

金属锻件表面低质量 DM 二维码标识识别技术

曹圣泉¹, 田晓晓², 孙 勇²

(1. 宝武特种冶金有限公司, 上海 200940; 2. 中国机械总院集团北京机电研究所有限公司, 北京 100083)

摘要: 针对热加工复杂环境下锻件表面图像变化形成的低质量 DataMatrix 二维码难以识别的问题, 提出了一套立体视觉识别技术。该技术依靠 DM 二维码“凹陷”这一深度信息进行识别, 利用视觉传感器扫描获取原始点云数据, 通过数据层析和局部投影算法去除干扰信息点、筛选有效标识点, 最终实现 DM 二维码的识别功能。此外, 为了验证该技术的识别能力, 开展了 DM 二维码标识试验。采用气动点针打标技术进行打标, 并获得了 4 种热处理后典型的金属材料表面低质量的 DM 二维码。试验结果表明, 该技术可以实现金属表面低质量 DM 二维码标识的 100% 识别, 这为金属锻造行业以及其他制造业进行质量管控和信息追溯提供了技术支撑。

关键词: 金属锻件; DataMatrix 码; 复杂表面; 直接零件标识; 数据提取

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2024.07.022

中图分类号: TP273

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2024) 07-0210-07

Identification technology of low-quality DM two-dimensional code marking at surface of metal forgings

Cao Shengquan¹, Tian Xiaoxiao², Sun Yong²

(1. Baowu Special Metallurgical Co., Ltd., Shanghai 200940, China; 2. China Academy of Machinery Beijing Research Institute of Mechanical & Electrical Technology Co., Ltd., Beijing 100083, China)

Abstract: For the problem that it was difficult to recognize the low-quality DataMatrix code formed by the image changes at the surface of metal forgings under the complex environment of thermal processing, a set of three-dimensional visual identification technology was proposed, which relied on the “depression” feature of the DM two-dimensional code and obtained the original point cloud data by scanning of vision sensor. Then, removing interference information points and screening effective identification points were conducted by data layering analysis and local projection algorithm to finally realize the DM two-dimensional code identification function. In addition, in order to verify the identification ability of this technology, DM two-dimensional code marking test was carried out. Pneumatic dot-needle marking technology was used for marking, and the DM codes of four typical metal materials with low surface quality were obtained after heat treatment. The test results show that the technology can realize 100% identification of low quality DM two-dimensional codes marking at the metal surface, which provides technical guidance for the metal forging industry and other manufacturing industries to carry out quality control and information traceability.

Key words: metal forgings; DataMatrix code; complex surface; direct part marking; data extraction

随着工业数字智能化发展, 现代工业对金属零部件产品质量管理提出更高要求, 尤其在航空航天、汽车等领域, 关键金属锻件的设计、制造、销售和服务过程中均须保持产品的可追溯性^[1-2]。在锻造生产过程中未形成以单件为粒度的质量数据, 则无法对加工工序、关键工艺参数和质检结果等信息进行追踪。直接零件标识 (Direct Part Marking,

DPM) 技术直接将 DataMatrix 二维码 (DM 二维码) 标刻在金属表面制作永久标识, 能够适应恶劣的工业环境, 是标识金属零部件关键信息、实现全生命周期质量追溯的有效手段^[3-6]。但其在锻造领域还存在一定的局限性和挑战。金属锻件, 例如航空发动机、飞机承力构件用的钢轴类锻件、钛合金环锻件, 加工工艺较为复杂, 包括多道次加热制坯、多次热处理等工序^[7-9], 在加工成形时工件的温度较高, 产生金属流动形成几何畸变、氧化起皮导致复杂表面纹理、粗糙不平、颜色对比度低等现象, 这些现象导致 DM 二维码标识质量差、难以识别^[10],

收稿日期: 2024-06-06; 修订日期: 2024-06-29

作者简介: 曹圣泉 (1975-), 男, 博士, 高级工程师

E-mail: caoshengquan@baosteel.com

因此,无法实现各工序的追溯功能,最终导致产品质量稳定性差、废品率高。

因此,开发适用于热态加工条件下的锻件表面标识以及识别技术非常有必要,本文针对多道次加热工序的锻件标识高精度自动识别难题,研究热态锻件表面低质量 DM 二维码三维立体视觉识别技术,并使用该技术对 4 种经过热处理的典型的金属材料 DM 二维码进行识别验证,实际证明了该识别技术对低质量 DM 二维码“凹陷”标识的识别能力。

