



团体标准

T/CEATEC XXX—2025

精密双金属带锯条热处理工艺控制与 性能评价规范

Specification for heat treatment process control and performance evaluation
of precision bimetallic band saw blades

2025-X-XX 发布

2025-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

前言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 原材料和预处理要求 4

 4.1 原材料要求 4

 4.2 预处理工艺要求 4

5 热处理工艺流程与关键参数 4

 5.1 总体工艺流程 4

 5.2 关键工序工艺参数 4

 5.3 工艺参数记录与追溯 5

6 工艺控制要求 5

 6.1 设备要求与校准 5

 6.2 过程参数监控要求 6

 6.3 表面质量与裂纹控制要求 6

 6.4 安全与环保要求 6

7 性能评价指标 7

 7.1 力学性能 7

 7.2 显微组织 7

 7.3 弯曲性能 7

 7.4 疲劳性能 7

 7.5 切削性能 8

8 评价方法 8

 8.1 力学性能试验 8

 8.2 显微组织试验 8

 8.3 弯曲性能试验 8

 8.4 疲劳性能试验 8

 8.5 切削性能试验 8

9 评价结果 8

 9.1 等级划分 8

 9.2 评价结果判定 9

 9.3 公示与追溯 9

 9.4 复检 10

前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

精密双金属带锯条热处理工艺控制与性能评价规范

1 范围

本文件规定了精密双金属带锯条热处理工艺的原材料和预处理要求、热处理工艺流程与关键参数、工艺控制要求、性能评价指标、评价方法、评价结果。

本文件适用于采用高速钢作为齿部材料、弹簧钢作为背部材料，通过电子束焊接或激光焊接复合成型，用于金属材料切割的精密双金属带锯条的热处理工艺控制与性能评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法

GB/T 232 金属材料 弯曲试验方法

GB/T 1222 弹簧钢

GB/T 4337 金属材料 疲劳试验 旋转弯曲方法

GB 8978 污水综合排放标准

GB/T 9943 高速工具钢

GB/T 13288.3 涂覆涂料前钢材表面处理 喷射清理后的钢材表面粗糙度特性 第3部分：ISO表面粗糙度比较样块的校准和表面粗糙度的测定方法 显微镜调焦法

GB/T 13298 金属显微组织检验方法

GB 16297 大气污染物综合排放标准

GB/T 16461 单刃车削刀具寿命试验

GB/T 44155 钢锻件 力学性能试验的检测频次、取样条件和试验方法

YB/T 5345 金属材料 滚动接触疲劳试验方法

3 术语和定义

GB/T 9943、GB/T 1222界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

精密双金属带锯条 precision bimetallic band saw blade

由两种不同性能的金属材料通过精密焊接工艺连接为一体，其中齿部材料为高速钢，背部材料为高韧性合金钢的带状锯条。

3.2

整体淬火 whole quenching

将带锯条整体加热至高速钢相变临界点以上温度，保温一定时间，使组织充分奥氏体化后，快速冷却至马氏体转变温度区间，获得马氏体组织的热处理工艺，目的是提升带锯条整体硬度与耐磨性。

3.3

局部回火 local tempering

采用感应加热或局部加热方式，仅对带锯条齿部进行加热保温，调节齿部马氏体组织韧性，同时避免背部弹簧钢组织过度软化，实现“齿硬背韧”性能匹配的热处理工艺。

3.4

焊接接头强度 weld joint strength

带锯条齿部与背部金属材料焊接连接处抵抗外力破坏的能力，以拉伸强度表示，直接影响带锯条使用过程中的抗断裂性能。

4 原材料和预处理要求

4.1 原材料要求

4.1.1 切削齿部材料（高速钢/粉末高速钢）

切削齿部材料要求如下：

- a) 材料牌号与成分：应符合GB/T 9943的规定；
- b) 力学性能（交货态）：高速钢硬度 $\leq 28\text{HRC}$ ，粉末高速钢硬度 $\leq 30\text{HRC}$ ，断后伸长率 $\geq 8\%$ ，冲击吸收能量 $\geq 25\text{J}$ ；
- c) 显微组织（交货态）：高速钢应呈珠光体+碳化物均匀分布，无网状、带状碳化物；粉末高速钢碳化物颗粒尺寸 $\leq 3\mu\text{m}$ ，分布均匀度等级 ≥ 2 级。

