

ICS 25.200

CCS J 36

T

团体标准

T/CWDPA XXX—2026

模具钢激光淬火表面强化技术规范

Technical specification for surface hardening of die steel by laser quenching

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国西部开发促进会 发布

目 次

前言	III
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	4
4 基本要求	4
4.1 人员要求	4
4.2 设备要求	5
4.3 材料要求	5
4.4 环境要求	5
5 模具钢预处理	5
5.1 预处理流程	5
5.2 表面清理	5
5.3 表面打磨	5
5.4 脱脂处理	6
5.5 干燥处理	6
5.6 预处理验收	6
6 激光淬火工艺参数	6
6.1 典型工艺参数	6
6.2 激光功率	6
6.3 扫描速度	6
6.4 光斑尺寸	6
6.5 搭接率	6
6.6 淬火温度	6
6.7 冷却方式	7
6.8 工艺验证	7
7 淬火过程控制	7
7.1 淬火前准备	7
7.2 淬火过程操作	7
7.3 淬火后处理	7
7.4 过程质量控制要点	7
8 质量检验与验收	8
8.1 一般要求	8
8.2 表面质量检验	8
8.3 尺寸精度检验	8
8.4 表面硬度检验	8

8.5 有效硬化层深度检验	8
8.6 显微组织检验	8
8.7 缺陷检测	8
8.8 验收规则	8

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。

本文件由中国西部开发促进会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次发布。

模具钢激光淬火表面强化技术规范

1 范围

本文件规定了模具钢激光淬火表面强化的基本要求、模具钢预处理要求、激光淬火工艺参数、淬火过程控制以及质量检验与验收要求。

本文件适用于冷作模具钢、热作模具钢及部分工具钢零部件采用激光淬火方式进行表面强化处理的工艺过程控制与质量检验。

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 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第1部分：试验方法
- GB/T 1031 产品几何技术规范（GPS） 表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值
- GB/T 1299 工模具钢
- GB/T 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法
- GB/T 5617 钢件表面淬火硬化层深度的测定
- GB/T 7232 金属热处理 术语
- GB/T 9443 铸钢铸件 渗透检测
- GB/T 9444 铸钢铸件 磁粉检测
- GB/T 13298 金属显微组织检验方法
- GB/T 18683 钢铁件激光表面淬火

3 术语和定义

GB/T 7232、GB/T 18683界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

模具钢 die steel

用于制造各类模具的合金钢材料，具有较高的硬度、耐磨性、强度、韧性以及良好的热稳定性；根据使用条件不同，模具钢通常分为冷作模具钢、热作模具钢和塑料模具钢等类型。

3.2

激光淬火 laser quenching

利用高能量密度激光束对金属材料表面进行快速加热，使其达到奥氏体化温度，并依靠基体快速导热实现自冷却，从而在表层形成淬硬组织的一种表面热处理方法。

4 基本要求

4.1 人员要求

4.1.1 从事模具钢激光淬火表面强化作业的操作人员应经过专业培训，熟悉激光淬火设备结构、工作原理及操作规程，并具备相应的操作能力。

- 4.1.2 操作人员应掌握激光加工安全防护知识，能够正确使用激光防护装置及个人防护用品。
- 4.1.3 工艺技术人员应具备材料热处理或激光加工相关专业知 识，能够根据模具钢材料特性制定和优化激光淬火工艺参数。
- 4.1.4 质量检验人员应掌握硬度检测、金相检验等相关检测方法，并能够按照规定程序进行质量检验与结果判定。

4.2 设备要求

- 4.2.1 激光淬火设备应包括激光发生器、光束传输系统、扫描系统、控制系统、冷却系统及安全防护系统等组成部分。
- 4.2.2 激光设备的输出功率应稳定可靠，功率波动范围应控制在 $\pm 5\%$ 以内。
- 4.2.3 扫描系统应具备二维或三维扫描功能，扫描速度可调范围为 $5\text{mm/s}\sim 50\text{mm/s}$ ，定位精度应不大于 $\pm 0.05\text{mm}$ ，重复定位精度应不大于 $\pm 0.02\text{mm}$ 。
- 4.2.4 工作台应具备平移、旋转功能，承载能力应满足模具重量要求，工作台平面度应不大于 0.05mm/m 。
- 4.2.5 冷却系统应满足设备稳定运行要求，宜采用循环水冷却方式，必要时可对工件进行辅助气体冷却。
- 4.2.6 控制系统应具备参数设置、程序存储、实时监控、故障报警等功能。
- 4.2.7 安全防护装置应包括激光防护镜、紧急停止按钮、激光屏蔽罩等。
- 4.2.8 激光设备应定期进行维护和校准。