1 复杂背景金属构件表面标识视觉识别技术

1.1 识别原理

待识别的 DM 二维码本质上是在金属表面打上的凹坑式的点阵阵列。由于锻造金属工件在热加工前后,DM 二维码的“凹陷”特征形成的深度信息是相对稳定的属性,因此,使用激光传感器进行 DM 二维码的三维扫描,利用三维信息来识别标识点云数据,以提取识别标识的特征,通过在识别时增加空间深度信息提高识别度,从而实现对锻件上的 DM 二维码“凹陷”标识的识别,解决了现有技术下无法有效识别锻件上的 DM 二维码的问题。

1.2 识别系统

三维视觉识别技术的识别系统包括 3D 激光传感器以及数据处理装置,结构原理如图 1 所示。其中,3D 激光传感器的扫描镜头面向锻件的扫描区域,3D 激光传感器与直线模组的电机通过编码器同步工作,提供点数据的扫描精度,以获得更高的空间精度数据,完成激光对锻件表面标识区域的三维扫描,从而获得需要的原始点云数据。数据处理装置包括处理器和存储器,代码集或指令集由处理器

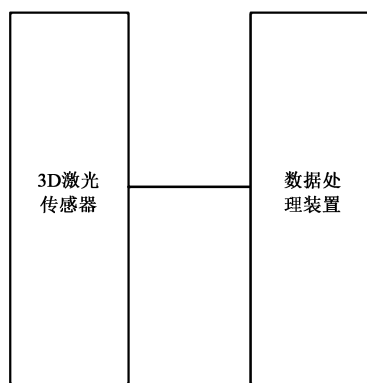


图 1 三维视觉识别系统的结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of structure for 3D visual identification system

加载并执行,以实现原始点云数据处理,从而识别 DM 二维码标识。

1.3 原始点云数据获取与预处理

利用 3D 激光传感器对锻件表面进行全覆盖扫描,获得原始点云数据。锻件在热加工时处于塑性变形的高温环境,因此,3D 激光传感器的波长选择蓝光,保证高温场景下的信号采集的抗干扰性。热加工后的表面粗糙、氧化皮等会造成与标识类似的凹陷特征,容易误判的干扰特征增加,传统的频域去噪声算法容易“误伤”标识点,降低本来就不高的“信噪比”,因此选用了“统计去噪”的去噪模型,避免对信号点特征产生影响。其核心内容就是根据数据点密度去除“孤岛”点。

1.4 点云数据分析方法

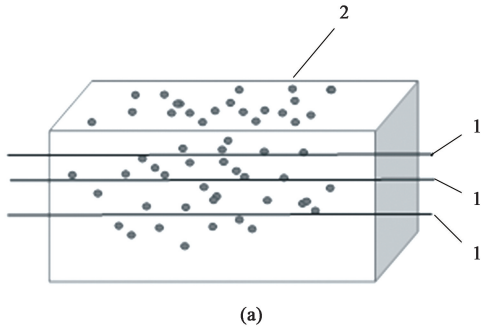
完成原始点云数据预处理后,建立数据点之间的联系,同时为后续的分析加速。本研究建立基于 KD 树(K-Dimension Tree)的数据结构,实现三维空间关于特定搜索键做出的分层决策,加速数据搜索和比较。DM 二维码的点云数据涉及到百万至千万级规模,然而,KD 树算法性能受到点云数据量和数据维度的影响,会消耗大量计算时间,耗时可达分钟级别。因此,本研究创新地引入了数据层析的方法,将获得的点云数据进行分层处理。基于经验法则或经验数据建立的分层模型或层析模型,根据原始点云数据的法向量、数据密度分布的特征,确定对点云数据进行分层的数量、方向和厚度,然后对点云数据进行分层处理。

通过点云数据的分层以及对分层后每层数据层的单独处理,可以降低数据维度,提高数据的处理速度,同时,为提高每层数据的处理速度,采用局部拟合投影方法简化数据复杂度。通过数据的分层分析可以获得一个“薄层”数据,减少每次处理的数据量,通过多层数据的组合分析,弥补分层过“薄”可能导致的特征丢失问题,也可以适应标识填充造成的特征弱化,保证不会丢失数据,保证识别的准确率。

