机电研究所有限公司、郑州江宇机械有限公司、中国航发中传机械有限公司、郑州中机轨道交通装备科技有限公司、江苏中工高端装备研究院有限公司、郑州高端装备与信息产业技术研究院有限公司、河南济源钢铁(集团)有限公司、中机智能装备创新研究院(宁波)有限公司、钢研纳克检测技术股份有限公司、河南省特殊钢材料研究院有限公司。

本标准主要起草人:王伟、王志刚、吕明柯、李海霞、张坤、杨亚平、金红、陈超、王盈颖、陆军、李华文、王斌、李宝奎、王爱香、王长路、龙伟民、张元国、杨春、曹立国、赵家栋、张清朗、卢金生、付雪川、王维、吕鹏昊、管洪杰、范瑞丽、白瑞娟、陈祖祥、安若维、刘百宣、刘佳成。



高可靠性齿轮毛坯技术要求

1 范围

本标准规定了高可靠性齿轮毛坯的分类、化学成分配比、冶炼、锻造的技术要求及其过程控制与检验规范。

本标准适用于航空航天、轨道交通、海洋装备、风电、核电、冶金、石化、矿山、工业机器人等重要的传动领域中齿轮的轧制或锻造毛坯,毛坯外径一般不大于 1 200 mm,单件质量不大于 3 t。其他有高可靠性要求的齿轮毛坯也可参考使用。

本标准不建议用于一般工业、医疗、汽车等领域。

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 222 钢的成品化学成分允许偏差
- GB/T 223(所有部分) 钢铁及合金化学分析方法
- GB/T 225 钢 淬透性的末端淬火试验方法(Jominy 试验)
- GB/T 226 钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法
- GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第 1 部分:室温试验方法
- GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
- GB/T 231.1 金属材料 布氏硬度试验 第 1 部分:试验方法
- GB/T 1814 钢材断口检验法
- GB/T 1979 结构钢低倍组织缺陷评级图
- GB/T 3480.5 直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第 5 部分:材料的强度和质量
- GB/T 4162 锻轧钢棒超声检测方法
- GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法
- 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 12363 锻件功能分类
- JB/T 5000.15 重型机械通用技术条件 第 15 部分:锻钢件无损检测

3 毛坯分类

3.1 按零件工况分类

3.1.1 根据零件的工作条件、重要程度的不同分为两类,按照 GB/T 12363 的规定以 I、II 表示,I 类的重要性高于 II 类。

3.1.2 齿轮毛坯类别应在订货图样或相关技术文件中标注。未注明时默认为 II 类。

3.2 按材料特性分类

3.2.1 根据材料的接触疲劳极限 $\sigma_{H\lim}$ 和弯曲疲劳极限 $\sigma_{F\lim}$ 分两个级别,按照 GB/T 3480.5 的规定以

ME、MQ 表示,ME 级的质量优于 MQ 级。

3.2.2 齿轮毛坯类别应在订货图样或相关技术文件中标注。未注明时默认为 MQ 级。

3.3 按应用领域分类

3.3.1 本标准中根据零件的应用领域把毛坯分为航空(含航天)齿轮和工业齿轮两类。部分牌号的钢材在航空和工业领域都有应用。

3.3.2 本标准中航空齿轮以小型零件、定制化批量生产为主,毛坯直接截自轧制棒材或锻造棒材。

3.3.3 本标准中工业齿轮以中小型零件为主,毛坯多截自模注钢锭、电渣重熔钢锭或连铸钢坯,再以自由锻、模锻等方式成形。

4 技术要求

4.1 原材料

4.1.1 部分航空齿轮毛坯用原材料(以下简称“原材”)的冶炼方法应符合表 1 的规定。

表 1 部分航空齿轮用原材冶炼方法

| 序号 | 用途 | 材料牌号 | 冶炼方法 | | |
|-----------------|----------|---------------|-------------------|-----------------|----------------|
| | | | 电弧炉+炉外精炼+ 电渣重熔 | 非真空感应炉+ 电渣重熔 | 真空感应炉+ 真空自耗 |
| 1 | 航空 齿轮 | 12CrNi3 | √ | × | × |
| 2 | | 12Cr2Ni4 | √ | × | × |
| 3 | | 14CrMnSiNi2Mo | √ | √ | × |
| 4 | | 18Cr2Ni4W | √ | × | × |
| 5 | | 38CrMoAl | × | × | √ |
| 6 | | 9310 | × | × | √ |
| 注：√——采用；×——不采用。 | | | | | |

4.1.2 工业齿轮用途毛坯原材的冶炼方法推荐采用“电弧炉(或转炉)+炉外精炼+真空脱气”工艺。是否采用电渣重熔工艺或有其他特殊冶炼要求,可由供需双方协定。

4.1.3 原材冶炼时应有防氧化措施。未经需方许可,冶炼过程中不应加钙。

4.1.4 原材冶炼后应满足气体含量、化学成分等要求。部分齿轮钢材的牌号见表 2。其中:

- 航空齿轮用 9310 钢气体含量(质量分数):氧 $\leq 0.001\ 5\%$ 、氮 $\leq 0.002\ 5\%$;
- 航空齿轮用 9310 钢硼含量(质量分数) $\leq 0.001\ 0\%$;
- 工业齿轮用钢的气体含量(质量分数):氢 $\leq 0.000\ 2\%$ 、氧 $\leq 0.002\ 0\%$ 、氮 $\leq 0.009\ 0\%$;
- 工业齿轮用渗碳钢的铝氮比(质量比):铝/氮 $= 2.5\sim 4.0$ 。

4.2 化学成分

4.2.1 齿轮毛坯原材的熔炼分析应符合表 2 和表 3 的规定。

4.2.2 齿轮毛坯的成品分析应符合表 2 和表 3 的规定,允许偏差量应符合 GB/T 222 的相关规定。

表 2 化学成分表

| 序号 | 用途 | 材料牌号 | 成分 参考 文献 | 化学成分(质量分数) % | | | | | | |
|---|----|---------------|----------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|
| | | | | C | Si | Mn | Cr | Mo | Ni | 其他 |
| 1 | 和 | 12CrNi3 | [1] | 0.10~0.16 | 0.17~0.37 | 0.30~0.60 | 0.60~0.90 | ≤0.15 | 2.75~3.25 | — |
| 2 | 和 | 12Cr2Ni4 | [1] | 0.10~0.15 | 0.17~0.37 | 0.30~0.60 | 1.25~1.75 | ≤0.15 | 3.25~3.75 | — |
| 3 | 航 | 14CrMnSiNi2Mo | [1] | 0.11~0.17 | 0.35~0.65 | 0.65~0.95 | 1.20~1.60 | 0.20~0.40 | 1.40~2.00 | — |
| 4 | 工 | 17CrNiMo6 | [9] | 0.15~0.20 | ≤0.40 | 0.40~0.60 | 1.50~1.80 | 0.25~0.35 | 1.40~1.70 | — |
| 5 | 工 | 18CrNiMo7-6 | [8] | 0.15~0.21 | ≤0.40 | 0.50~0.90 | 1.50~1.80 | 0.25~0.35 | 1.40~1.70 | — |
| 6 | 和 | 18Cr2Ni4W | [1] | 0.13~0.19 | 0.17~0.37 | 0.25~0.55 | 1.35~1.65 | ≤0.15 | 4.00~4.50 | W 0.80~1.20 |
| 7 | 工 | 20CrMnMo | [2] | 0.17~0.23 | 0.17~0.37 | 0.90~1.20 | 1.10~1.40 | 0.20~0.30 | ≤0.25 | — |
| 8 | 工 | 20CrNi2Mo | [3] | 0.19~0.23 | 0.25~0.40 | 0.55~0.70 | 0.45~0.65 | 0.20~0.30 | 1.60~2.00 | — |
| 9 | 工 | 20Cr2Ni4 | [2] | 0.17~0.23 | 0.17~0.37 | 0.30~0.60 | 1.25~1.65 | — | 3.25~3.65 | — |
| 10 | 工 | 30CrNiMo8 | [7] | 0.26~0.34 | ≤0.40 | 0.50~0.80 | 1.80~2.20 | 0.30~0.50 | 1.80~2.20 | — |
| 11 | 工 | 31CrMoV9 | [10] | 0.27~0.34 | ≤0.40 | 0.40~0.70 | 2.30~2.70 | 0.15~0.25 | ≤0.60 | V 0.10~0.20 |
| 12 | 工 | 34CrNiMo6 | [7] | 0.30~0.38 | ≤0.40 | 0.50~0.80 | 1.30~1.70 | 0.15~0.30 | 1.30~1.70 | — |
| 13 | 和 | 38CrMoAl | [1] | 0.35~0.42 | 0.17~0.37 | 0.30~0.60 | 1.35~1.65 | 0.15~0.25 | ≤0.40 | Al 0.70~1.10 |
| 14 | 工 | 40CrNiMo | [2] | 0.37~0.44 | 0.17~0.37 | 0.50~0.80 | 0.60~0.90 | 0.15~0.25 | 1.25~1.65 | — |
| 15 | 工 | 4140 | [6] | 0.38~0.43 | 0.15~0.35 | 0.75~1.00 | 0.80~1.10 | 0.15~0.25 | ≤0.25 | — |
| 16 | 工 | 42CrMo | [5] | 0.38~0.45 | 0.17~0.37 | 0.50~0.80 | 0.90~1.20 | 0.15~0.25 | ≤0.30 | — |
| 17 | 工 | 4340 | [6] | 0.38~0.43 | 0.15~0.35 | 0.60~0.80 | 0.70~0.90 | 0.20~0.30 | 1.65~2.00 | — |
| 18 | 和 | 9310 | [11] | 0.07~0.13 | 0.15~0.35 | 0.40~0.70 | 1.00~1.40 | 0.08~0.15 | 3.00~3.50 | — |
| 注 1: 航——航空齿轮;工——工业齿轮;和——航空和工业齿轮。 | | | | | | | | | | |
| 注 2: 17CrNiMo6 与 18CrNiMo7-6、40CrNiMo 与 4340、42CrMo 与 4140 成分相似,标准来源不同。 | | | | | | | | | | |