4.1.2 背部基体材料（高韧性合金弹簧钢）

背部基体材料要求如下：

- a) 材料牌号与成分：应符合GB/T 1222的规定；
- b) 表面应无氧化皮、锈蚀、裂纹、划痕等缺陷，表面粗糙度 $R_a \leq 1.6\mu\text{m}$ ；
- c) 力学性能（交货态）：抗拉强度 $\geq 980\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 785\text{MPa}$ ，断后伸长率 $\geq 10\%$ ，断面收缩率 $\geq 30\%$ ，布氏硬度 $\text{HBW}280 \sim 320$ 。

4.1.3 原材料尺寸偏差

原材料尺寸偏差应符合GB/T 9943的规定。

4.2 预处理工艺要求

4.2.1 表面清洁处理

热处理前需清除带锯条表面油污、氧化皮及锈蚀，采用碱性脱脂剂在 $60^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$ 温度下脱脂 $10\text{min} \sim 15\text{min}$ ，随后用10%盐酸溶液酸洗 $5\text{min} \sim 8\text{min}$ ，最后用清水冲洗并烘干。

4.2.2 焊接前预处理

焊接前预处理要求如下：

- a) 接头加工：焊接界面应加工为V型坡口，坡口角度 $30^\circ \pm 5^\circ$ ，钝边厚度 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$ ，表面粗糙度 $R_a \leq 0.8\mu\text{m}$ ；应采用激光切割或精密磨削加工，确保坡口尺寸一致性（公差 $\pm 0.05\text{mm}$ ）；
- b) 预热处理（粉末高速钢专用）：粉末高速钢焊前应进行低温预热，预热温度 $300^\circ\text{C} \sim 350^\circ\text{C}$ ，保温时间 $1.5 \sim 2\text{h}$ ，随炉冷却至室温，预热设备应采用箱式电阻炉，温度均匀性 $\pm 5^\circ\text{C}$ 。

5 热处理工艺流程与关键参数

5.1 总体工艺流程

带锯条热处理典型工艺流程为：焊接→焊后应力消除退火→整体淬火→深冷处理→局部回火（齿部）→背部调质处理→表面清理→质量检验，各工序间转运时间应 $\leq 2\text{h}$ ，避免材料在空气中长时间暴露氧化。

5.2 关键工序工艺参数

5.2.1 焊后应力消除退火

5.2.1.1 设备要求

应采用箱式保护气氛退火炉，保护气氛为 $95\%\text{N}_2$ 和 $5\%\text{H}_2$ 混合气体，氧含量 $\leq 50\text{ppm}$ ，温度均匀性 $\pm 5^\circ\text{C}$ （有效加热区）。

5.2.1.2 工艺参数

工艺参数如下：

- a) 加热温度：600℃～650℃（高速钢齿部），550℃～600℃（弹簧钢背部）；
- b) 升温速率：小于100℃/h；
- c) 保温时间：2～3h（按材料厚度计算，每mm保温10min，不足1h按1h计）；
- d) 随炉冷却：200℃以下出炉，冷却速率≤50℃/h。