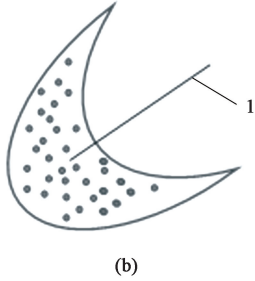
图 2a 为点云数据的分层处理,对点云数据 2 通过多条分层线 1 进行分层,3 条分层线 1 可以按不同的分层方向将点云数据分为厚度相同或不同的多层,图 2b 为对点云数据的分层方向的处理,一条分层线 1 按与水平面呈一定的倾斜的角度,以预设的角度或方向对点云数据进行分层。

1.5 局部投影法获取备选标识点

对标识的点云数据处理进行标识点的识别,



(a)



(b)

图 2 点云数据层析方法

(a) 点云数据分层处理 (b) 对点云数据在预定方向进行分层

Fig. 2 Layering analysis method of point cloud data

(a) Layered processing of point cloud data

(b) Layering in a predetermined direction for point cloud data

主要是识别标记点相对于“近邻点”存在空间“凹陷”特征。所述近邻点是指，在三维空间，计算一个点与其他所有点之间的距离，取出与该点最近的 k 个点，即近邻点。通过类似投影的处理算法，将点云映射到二维平面。降维处理后，数据结构中节点之间的关系从精确的三维近邻关系变成“似然”的二维近邻。然后，通过以下两种评估方法识别凹陷特征：(1) 计算近邻点的几何特征期望值，比如质心或者拟合平面，比较识别点和该期望值的关系，比如距离和方向，以判定“凹陷”程度特征；(2) 计算每个点与周围点的梯度值。锻件在热加工时容易出现表面粗糙、氧化起皮，会造成与标识类似的凹陷特征，导致误判。因此，为了快速有效地识别判断，降低处理器的压力，不建立精确的“近邻数”结构，而是在每层数据中进行局部投影和划定坐标范围，以获得选取点的“似然”近邻点，然后，比较每个点和近邻点的质心相对位置和梯度，计算凹陷程度，最终，通过分析每层数据层获得相应的所有备选标记点，包括标识有效点以及无效点。如图 3 所示，选取点 3 为例进行分析，通过投影形成选取投影点 31，在其周围的点 4 通过投影形成周围投影点 41，其在投影区域并围在选取投影点 31 的周

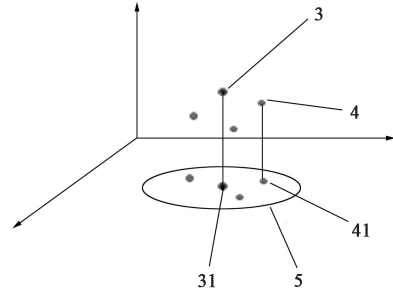


图 3 投影确定似然近邻点的示意图

Fig. 3 Schematic diagram for determining likelihood nearest neighbor points by projection

围，然后，以选取投影点 31 为圆心，以确定半径值的邻近区域 5 作为邻域搜索范围，半径值根据实际点云密度以及激光器设备的扫描精度进一步确定。选择相应的周围投影点 41，在该区域 5 中的点为“似然”近邻点。

如果直接使用似然近邻的结果，对于测量类算法可能带来一些干扰，因此，模型在获得近邻点集后，需要进行曲面化处理以弥补“似然”的副作用。当确定了点 P 周围的近邻点集 p 后，环绕 P 点形成了一个几何曲面，描述曲面几何形状的一个重要问题是推断出它在坐标系中的方向，即法向量。其通过估计与曲面相切的平面的法线问题来近似估算，从而演变为 p 的最小二乘法平面拟合估计问题。这个平面被表示为一个三维空间的点 W 和一个法向量 n 。则点集 p 中的任意一个点 P_i ($i=1, 2, \dots, k$) 到该平面的距离 d_i 被定义为：

$$d_i = (P_i - W) \cdot n \quad (1)$$

令 $d_i=0$ ，用最小二乘法可以计算求 W 和 n 的值。进一步地，将点集 p 的质心定义为：

$$\bar{P} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k P_i \quad (2)$$

有协方差矩阵 C ，通过分析其特征值和特征向量可以求解法向量 n 。其中：

$$C = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k \xi_i \cdot (P_i - \bar{P})(P_i - \bar{P})^T \quad (3)$$

$$C \cdot v_j = \lambda_j \cdot v_j, j \in \{0, 1, 2\}$$

式中： ξ_i 为点 P_i 的权重，通常等于 1； v_j 为 C 的特征向量； λ_j 为 C 的特征值。 C 是 3 维实对称的、半正定矩阵，其特征值为实数， $\lambda_j \in \mathbf{R}$ 。