表 3 硫、磷及残余元素含量(质量分数) %

| 元素 | P | S | Cu | W | V | Ti |
|---|-------|-------|------|------|------|------|
| 含量≤ | 0.025 | 0.025 | 0.25 | 0.20 | 0.05 | 0.03 |
| 对于电渣重熔冶炼方式,S 的含量不大于 0.005%,Cu 的含量不大于 0.10%,Pb、Sn、Sb、Bi、As 五害元素含量之和 不大于 0.040%。 | | | | | | |

4.3 锻造

- 4.3.1 航空齿轮用途毛坯原材料应满足订货要求。
- 4.3.2 工业齿轮用途毛坯原材料应符合以下要求：

- a) 齿轮毛坯采用普通钢锭或电渣钢锭锻造时：
 ——对于尺寸较大的锻件应在有足够能力的锻压机上锻造成形，以确保变形渗透和组织均匀；
 ——锻造时，普通钢锭应切除冒口(占总质量)≥14%，切除水口(占总质量)≥6%；电渣钢锭应切除冒口(占总质量)≥8%，切除底垫(占总质量)≥4%；
 ——至少采用两镦两拔变形方式；
 ——锻造比取值对于模铸钢锭或电渣钢锭≥4：1，对于连铸钢坯≥6：1（计算锻造比时只应按照同一方向、同一变形方式累加）。
- b) 齿轴毛坯不宜采用连铸坯锻造。
- c) 齿轮毛坯不应经过补焊。

4.4 交货状态

4.4.1 齿轮毛坯锻后热处理制度和硬度要求见表4。交货状态应在产品图样或专用技术文件中注明。当需要以其他热处理状态供货时，可由供需双方协定。

4.4.2 齿轮毛坯一般应经过表面喷砂或粗加工后供货。当有其他要求时，可由供需双方协定。

表4 齿轮毛坯推荐的供货状态及热处理制度

| 序号 | 材料牌号 | 供货状态 | 热处理制度 | 布氏硬度值 HBW |
|----|---------------|----------|-------------------------|--------------|
| 1 | 12CrNi3 | 正火或正火+回火 | 880℃~900℃空冷,650℃~680℃空冷 | 143~229 |
| 2 | 12Cr2Ni4 | 正火或正火+回火 | 880℃~900℃空冷,650℃~680℃空冷 | 163~255 |
| 3 | 14CrMnSiNi2Mo | 正火或正火+回火 | 880℃~900℃空冷,650℃~680℃空冷 | ≤255 |
| 4 | 17CrNiMo6 | 正火+回火 | 930℃~960℃空冷,650℃~680℃空冷 | 179~229 |
| 5 | 18CrNiMo7-6 | 正火+回火 | 930℃~960℃空冷,650℃~680℃空冷 | 179~229 |
| 6 | 18Cr2Ni4W | 正火+回火 | 930℃~960℃空冷,650℃~680℃空冷 | 197~269 |
| 7 | 20CrMnMo | 正火+回火 | 880℃~930℃空冷,650℃~680℃空冷 | ≤229 |
| 8 | 20CrNi2Mo | 正火+回火 | 930℃~960℃空冷,650℃~680℃空冷 | ≤229 |
| 9 | 20Cr2Ni4 | 正火+回火 | 930℃~960℃空冷,650℃~680℃空冷 | ≤269 |
| 10 | 30CrNiMo8 | 退火 | 850℃炉冷 | ≤248 |
| 11 | 31CrMoV9 | 正火+回火 | 910℃~940℃空冷,650℃~680℃空冷 | ≤226 |
| 12 | 34CrNiMo6 | 正火+回火 | 880℃~920℃空冷,650℃~670℃空冷 | ≤248 |
| 13 | 38CrMoAl | 正火+回火 | 880℃~920℃空冷,650℃~680℃空冷 | 156~229 |
| 14 | 40CrNiMo | 正火+回火 | 880℃~920℃空冷,670℃~700℃空冷 | ≤269 |
| 15 | 4140 | 正火+回火 | 850℃~900℃空冷,650℃~700℃空冷 | ≤217 |
| 16 | 42CrMo | 正火+回火 | 850℃~900℃空冷,650℃~700℃空冷 | ≤217 |
| 17 | 4340 | 正火+回火 | 880℃~920℃空冷,650℃~700℃空冷 | ≤269 |
| 18 | 9310 | 正火+回火 | 940℃空冷,620℃空冷 | 225~266 |