5.2.1.3 质量要求

退火后齿部硬度≤32HRC，背部硬度≤28HRC，焊接接头处变形量纵向弯曲≤0.5mm/m，横向侧弯≤0.3mm/m。

5.2.2 整体淬火

整体淬火要求及工艺参数如下：

a) 设备要求：连续式气体保护淬火炉，分为预热段、一次加热段、二次加热段、奥氏体化段，各段温度独立控制，冷却系统采用高速淬火油；

b) 工艺参数：淬火参数应符合GB/T 9943的规定，冷却阶段淬火油温度控制在60℃～80℃，搅拌速率3～5m/s，确保冷却均匀性。

5.2.3 深冷处理

深冷处理要求及工艺参数如下：

a) 设备要求：液氮深冷箱，控温精度±2℃，降温速率可调节（5～15℃/min），有效容积满足批量处理需求（每批次≤50条，间距≥10mm）；

b) 工艺参数：淬火后1h内进入深冷箱，先以10℃/min速率降温至-80℃，保温1h，再以5℃/min速率降温至-196℃（液氮温度），保温2～3h，随后以≤15℃/min速率升温至室温，全程在氮气保护下进行（氧含量≤1%）；

c) 质量要求：深冷后齿部残余奥氏体含量≤5%，齿部尺寸变形量≤0.02mm。

5.2.4 局部回火（齿部）

局部回火要求及工艺参数如下：

a) 设备要求：高频感应加热设备，感应线圈应为定制弧形（与齿部贴合度≥90%），线圈与齿部间隙1.5～2.0mm，功率调节范围0～100kW，温度监测采用红外测温仪（精度±2℃）；

b) 工艺参数：回火参数应符合GB/T 9943的规定，回火后采用压缩空气冷却（气压0.4～0.6MPa，风速10～15m/s），冷却至室温后进行下一次回火。

5.2.5 背部调质处理

背部调质处理要求及工艺参数如下：

a) 设备要求：连续式调质炉，分为加热段、保温段、冷却段，加热段温度均匀性±5℃，冷却段采用水溶性淬火剂（浓度8%～12%，温度30℃～40℃）；

b) 工艺参数：应符合GB/T 1222的规定；

c) 质量要求：抗拉强度≥980MPa，屈服强度≥785MPa。

5.3 工艺参数记录与追溯

应满足以下要求：

a) 每批次热处理应记录关键参数：炉号、材料牌号、批次号、各工序温度（含实测曲线）、保温时间、冷却速率、设备编号、操作人员、日期，记录保存期限≥3年；

b) 对出现性能异常的批次，应留存至少3件代表性样品（长度≥200mm），保存期限与工艺记录一致，并附加异常分析报告。

6 工艺控制要求

6.1 设备要求与校准

6.1.1 热处理核心设备

设备如下：

a) 加热设备：箱式保护气氛退火炉、连续式气体保护淬火炉、高频感应加热设备的温度控制精度应 $\leq \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，有效加热区温度均匀性 $\leq \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，深冷箱控温精度 $\leq \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，降温速率调节范围 $5\sim 15^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ；

b) 冷却设备：淬火油槽应配备油温控制系统（控温范围 $50\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，精度 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ）、搅拌系统（搅拌速率 $3\sim 5\text{m/s}$ ，可调节），水溶性淬火剂槽应配备浓度监测仪（测量精度 $\pm 0.5\%$ ）、循环过滤系统（过滤精度 $\leq 5\mu\text{m}$ ）；

c) 检测辅助设备：红外测温仪（测量范围 $0\sim 1500^{\circ}\text{C}$ ，精度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ）、热电偶（分度号K型，精度等级1级）、X射线衍射仪（残余奥氏体测量精度 $\pm 0.5\%$ ）。