特征向量 v_j 形成一个正交坐标系，对应于 p 的主分量。若 $0 \leq \lambda_0 \leq \lambda_1 \leq \lambda_2$ ，则对应于最小特征值 λ_0 的特征向量 v_0 的近似值如式 (4) 所示：

$$+n = \{n_x, n_y, n_z\} \text{ 或者 } -n \quad (4)$$

一般来说, 由于没有解析数学方法来确定 n 的正负符号 (基准方向), 用上面的主成分分析计算的法向量基准方向是不确定的, 并且可能在整个点云数据上的每个点的基准方向不一致, 特别是在视点信息不明确情况下。此时, 基准方向的问题转换为图形优化问题, 假设两个在几何面上接近的点 P_i, P_m ($m \neq i, 0 < m < k$), 它们的法线方向一致, 如式 (5) 所示:

$$n_i \cdot n_m \approx 1 \quad (5)$$

一般来说, 这一假设适用于平滑面的密集采样数据集。以每个点作为一个节点, 其边界代价定义为两个空间点之间的欧式距离, 从而建立一个欧几里得最小生成树。从已知基准方向的点中, 随机选择一个点, 通过遍历最小生成树, 可以确定其“近邻点”的基准方向。当满足式 (6) 时, 需要改变法线的符号 (方向):

$$n_i \cdot n_m < 0 \Rightarrow n_m = -n_i \quad (6)$$

获得法向量数据后, 随后需要判断几何体的凹凸程度, 并以此为依据提取标识点的备选点集。首先选择一个点 P_i , 并选取其多个近邻点构成一个分析用的点集几何体 P_c 。对于两个连接的超体素, 其质心向量分别为 x_1, x_2 , 法向量分别为 n_1, n_2 , 通过法向量与连接它们质心的向量的关系来推断几何体的凹凸特征。首先构建连接两个质心的向量 $d = x_1 - x_2$, 由于两个任意矢量 a 和 b 之间的夹角 α 一般利用公式 $ab = |a| \cdot |b| \cos \alpha$ 来计算, 因此, 利用该公式分别计算法向量 n_1, n_2 与 d 的夹角 α_1, α_2 , 用式 (7) 表示。

$$\begin{aligned} \cos \alpha_1 &= \frac{n_1(x_1 - x_2)}{|n_1| \cdot \|x_1 - x_2\|} \\ \cos \alpha_2 &= \frac{n_2(x_1 - x_2)}{|n_2| \cdot \|x_1 - x_2\|} \end{aligned} \quad (7)$$

令 $\hat{d} = \frac{x_1 - x_2}{\|x_1 - x_2\|}$ 且 $|n_1| = |n_2| = 1$, 若两个超体素之间是凸连接的, 则 $\alpha_1 < \alpha_2$, 表示为:

$$\alpha_1 < \alpha_2 \Rightarrow \cos \alpha_1 - \cos \alpha_2 > 0 \Leftrightarrow n_1 \cdot \hat{d} - n_2 \cdot \hat{d} > 0 \quad (8)$$

若两个超体素之间是凹连接的, 则 $\alpha_1 > \alpha_2$, 有:

$$\alpha_1 > \alpha_2 \Leftrightarrow n_1 \cdot \hat{d} - n_2 \cdot \hat{d} < 0 \quad (9)$$

记 $f_c = n_1 \cdot \hat{d} - n_2 \cdot \hat{d}$ 为衡量凹凸程度指数, 如果 P_c 构成凹面, 并且某点位于质心的下方, 则将该点纳入备选点集, 并记录对应的凹陷程度指数 f_c 作为

特征值。由此可以从大量的点云中获得了备选点集。接下来需要从备选点集中筛选出真正的标识点。

1.6 标识有效点的识别

无效备选点为低质量表面形成的干扰点, 需将这种无效备选点滤除, 以获取标识有效点。从备选点集的构成过程可以发现, 备选点集除了标识点, 也不可避免的包括了大量干扰点。分析表明, 标识点和干扰点的主要区别在于空间分布密度, 干扰点分布比较分散, 很少密集出现, 而标识点的分布在局部比较集中, 呈现出连续性。利用这个特征, 通过分析点集中备选点的分布密度实现对标识有效点 6 (图 4 中小面积的近似圆的多个黑点) 与干扰点 7 (图 4 中大面积的近似圆或椭圆的多个灰度点) 的区分及筛选。

