

文章编号:1672-0121(2010)01-0077-04

锻造操作机夹持界面接触力学数值分析

王红, 张涛, 杨文玉, 王宁

(华中科技大学, 湖北 武汉 430074)

摘要:锻造生产条件复杂,操作机夹持界面的接触状态容易发生改变,继而影响到钳口夹持稳定性。本文通过有限元数值模拟方法,对锻造操作机夹持界面的静态力学特性进行了研究。重点讨论了锻件不圆度、夹持界面摩擦系数、钳口角度、锻件大小等系列参数对接触压力分布和接触力大小的影响,为解决夹持稳定性问题提供参考依据。

关键词:机械制造;夹持;锻造操作机;力学特性;数值模拟

中图分类号:TG315.1

文献标识码:B

1 引言

锻造生产是在高温和动载荷条件下进行的。在对大尺度重型锻件的位姿操作过程中,锻造操作机的夹持机构需承受大的交变载荷(锻件自重和工艺过程中的外载荷)和热负荷(如锻件温度可达1250℃)。锻造操作机通过夹钳钳口与锻件的接触界面传递夹持力。由于锻件的质量大,操作过程中会产生很大的惯性力,作用在夹钳的钳口上,使夹钳与锻件的接触状态发生变化;并且在锻造过程中,锻造冲击载荷对锻件的作用也会影响到钳口与锻件的接触状态,继而影响夹持稳定性。因此,对工作过程中夹钳与锻件接触界面的力学行为进行研究,是解决夹持稳定性问题的基础。

由于锻造操作机试验样机制作成本昂贵,数值模拟技术是研究其夹持界面接触力学最经济、高效的方法之一。许飞霞^[1]等应用有限元软件 DEFORM 对大型圆筒件高温锻造过程中单砧压下量和芯轴转动角度之间的相互关系及其对锻件尺寸的影响进行了研究;Yong-Ming Guo^[2]应用刚塑性边界元法分析了平面应变锻造过程,比较了摩擦系数对结果的影响。但他们主要从锻造工艺角度进行了分析,未对锻造过程夹持界面的力学特性进行探讨。

本文采用有限元数值模拟方法,对锻造操作机夹持界面的静态力学特性进行了研究。以V形钳口和轴类锻件为研究对象,忽略操作机上其他构件,如升降旋转机构、台架回转机构、驱动装置等,建立锻

造操作机夹持界面研究有限元模型。重点讨论了锻件不圆度、夹持界面摩擦系数、钳口角度、锻件大小等系列参数对接触压力分布和接触力大小的影响,为解决夹持稳定性问题提供参考依据。

2 有限元模型

2.1 材料的本构模型

目前,高温下复杂受力钢材应力—应变关系缺乏系统研究。经查询资料,选用宝钢提供的ST41^[3]热轧钢板的实验数据为参照。由于文献[3]给出的 σ - ϵ 曲线忽略了线弹性部分,所以采用欧洲规范给出的弹性模量折减系数,对此部分进行补充修正。补充完整后的 σ - ϵ 曲线如图1所示。

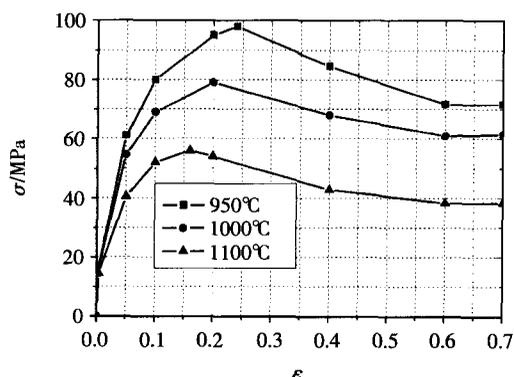


图1 锻件的应力—应变关系

文献[4]给出了高温合金材料在不同高温下的泊松比,见表1。

对于初始各向同性材料的大应变问题,一般采

表1 不同温度下泊松比

T/°C	950	1000	1100
PRXY	0.43	0.436	0.45

基金项目:国家重点基础发展计划(973)资助项目(2006CB705404)

收稿日期:2009-11-30

作者简介:王红(1984-),女,硕士在读

用等向强化模型。本算例中锻件材料用多线性各向同性强化模型模拟。计算结果表明,由此模型所求得 的夹持界面接触压力分布形式与前人已做实验结果 吻合^[5]。

在研究夹持界面周向相关力学特性时,考虑到 静力隐式分析对非线性问题求解困难、计算量大,为 保证求解精度,将夹持问题看作平面应变状态,探讨 二维夹持界面周向接触力学特性(图 2);而在研究 接触压力沿钳口轴向分布时,以三维夹持模型为分 析对象(图 3)。

