

装备与成套技术

压铸机双曲肘合模机构刚柔耦合式运动特性优化

王 昌¹, 张智铨¹, 张立良², 魏延峰³, 宋红燕³

(1. 内蒙古科技大学 机械工程学院, 内蒙古 包头 014010; 2. 莱芜钢铁集团银山型钢有限公司, 山东 济南 271100;
3. 山东钢铁股份有限公司莱芜分公司型钢厂, 山东 济南 271100)

摘要: 热室压铸机的生产效率、使用寿命及压铸件的成形质量受到其合模机构性能的影响。采用多软件协同创建法, 利用 Ansys 软件将十字架、撑杆、后曲肘、前曲肘、拉杆作为柔性体, 导入到 Adams 软件中进行刚柔耦合动力学分析, 研究弹性变形对合模机构锁模精度和运动特性的影响。通过对比刚体系统与刚柔耦合系统仿真得到的锁模力和动模板位移、速度、加速度曲线发现, 刚柔耦合系统的锁模力大于刚体系统, 最大位移差值为 0.573 mm, 刚柔耦合系统在启动阶段和模具碰撞后速度发生波动, 加速度峰值高达 $1282.2549 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$ 。加速度峰值过高会导致运动副中动载荷较大, 十字架驱动速度的输入方案严重影响了合模机构的运动特性。因此, 提出采用正弦曲线加速、中途高速运动、余弦曲线减速、最终低速运动的驱动优化方案来完成合模运动。优化结果表明: 速度变化平稳, 加速度峰值减小至 $237.0416 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$, 较优化前减小了 81.51%, 有效优化了合模机构的运动特性, 降低了运动副的磨损。
关键词: 热室压铸机; 双曲肘合模机构; 刚柔耦合; 运动特性; 锁模力

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2024.10.018

中图分类号: TH113 文献标志码: A 文章编号: 1000-3940 (2024) 10-0137-06

Optimization on rigidity-flexibility coupling motion characteristics for hyperbolic elbow clamping mechanism in die-casting machine

Wang Chang¹, Zhang Zhicheng¹, Zhang Liliang², Wei Yanfeng³, Song Hongyan³

(1. School of Mechanical Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China;
2. Laiwu Iron and Steel Group Yinshan Section Steel Co., Ltd., Jinan 271100, China;
3. Shandong Iron and Steel Co., Ltd. Laiwu Branch Profile Steel Plant, Jinan 271100, China)

Abstract: The production efficiency and service life of hot chamber die-casting machine, and the forming quality of die-casting part are influenced by the performance of its clamping mechanism. Therefore, using the multi software collaborative creation method, the crosshead rod, brace, rear elbow, front elbow and pull rod were taken as flexible bodies by software Ansys, which was import into the software Adams for rigid-flexible coupling dynamic analysis, and the influences of elastic deformation on the locking accuracy and motion characteristics of clamping mechanism were studied. Then, by comparing the locking force and dynamic template displacement, velocity and acceleration curves obtained from the simulation of rigid body system and rigid-flexible coupling system, the locking force of the rigid-flexible coupling system was greater than that of the rigid body system, with a maximum displacement difference of 0.573 mm, and the velocity of the rigid-flexible coupling system fluctuated during the start-up phase after collision with mold, with a peak acceleration of $1282.2549 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$. Furthermore, the high peak acceleration led to a large dynamic load in the motion pair, and the input scheme of the drive speed for crosshead rod seriously affected the motion characteristics of clamping mechanism. In addition, a drive optimization scheme by using sine curve acceleration, high-speed motion midway, cosine curve deceleration and finally low-speed motion was proposed to complete the mold clamping motion. The optimization results show that the speed changes smoothly, and the peak acceleration decreases to $237.0416 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$, which is 81.51% less than that before optimization, effectively optimizing the motion characteristics of clamping mechanism and reducing the wear of motion pair.