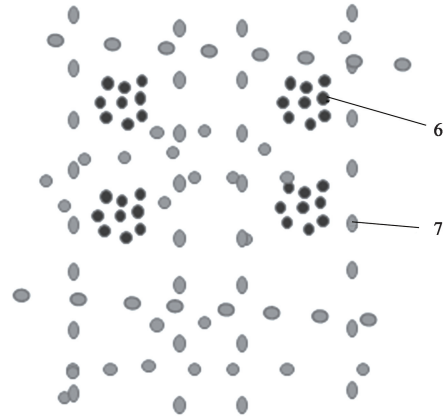


图4 标识有效点识别与筛选示意图

Fig. 4 Schematic diagram of identification and screening of marking effective points

密度计算法的基础是 KD 树, 首先建立备选点集的三维 KD 树, 扫描点集中的每个备选点, 给定“近邻点”选择数量构成子点集, 计算子点集中每个点到该备选点的平均距离作为该点的密度系数, 此处采用欧式几何距离。

经过上述计算后, 可以通过调整密度系数的占比阈值, 筛选出相对集中度比较高的点, 以图像方式展示, 然后用 DM 二维码识别软件进行 DM 二维码凹陷标识的识别。

2 金属锻件 DM 二维码打标与识别

为了验证研究的三维视觉识别技术的实际识别效果, 开展了 DM 二维码打标试验, 基底材料选用航空航天、汽车领域典型的 4 种金属板材, 分别为

40Cr 钢、TC4 钛合金、6082-T6 铝合金和 GH4169 高温合金^[11]。采用机械气动点针打标技术进行 DM 二维码标刻，建立 DM 二维码边长、冲击次数（凹陷深度）两个关键参数的正交试验。打标过程中，气动压力持续在 0.6 MPa，二维码边长分别为 20、30、40 mm，每个标记点位置冲击次数分别为 1、2、3，凹陷深度最大为 0.6 mm，打印时表面冲击力约为 150 N，锻造加工余量大于 0.6 mm，对实际锻件表面内部组织性能影响较小。二维码编码信息统一为“0123456789ABC”，共 13 位字符，能够将锻件生产日期、原材料批次号、流水号关键信息包含在内。将带有 DM 二维码标识的 4 种金属材料按照实际生产时金属锻件热处理工艺进行热处理^[12-16]，如表 1

所示，以求与生产现场热处理单元二维码的环境保持一致，获取了低质量的 DM 二维码用于识别验证，热处理后金属表面 DM 二维码图案效果如图 5 所示。

表 1 标有 DM 二维码的金属板材热处理工艺方案
Table 1 Heat treatment process schemes for metal sheets labeled with DM two-dimensional codes

材料	热处理工艺
40Cr 钢	淬火：850 ℃，保温 60 min，空冷
GH4169 高温合金	固溶处理：1020 ℃，保温 60 min，空冷
TC4 钛合金	退火：800 ℃，保温 60 min，空冷
6082-T6 铝合金	固溶处理：530 ℃，保温 60 min，空冷