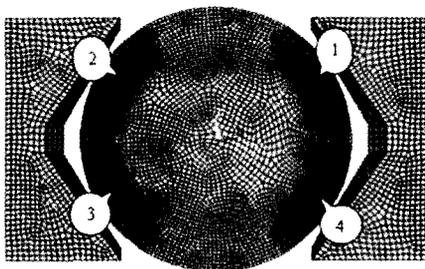


图 2 二维夹持界面有限元模型

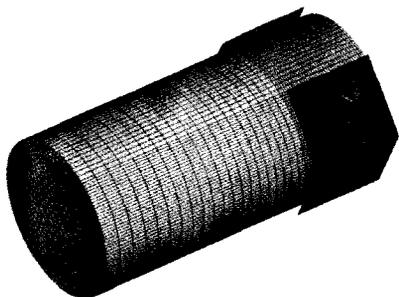


图 3 三维夹持界面有限元模型

在非线性隐式分析中,施加力载荷时,有很多原 因会导致不收敛,比如载荷步大小、pinball 域、罚刚 度(罚函数法)、载荷递加方式等,而施加位移边界条 件的时候,一般都会得到收敛的解。在本文计算中, 以夹钳的给进位移代替夹钳的水平夹持力。

3 数值模拟结果及分析

3.1 锻件不圆度的影响

由于锻件的生产过程存在制造误差,在本算例 中,利用高斯函数 $GDIS(r, \delta)$,建立起一系列拥有平 均值 r 和 δ 均方差的高斯分布随机抽样点来模拟工 件表面形状。引入工程实际中的圆度误差的概念:

$$\text{roundness} = \min(\max(R_i) - \min(R_i))$$

即被测实际圆的最大半径与最小半径之差。讨 论工件直径为 1000mm,夹钳输入位移为 15mm,圆 度误差对各位置法向平均接触力 P 、接触长度 L 的 大小分布的影响。表 2 及表 3 列出的误差项是引入 圆度误差后各接触面的相关值相对不考虑圆度误差

表 2 $D=1000\text{mm}$,强制位移为 15mm,不同 δ 下的 平均接触力比较

δ	圆度 误差	位置 1		位置 2		位置 3		位置 4	
		P_1 /MPa	误差 /%	P_2 /MPa	误差 /%	P_3 /MPa	误差 /%	P_4 /MPa	误差 /%
0	0	72.34	—	72.18	—	72.34	—	72.18	—
1	3.79	73.18	1.16	73.13	1.32	72.59	0.35	71.92	-0.36
2	10.22	67.65	-6.48	67.81	-6.05	67.79	-6.29	68.50	-5.10
3	15.35	64.96	-10.20	66.09	-8.44	66.18	-8.51	66.81	-7.44
5	25.61	57.65	-20.31	66.00	-8.56	59.87	-17.25	65.20	-9.67

表 3 $D=1000\text{mm}$,强制位移为 15mm,不同 δ 下的 接触长度比较

δ	圆度 误差	位置 1		位置 2		位置 3		位置 4	
		L_1 /mm	误差 /%	L_2 /mm	误差 /%	L_3 /mm	误差 /%	L_4 /mm	误差 /%
0	0	160.34	—	160.70	—	160.34	—	160.70	—
1	3.79	154.86	-3.42	156.25	-2.77	156.57	-2.35	159.36	-0.83
2	10.22	141.78	-11.58	139.47	-13.21	140.98	-12.07	137.28	-14.57
3	15.35	131.23	-18.16	126.25	-21.44	128.40	-19.92	124.05	-22.81
5	25.61	111.96	-30.17	105.06	-34.62	107.43	-33.00	105.53	-34.33

时的值。

从表 2 及表 3 可以看出,当 $\delta=0$,锻件为无缺陷 圆时,各接触位置的压力分布及长度大小几乎完全 相同;引入圆度误差后,四个接触面的压力和接触长 度差异增大。整体上看,当给进夹钳位移一定时,接 触压力、接触长度值随着不圆度的增大而急剧减小。 当 $\delta=2\text{mm}$,圆度误差为 $2\%R$ 时,四个接触面的接触 压力的最大偏差为 6.48%,接触长度的最大偏差为 14.57%;而当 $\delta=5\text{mm}$,圆度误差为 $5\%R$ 时,接触压 力的最大偏差为 20.31%,接触长度的最大偏差为 34.62%。可见,圆度误差对接触压力大小和接触长 度有较大的影响。

3.2 夹持界面摩擦的影响

鉴于高温锻造成形夹持界面摩擦机理的复杂 性,很多研究人员在用有限元法分析热塑性成形过 程时,都采用经典库伦摩擦模型^[6]。本文亦采用此模 型,探讨摩擦系数的设置对夹持界面接触压力分布 的影响。