Key words: hot chamber die-casting machine; hyperbolic elbow clamping mechanism; rigid-flexible coupling; motion characteristics; clamping force

压铸工艺作为一种关键的金属零部件制造技术,

已广泛应用于汽车、电子、航空航天等领域^[1]。特别是热室精密压铸机, 以其高精度和高效率的特点, 成为制造高质量零部件的首选设备之一^[2]。然而, 设备性能往往受到合模机构的制约。

近年来, 我国压铸件需求量不断增加, 2021 年生产 $1.4371 \times 10^7 \text{ t}$, 压铸件的年产量已经超过了数亿件, 且增速稳定在 10% 以上^[3]。亟需提高压铸机

收稿日期: 2023-11-24; 修订日期: 2024-02-27

基金项目: 内蒙古自然科学基金资助项目 (2022LHMS05001)

作者简介: 王 昌 (1967-), 男, 硕士, 教授

E-mail: wangchang888@sina.com

通信作者: 张智铨 (1999-), 男, 硕士研究生

E-mail: 2021023240@stu.imust.edu.cn

的生产效率和使用寿命,因此,研究弹性变形对合模机构锁模精度和运动特性的影响尤为重要。合模机构在压铸工艺中起到至关重要的作用,它负责保持模具的稳定性、确保铸件的精密度^[4]。然而,受弹性变形影响的合模运动的速度波动明显,且加速度峰值较高,一方面会导致运动副产生动载荷,增加机械的磨损,从而降低机械的效率;另一方面会引起机械振动,降低机械的精度和工艺性能,使产品质量下降。

窦宝明等^[5]研究了考虑摩擦时,基于刚性体的合模机构的建模与优化设计,试验表明,在压铸机肘杆机构锁模过程中,锁模油缸压力随着行程的增加而增加,增力比也随着行程的增加而增大,且增加速度大于压力。赵南阳等^[6]利用有约束非线性优化方法,以扩力系数为优化目标,降低制造成本的同时使得扩力系数增加了 25.4%,运动过程更加平稳,动模板加速度曲线更为平滑。目前,对于合模机构的研究取得了一定成果,但大多数基于刚性体的动力学基础,忽略了构件弹性变形的影响,其精确度较低。张华伟等^[7]建立了合模机构刚柔耦合模型,并采用 Sensormate DU-4D 哥林柱测试仪试验验证了建模方法的准确性,并对机铰进行优化设计,将扩力系数由 21.45 提升至 24.57,行程比由 1.03 提升至 1.08。许峥嵘等^[8]通过对合模机构刚柔耦合动力学仿真,研究了考虑弹性变形后合模机构的运动特性以及锁模精度与驱动速度大小和启动加速时长的变化规律,即:速度提升,锁模精度降低;速度降低,则锁模时间增长,合模效率降低。但其未解释刚体系统与刚柔耦合系统仿真结果对比中产生锁模力大小以及运动特性不同的根本原因。

本文建立了双曲肘合模机构刚柔耦合模型并进行动力学分析,通过对比刚体系统与刚柔耦合系统仿真结果,探究了考虑弹性变形后合模机构的锁模力大小,以及位移、速度和加速度产生差异的根本原因。并对刚柔耦合系统的运动特性进行了全面评估,优化设计十字架的驱动函数,降低了加速度峰值,减少了运动副的磨损。本文以 1250 kN 热室精密压铸机为研究对象,其实物图如图 1 所示,主要技术参数如表 1 所示。

1 合模机构运动仿真

1.1 合模机构三维建模

根据现有的合模机构零件尺寸,前曲肘长度为



图 1 1250 kN 热室压铸机实物图

Fig. 1 Physical diagram of 1250 kN hot chamber die-casting machine

表 1 主要技术参数

Table 1 Main technical parameters

参数	合模力 (锁模力)/kN	压射力/MPa	动模板行程/mm	模具厚度/mm
数值	1250	325	300	150~450

360 mm,后曲肘长度为 215 mm,撑杆长度为 162 mm,十字架中心距为 224 mm。利用 Solidworks 三维软件绘制三维实体,并完成合模机构整体装配,装配体模型如图 2 所示。

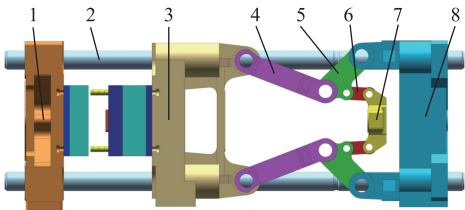


图 2 双曲肘合模机构装配体模型

1. 定模板 2. 拉杆 3. 动模板 4. 前曲肘 5. 后曲肘
6. 撑杆 7. 十字架 8. 后模板

Fig. 2 Assembly model of hyperbolic elbow clamping mechanism

将装配体导入 Adams/View 中,并赋予各部件材料属性,如表 2 所示。

表 2 合模机构各部件材料及属性

Table 2 Material and its properties of each component for clamping mechanism

部件	材料	密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	杨氏模量/GPa	泊松比
模板、肘杆	QT600 铸铁	7060	169	0.257
拉杆	Cr40 钢	7850	210	0.300