4.5 力学性能

4.5.1 取样方向

齿轮毛坯本体取样方向应符合下列要求：

- a) 沿齿轮毛坯锻造主变形方向取样时，试样的热处理制度和力学性能应符合表 5 的规定；
- b) 沿齿轮毛坯锻造主变形方向的横向或切向取样时，试样的力学性能对比主变形方向的降低率应符合表 6 的规定。

4.5.2 取样位置

齿轮毛坯本体取样位置应符合下列要求：

- a) 航空齿轮：
 - 对于 I 类毛坯，每个验收批次应抽检一件本体取样，同时在每件毛坯的专用试料上取样；
 - 对于 II 类毛坯，每个验收批次应抽检一件本体取样；
 - 当毛坯直径太小无法取样时，可在同批锻造的专用试棒上进行取样；
 - 当毛坯直径较大时，取样位置应尽量贴近齿部。
- b) 工业齿轮：
 - 取样位置应尽量贴近齿部；
 - 对于实心轴类毛坯，应在轴向加长部位、距表面 $1/3$ 半径处取样。
 - 对于空心轴类毛坯，应在轴向加长部位、于 $1/2$ 壁厚处取样。
 - 对于圆盘类毛坯，应在轴端加长部位取样。当毛坯直径不大于 350 mm 时，在外缘取样；当毛坯直径大于 350 mm 时，从距外圆表面不小于 35 mm 处向里取样。
 - 对于环形毛坯，当在外径加大部位取样时，试样应取在加大部位 $1/2$ 高度处；当在加长部位取样时，试样应取在 $1/2$ 壁厚处。

4.5.3 其他要求

- 4.5.3.1 当采用锻造试样做力学性能测试时，应符合表 5 的规定。
- 4.5.3.2 当齿轮毛坯本体上没有适当的取样方向和取样位置时，或当对试样的检测与结果有特殊要求时，供需双方可协定。

4.6 低倍组织



- 4.6.1 齿轮毛坯的横截面酸浸试片上不应有肉眼可见的缩孔、气泡、空洞、翻皮、裂纹、白点、夹杂、点状偏析等缺陷。
- 4.6.2 工业齿轮毛坯的低倍组织要求应符合表 7 的规定，级别判定依据见 GB/T 1979。
- 4.6.3 航空齿轮毛坯的低倍组织应限制树枝状结晶残余，允许级别由需方按照表 8 选定。一般情况下：
 - 9310 钢低倍组织树枝晶残余应达到 2 级或 1 级；
 - 12Cr2Ni4 钢低倍组织不应存在波纹偏析。
- 4.6.4 低倍组织有特殊要求时，可由供需双方协定。

表 5 沿齿轮毛坯主变形方向取样时的力学性能要求

| 序 号 | 材料牌号 | 热处理制度 | | | | 力学性能 ≥ | | | | | | 热处理试 样尺寸 ^a | |
|--------|---------------|---------|---------|-------|-----------|-----------|----------------|-------------------|----|----|-----------------|--------------------------|-----------|
| | | 淬火 | | 冷却介质 | 回火 | | R _m | R _{p0.2} | A | Z | KV ₂ | | |
| | | | | | | | | | | | | | 加热温度 ℃ |
| | | 第 1 次淬火 | 第 2 次淬火 | 冷却介质 | 加热温度 ℃ | 冷却介质 | | | | | | | |
| 1 | 12CrNi3 | 860 | 780 | 油 | 200 | 水、空气 | 930 | 685 | 11 | 50 | 71 | — | 15 |
| 2 | 12Cr2Ni4 | 860 | 780 | 油 | 200 | 水、空气 | 1 080 | 835 | 10 | 50 | 71 | — | 15 |
| 3 | 14CrMnSiNi2Mo | 860 | — | 油 | 200 | 空气 | 1 080 | 885 | 12 | 55 | 78 | — | 15 |
| 4 | 17CrNiMo6 | 860 | 820 | 油或淬火液 | 180~200 | 空气 | 1 180 | 980 | 12 | 55 | 60 | — | 25 |
| 5 | 18CrNiMo7-6 | 860 | 820 | 油或淬火液 | 180~200 | 空气 | 1 180 | 980 | 12 | 55 | 60 | — | 25 |
| 6 | 18Cr2Ni4W | 950 | 850 | 空气 | 200 | 水、空气 | 1 180 | 835 | 10 | 45 | 78 | — | 15 |
| 7 | 20CrMnMo | 850 | — | 油 | 200 | 水、空气 | 1 180 | 885 | 10 | 45 | 55 | — | 15 |
| 8 | 20CrNi2Mo | 900 | 820 | 油 | 200 | 空气 | 1 210 | 1 100 | 12 | 45 | 60 | — | 20 |
| 9 | 20Cr2Ni4 | 880 | 780 | 油 | 200 | 水、空气 | 1 180 | 1 080 | 10 | 45 | 63 | — | 15 |
| 10 | 30CrNiMo8 | 860 | — | 油 | 530 | 油 | 1 250 | 1 050 | 9 | 40 | — | 30 | 25 |
| 11 | 31CrMoV9 | 860 | — | 油 | 540 | 油 | 1 100 | 900 | 9 | 45 | — | 25 | 25 |
| 12 | 34CrNiMo6 | 830 | — | 油 | 540 | 水、油 | 1 100 | 900 | 10 | 45 | — | 45 | 25 |
| 13 | 38CrMoAl | 930 | — | 油 | 600 | 水、油 | 980 | 835 | 14 | 50 | 70 | — | 30 |
| 14 | 40CrNiMo | 850 | — | 油 | 600 | 水、油 | 980 | 835 | 12 | 55 | 78 | — | 25 |
| 15 | 4140 | 850 | — | 油或淬火液 | 560 | 水、油 | 1 080 | 930 | 12 | 45 | 63 | — | 25 |
| 16 | 42CrMo | 850 | — | 油或淬火液 | 560 | 水、油 | 1 080 | 930 | 12 | 45 | 63 | — | 25 |
| 17 | 4340 | 890 | 850 | 油 | 600 | 空气水 | 1 050 | 930 | 12 | 45 | 48 | — | 25 |
| 18 | 9310 | 940 | — | 空气 | 550~600 | 空气 | 1 100~1 296 | 940 | 15 | 59 | — | — | 16 |

