

热冲压 DAC 模具钢磨损研究及预测

程晓宇, 张赛军, 郑朝尹, 丁伟洋, 宋世光

(华南理工大学 机械与汽车工程学院, 广东 广州 510641)

摘要: 为提高热冲压模具磨损预测精度, 提出一种耦合温度因素 Archard 修正模型以及磨损可视化实现方法。针对某汽车 A 柱加强板模具, 设计完成温度范围为 25~300 ℃ 的高温硬度实验和等温摩擦磨损实验。结果显示: DAC 模具钢与 22MnB5 高强度钢之间的摩擦因数随温度上升而下降; DAC 模具钢的硬度在温升初期逐渐降低, 后趋于平稳。整理实验结果, 将温度函数项耦合到 Archard 磨损模型, 并基于 ABAQUS 仿真平台, 构建模具热冲压有限元仿真模型。结合 Python 语言实现模具表面节点的更新算法, 并通过后处理云图预测模具表面磨损形貌演化。66332 次冲压仿真结果显示, 磨损量与蓝光三维扫描仪测量值的误差均控制在 8% 以内, 说明修正模型具有较高的预测精度, 为工艺优化及缺陷控制提供理论支持。

关键词: DAC 模具钢; 磨损预测; 热冲压模具; Archard 磨损模型; 温度耦合

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2025.07.026

中图分类号: TG76 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2025) 07-0211-08

Wear research and prediction on hot stamping DAC die steel

Cheng Xiaoyu, Zhang Saijun, Zheng Chaoyin, Ding Weiyang, Song Shiguang

(School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: In order to improve the prediction accuracy of hot stamping die wear, a temperature-coupled Archard modification model and a wear visualization methodology were proposed. Then, for the die of an automotive A-pillar reinforcement plate, high-temperature hardness experiments at 25–300 ℃ and isothermal friction and wear tests were designed and conducted. The results show that the friction factor between DAC die steel and 22MnB5 high-strength steel decreases with the increasing of temperature, and the hardness of DAC die steel gradually decreases at the beginning of temperature rise and then tends to be stable. The experimental results are summarized and the temperature function is coupled to the Archard wear model. Based on simulation platform ABAQUS, a finite element simulation model of the hot stamping of the die is constructed, the update algorithm of the die surface nodes is implemented in combination with Python language, and the wear morphology evolution of the die surface is predicted by post-processing contour map. The simulation results of 66332 stamping times show that the error between the wear amount and the measurement value of the blue light 3D scanner is controlled within 8%. The results show that the modified model achieves a high prediction accuracy and provides the theoretical support for process optimization and defect control.

Key words: DAC die steel; wear prediction; hot stamping die; Archard wear model; temperature coupling

伴随汽车工业的高速发展, 节能减排已成为行业发展的关键议题。有研究表明^[1], 通过控制车身重量, 可有效降低能源消耗, 这使得轻量化技术成为各车企的重点研发方向。高强度钢作为车身常用的轻量化材料, 尽管具有抗碰撞性能好、耐腐蚀及成本低等特点, 但在常温条件下成形效果差, 难以控制回弹^[2], 故工业生产上常采用热冲压成形技术,

通过设置高温高压的工作环境来改善板材成形性能。但由于高频的循环热力载荷会导致模具型面产生磨损、裂纹等缺陷, 增大失效风险^[3]。而磨损作为最常见的失效形式, 为保证生产质量和控制维护成本, 预测并计算模具磨损具有重要意义^[4]。

探究磨损的前提是明确模具材料的属性。目前关于热冲压中热作模具钢的摩擦磨损行为可通过销盘实验、板带拉伸实验、微动实验等进行研究。徐龙堂等^[5]通过微动实验研究复合镀层与普通镀层在耐磨性与摩擦因数上的差异, 结果表明, 复合镀层具备更优的抗微动磨损性能, 内部颗粒可降低粘着作用。李禧等^[6]设计完成球形销盘磨损实验, 探究恒定载荷、不同温度下模具钢的磨损情况, 结果显

收稿日期: 2025-03-01; 修订日期: 2025-06-25

基金项目: 高品质热作模具钢研发与产业化 (2020B010184002)

作者简介: 程晓宇 (2000-), 男, 硕士研究生

E-mail: 1563142619@qq.com

通信作者: 张赛军 (1978-), 男, 博士, 副教授

E-mail: mesjzhang@scut.edu.cn

示, 模具钢的磨损系数随温度先上升后降低, 而摩擦因数则是先下降再上升。

关于模具磨损预测, 其核心要点为建立合理的磨损模型, 需要综合温度、润滑条件、模具结构等多因素的影响^[7]。赵妍洁等^[8]考虑磨损系数和表面硬度变化对于磨损的影响, 修正改进 Archard 模型。通过有限元仿真软件, 分析成形工艺中的磨损变化规律, 结合已制定的失效判据, 合理预测冲压模具使用寿命。结合后处理磨损云图, 完成模具对应位置的调试修模。谢晖等^[9]为探究某车前立柱模具在热冲压过程中的磨损变化, 基于 Archard 模型, 分析板料温度、冲压速度等参数对于模具磨损的影响, 并最终确定最佳工艺参数。由于模具磨损并非一次产生, 故需选择合适的预测方法真实反映热冲压磨损累积的过程。聂昕等^[10]为提高模具磨损预测精度, 通过节点移动不断更新模具磨损后表面, 并提取更新表面的参数, 进而计算本次磨损深度。通过数据处理, 得到磨损深度和冲压次数间的数值关系, 实现模具冲压磨损的数值定量预测。董竹林等^[11]基于修正 Archard 模型, 构建高强钢加强板热冲压仿真模型以预测凹模模芯磨损行为。通过建立二阶响应面回归分析模型, 确定冲压速度、模具间隙等关键工艺参数的最佳组合。