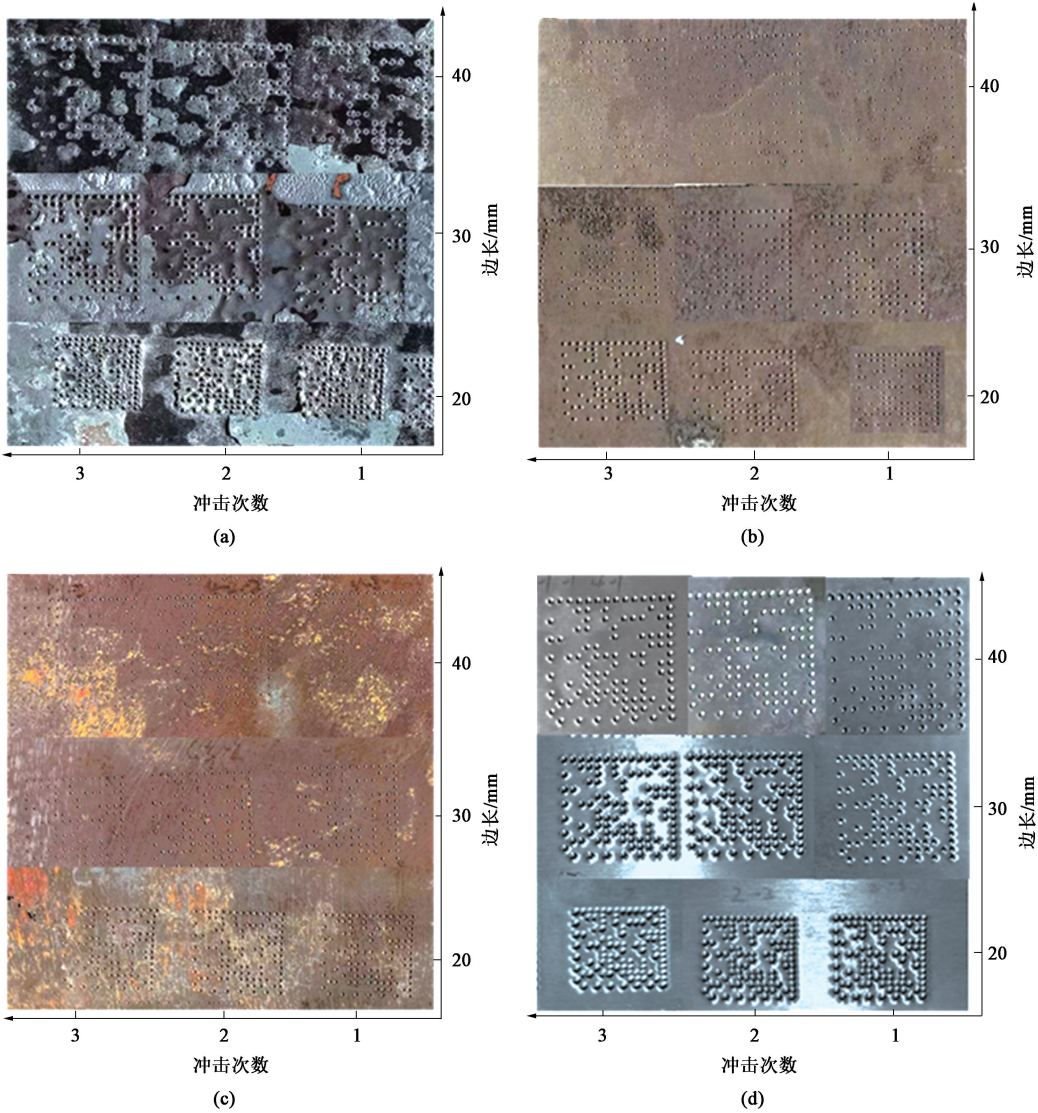


图 5 经过热处理后的不同边长和冲击次数下的 DM 二维码表面效果
(a) 40Cr 钢 (b) GH4169 高温合金 (c) TC4 钛合金 (d) 6082-T6 铝合金

Fig. 5 Surface effect of DM two-dimensional codes with different edge lengths and numbers of impact after heat treatment
(a) 40Cr steel (b) Superalloy GH4169 (c) TC4 titanium alloy (d) 6082-T6 aluminum alloy

从图 5 可以看出, 6082-T6 铝合金的表面质量最高, 颜色均匀且纹理一致, 二维码所有的标识点清晰; 而 40Cr 钢、GH4169 高温合金、TC4 钛合金的待识别区域受热梯度影响导致表面产生复杂的形态变化, 出现大量干扰纹理以及颜色衬度的较大差异, 二维码图案模糊, 尤其是 40Cr 钢的表面容易氧化, 形成脆弱的氧化皮脱落或出现明显的翘起, 导致表面凹凸不平, 以上特征均增加了识别读取的难度。利用本研究的三维视觉识别技术对以上试验的低质量 DM 二维码依次进行识别, 以 40Cr 钢材料上的标刻的 DM 二维码 (二维码边长为 40 mm、冲击 3 次) 为例, 说明 3D 视觉识别技术的实际识别过程, 如图 6 所示。首先, 利用 3D 激光传感器对 DM 二维码区域 (图 6a) 进行扫描, 并将扫描信息传到

数据存储装置, 从而获得原始点云数据文件; 其次, 将原始点云数据文件载入到识别系统中, 识别系统的可视化界面上将显示原始 DM 二维码点云图像, 如图 6b 所示; 然后, 在数据层析模块设置数据处理参数——凹陷深度以及数据分层层数 (本试验设置层析凹陷深度为 0.6 mm, 数据分层层数为 1000 层), 系统处理完成后显示备选点组成的 DM 二维码点云图像, 如图 6c 所示; 最后, 进入有效标识点筛选模块, 设置占比阈值参数 (本试验设置占比阈值为 0.01), 最终获取有效标识点的 DM 二维码, 如图 6d 所示。试验结果表明, 以上 4 种金属材料不同打标参数下获得的 DM 二维码可以被 100% 识别, 最小二维码尺寸为 20 mm×20 mm, 通过传统的 DM 二维码解码设备解码读取二维码信息。