1.2 刚体系统运动仿真

合模机构各零部件的位置关系已由装配模型确定,且初始状态为合模运动的起点位置。根据合模机构各零部件之间的连接和约束关系添加约束副,各部件之间的约束如表 3 所示。并且在运动副上添加摩擦力,使机构受力更符合实际情况。

表 3 合模机构各部件约束设置

Table 3 Constraint setting of each component for clamping mechanism

序号	部件 1	部件 2	约束副
1	定模板	地面	固定副
2	后模板	地面	固定副
3	拉杆	后模板	固定副
4	拉杆	定模板	固定副
5	后模板	后曲肘	转动副
6	后曲肘	前曲肘	转动副
7	前曲肘	动模板	转动副
8	后曲肘	撑杆	转动副
9	撑杆	十字架	转动副
10	前曲肘	后曲肘	转动副
11	动模板	拉杆	移动副
12	十字架	地面	移动副

双曲肘合模机构通过液压缸提供速度和推力，油缸驱动十字架，进而带动撑杆、曲肘、动模板和模具，实现合模运动。按照实际工作中液压缸的加载情况，对十字架与地面的移动副添加驱动速度，其形式采用 *STEP* 三次多项式逼近阶跃函数^[9]：

$$STEP(t, t_0, v_0, t_1, v_1) \quad (1)$$

式中： t 为自变量时间； t_0 为时间的初始值； t_1 为时间的最终值； v_0 为时间 t_0 时的速度函数值； v_1 为时间 t_1 时的速度函数值。

实际合模过程中，模具开始接触时系统发生弹性变形。锁模阶段，机构由变形产生夹紧作用，为模具提供锁模力。为模拟锁模过程中合模系统产生的锁模力变化情况，采用 *Impact* 函数法设置模具间接触力，接触对象为两模具实体^[10]。

设置仿真时间和步长，通过仿真得到刚体系统锁模力和动模板的位移、速度、加速度随时间变化的曲线。

1.3 刚柔耦合系统运动仿真

为研究弹性变形对合模机构动态性能及锁模精度的影响，在刚性模型基础上，对刚度相对较小的肘杆机构、拉杆等进行柔性化处理，考虑到模板模型的复杂程度以及仿真成本，对刚度较大的模板仍采用刚性体处理^[11]。

采用多软件协同创建法^[12]，利用 Ansys 有限元软件将十字架、撑杆、后曲肘、前曲肘、拉杆分别离散为细小的网格进行模态计算，计算后生成模态中性文件 .MNF，再通过 Adams Flex 功能将 .MNF 模态中性文件分别导入 Adams 软件中，构建合模机构的刚柔耦合模型。该方法的优点是可以人为降低离散误差，对于复杂结构的计算更加精确。

应用 Adams 中柔性体替换刚性体功能，将刚性体上的载荷、约束等信息自动转移至柔性体上，刚性体上的坐标点也会转移至柔性体上离坐标点最近的网格节点上，柔性体会继承原刚性体的尺寸、初始速度、模态位移等特性^[9]。

为分析刚体系统和刚柔耦合系统动态性能及锁模力结果的差异，设定与刚体系统相同的驱动方案。

2 仿真结果对比分析

将刚体系统与刚柔耦合系统的仿真结果进行对比分析。

2.1 锁模力对比分析

刚体模型和刚柔耦合模型的锁模力仿真结果对比如图 3 所示。动模板与定模板接触时才会产生锁模力，因此，由图 3 可以看出，刚柔耦合模型在 2.37 s 时动模板与定模板发生接触，而刚体模型略有滞后，在 2.40 s 时二者发生接触。