本文研究耦合温度项 Archard 修正磨损模型, 通过 Python 二次开发实现模具表面磨损深度计算, 在 ABAQUS 后处理得到磨损云图。并采用磨损累积法预测某汽车 A 柱加强板在 66332 次热冲压后的磨损量, 对比测量系统测取的磨损值, 验证基于 Archard 修正磨损仿真模型的合理性和预测方法的准确性。

1 实验研究

本文研究对象为热冲压模具, 其材料为株式会社日立制作所生产的 DAC 热作模具钢, 冲压板料为 22MnB5 高强钢。本章设计完成 DAC 模具钢的显微硬度实验以及 22MnB5 高强钢与 DAC 模具钢的摩擦磨损实验, 探究温度对热冲压模具材料属性的影响。

1.1 显微硬度实验

1.1.1 实验内容

该实验目的是研究温度对于 DAC 模具钢硬度的影响, 实验设备为 ZD-HVHT-30 高温硬度计。试样为直径为 $\Phi 6$ mm、高度为 6 mm 的圆柱。实验测量值为不同温度条件下试样的维氏硬度, 温度区间设

置为 25、100、150、200、250 和 300 $^{\circ}\text{C}$ 。为保证实验精度, 需取 3 个不同的测量点求平均值, 按照式 (1) 得到维氏硬度值。

$$H = \frac{P}{S} \quad (1)$$

式中: H 为硬度; P 为载荷值; S 为压痕的表面积。

在后续仿真模型搭建中, 洛氏硬度为特定硬度值。故参考文献 [12] 的转化关系, 如式 (2)、式 (3) 所示。

$$S = \frac{d}{2\sin 68^{\circ}} \quad (2)$$

$$H = 1.8544 \frac{P}{d^2} \quad (3)$$

式中: d 为平均直径, 如图 1 所示, 为对角线长度 D_1 、 D_2 的平均值。

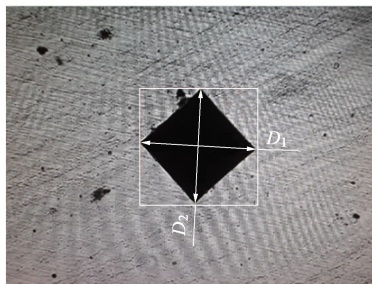


图 1 硬度压痕图

Fig. 1 Hardness indentation diagram

1.1.2 实验数据处理

由维氏硬度计测量得到的 3 个测量点的平均值如表 1 所示, 表 2 为不同测量点的洛氏硬度在不同温度梯度下的均值。由表 2 可以得知, 硬度值在整体上随温度的升高而降低, 但温度升至 150 $^{\circ}\text{C}$ 及以上时, 硬度值无明显变化。

表 1 DAC 模具钢的高温维氏硬度实验均值 (HV)

Table 1 Experimental mean values of high-temperature Vickers hardness for DAC die steel (HV)

温度/ $^{\circ}\text{C}$	25	100	150	200	250	300
维氏硬度均值	577.5	569.3	519.4	524.1	520.8	502.0

表 2 DAC 模具钢高温洛氏硬度转化均值 (HRC)

Table 2 Average values of high-temperature Rockwell hardness conversion for DAC die steel (HRC)

温度/ $^{\circ}\text{C}$	25	100	150	200	250	300
洛氏硬度均值	54.0	53.5	50.4	50.7	50.5	49.2

1.2 等温摩擦磨损实验

1.2.1 实验设备与试样制备

实验目的是模拟热冲压工艺（25~300℃），探

究温度对于模具材料摩擦磨损的影响关系，设置 DAC 模具钢为销，22MnB5 高强钢为盘，厚度设置为 10 mm。具体试样的几何尺寸如图 2 所示。

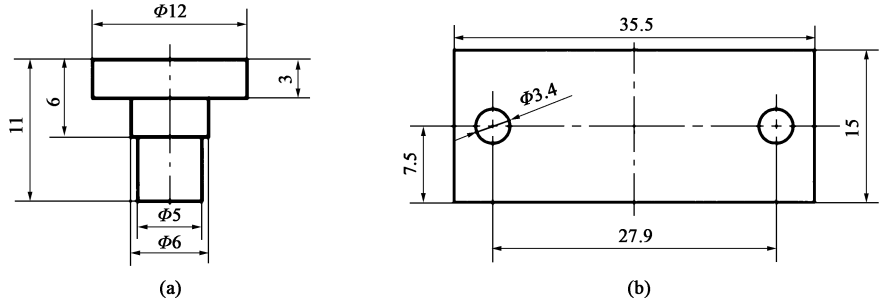


图 2 DAC 模具钢销试样 (a) 与 22MnB5 高强钢盘试样 (b) 示意图

Fig. 2 Schematic diagrams of DAC die steel pin specimen (a) and 22MnB5 high-strength steel disc specimen (b)