^a 毛坯截面小于热处理试样尺寸时,可取毛坯的实际截面尺寸。

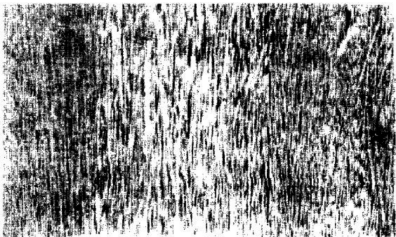
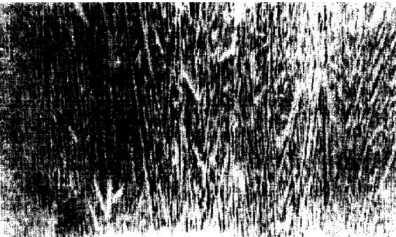
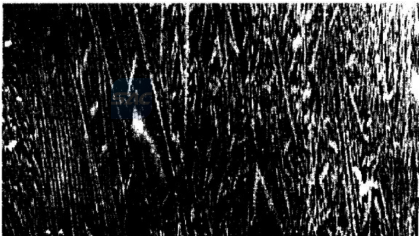
表 6 对比主变形方向,沿齿轮毛坯其他方向取样时的力学性能允许降低率

| 力学性能 | 按切向取样时 | 按横向取样时 ^a |
|------------------------|-------------|---------------------|
| R_m | $\leq 5\%$ | $\leq 10\%$ |
| $R_{p0.2}$ | $\leq 5\%$ | $\leq 10\%$ |
| A | $\leq 25\%$ | $\leq 50\%$ |
| Z | $\leq 20\%$ | $\leq 40\%$ |
| KU_2/KV_2 | $\leq 25\%$ | $\leq 50\%$ |
| ^a 仅限航空齿轮毛坯。 | | |

表 7 工业齿轮毛坯低倍组织级别

| 分类 | 低倍组织级别 \leq | | |
|-----------|------------------|------|------|
| | 一般疏松 | 中心疏松 | 锭形偏析 |
| I 类/ME 级 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| II 类/MQ 级 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |

表 8 航空齿轮毛坯低倍组织树枝状结晶残余评级图^[4]

| 级别 | 形貌 | 主要特征 |
|----|---|--|
| 1 |  | 1) 主杆沿全断面形成方向一致的纵向纤维结构,心部有少量短小枝杆与轴线成较大夹角。 2) 纤维结构细而密实 |
| 2 |  | 1) 主杆沿全断面形成纤维结构,心部区域存在较多与轴向成不同角度的短粗二次晶轴。 2) 外层纤维结构细而致密,中心区致密度较差,有轻微疏松 |
| 3 |  | 1) 主杆沿全断面纤维结构已形成,边部主杆粗长,中间区域晶轴粗短,呈不同角度明显存在。 2) 纤维结构致密度差,疏松较明显 |

4.7 断口

4.7.1 冲击断口上不应有缩孔、气泡、裂纹、白点、肉眼可见的夹杂及夹渣、异金属夹杂及层状断口等冶金缺陷。

4.7.2 落锤试验断口上不应有蔡状断口、石状断口。

4.8 高倍组织

4.8.1 齿轮毛坯的晶粒度应达到 GB/T 6394 中的 6 级或更细，不应有明显的混晶现象存在。

4.8.2 齿轮毛坯应进行非金属夹杂物的检验，按照 GB/T 10561 中的 A 法进行评定，试样取自低倍片。非金属夹杂物级别应符合表 9 的规定。

表 9 非金属夹杂物评级

| 毛坯种类 | A 类 ≤ | | B 类 ≤ | | C 类 ≤ | | D 类 ≤ | | Ds 类 ≤ |
|----------------------|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|-----------|
| | 细系 | 粗系 | 细系 | 粗系 | 细系 | 粗系 | 细系 | 粗系 | |
| 航空齿轮双真空冶炼 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 航空齿轮其他冶炼 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| 工业齿轮 | 1.5 | 1.0 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.5 |
| 注：特殊情况下，合格级别由供需双方协定。 | | | | | | | | | |