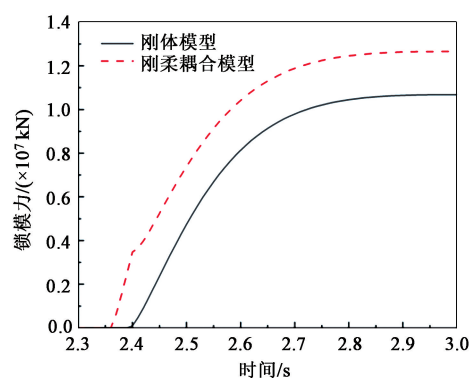


图 3 刚体模型和刚柔耦合模型仿真的锁模力对比

Fig. 3 Comparison of simulated clamping force between rigid model and rigid-flexible coupling model

刚柔耦合模型的动模板和定模板刚开始接触时，锁模力有小幅振动，但总体上随着合模的进行，锁模力变化趋势和刚体模型的仿真结果一致。通过图 3 分析：由于刚体模型未考虑系统发生弹性变形对锁模力的影响，因此，锁模力的大小等于液压油缸推力与肘杆机构扩力系数的乘积，如式 (2) 所示：

$$P_m = n \cdot F \quad (2)$$

式中: P_m 为额定锁模力; n 为肘杆机构扩力系数; F 为液压油缸推力。

根据式 (2) 计算的额定锁模力理论数值与刚体模型仿真的锁模力数值吻合。

而刚柔耦合模型考虑了弹性变形, 其合模机构是一个力封闭的弹变形机构, 是抗拉伸变形和抗弯挠度变形的弹性力学特性的结合体。其锁模力是机构的肘杆、拉杆等有关零部件受力弹性变形而产生的, 是有关零部件的抗拉刚度和抗弯刚度特性的具体表现。根据拉杆弹性变形的工作特性^[13], 提出锁模力公式, 如式 (3) 所示:

$$P_m = m \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot E \cdot \Delta \quad (3)$$

式中: m 为拉杆数量; D 为拉杆直径; E 为材料弹性模量, 拉杆材料为 40Cr 钢, $E = 2.1 \times 10^5$ MPa, 即 210 GPa; Δ 为拉杆拉伸单位弹性变形量系数, 对于精密压铸机的合模机构, 其取值在 0.00036 ~ 0.00040 之间^[14]。

通过式 (3) 计算的额定锁模力理论数值与刚柔耦合模型仿真数值吻合。

2.2 动模板位移对比分析

动模板位移对比曲线如图 4 所示, 将即将完成合模时的曲线局部放大。其中, 刚体模型的锁模位移为 281.639 mm, 刚柔耦合模型的锁模位移为 282.212 mm, 锁模时刚柔耦合模型中动模板位移大于刚体模型中动模板位移, 相对位移差值为 0.573 mm。结果表明, 刚柔耦合模型在锁模力作用下拉杆受拉的伸长量为 0.573 mm, 拉杆伸长表现为动模板位移的变化。

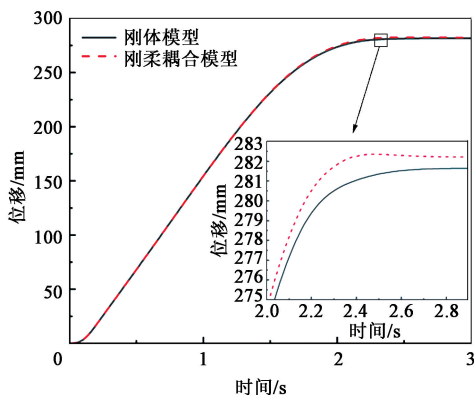


图 4 刚体模型和刚柔耦合模型的动模板位移曲线对比

Fig. 4 Comparison of displacement curves for dynamic template between rigid model and rigid-flexible coupling model

拉杆拉伸单位弹性变形量系数为^[13]:

$$\Delta = \frac{\delta}{L_t} \quad (4)$$

式中: δ 为拉杆拉伸变形量; L_t 为拉杆受力拉伸长度。

根据式 (4) 可以得到该合模机构中拉杆的拉伸单位弹性变形量系数为 0.00040, 在精密压铸机合模机构拉杆拉伸单位弹性变形量系数 0.00036 ~ 0.00040 区间内^[14], 符合精密压铸机参数要求。

2.3 动模板速度对比分析

动模板速度对比曲线如图 5 所示, 由于构建弹性变形的影响, 在加速和减速阶段, 刚柔耦合模型的动模板速度均略滞后于刚体模型。在 2.37 s 模具发生碰撞后, 刚柔耦合模型产生轻微的速度波动, 但刚体模型和刚柔耦合模型仿真的速度曲线整体趋势基本一致。