该实验于 UMT-3 销-盘往复摩擦磨损试验机上进行，为避免载荷过大引发设备晃动，载荷设置为 50 N。温度范围结合热冲压工艺，设置为 25、100、150、200、250 以及 300℃ 共 6 个梯度。该实验在试样达到预设温度、载荷趋于平稳后进行。为保证实验精度，控制每个实验时长为 90 min，待实验结束后设备采样时间变化曲线。

1.2.2 实验数据处理

图 3 为不同温度下的摩擦因数随时间变化图。结果显示，时间为 0~200 s 即初始磨损阶段，摩擦因数变化幅度较大。其原因为：实验初期模具表面粗糙度不均匀以及模具间接触不稳定。随着时间增长，摩擦因数变化趋于稳定；且随着温度上升，摩擦因数逐渐减小。

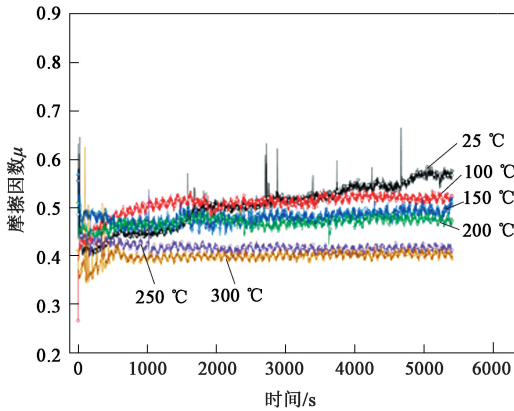


图 3 不同温度下的摩擦因数

Fig. 3 Friction coefficients at different temperatures

实验结束后，可通过综合热分析仪对销头磨损前后的质量称重，结合式（4）和式（5），可计算得到平均磨损深度值的计算公式，见式（6）。

$$V = \frac{\Delta m}{\rho} \tag{4}$$

$$V = \frac{\pi D_p^2}{4} \cdot \Delta h_w \tag{5}$$

$$\Delta h_w = \frac{4\Delta m}{\pi d^2 \rho} \tag{6}$$

式中： V 为模具磨损体积； ρ 为模具密度，取值为 $7.85 \text{ mg} \cdot \text{mm}^{-3}$ ； Δm 为质量损失； Δh_w 为失重法计算得到的平均磨损深度； D_p 为销头直径。

利用千分尺可直接测得模具磨损深度和销头磨损前后的直径变化，其中测得的模具磨损深度记为 Δh_h 。为确保测量精度，进行 3 次重复测量，取平均值作为结果。整理数据可得表 3。

表 3 50 N 载荷下摩擦磨损实验结果

Table 3 Results of friction and wear experiment under load of 50 N

载荷/N	温度/℃	销头直径 D_p/mm	质量损失 $\Delta m/$ ($\times 10^{-3} \text{ g}$)	模具磨损深度测 量值 $\Delta h_h/\text{mm}$
50	25	$\Phi 4.973$	2.368	0.013
	100	$\Phi 4.971$	2.828	0.020
	150	$\Phi 4.983$	5.012	0.031
	200	$\Phi 4.993$	7.182	0.046
	250	$\Phi 4.980$	13.302	0.081
	300	$\Phi 4.982$	16.376	0.101

基于式（6）可得到失重法计算的模具磨损深度 Δh_w 。通过将其与测量得到的模具磨损深度 Δh_h 进行对比分析，结果如表 4、图 4 所示。由表 4、图 4 可知，不同温度条件下计算值和测量值均较为接近，且计算得到的模具磨损深度始终大于测量值，其原因为螺旋测微器往往接触的是沟痕凸顶，较实

际平均磨损深度小。综上选取失重法计算得到的平均模具磨损深度作为后续研究的标准。

表 4 计算和实测的模具磨损深度 Δh_w 与 Δh_h 的对比
Table 4 Comparison of calculated and measured die wear depth Δh_w and Δh_h

来源	温度/℃					
	25	100	150	200	250	300
$\Delta h_w/\text{mm}$	0.016	0.019	0.033	0.047	0.087	0.107
$\Delta h_h/\text{mm}$	0.013	0.020	0.031	0.046	0.081	0.101