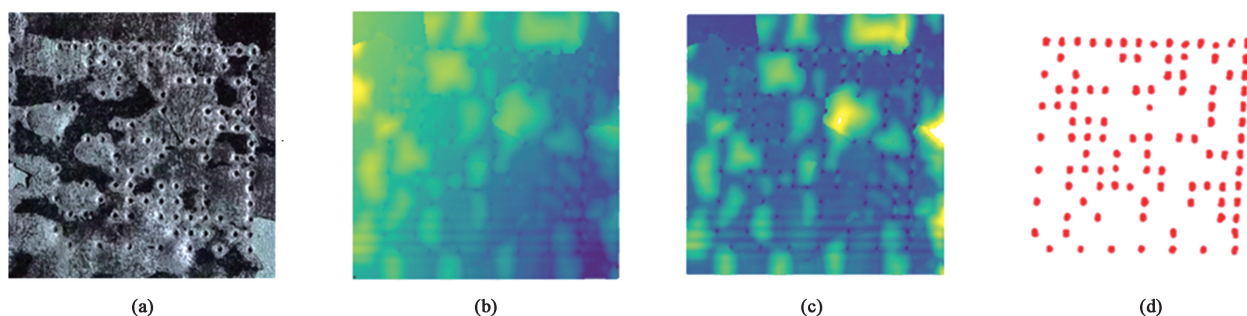


图 6 40Cr 钢三维视觉识别技术的识别过程

(a) 40Cr 钢表面标刻的 DM 二维码 (b) 原始 DM 二维码点云图像
(c) 备选点组成的 DM 二维码点云图像 (d) 有效标识点组成的 DM 二维码图像

Fig. 6 Identification process of 3D visual identification technology for 40Cr steel

(a) DM two-dimensional code marked at surface of 40Cr steel (b) Point cloud image for original DM two-dimensional code
(c) DM two-dimensional code point cloud image composed of alternative points
(d) DM two-dimensional code image composed of effective identification points

3 结语

产品质量一直是制造商以及消费者关注的重点, 实现产品的单件质量追溯是质量管理的必然要求。为了实现锻造热加工复杂环境下单件金属构件的追溯功能, 本文提供了一种复杂背景下金属标识的三维视觉识别技术, 并通过航空航天、汽车等领域应用广泛的 4 种典型的锻造金属材料低质量 DM 二维码进行试验验证, 该技术能够精确识别复杂表面状态的金属锻件 DM 二维码, 解决了现有技术无法有效识别金属构件标识的难题, 为实现金属构件多道次锻造全流程单件追溯和产品质量优化提供了技术支持。

参考文献:

- [1] 张翼. A 汽车零部件公司产品质量追溯管理优化研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2024.
Zhang Y. Research on Product Quality Traceability Management Optimization of the Auto Parts Company A [D]. Shanghai: East China Normal University, 2024.
- [2] 凌云汉. 锻造铝合金车轮单件全流程质量追溯系统关键技术研究 [D]. 北京: 中国机械科学研究总院集团有限公司, 2019.
Ling Y H. Research on the Technology of the Whole Process Quality Traceability System for Single Forging Aluminum Alloy Wheel [D]. Beijing: China Academy of Machinery Science and Technology Group Co., Ltd., 2019.
- [3] 王苏安, 何卫平, 张维, 等. 刀具直接标刻与识别技术研究