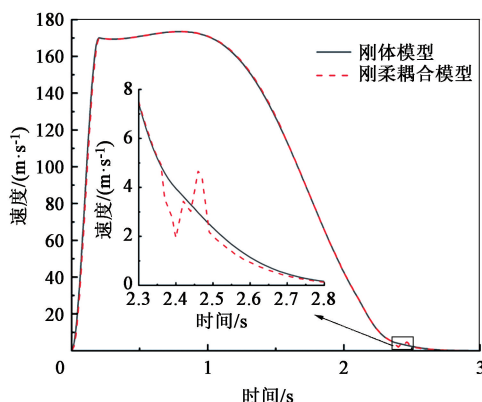


图 5 刚体模型和刚柔耦合模型的动模板速度曲线对比

Fig. 5 Comparison of velocity curves for dynamic template between rigid model and rigid-flexible coupling model

2.4 动模板加速度对比分析

动模板加速度对比如图 6 所示, 刚柔耦合模型动模板的加速度在启动阶段产生强烈的震荡, 在即将完成合模时产生轻微震动。在加速阶段 0.105 s 时, 质心加速度达到峰值 1282.2549 mm · s⁻², 整体趋势与刚体模型相差无几, 且整体加速度峰值较高。

2.5 对比分析结果

合模运动在启动阶段加速度产生强烈的震荡, 这是十字架输入速度突变所致; 在加速阶段加速度的峰值较高, 导致运动副中动载荷较大, 加剧运动副磨损^[15]; 在即将完成合模时, 由于动模板和定模板上的模具发生碰撞而产生轻微速度波动。因此, 亟需优化十字架的驱动方案, 尽量减小冲击作用, 降低运动副的磨损, 提高锁模精度和使用寿命。

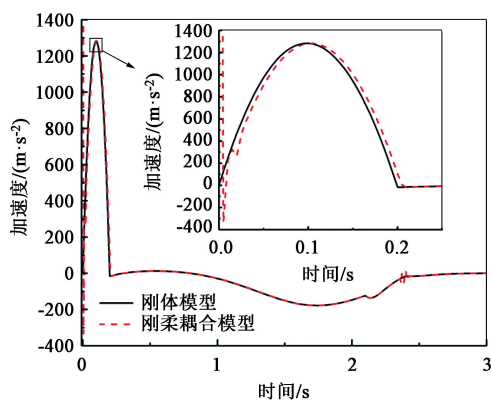


图 6 刚体模型和刚柔耦合模型的动模板加速度曲线对比
Fig. 6 Comparison of acceleration curves for dynamic template between rigid model and rigid-flexible coupling model

3 驱动方案的优化

3.1 优化设计

合模过程中, 作直线往复运动的动模板加速度出现震动, 这对于整个合模机构将会产生不利影响。提出将液压缸的速度驱动函数分为 4 个阶段: 第 1 阶段采用正弦曲线加速, 以避免合模开始时速度突变产生的影响; 第 2 阶段匀速高速运动, 以减少整个合模周期的运动时间; 第 3 阶段采用余弦曲线减速, 在模具将要接触前将速度降低, 缓慢合模; 第 4 阶段低速运动, 缓慢合模, 以减小模具间的碰撞、保证锁模精度。

根据以上的分析, 设置十字架的速度驱动程序: $\text{if}\{ \text{time}-1.2: 65 * [1 + \sin(5 * \pi * \text{time}/6 - \pi/2)], 130, \text{if}[\text{time}-1.7: 130, 130, \text{if}(\text{time}-3.3: 30+50 * (1+\cos(5 * (\text{time}-1.7) * \pi/8))), 30, 30)] \}$ 。速度驱动矢量如图 7 所示。