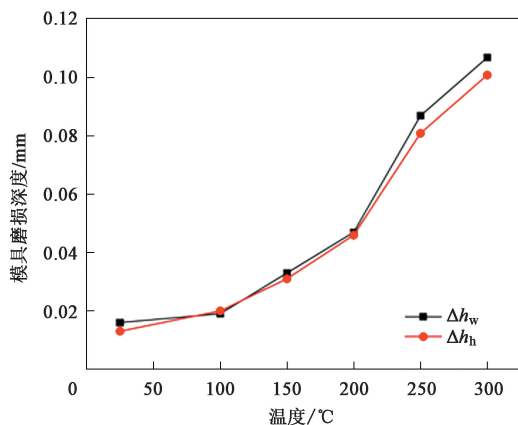


图 4 测量值 Δh_h 与计算值 Δh_w 对比图

Fig. 4 Comparison diagram of measured value Δh_h and calculated value Δh_w

2 热冲压仿真模型建立与验证

2.1 模型选择

关于热冲压的磨损形式,从机理和磨损形式上大多表现为粘着磨损。而针对磨损模型,较为著名的为 Holm 磨损模型和 Archard 磨损模型。考虑到后期关于磨损量的计算和统计,本文选择 Archard 磨损模型,其一般公式为式 (7)。

$$V = K \cdot \frac{p \cdot L}{H} \quad (7)$$

$$V = W \cdot A \quad (8)$$

$$p = \sigma \cdot A \quad (9)$$

$$L = v \cdot t \quad (10)$$

式中: H 为模具硬度; L 为模具与被冲压件的滑移距离; W 为模具磨损深度; p 为模具与工件接触面间的法向压力; K 为磨损系数,用于量化材料磨损特性的核心参数; A 为模具-板料有效接触面积; σ 为动态接触应力; v 为相对滑移速度; t 为累积滑移时间。

结合式 (8)、式 (9) 以及式 (10),可得到式 (11)。

$$W = K \cdot \frac{\sigma \cdot v}{H} \cdot t \quad (11)$$

温度是热冲压工艺无法忽略的因素,直接影响模具本身的磨损情况。在修正 Archard 模型中需考虑温度对磨损系数 K 以及模具硬度 H 这两个因素的影响。为简化模型,令 $k(T)$ 为修正磨损系数,如式 (12) 所示,故修正 Archard 模型为式 (13)。

$$k(T) = \frac{K(T)}{H(T)} \quad (12)$$

$$W = K(T) \cdot \frac{\sigma \cdot v}{H(T)} \cdot t = k(T) \cdot \sigma \cdot v \cdot t \quad (13)$$

2.2 模型标定

根据式 (12) 可以得到修正磨损系数 $k(T)$ 随温度的变化图,如图 5 所示。

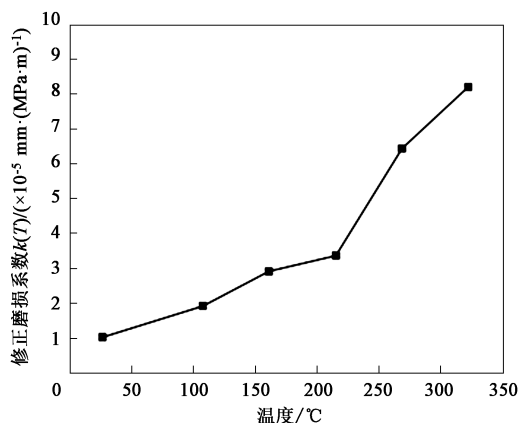


图 5 修正磨损系数随温度变化图

Fig. 5 Changing diagram of corrected wear coefficient with temperature

如图 6 和图 7 所示,对修正磨损系数 $k(T)$ 进行拟合,显示 $k(T)$ 在二次拟合时效果较优。由表 5 可知,二次拟合时的相关系数 R^2 可达到 0.977,其中, c_0 、 c_1 、 c_2 为拟合多项式系数。

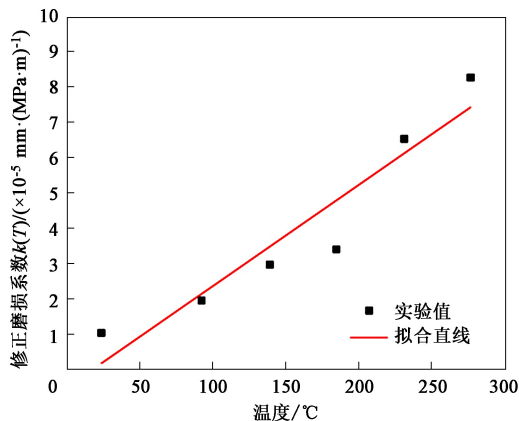


图 6 线性拟合对比图

Fig. 6 Linear fitting comparison diagram

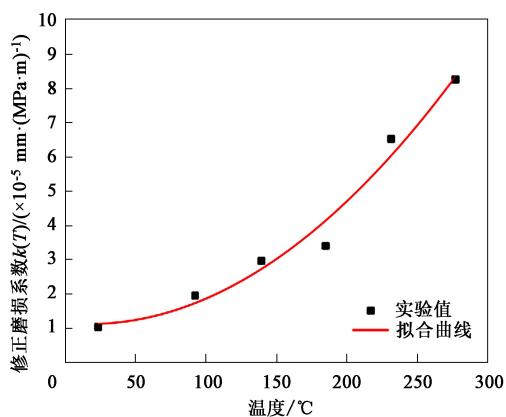


图 7 二次拟合对比图

Fig. 7 Quadratic fitting comparison diagram

表 5 线性拟合和二次拟合的效果对比

Table 5 Comparison of effects between linear fitting and quadratic fitting

类别	c_0	c_1	c_2	R^2
线性拟合	-4.594×10^{-6}	2.602×10^{-7}	—	0.901
二次拟合	1.157×10^{-5}	-3.107×10^{-8}	8.935×10^{-10}	0.977