4.9 淬透性

末端淬透性试验按照 GB/T 225 执行，每熔炼炉号做一个试样，末端淬透性试样加热过程中不应采用防碳保护套。部分材料试样的淬透性带宽及硬度(HRC)要求见表 10。



表 10 末端淬透性指标

| 材料 牌号 | 端淬 温度 | 距淬水端(mm)处的硬度 HRC | | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1.5 | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| 9310 | | 试样热处理制度:正火 927 ℃±6 ℃,淬火 816 ℃±6 ℃。 试样淬火硬度最大为 J1.6 mm=41 HRC,最小为 J9.5 mm=32 HRC | | | | | | | | | | | | |
| 17CrNiMo6 | 860 | 48~40 | 48~40 | 48~39 | 48~38 | 47~37 | 47~36 | 46~35 | 46~34 | 44~32 | 43~31 | 42~30 | 41~29 | 41~29 |
| 18CrNiMo7-6 | 860 | 48~40 | 48~40 | 48~39 | 48~38 | 47~37 | 47~36 | 46~35 | 46~34 | 44~32 | 43~31 | 42~30 | 41~29 | 41~29 |
| 20CrMnMo | 850 | 50~42 | 50~42 | 50~41 | 49~39 | 48~37 | 47~36 | 46~34 | 43~31 | 40~28 | 39~27 | 33~26 | — | — |
| 20CrNi2Mo | | 试样热处理制度:正火 930 ℃~950 ℃,淬火 925 ℃±5 ℃。 试样淬火硬度最大为 J1.5 mm=41~48 HRC,最小为 J9 mm=33 HRC | | | | | | | | | | | | |
| 30CrNiMo8 | 850 | 56~48 | 56~48 | 56~48 | 56~48 | 55~47 | 55~47 | 55~47 | 55~46 | 54~45 | 54~45 | 54~44 | 54~44 | 54~43 |
| 34CrNiMo6 | 860 | 58~50 | 58~50 | 58~50 | 58~50 | 57~49 | 57~48 | 57~48 | 57~48 | 57~48 | 57~48 | 57~46 | 57~45 | 57~44 |
| 40CrNiMo | 860 | 59~57 | — | 58~56 | — | — | — | 57~55 | — | 54~48 | — | 49~41 | — | 47~38 |
| 42CrMo | 845 | 60~53 | 60~53 | 60~52 | 59~51 | 58~50 | 58~48 | 57~46 | 56~43 | 55~38 | 53~35 | 51~33 | 49~33 | 47~32 |



4.10 超声波探伤

4.10.1 总则

齿轮毛坯经粗车后应进行超声波探伤检查,与探头接触的零件表面粗糙度不低于 $Ra6.3$ 。除下文中的区域定义和验收要求外,其余项目如探伤方法、缺陷类型定义、人员资质、仪器设备、探前工件处理、检测规程等均应按照 JB/T 5000.15 执行。

4.10.2 区域

齿轮毛坯的探伤区域按如下界定:

- 表层区域:从非齿部表面起向实体方向取直径或厚度的 $1/5$ (或 ≥ 60 mm)所包含的区域;
- 齿部区域:从成品齿顶圆起向实体方向取 2 倍齿高深度所包含的区域;
- 中心区域:除表层和齿部区域外的所有区域。

4.10.3 准则

齿轮毛坯被探伤时应满足以下要求:

- a) 对于航空齿轮:

应按 GB/T 4162 中的 AA 级或 A 级评定,并在订货合同中注明;
- b) 对于工业齿轮:
 - 毛坯任何部位不应有白点、裂纹、缩孔、折叠等缺陷;
 - 毛坯任何部位不应底波衰减超过 26 dB(几何形状原因除外);
 - 毛坯任何部位用 2 MHz ~ 2.5 MHz 频率探伤时,材料衰减系数应不大于 6 dB/m;
 - 对于毛坯齿部区域,扫查灵敏度设为 $\phi 1.2$ mm,不应有任何当量的可探测的连续及条状缺陷信号;
 - 对于毛坯齿部区域,单个缺陷的起始当量值设为 $\phi 1.2$ mm,最大允许值为 $\phi 2.0$ mm,介于此二值之间的单个缺陷应被记录,且数量不应超过 5 个;
 - 当毛坯齿部区域存在 $\phi 1.6$ mm 当量值以下密集分布的缺陷反射波时,则在扫查灵敏度 $\phi 1.2$ mm 的条件下,在齿部端面和外圆面进行探测,于 50 mm \times 50 mm 扫查区域内,不应存在 5 个及以上的可分辨的缺陷反射波;
 - 毛坯表层区域缺陷类型的质量验收等级按照 JB/T 5000.15 的 I 级进行评定,中心区域按 II 级评定。