4.3 材料要求

- 4.3.1 常用模具钢材料包括冷作模具钢、热作模具钢和塑料模具钢，模具钢的牌号、化学成分应符合GB/T 1299的规定。
- 4.3.2 模具钢表面不应存在裂纹、严重氧化皮、夹杂物或其他影响淬火质量的缺陷。
- 4.3.3 用于激光淬火的模具钢工件，其尺寸偏差应符合设计要求，外形尺寸偏差应不大于 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

4.4 环境要求

- 4.4.1 激光淬火作业环境应保持清洁、干燥，温度应控制在 $15^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度应不大于 60% 。
- 4.4.2 作业区域应远离易燃易爆物品，并配备足量的灭火器材。
- 4.4.3 作业区域应设置明显的警示标志，划定安全防护区域，非操作人员不应进入作业区域。

5 模具钢预处理

5.1 预处理流程

模具钢预处理包括以下步骤：

- a) 表面清理；
- b) 表面打磨；
- c) 脱脂处理；
- d) 干燥处理；
- e) 预处理验收。

5.2 表面清理

5.2.1 机械清理

可采用砂纸打磨、钢丝刷清理、喷砂处理等方法，喷砂处理时应选用粒径 $0.2\text{mm}\sim 0.5\text{mm}$ 的磨料，喷砂压力应为 $0.4\text{MPa}\sim 0.6\text{MPa}$ 。

5.2.2 化学清理

必要时可采用清洗剂或有机溶剂对工件表面进行清洗，清洗后应使用清水进行冲洗，去除表面残留物。

5.3 表面打磨

- 5.3.1 应采用砂轮打磨或抛光机打磨的方式，对模具钢表面进行打磨，打磨顺序应从粗到细。

5.3.2 打磨过程中应控制打磨力度，打磨后表面应无划痕、凹坑、毛刺等缺陷，表面粗糙度Ra应为 $0.8\ \mu\text{m}\sim 3.2\ \mu\text{m}$ 。

5.4 脱脂处理

5.4.1 应采用碱性脱脂剂或有机溶剂脱脂剂对模具钢表面进行脱脂处理。

5.4.2 碱性脱脂剂浓度应为5%~10%，脱脂温度应为 $40^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，脱脂时间应为10min~15min。

5.4.3 有机溶剂脱脂剂处理时应采用擦拭或浸泡的方式，浸泡时间为5min~8min。

5.4.4 脱脂处理后，应用清水冲洗模具钢表面，去除残留的脱脂剂。

5.5 干燥处理

5.5.1 应采用自然干燥或烘干的方式，对脱脂后的模具钢进行干燥处理，自然干燥时间应不低于2h，烘干温度应为 $80^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，烘干时间应控制在30min~60min。

5.5.2 干燥后的模具钢应尽快进行激光淬火，若放置时间超过2h，应重新进行脱脂、干燥处理。

5.6 预处理验收

5.6.1 预处理完成后，应对工件表面状态进行检查，表面应无油污、铁锈、氧化皮、划痕、凹坑等缺陷。

5.6.2 经检查符合要求后，方可进入激光淬火工序，验收不合格的工件应重新进行预处理，直至验收合格。

6 激光淬火工艺参数

6.1 典型工艺参数

不同类型模具钢的典型工艺参数见表1。

表1 不同类型模具钢的典型工艺参数

模具钢类型	功率(W)	扫描速度(mm/s)	光斑尺寸(mm)	搭接率(%)	淬火温度($^{\circ}\text{C}$)	冷却方式
冷作模具钢	1800~3000	8~18	2~3.5	25~40	1000~1150	压缩空气
热作模具钢	2500~3800	5~12	3~5	35~45	1000~1150	惰性气体
塑料模具钢	1500~2800	10~20	2~3.5	20~35	950~1080	自然冷却