代入拟合系数, 修正 Archard 模型如式 (14) 所示。

$$\begin{cases} k(T) = 1.157 \times 10^{-5} - 3.107 \times 10^{-8}T + 8.935 \times 10^{-10}T^2, & 25^\circ\text{C} \leq T \leq 300^\circ\text{C} \\ W = k(T) \cdot \sigma \cdot v \cdot t \end{cases} \quad (14)$$

2.3 热冲压建模

本文研究的实例来自某车型 A 柱加强板, 如图 8 所示, 模具表面结构较为复杂, 存在一定量的销孔、定位孔等。考虑到本文研究高温热磨损, 选取该模具磨损较为严重的区域进行简化处理, 图 9 为简化后的模具, 由凸凹模、压料板以及工件组成。分析步设置为显式动力学, 第 1 步的时间步长为 0.001 s, 向压料板施加压边力, 第 2 步为向模向下运动, 步长为 1 s。在接触设置模块, 摩擦因数需设置为按温度变化, 并按第 1 章等温摩擦磨损实验数

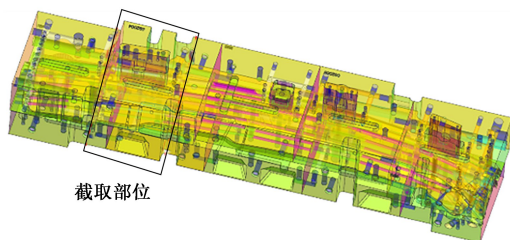


图 8 A 柱加强板冲压模具图

Fig. 8 Stamping die diagram of A-pillar reinforcement plate

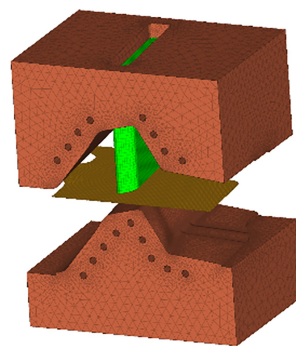


图 9 简化后仿真模型图

Fig. 9 Simplified simulation model diagram

据取值。此外在模具、工件设置预定义温度场, 结合热冲压过程分别取值为 20 和 750 °C。

2.4 仿真前处理

2.4.1 模具磨损量计算

基于温度耦合的修正 Archard 模型, 为准确预测模具热冲压磨损量, 需提取不同帧数下的关键参数值。利用式 (15) 可转换为某一个节点 i 在第 j 个分析步的磨损量 W_{ij} 。

$$W_{ij} = k(T_{ij}) \cdot \sigma_{ij} \cdot v_{ij} \cdot t \quad (15)$$

式中: T_{ij} 为节点 i 在第 j 个分析步的温度; σ_{ij} 为节点 i 在第 j 个分析步的动态接触应力; v_{ij} 为节点 i 在第 j 个分析步的相对滑移速度。

而节点 i 在单次冲压结束后的累积磨损 W_i 如式 (16) 所示。

$$W_i = \sum_j^n k(T_{ij}) \cdot \sigma_{ij} \cdot v_{ij} \cdot t \quad (16)$$

式中: n 为分析步总数量。

结合修正磨损模型公式 (14), 为求节点 i 的累积磨损量, 需基于 Abaqus 二次开发提取不同帧数关键变量, 根据式 (16) 求得单次冲压后节点的磨损量。

2.4.2 网格节点更新

由于摩擦磨损是累积的过程, 故在有限元仿真中需要对网格节点进行实时更新, 即在完成一次磨损后, 模型边界在三维空间内进行一定的移动。本文采用节点移动法进行节点位置的实时更新, 其中移动距离可通过修正 Archard 模型计算获取, 而节点法向移动量则通过将标量磨损值 W 分解为 x 、 y 、 z 这 3 个方向的空间位移场来确定, 计算方法如式 (17) 所示。

$$W_x = W \cdot \frac{F_x}{F} \quad (17)$$

式中: F 为接触力; F_x 为接触力沿 x 轴方向的分

量; W_x 为磨损量 W 沿 x 轴方向的分量。

同理可得到 W_y 、 W_z 。

2.5 磨损结果可视化

基于完成的 Odb 文件, 新建并配置一个磨损量的场输出。采用修正后的 Archard 模型计算单次冲压模具的磨损量, 将计算结果对应接触面节点写入数据库。最终可直接在可视化板块得到模具表面磨损量分布云图。