6.1.2 设备校准周期

校准周期如下：

a) 温度测量设备：每3个月校准1次，校准报告保存期限 ≥ 2 年；

b) 深冷箱、淬火冷却系统：每6个月校准1次，校准报告保存期限 ≥ 2 年。

6.2 过程参数监控要求

6.2.1 实时监控项目与频次

应满足以下要求：

a) 加热过程：退火炉、淬火炉各加热段温度应每1min记录1次，采用自动记录系统（数据存储容量 ≥ 1 年），异常温度波动（超出设定值 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ）应立即报警并停机排查；

b) 冷却过程：淬火油温度、搅拌速率应每2min记录1次；水溶性淬火剂浓度每4h检测1次，浓度低于8%时应及时补充原液；

c) 深冷过程：降温速率、保温温度应每10min记录1次，升温阶段每5min记录1次。

6.2.2 过程异常处理

应满足以下要求：

a) 当温度超出设定范围 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 、冷却介质污染等异常时，应立即停止该批次处理，隔离已处理产品；

b) 若为设备故障，修复后应重新校准设备并进行小批量试生产验证（试产数量 ≥ 5 条）；

c) 若为工艺参数设定偏差，修订参数后应经技术负责人审批方可重新启动生产；

d) 异常批次产品应100%全检，合格后方可流入下工序。

6.3 表面质量与裂纹控制要求

6.3.1 热处理前后表面保护

要求如下：

a) 加热前：带锯条表面应涂抹高温抗氧化涂料，或在保护气氛下加热，脱碳层深度应 $\leq 0.02\text{mm}$ ；

b) 冷却后：应及时清理表面残留冷却介质，采用碱性清洗剂（pH值 $8\sim 10$ ）在 $50^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 温度下清洗 $10\sim 15\text{min}$ ，随后烘干（ $120^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，时间 $20\sim 30\text{min}$ ），避免表面锈蚀。

6.3.2 裂纹检测

要求如下：

a) 宏观检测：热处理后采用目视检查（辅以10倍放大镜），重点检查齿部齿顶、齿根及焊接接头处，无明显裂纹、起皮、剥落等缺陷；

b) 无损检测：每批次随机抽取3条带锯条，采用磁粉检测（MT）检查齿部及焊接接头，采用渗透检测（PT）检查非磁性材料，发现裂纹判定为不合格。

6.4 安全与环保要求

6.4.1 人员安全防护

人员安全防护要求如下：

a) 热处理操作人员应穿戴专用防护装备：耐高温手套、防冲击护目镜、阻燃工作服、防砸安全鞋；

b) 操作人员应经安全培训：内容包括高温作业风险、设备操作规程、应急处理，考核合格后方可上岗，每半年进行1次安全复训，强化安全意识。

6.4.2 设备安全操作

设备安全操作要求如下：

a) 热处理设备应张贴安全操作规程，明确操作步骤、禁止事项；

- b) 设备运行时, 操作人员不得擅自离开岗位, 定期检查设备运行状态;
- c) 高频感应加热设备应采取电磁屏蔽措施(屏蔽罩接地电阻 $\leq 4\Omega$), 防止电磁辐射危害;
- d) 设备周围设置警示标识(“高压危险”“电磁辐射区域”), 非操作人员禁止入内(安全距离 $\geq 2\text{m}$)。

6.4.3 应急处理

制造单位应制定应急预案, 涵盖高温灼伤、火灾、液氮泄漏等突发情况:

- a) 高温灼伤: 配备应急药箱, 灼伤后立即用冷水冲洗15~20min, 严重时送医治疗;
- b) 火灾: 热处理车间禁止存放易燃物品, 配备灭火器材, 发生火灾时立即启动灭火装置, 疏散人员并拨打119;
- c) 液氮泄漏: 深冷箱周围设置防护栏, 泄漏时立即关闭液氮阀门, 通风换气, 人员佩戴防寒手套、护目镜进入现场处理, 防止冻伤。

6.4.4 废气处理

废气处理要求如下:

- a) 热处理过程中产生的废气应通过集气罩收集(收集效率 $\geq 90\%$), 经活性炭吸附装置处理(活性炭更换周期 ≤ 3 个月)后排放, 排放浓度应符合GB 16297的规定;
- b) 车间应安装废气浓度监测仪(每2h记录1次数据), 发现超标时立即停止生产, 排查处理, 直至达标。