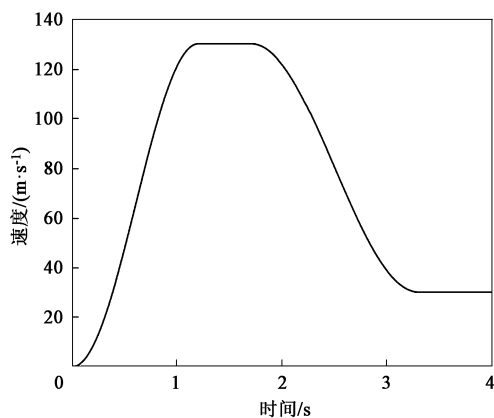


图 7 十字架速度驱动曲线
Fig. 7 Speed driving curve for crosshead rod

速度驱动采用 IF 函数:

$$IF(expr1: expr2, expr3, expr4) \quad (5)$$

式中: $expr1$ 为 Adams 的评估表达式; $expr2$ 、 $expr3$ 、 $expr4$ 为任意的表达式。

如果 $expr1$ 的值小于 0, IF 函数返回 $expr2$ 的值; 如果 $expr1$ 的值等于 0, IF 函数返回 $expr3$ 的值; 如果 $expr1$ 的值大于 0, IF 函数返回 $expr4$ 的值。

3.2 优化验证

仿真完成后, 得到动模板的位移、速度、加速度各个矢量的曲线图如图 8 所示。

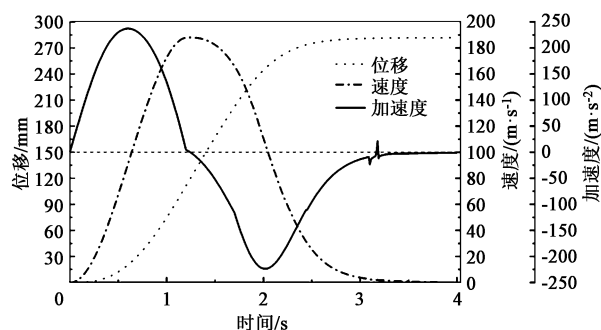


图 8 优化后动模板运动曲线

Fig. 8 Motion curves of dynamic template after optimization

驱动方案优化后的运动特性与优化前相比, 仍然具有慢-快-慢的合模速度。优化后的速度曲线, 在模具未接触之前以更高的速度进行合模, 有效减少合模周期; 在模具快要接触时, 速度缓慢且平稳地降低, 减少了模具碰撞产生的冲击。加速度曲线平滑, 有效地减小了运动副中的动载荷, 降低运动副磨损; 仅在模具碰撞后产生轻微波动, 且在锁模精度范围之内; 加速度峰值为 $237.0416 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$, 较原来减小了 81.51%。

4 结论

(1) 刚体系统和刚柔耦合系统的动态特性曲线的差异表明, 在锁模过程中刚度相对较小的肘杆机构、拉杆的弹性变形对曲肘合模机构的动态性能及锁模精度具有关键作用。

(2) 刚柔耦合动力学仿真结果表明, 在启动阶段和模具碰撞后速度波动明显, 且加速度峰值达到 $1282.2549 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$, 导致运动副中动载荷较大, 并且十字架驱动速度的输入方案严重影响着锁模精度, 需要进一步优化。

(3) 提出优化方案, 驱动速度采用正弦曲线加速、中途高速运动、余弦曲线减速、最终低速运动

的驱动方案完成合模运动。经仿真结果对比,速度变化平稳,加速度峰值减小至 $237.0416 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$,较优化前减小了 81.51%。有效地减小了冲击作用,降低了运动副磨损,提高了合模精度和使用寿命。

参考文献:

- [1] 马志刚,杨志怀,张晓丽,等. 锻造操作机行走系统性能仿真分析 [J]. 锻压技术, 2022, 47 (10): 203-207.
Ma Z G, Yang Z H, Zhang X L, et al. Simulation analysis on performance of walking system for forging manipulator [J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47 (10): 203-207.
- [2] 王建康,张涛,黄汉雄,等. 注塑机锁模机构动力学模型的建立与验证 [J]. 塑料工业, 2011, 39 (6): 32-34.
Wang J K, Zhang T, Huang H X, et al. Construction and verification of kinetics model of clamping system for injection molding machine [J]. China Plastics Industry, 2011, 39 (6): 32-34.
- [3] 智研瞻产业研究院. 中国压铸件行业报告显示该行业市场规模庞大 [Z]. https://www.sohu.com/a/713109568_120815556.
Zhiyanzhan Industrial Research Institute. The report of China's die-casting industry shows that the market size of the industry is huge [Z]. https://www.sohu.com/a/713109568_120815556.
- [4] 李先洲. 铝合金一体化压铸技术浅析 [J]. 铸造, 2023, 72 (4): 462-465.
Li X Z. Brief analysis on integrated die casting technology of aluminum alloy [J]. Foundry, 2023, 72 (4): 462-465.
- [5] 窦宝明,刘玉绒. 压铸机肘杆机构建模与优化设计 [J]. 机床与液压, 2012, 40 (7): 123-125.
Dou B M, Liu Y R. Modeling and optimized design for the elbow-bar mechanism of die-casting machine [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2012, 40 (7): 123-125.
- [6] 赵南阳,许忠斌,林增荣,等. 注塑机合模机构的多功能集成设计系统开发 [J]. 塑料工业, 2022, 50 (10): 75-80, 95.
Zhao N Y, Xu Z B, Lin Z R, et al. Development of the multi-functional integrated design system about clamping mechanism in injection molding machine [J]. China Plastics Industry, 2022, 50 (10): 75-80, 95.
- [7] 张华伟,郭伟科,殷术贵,等. 大型压铸机机铰系统优化设计 [J]. 特种铸造及有色合金, 2021, 41 (6): 779-783.
Zhang H W, Guo W K, Yin S G, et al. Optimization design of hinge system for large die casting machine [J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41 (6): 779-783.
- [8] 许峥嵘,董凌波,柳丽,等. 基于虚拟样机的注塑机合模机构锁模精度分析 [J]. 塑料工业, 2023, 51 (2): 68-72, 89.
Xu Z R, Dong L B, Liu L, et al. Analysis of clamping accuracy of clamping mechanism for injection molding machine based on virtual prototype [J]. China Plastics Industry, 2023, 51 (2): 68-72, 89.
- [9] Carrera E, Serna M A. Inverse dynamics of flexible robots [J]. Mathematics and Computers in Simulation, 2016, 41 (5-6): 485-508.
- [10] 张华伟. 高效节能的大型压铸机关键技术研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
Zhang H W. Research on Key Techniques of High-efficient Energy-saving Large-scale Die Casting Machine [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014.
- [11] 王诗强. 注塑机曲肘式合模机构动态特性及结构参数优化研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2014.
Wang S Q. The Research of Dynamic Characteristics and Optimization Design for Clamping Unit of Injection Molding Machine [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2014.
- [12] 高星斗,毕世华,陈阵. 基于改进 Craig-Bampton 法的导弹发射过程多柔体动力学研究 [J]. 固体火箭技术, 2011, 34 (5): 559-563.
Gao X D, Bi S H, Chen Z. Flexible multi-body dynamics analysis during missile launching based on improved Craig-Bampton method [J]. Journal of Solid Rocket Technology, 2011, 34 (5): 559-563.
- [13] 张友根. 注塑机肘杆合模机构弹性力学性能的探讨 (一) [J]. 橡塑技术与装备, 2009, 35 (5): 35-41.
Zhang Y G. Discussion of elasticity mechanics properties of elbow rod fitting model for injection molding machines (Part one) [J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2009, 35 (5): 35-41.
- [14] 张友根. 肘杆机构合模部件的弹性力学与运动学动力学的关联特性的研究 [J]. 橡塑技术与装备, 2013, 39 (11): 5-14.
Zhang Y G. Research on characteristics of elasticity associated with the kinematics and dynamics of toggle mechanism clamping unit [J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2013, 39 (11): 5-14.
- [15] 王喜顺,屈长龙. 注塑机曲肘式合模机构弹性动力分析与优化设计 [J]. 塑料工业, 2015, 43 (3): 68-71, 75.
Wang X S, Qu C L. Elastodynamic analysis and optimization design of toggle clamping mechanism [J]. China Plastics Industry, 2015, 43 (3): 68-71, 75.

《锻压技术》读者信息反馈卡声明

《锻压技术》杂志自 2008 年起设立“读者信息反馈卡”,旨在加强刊物与读者的交流,促进刊物质量的提高,并竭诚为读者服务。反馈卡填写要求:内容填写完整、没有遗漏,提供的信息准确、详细,字迹书写清晰、整洁。如收到的反馈卡内容填写不完整,字迹不清、无法辨认,通讯地址模糊、不详细等,编辑部将不予邮寄杂志,特此声明。

“读者信息反馈卡”1~12 期刊登,位置在正文后,请读者注意查看,以免遗漏。

《锻压技术》编辑部