图 10、图 11 为凸、凹模的单次磨损量云图。可以发现, 磨损量均集中在模具的圆角过渡部分。原因是在热冲压工艺中, 凸、凹模的圆角部分相较模具其他区域承受了更大的接触应力, 摩擦也更为剧烈。凹模的最大磨损量 6.69×10^{-5} mm 明显大于凸模的最大磨损量 0.10×10^{-5} mm, 其原因是凹模设置为上模, 整个热冲压工艺中其相对滑动速度要远大于处于下模的凸模。综上考虑, 选取磨损量更大的凹模为后续研究的对象。

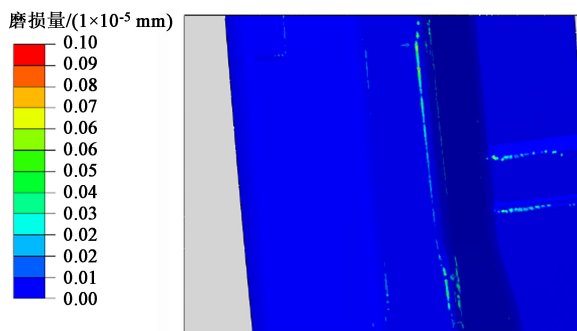


图 10 凸模磨损云图

Fig. 10 Contour map of punch wear

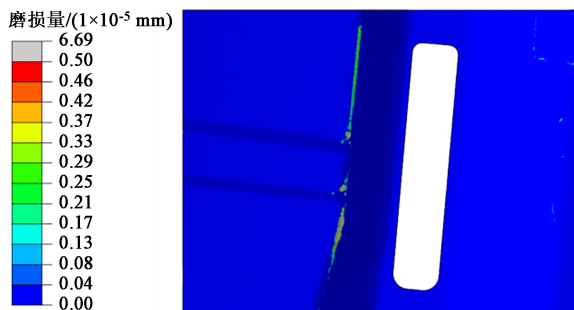


图 11 凹模磨损云图

Fig. 11 Contour map of die wear

3 模具磨损预测及验证

3.1 模具磨损预测

在循环高温热载荷环境下, 实时监控模具的磨

损情况具有一定挑战性。通过有限元仿真建立模型, 预测模具磨损可有效控制成本, 指导工艺生产。本文预测磨损的模型为已生产 66332 件产品的某汽车 A 柱热冲压凹模。假设将每一次冲压产生的磨损都考虑计算, 效率极低, 而选择磨损累积法预测模具磨损可有效避免上述问题, 其特点是将磨损看作是一定次数的冲压累积结果。计算时, N 次范围内的单次冲压磨损量为定值, 单次磨损量的 N 倍即为 N 次冲压后的总磨损量。因此, 每隔 N 次需计算总磨损量, 更新模具表面节点。结合本文研究对象以及热冲压次数, 经实际测算得知大概经过 3000 次冲压后, 模具表面有较为明显的磨损。为保证计算精度以及平衡仿真计算时间, 认定磨损累积法的 N 值为 3000。

图 12 为已完成 66332 次热冲压模具表面的磨损云图, 图 12 中数值较大的部位集中在凹模靠左位置的圆角区域。分析热冲压工艺可知, 该位置磨损量大与模具左侧支撑工件折弯而承受更大的接触应力有关。

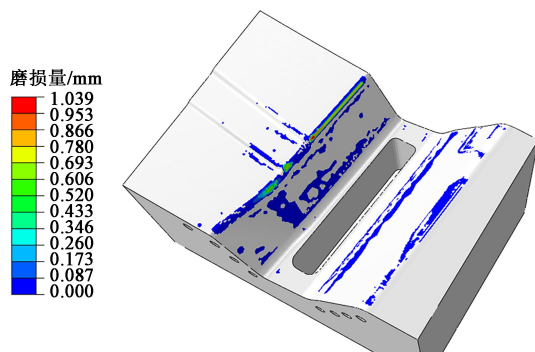


图 12 磨损累积法处理得到的多次热冲压磨损云图

Fig. 12 Multiple hot stamping wear contour map obtained by wear accumulation method

3.2 模具磨损测量实验

为准确还原模具磨损表面形貌, 选择 WLS400M 蓝光三维扫描系统获取点云数据。对于模具表面的扫描, 第 1 步是确定参考点的位置, 基准面选择为模座上凸的平面。另外, 蓝光扫描仪的跨度也应控制在一定范围, 确保前后两次扫描区域存在交集的部分。在处理得到点云数据前, 需进行数据初筛, 即去除杂点和偏差大的点。在基于点云数据建立三维模具模型时, 采用 RPS 设定校准。完成上述步骤后, 计算磨损后模具表面与最初模具表面间的差值, 最终输出磨损云图, 如图 13 所示。由图 13 可以发现磨损的集中区域在圆角过渡处, 划分为 A、B、C 这 3