- [J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13 (6): 1169-1174.
- Wang S A, He W P, Zhang W, et al. Direct tool marking & identification method [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2007, 13 (6): 1169-1174.
- [4] Lin S J, Al-Naffouri T Y, Han Y S, et al. Novel polynomial basis with fast fourier transform and its application to reed-solomon erasure codes [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2016, 62 (11): 6284-6299.
- [5] 郑昱, 赵建萍, 殷秀凯. DPM 技术为中国制造业发展推波助澜 [J]. 中国自动识别技术, 2013 (6): 43-46.
- Zheng Y, Zhao J P, Yin X K. DPM technology contributes to the development of China's manufacturing industry [J]. China Auto-ID, 2013 (6): 43-46.
- [6] 钱进. 浅析 DPM 技术在汽车零部件追溯管理上的应用 [J]. 中国自动识别技术, 2019 (3): 79-80.
- Qian J. Analysis of the application of DPM technology on the traceability management of automotive parts [J]. China Auto-ID, 2019 (3): 79-80.
- [7] 臧志伟. 航空用 40CrNi2MoE 钢轴锻件挤压成形工艺及组织性能研究 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2023.
- Zang Z W. Study on the Extrusion Forming Process and Microstructure and Properties of 40CrNi2MoE Steel Shaft Forgings for Aviation [D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2023.
- [8] 孙传华, 刘峰, 胡楠, 等. 航空发动机用 Ti64 异形截面环锻件轧环工艺 [J]. 现代制造技术与装备, 2021, 57 (2): 140-141.
- Sun C H, Liu F, Hu N, et al. Ring rolling process of Ti64 special section ring forgings for aeroengine [J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2021, 57 (2): 140-141.
- [9] 李东宽, 董宇, 莫安军, 等. 大型 TA32 钛合金壁板弧形锻件工艺研究及试制 [J]. 大型铸锻件, 2022 (2): 7-10.
- Li D K, Dong Y, Mo A J, et al. Process research and trial production of large TA32 titanium alloy wall plate arc forgings [J]. Heavy Casting and Forging, 2022 (2): 7-10.
- [10] Yang H, Kot A C, Jiang X. Binarization of low-quality barcode images captured by mobile phones using local window of adaptive location and size [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 21 (1): 418-425.
- [11] 廖利城. 金属表面低质量直接零件标识图像信息增强和提取技术研究 [D]. 济南: 山东大学, 2023.
- Liao L C. Research on Information Enhancement and Extraction of Direct Part Marking Image with Low Quality on Metal Surface [D]. Jinan: Shandong University, 2023.
- [12] Tucho W M, Cuvillier P, Sjolyst-Kverneland A, et al. Microstructure and hardness studies of Inconel 718 manufactured by selective laser melting before and after solution heat treatment [J]. Materials Science and Engineering: A, 2017, 689, 220-232.
- [13] 张浩, 王国文, 曾凡宜, 等. 基于 BP 神经网络的 6082 铝合金固溶时效处理后的晶粒尺寸预测 [J]. 锻压技术, 2023, 48 (3): 227-235.
- Zhang H, Wang G W, Zeng F Y, et al. Grain size prediction of 6082 aluminum alloy after solution and aging treatment based on BP neural network [J]. Forging & Stamping Technology, 2023, 48 (3): 227-235.
- [14] 郎荣兴, 李贵全, 殷春云. TC4 钛合金模锻件冲击性能与热处理工艺优化 [J]. 金属热处理, 2018, 43 (8): 209-212.
- Lang R X, Li G Q, Yin C Y. Impact property and heat treatment process optimization of TC4 titanium alloy die forgings [J]. Heat Treatment of Metals, 2018, 43 (8): 209-212.
- [15] 兰宝山. 锻造工艺和热处理工艺对 TC4-DT 合金锻件组织性能影响 [J]. 锻造与冲压, 2023 (11): 67-71.
- Lan B S. Effect of forging and heat treatment processes on the microstructure and properties of TC4-DT alloy forgings [J]. Forging & Metalforming, 2023 (11): 67-71.
- [16] 常耀东, 齐会萍, 贾燕龙, 等. Q345/40Cr 钢双金属环件的热处理工艺及组织性能 [J]. 金属热处理, 2023, 48 (3): 195-202.
- Chang Y D, Qi H P, Jia Y L, et al. Heat treatment process and microstructure and properties of Q345/40Cr bimetal ring [J]. Heat Treatment of Metals, 2023, 48 (3): 195-202.
- +++++
- ### 警惕不法网站, 保障投稿安全
- 近期, 本刊接到多名作者投诉, 网络上出现冒充《锻压技术》杂志官方网站的伪网站, 如 www.dyjszz.cn, 这些网站盗用本杂志官网内容及相关行业信息, 误导和欺骗广大投稿作者, 骗取文章版面费、套取作者文章及个人信息, 侵犯了广大作者的切身利益。
- 特此声明, 本刊唯一官方网站为 www.fstjournal.net, 投稿方式为网站注册登录投稿, 不接受邮箱投稿。请作者投稿时务必认准杂志官方网站, 谨防受骗。
- 本刊郑重警告伪网站相关人员尽快停止违法行为, 否则将严肃对待, 并将运用一切法律手段维护本刊的权利。
- 请广大读者协助本刊监督网络上的不法行为, 一经发现, 请联系本刊, 本刊将及时处理, 共同努力营造良好的期刊网络氛围。
- 《锻压技术》杂志联系方式: fst@263.net; 010-62920652。
- 《锻压技术》编辑部