注：表中参数为典型参考值，实际生产应根据工件厚度、表面状态及设备性能进行微调。

6.2 激光功率

6.2.1 激光功率应根据模具钢类型及工件厚度选择，并符合表1的规定。

6.2.2 光纤激光器功率波动应不大于 $\pm 3\%$ ， CO_2 激光器功率波动应不大于 $\pm 5\%$ 。

6.2.3 淬火过程中应实时监控功率变化，出现异常波动时，应立即停止作业并排查设备故障。

6.3 扫描速度

6.3.1 扫描速度应根据模具钢类型及激光功率选择，并符合表1的规定。

6.3.2 扫描速度定位精度应不大于 $\pm 0.02\text{mm/s}$ ，重复定位精度应不大于 $\pm 0.01\text{mm/s}$ 。

6.3.3 淬火过程中应保持扫描速度均匀。

6.4 光斑尺寸

6.4.1 光斑尺寸应符合表1的规定，并与扫描速度及功率匹配。

6.4.2 光斑形状宜选用矩形或圆形，矩形光斑长径比应为2:1~3:1，圆形光斑直径均匀性不应大于 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

6.5 搭接率

6.5.1 搭接率应符合表1的规定，并与光斑尺寸匹配。

6.5.2 淬火过程中应精准控制相邻扫描轨迹的间距，相邻扫描轨迹间距应按以下公式计算：

$$\text{间距} = \text{光斑尺寸} \times (1 - \text{搭接率})$$

6.6 淬火温度

- 6.6.1 淬火温度应符合表1的规定。
- 6.6.2 温度应实时监控，测温点距扫描轨迹应不大于5mm，测温精度应不大于 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- 6.6.3 温度异常时，应调整激光功率或扫描速度，使淬火温度稳定在规定范围内。

6.7 冷却方式

- 6.7.1 冷却方式分为自然冷却、压缩空气冷却和惰性气体冷却，不同类型模具钢的冷却方式应符合表1的规定。
- 6.7.2 压缩空气冷却的压力应为0.3MPa~0.5MPa，冷却气流方向应与激光扫描方向一致，距离模具钢表面5mm~10mm。
- 6.7.3 惰性气体冷却纯度应不小于99.9%，压力应为0.4MPa~0.6MPa，冷却气流应均匀覆盖淬火区域。
- 6.7.4 自然冷却时，应将淬火后的模具钢放置在清洁、干燥的环境中冷却至室温后方可进行后续处理。

6.8 工艺验证

- 6.8.1 新牌号模具钢或新工艺参数投入生产前，应进行工艺验证，选取与生产相同规格试样进行淬火。
- 6.8.2 工艺验证内容包括硬度检测、有效硬化层深度检测和显微组织检验，验证不符合要求时，应调整参数并重新验证。
- 6.8.3 工艺验证应形成激光淬火工艺验证记录表，记录试样信息、工艺参数、检测结果、验证人员及日期，并存档备查。

7 淬火过程控制

7.1 淬火前准备

- 7.1.1 检查激光淬火设备的运行状态，设备应正常运行，无故障报警，参数设置应符合表1的要求。
- 7.1.2 检查预处理后的模具钢工件，表面质量、尺寸及硬度应符合要求，工件表面应无油污、水汽等杂质，并填写模具钢预处理验收记录表，验收合格后方可装夹。
- 7.1.3 装夹工件，应牢固平稳，装夹工具应采用硬度适中材料，装夹后工件定位精度应不大于 $\pm 0.02\text{mm}$ 。
- 7.1.4 调整激光扫描路径，扫描应覆盖整个强化区域，无遗漏或重叠过多，对于复杂形状工件，可采用分段扫描方式。
- 7.1.5 检查冷却系统及测温设备，冷却水流或冷却气体压力应符合要求，红外测温仪校准合格，安全防护装置应安装到位。