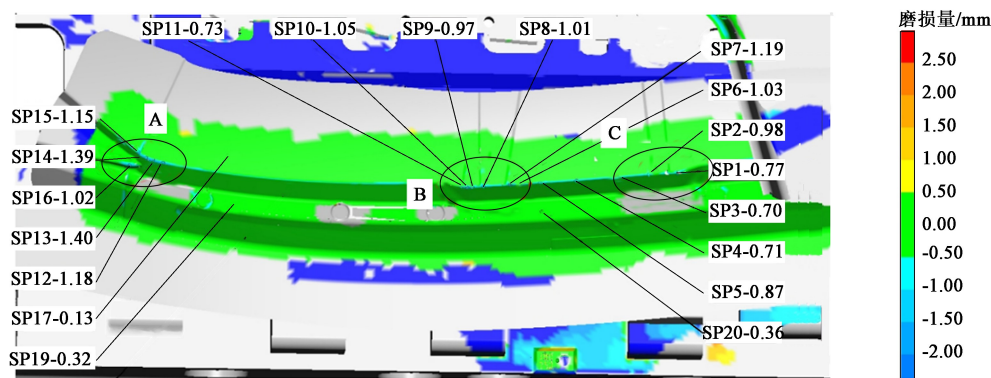


图 13 仪器测量磨损云图

Fig. 13 Wear contour map measured by instrument

处区域，对应凹模的左端、中间区域以及右端。

3.3 磨损预测与实验对比

为了直观对比磨损预测结果与实际测量结果，

取模具的 C 处区域，从测量云图中选取 3 个任意点，分别为 SP2、KS6、KS5，如图 14 所示，具体数据如表 6 所示。

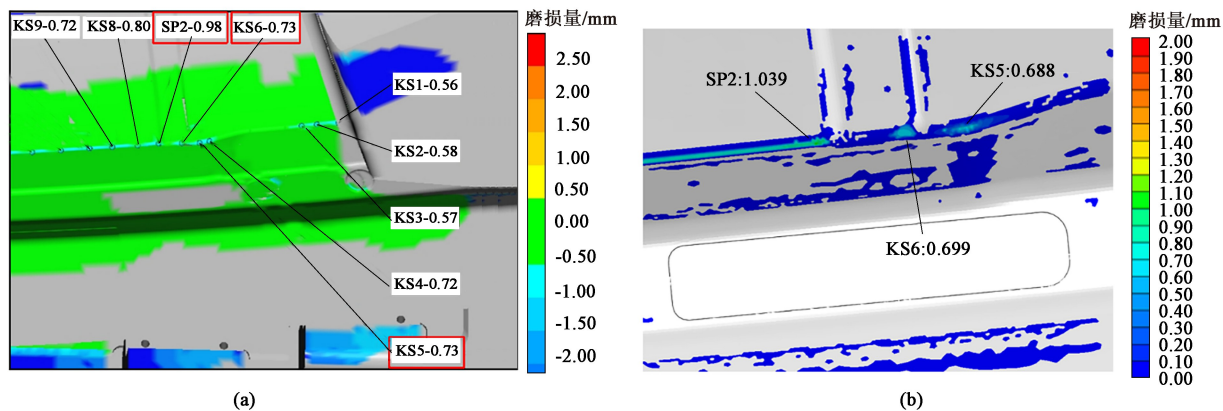


图 14 测量云图 (a) 与磨损累积计算磨损云图 (b) 对比

Fig. 14 Comparison between measured contour map (a) and calculated wear contour map by wear cumulative (b)

表 6 磨损量的计算值与测量值对比

Table 6 Comparison between calculated and measured wear values				
点编号	测量值/mm	预测值/mm	差值/mm	误差/%
SP2	0.98	1.04	0.060	6.12
KS6	0.73	0.69	0.040	5.48
KS5	0.73	0.70	0.030	4.11

表 6 显示，选取的 SP2、KS6、KS5 这 3 点的最大误差为 6.12%。证明了耦合温度因素对于 Archard 修正模型的适用性，同时通过磨损累积法可以较好地预测热冲压磨损。

4 结论

(1) 设计完成 DAC 模具钢的显微硬度实验和

等温摩擦磨损实验，结果显示 DAC 模具钢与 22MnB5 高强钢之间的摩擦因数随温度上升而下降，实验得到不同温度下磨损量的具体数值，基于实验结果修正了 Archard 磨损模型。

(2) 基于 ABAQUS 仿真平台，搭建模具热冲压仿真模型，结合修正 Archard 模型和节点更新法实现磨损量的可视化。对比凸凹模在一次冲压后的磨损情况，发现其分布区域均集中在圆角部位。凹模的磨损程度远大于凸模，故后续研究集中为凹模圆角区域。

(3) 采用磨损累积法对于已完成 66332 次热冲压的凹模表面磨损进行预测，结合扫描仪的结果，对比发现磨损量最大点的误差控制在 6.12%，证明修正后的 Archard 模型可以较好地预测多次热冲压的磨损结果，且采用磨损累积法处理仿真结果的精度较高，符合预测精度要求。

参考文献:

- [1] Sun W L, Chen X K, Wang L. Analysis of energy saving and emission reduction of vehicles using light weight materials [J]. Energy Procedia, 2016, 88: 889-893.
- [2] 杨亘, 夏琴香, 邱遵文, 等. 高强钢板在汽车上的应用及冲压成形性能研究现状 [J]. 现代制造工程, 2012 (7): 138-143. Yang G, Xia Q X, Qiu Z W, et al. Applications of high strength steel in automobile and the research status of stamping forming properties [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2012 (7): 138-143.
- [3] 陈炜, 王逸凡, 刘杰, 等. 复杂热冲压模具型面的激光熔覆强化及摩擦磨损控制技术 [J]. 锻压技术, 2024, 49 (3): 186-193. Chen W, Wang Y F, Liu J, et al. Laser cladding strengthening of complex hot stamping die surface and friction and wear control technology [J]. Forging & Stamping Technology, 2024, 49 (3): 186-193.
- [4] 宁敏清. 基于动态模型的冲压模具材料磨损寿命研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2017. Ning M Q. Research on Stamping Die Material Wear Life Based on Dynamic Model [D]. Changsha: Hunan University, 2017.
- [5] 徐龙堂, 徐滨士, 周美玲, 等. 电刷镀镍/镍包纳米 Al_2O_3 颗粒复合镀层微动磨损性能研究 [J]. 摩擦学学报, 2001 (1): 24-27. Xu L T, Xu B S, Zhou M L, et al. Anti-fretting properties of Ni/Ni-coated nano- Al_2O_3 composite coating prepared by electro-brush plating [J]. Tribology, 2001 (1): 24-27.
- [6] 李禧, 张莹, 陈志英, 等. 5CrMnMo 模具钢销盘磨损试验及仿真验证 [J]. 模具工业, 2021, 47 (8): 67-70. Li X, Zhang Y, Chen Z Y, et al. Pin-on-disc wear test of 5CrMnMo die steel and the simulation verification [J]. Die & Mould Industry, 2021, 47 (8): 67-70.
- [7] Geng H C, Wang Y L, Wang Z J, et al. Investigation on contact heating of aluminum alloy sheets in hot stamping process [J]. Metals, 2019, 9 (12): 1341-1341.
- [8] 赵妍洁, 张双杰, 穆振凯, 等. 基于动态磨损模型的汽车覆盖件模具磨损数值模拟研究 [J]. 中国机械工程, 2024, 35 (3): 515-523. Zhao Y J, Zhang S J, Mu Z K, et al. Numerical simulation of die wear of automobile covering parts based on dynamic wear model [J]. China Mechanical Engineering, 2024, 35 (3): 515-523.
- [9] 谢晖, 凌鸿伟. 基于 sobol 法的热成形工艺参数全局灵敏度分析及优化设计 [J]. 塑性工程学报, 2016, 23 (2): 11-15. Xie H, Ling H W. Global sensitivity analysis and optimal design for hot forming parameters based on sobol method [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2016, 23 (2): 11-15.
- [10] 聂昕, 宁敏清, 乔晓勇. 基于动态模型的冲压模具磨损寿命研究 [J]. 中国公路学报, 2018, 31 (3): 133-141. Nie X, Ning M Q, Qiao X Y. Research on stamping die wear life based on dynamic model [J]. China Journal of Highway and Transport, 2018, 31 (3): 133-141.
- [11] 董竹林, 李永锋. 汽车加强板冲压模芯磨损分析及工艺参数优化 [J]. 锻压技术, 2024, 49 (6): 102-109. Dong Z L, Li Y F. Wear analysis and process parameter optimization on stamping die core for automobile reinforcing plate [J]. Forging & Stamping Technology, 2024, 49 (6): 102-109.
- [12] 鄢建辉, 汪久根. 滚动轴承疲劳寿命的影响因素 [J]. 轴承, 2003 (6): 21-25. Yan J H, Wang J G. Influence factors on fatigue life of rolling bearing [J]. Bearing, 2003 (6): 21-25.

关于中国机械工程学会塑性工程分会发展会员的通知

中国机械工程学会塑性工程(锻压)分会成立于1963年,是全国性的锻压科学技术工作者的学术性社会团体。经本会理事会研究决定:凡承认本会章程并符合条件者,可申请为本会会员。

会员的权利与义务: 1. 颁发个人/单位会员证书及铜牌,铜牌由秘书处统一制作并颁发,可申请定制; 2. 参加本学会组织的年会会议费可享受适当优惠; 3. 优先参加本会组织举办的国内外有关学术活动和其他活动; 4. 优先获得本会的有关学术资料,免费获赠会刊《锻压技术》杂志电子版(个人会员6期/年,单位会员12期/年); 5. 在学会网站主页进行企业宣传、logo链接; 6. 享有本会的选举权、被选举权和表决权(学生会员除外); 7. 接受本会委托,进行论证、评议、咨询等工作; 8. 享有入会、退会的自由。

申请手续: 1. 通过学会官网(www.cstp-cmes.org.cn)点击立即注册在线提交入会申请; 2. 经审批通过后,将邮件通知申请单位或个人进行会费缴纳; 3. 会员缴纳会费后正式登记,自行登录个人中心首页-我的证书预览或下载会员证书。

地 址: 北京市海淀区学清路18号711室塑性工程分会
电 话: 010-62920654
网 址: www.cstp-cmes.org.cn

联系人: 李世龙
邮 箱: duanya@cmes.org

中国机械工程学会塑性工程分会