4.11 形状与尺寸



齿轮毛坯的外观形状和几何尺寸应满足完整包含了多工序加工余量、充分考虑了热处理变形的零件工艺图纸要求。

4.12 外观

4.12.1 齿轮毛坯表面不应有过烧裂纹和影响材质的其他缺陷存在,发现后该工件应予报废。

4.12.2 齿轮毛坯经粗加工后,裂纹、折叠、嵌入和氧化皮等表面缺陷和多余物应全部清除。

4.13 标记

齿轮毛坯应按图样所示位置标记出如下信息(以下内容也可由供需双方协定):

- 承制方印记;

- 材料牌号(或代号)；
- 图号或代号；
- 批号或代号、熔炼炉号(电渣重熔钢锻件应标明电渣锭号)；
- 按锭节号管理时应标明锭节号；
- 锻后热处理状态应标记热处理炉次。

4.14 其他

- 在有技术依据的情况下,按需方要求,齿轮毛坯验收条件可作如下调整,并写入供货合同：
- 更高的原材成分要求；
 - 更严格的低倍组织要求；
 - 规定的显微组织和脱碳层深度；
 - 更高的力学性能；
 - 更高的表面质量和形状尺寸精度要求；
 - 更严格的无损检测要求；
 - 其他质量要求。

5 生产过程控制与产品检验

5.1 过程控制

- 5.1.1 批量齿轮毛坯在试制、转厂或主导工艺改变时,应按规定进行评审及型式试验,合格后方可投入批量生产。
- 5.1.2 批量生产中的主导工艺有改变时,供方应提出更改报告,经需方认可后方可实施。
- 5.1.3 供方应按需方要求保存齿轮毛坯质量跟踪所必需的原始记录(如产品质量记录卡片、检测或试验报告等)。

5.2 质量一致性要求

5.2.1 组批

- 5.2.1.1 批量齿轮毛坯应成批提交验收。每个验收批次应由同一图号、同一熔炼炉号、同一投产批号和同一热处理炉次的齿轮毛坯组成。
- 5.2.1.2 电渣重熔钢齿轮毛坯验收批次中的熔炼炉号,按电渣母材组批炉号确定。

5.2.2 检验项目和抽检数量

航空齿轮毛坯检验项目、抽检数量以及相应要求、检验方法应符合表 11 的规定。



表 11 航空齿轮毛坯检验项目和抽检要求^[4]

| 序号 | 齿轮毛坯检验项目和取样数量 | | | | | 要求的章条号 | 检验方法的章条号 |
|----|-------------------|---------------------|----|---------------------------------|----|--------|----------|
| | 锻件类别 | Ⅰ类 | | Ⅱ类 | | | |
| | 热处理状态 | 预备 | 最终 | 预备 | 最终 | | |
| 1 | 化学成分 ^a | 每验收批抽检 1 件或在专用余料上检验 | | 每验收批抽检 1 件或在试料 ^b 上检验 | | 4.2 | 5.3.1 |

表 11 (续)

| 序号 | 齿轮毛坯检验项目和取样数量 | | | | | 要求的章条号 | 检验方法的章条号 |
|--|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------------------|--------|----------------|
| | 锻件类别 | Ⅰ 类 | | Ⅱ 类 | | | |
| | | 热处理状态 | 预备 | 最终 | 预备 | | |
| 2 | 硬度 | 每验收批抽检 10%,但不少于 3 件 | 100 % | 每验收批抽检 10%,但不少于 3 件 | 100 % | 4.4 | 5.3.2 |
| 3 | 力学性能 | 每验收批抽检 1 件 | 每验收批抽检 1 件在本体上检验,其余 100 %在专用余料上检验 | 每验收批抽检 1 件 | 每验收批抽检 1 件或在试料 ^b 上检验 | 4.5 | 5.3.3 5.3.4 |
| 4 | 低倍组织 | 每验收批抽检 1 件 | | 每验收批抽检 1 件 | | 4.6 | 5.3.5 |
| 5 | 断口 | 每验收批抽检 1 件在本体上检验,其余 100 %在专用余料上检验 | | 按需要每验收批抽检 1 件 | | 4.7 | 5.3.6 |
| 6 | 晶粒度 | 每验收批抽检 1 件 | | 每验收批抽检 1 件 | | 4.8 | 5.3.7 |
| 7 | 非金属夹杂物 | 按需要每验收批抽检 1 件 | | | | 4.8 | 5.3.8 |
| 8 | 淬透性 | 按需要每验收批抽检 1 件 | | | | 4.9 | 5.3.9 |
| 9 | 超声波探伤 | 100 % | | | | 4.10 | 5.3.10 |
| 10 | 形状与尺寸 | 100 % | | | | 4.11 | 5.3.11 |
| 11 | 外观质量 | 100 % | | | | 4.12 | 5.3.12 |
| 12 | 锻件标记 | 100 % | | | | 4.13 | 5.3.13 |
| 注: 通常情况下,力学性能每个项目应切取两组试样。 | | | | | | | |
| ^a 供方可按原材料的分析结果报出。 | | | | | | | |
| ^b 为毛坯被剖切的一部分。与验收件同熔批、同面条件厚度、同热处理炉次,并符合取样图规定的方向。 | | | | | | | |