7.2 淬火过程操作

- 7.2.1 操作人员应佩戴激光防护镜、防护手套等个人防护用品，作业区域内不应有非作业人员，防护围栏应关闭，方可启动设备进行淬火。
- 7.2.2 按照表1设定的工艺参数进行操作。
- 7.2.3 激光束与工件表面应垂直，距离应为100mm~150mm，距离偏差应不大于 $\pm 2\text{mm}$ 。
- 7.2.4 分段扫描时，相邻分段搭接长度应不小于5mm，分段间冷却时间应控制均匀。
- 7.2.5 记录淬火信息，填写激光淬火生产记录表，记录工件编号、模具钢牌号、规格、工艺参数、操作人员及设备运行状态。

7.3 淬火后处理

- 7.3.1 淬火完成后，关闭激光及冷却系统，工件冷却至室温后方可拆卸装夹工具。
- 7.3.2 采用轻微打磨或抛光去除氧化皮及毛刺。
- 7.3.3 清洁工件表面，去除灰尘及杂质，可使用无水酒精擦拭。
- 7.3.4 工件放置在干燥、通风环境中，放置时间不应超过24h，长期存放应进行防锈处理。

7.4 过程质量控制要点

- 7.4.1 每批工件淬火前，应抽取不少于3件试样进行预处理验收及原始硬度检测；淬火过程中，应每2h抽取1件试样进行表面硬度和有效硬化层深度检测。

- 7.4.2 激光功率、扫描速度、光斑尺寸、搭接率及淬火温度等参数不可随意调整，如需调整，应经技术管理人员批准，并重新进行工艺验证。
- 7.4.3 设备出现故障时，应立即停止作业，排查故障并记录，确认工件及参数符合要求后方可继续操作。
- 7.4.4 操作人员应严格遵守操作规范，不应擅自离岗或违规操作，作业过程中应持续关注设备状态及工件变化。

8 质量检验与验收

8.1 一般要求

- 8.1.1 激光淬火后的模具钢工件应进行质量检验，检验项目包括表面质量、尺寸精度、表面硬度、有效硬化层深度及显微组织等。
- 8.1.2 检验应由具备相应检测能力的人员进行，检测设备应经计量校准合格。
- 8.1.3 检验记录应完整保存，产品质量应可追溯。

8.2 表面质量检验

- 8.2.1 采用目测或放大镜（放大倍数 ≥ 10 倍）检查模具钢表面，表面应无熔化、烧损、裂纹、凹坑、划痕、氧化皮、油污等缺陷。
- 8.2.2 表面粗糙度检测应按照GB/T 1031的规定进行，检测点不少于5个，分布在不同强化区域，取平均值作为检测结果。

8.3 尺寸精度检验

- 8.3.1 尺寸精度应采用卡尺、千分尺或其他相应精度的测量工具进行检测。
- 8.3.2 平面度、垂直度等几何精度可采用水平仪、百分表或三坐标测量设备进行测量。
- 8.3.3 尺寸精度检验应在工件冷却至室温后进行，测量时应避免测量工具划伤工件表面，测量数据应记录准确。

8.4 表面硬度检验

- 8.4.1 表面硬度测试应按照GB/T 230.1的规定进行，检测点应不少于5个，分布在不同的强化区域，相邻检测点间距应不小于5mm，取平均值作为检测结果。
- 8.4.2 对于表面粗糙度较差或尺寸较小的部位，可采用维氏硬度测试，测试方法应符合GB/T 4340.1的规定。

8.5 有效硬化层深度检验

- 8.5.1 有效硬化层深度检验应按照GB/T 5617的规定进行。
- 8.5.2 每个检验样本应选取2个不同的截面进行检测，每个截面测量3个点，取平均值作为检测结果。

8.6 显微组织检验

显微组织检验应按照GB/T 13298的规定进行。

8.7 缺陷检测

表面及近表面缺陷应采用以下方法检测：

- a) 渗透检测，检测方法应符合GB/T 9443的规定；
- b) 磁粉检测，检测方法应符合GB/T 9444的规定。

8.8 验收规则

- 8.8.1 产品验收应按照本文件规定的检验项目进行。
- 8.8.2 所有检验项目均符合本文件要求时，应判定为合格；检验结果存在不合格项目时，应加倍抽样复检，复检仍不合格时，该批产品判定为不合格。