6.4.5 废水处理

废水处理要求如下:

- a) 预处理阶段的脱脂废水、酸洗废水, 应排入车间废水处理站, 经中和、混凝、沉淀处理后, 再排入市政污水处理厂, 排放水质应符合GB 8978的规定;
- b) 冷却系统排水应经过滤(过滤精度 $\leq 10\mu\text{m}$)后循环使用, 循环利用率 $\geq 80\%$, 减少废水排放。

6.4.6 废渣处理

热处理过程中产生的废渣应分类收集:

- a) 废淬火油: 装入密封铁桶, 交由有资质的危废处理单位处置, 禁止随意倾倒;
- b) 废活性炭: 作为危险废物管理, 单独存放, 定期交由危废处理单位处置;
- c) 酸洗废渣: 经中和处理(pH值至6~9)后, 交由一般工业固体废物处理单位处置;
- d) 建立废渣处置记录(含产生量、处置单位、处置日期), 记录保存 ≥ 3 年。

7 性能评价指标

7.1 力学性能

力学性能指标应包括:

- a) 硬度: 齿部硬度62~65HRC, 背部硬度38~42HRC;
- b) 抗拉强度: 整体 $\geq 1100\text{MPa}$, 焊接接头 $\geq 1000\text{MPa}$;
- c) 冲击韧性: 23℃下背部夏比V型缺口冲击吸收能量 $\geq 35\text{J}$ 。

7.2 显微组织

显微组织指标应包括:

- a) 齿部: 以回火马氏体为主, 碳化物1~3 μm 且分布均匀, 无网状/带状碳化物, 残余奥氏体 $\leq 5\%$;
- b) 背部: 回火索氏体或回火屈氏体, 无魏氏组织/游离铁素体;
- c) 焊接接头: 组织过渡均匀, 无未熔合/夹渣/气孔, 热影响区 $\leq 0.5\text{mm}$ 。

7.3 弯曲性能

弯曲性能指标应包括:

- a) 单向弯曲: 绕20mm芯轴180°弯曲无裂纹/断裂;
- b) 反复弯曲: $\pm 90^\circ$, 30次/min下, 500次无裂纹/断裂。

7.4 疲劳性能

疲劳性能指标应包括：

- a) 弯曲疲劳：应力比 $R=0.1$ 、频率10Hz，寿命 $\geq 1 \times 10^6$ 次；
- b) 接触疲劳：最大接触应力1500MPa， $R=0.3$ ，齿部寿命 $\geq 5 \times 10^5$ 次。

7.5 切削性能

切削性能指标应包括：

- a) 切削效率：在规定的切削条件下（切削材料为45#钢，材料硬度220~250HBW，切削速度30m/min，进给量0.15mm/齿，切削深度20mm），带锯条的单位时间切削体积应 $\geq 100\text{cm}^3/\text{min}$ ；
- b) 刀具寿命：同切削条件下，切削长度 $\geq 500\text{m}$ ；
- c) 切削表面粗糙度：被切割工件的表面粗糙度 R_a 应 $\leq 12.5\mu\text{m}$ ，且切割面不得出现明显的毛刺、台阶、撕裂等缺陷。

8 评价方法

8.1 力学性能试验

8.1.1 硬度试验

应按照GB/T 44155的规定进行。

8.1.2 抗拉强度试验

应按照GB/T 44155的规定进行。

8.1.3 冲击韧性试验

应按照GB/T 229的规定进行。

8.2 显微组织试验

应按照GB/T 13298的规定进行。

8.3 弯曲性能试验

8.3.1 单向弯曲试验

应按照GB/T 232的规定进行。

8.3.2 反复弯曲试验

应按照GB/T 232的规定进行。

8.4 疲劳性能试验

8.4.1 弯曲疲劳试验

应按照GB/T 4337的规定进行。

8.4.2 接触疲劳试验

应按照YB/T 5345的规定进行。

8.5 切削性能试验

8.5.1 切削效率试验

将带锯条安装在带锯床上，调整锯床参数，使切削速度达到30m/min，进给量0.15mm/齿，对45#钢方坯进行切割，根据切削时间计算单位时间切削体积，每个锯条试样进行3次切削试验。