5.2.3 复检和判定

5.2.3.1 航空齿轮毛坯化学成分检验不合格时, 判批不合格。由自耗电极母炉号组批的电渣重熔钢锻件, 第一次试验由于原材因素造成不合格时, 按上述原则处理; 若可重复试验, 则双倍试样应取自同一电渣炉号的锻件上。重复试验的结果仍不合格时, 该电渣炉号应予报废; 其余电渣炉号的锻件, 可分别提交验收。

5.2.3.2 航空齿轮毛坯以预备热处理状态供货时, 如果硬度检验不合格, 应重复热处理或补充热处理, 然后重新提交验收; 以最终热处理状态供货时, 如果硬度检验不合格时, 判件不合格。

5.2.3.3 力学性能不合格时:

- 对于航空齿轮毛坯, 可取双倍数量的试样进行不合格项目重复试验。重复试验结果, 即使只有一根试样不合格, 应判验收批不合格。以最终热处理状态供应的齿轮毛坯, 因热处理不当造成力学性能不合格时, 应将齿轮毛坯和试样重复热处理后重新提交验收。以预备热处理状态供应的齿轮毛坯, 在本标准规定范围内调整试样热处理参数, 可不认为是重复热处理和重复试验。齿轮毛坯重复淬火次数一般不应超过两次。
- 对于工业齿轮毛坯, 如果是单件产品直接判件不合格。如果是批量产品, 可另取双倍试样重复热处理, 再做力学性能试验, 由供需双方协定。

5.2.3.4 低倍组织或断口检验不合格时,应判验收批不合格。断口和低倍试片上发现白点,应将该熔炼炉号的毛坯报废;发现石状断口,应将该验收批的毛坯报废。航空齿轮毛坯低倍流线发现穿流和严重涡流,应判验收批不合格。

5.2.3.5 高倍组织检验不合格时,判验收批不合格。

5.2.3.6 淬透性检验不合格时,判验收批不合格。

5.2.3.7 超声波探伤检验不合格时,判件不合格。

5.2.3.8 尺寸或外观质量检验不合格时,判件不合格。

5.2.3.9 标记检验不合格时,需方不应接收。

5.3 检验方法

5.3.1 化学成分分析按 GB/T 223 或供需双方协定,仲裁分析应按 GB/T 223 进行。

5.3.2 布氏硬度试验按 GB/T 231.1 进行。

5.3.3 室温拉伸试验按 GB/T 228.1 进行。

5.3.4 冲击试验按 GB/T 229 进行。

5.3.5 低倍组织及缺陷酸蚀试验按 GB/T 226 进行。

5.3.6 断口试验按 GB/T 1814 进行。

5.3.7 晶粒度测定按 GB/T 6394 进行。

5.3.8 非金属夹杂物测定按 GB/T 10561 进行。

5.3.9 末端淬透性试验按照 GB/T 225 进行。

5.3.10 超声波探伤:

——航空齿轮按照 GB/T 4162 进行;

——工业齿轮按照 JB/T 5000.15 进行。

5.3.11 形状与尺寸:

——自由锻件的外形尺寸用钢板尺、卷尺或专用工具检测;

——模锻件的外形尺寸用划线法、专用样板量具及精度不低于 0.02 mm 的卡尺检测。

5.3.12 外观质量用目视和相应的工具、量具检查。必要时,用不大于 10 倍的放大镜鉴别。

5.3.13 齿轮毛坯标记用目视进行检验。

参 考 文 献

- [1] GJB 1951—1994 航空用优质结构钢棒规范
 - [2] GB/T 3077—2015 合金结构钢
 - [3] GB/T 3203—2016 渗碳轴承钢
 - [4] GJB 5040—2001 航空用钢锻件规范
 - [5] GB/T 20410—2006 涡轮机高温螺栓用钢
 - [6] ASTM A29/A29M-16 Standard Specification for General Requirements for Steel Bars, Carbon and Alloy, Hot-Wrought
 - [7] BS EN 10083-3:2006 Steel for quenching and tempering—Part 2: Technical delivery conditions for alloys steels
 - [8] BS EN 10084:2008 Case Hardening Steels—Technical delivery conditions
 - [9] DIN 17210:1986 Case Hardening Steels—Technical delivery conditions
 - [10] EN 10085:2001 Nitriding steel—Technical delivery conditions
 - [11] SAE AMS6265N—2012 Aerospace Material Specification
-