8.5.2 刀具寿命试验

应按照GB/T 1646的规定进行。

8.5.3 切削表面粗糙度试验

应按照GB/T 13288.3的规定进行。

9 评价结果

9.1 等级划分

基于性能评价指标的测试数据，将精密双金属带锯条热处理工艺控制与性能评价结果划分为优秀、合格、不合格三个等级，具体分级标准见表1。

表1 评价结果等级划分

性能指标			优秀	合格	不合格
力学性能	硬度（HRC）	齿部	63~65	62~65	<62或>65
		背部	40~42	38~42	<38或>42
	抗拉强度（MPa）	整体	≥1200	1100~1199	<1100
		焊接接头	≥1100	1000~1099	<1000
	冲击韧性（J）		≥40	35~39	<35
显微组织	齿部	碳化物颗粒尺寸（μm）	1~2	1~3	>3
		残余奥氏体含量（%）	≤3	3~5	>5
	背部	回火索氏体/屈氏体组织均匀度（%）	≥90	≥80	<80
		焊接接头 热影响区宽度（mm）	≤0.3	0.3~0.5	>0.5
弯曲性能	单向弯曲		无任何塑性变形痕迹	无裂纹/断裂，允许轻微塑性变形	出现裂纹/断裂
	反复弯曲		800次以上无裂纹/断裂	500~799次无裂纹/断裂	<500次出现裂纹/断裂
疲劳性能	弯曲疲劳寿命（次）		≥1.5×10 ⁶	1×10 ⁶ ~1.49×10 ⁶	<1×10 ⁶
	接触疲劳寿命（次）		≥8×10 ⁵	5×10 ⁵ ~7.99×10 ⁵	<5×10 ⁵
切削性能	切削效率（cm ³ /min）		≥120	100~119	<100
	刀具寿命（m）		≥600	500~599	<500
	切削表面粗糙度Ra（μm）		≤6.3	6.3~12.5	>12.5

9.2 评价结果判定

9.2.1 单项判定

每个性能评价指标应均满足对应等级的全部要求，若某一指标中任意一项子要求不达标，则该指标判定为对应等级以下（如力学性能中焊接接头抗拉强度<1000MPa，即使其他子要求达标，力学性能仍判定为不合格）。

9.2.2 综合判定

综合判定规则如下：

- 当所有五项性能指标均达到“优秀”等级要求时，综合评价结果为优秀；
- 当所有五项性能指标均达到“合格”及以上等级，且至少有三项指标达到“优秀”等级时，综合评价结果为良好（介于优秀与合格之间的过渡等级，用于区分高性价比产品）；
- 当所有五项性能指标均达到“合格”等级要求，但达到“优秀”等级的指标不足三项时，综合评价结果为合格；
- 若任意三项性能指标判定为“不合格”，则综合评价结果直接判定为不合格，无需考虑其他指标表现。

9.3 公示与追溯

要求如下：

- 公示：每批次结果在生产单位官网或行业指定平台公示7天，公示内容包括批次号、原材料牌号、热处理关键参数、各项性能指标测试数据、综合评价等级及检测机构名称等；

b) 追溯：建立“批次-性能”追溯档案，档案保存期限 ≥ 5 年，不合格批次单独建立不合格档案，记录不合格指标、原因分析、整改措施及整改后试生产批次的评价结果。

9.4 复检

若生产单位对评价结果存在异议，可在收到评价报告后10个工作日内，向原检测机构提交复检申请，并说明异议理由，同时提供该批次3个备用试样，复检机构应为具备CNAS资质的第三方检测机构，复检结果为最终评价结果。