一般认为,钢与钢间的静摩擦系数在无润滑时 可设为 0.15。本文在 $T=1000^\circ\text{C}$, $D=1000\text{mm}$,钳口夹 角 θ 分别为 110° 和 120° 的夹持界面,计算摩擦系数 μ 分别取 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 时,获得的夹持界面的 接触压力分布情况如图 4 和图 5 所示,图中曲线从

最高依次往下是 $\mu=0\sim 0.4$ 时接触压力的分布情况。可以看出,摩擦对夹持界面的接触压力分布有显著的影响,随着摩擦系数的增大,使得接触压力分

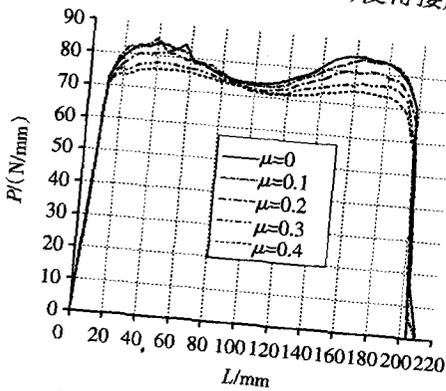


图4 系列 μ 下的接触压力分布($\theta=110^\circ$)

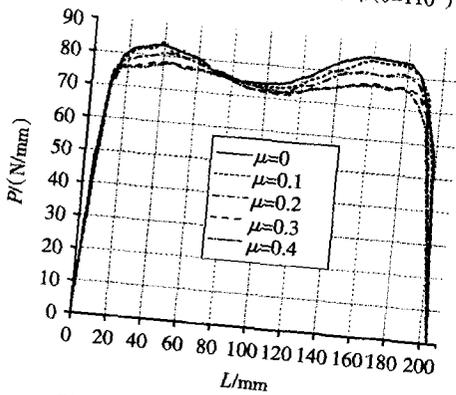


图5 系列 μ 下的接触压力分布($\theta=120^\circ$)

布趋于平缓,压力峰值降低。最大接触压力 P 从 $\theta=110^\circ$ 时的 85.02N/mm ($\mu=0$)降到 76.16N/mm ($\mu=0.4$);从 $\theta=120^\circ$ 时的 85.16N/mm ($\mu=0$)降到 78.16N/mm ($\mu=0.4$)。

3.3 钳口角度的影响

图6和图7为系列锻造温度下,钳口开口角度对接触面大小 L 和接触面压力 F_N 的影响。

从图6和图7可以看出:输入夹钳的位移相同,不同锻造温度下,当 $\theta \in [80^\circ, 110^\circ]$ 时,接触面长 L 和接触面法向力 F_N 都随着 θ 的增大而增大;当 θ 角度增至 110° 左右时, L 与 F_N 都达到最大值。

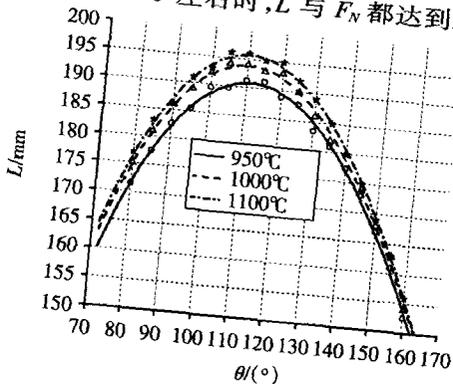


图6 系列锻造温度下 $\theta-L$ 关系曲线

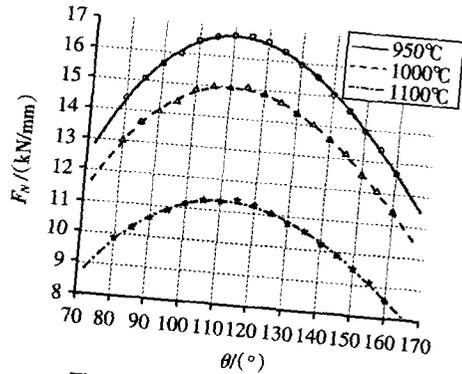


图7 系列锻造温度下 $\theta-F_N$ 关系曲线

即当夹钳输入位移一定,钳口角度为 110° 附近,夹持界面具有较高的力的传递能力。当 $\theta \in [110^\circ, 160^\circ]$ 时, L 与 F_N 随着 θ 的增大而减小,夹持界面力的传递能力减弱。在实际生产过程中,夹钳钳口角度也一般取在 $90^\circ\sim 120^\circ$ 附近^[7]。

3.4 锻件尺寸的影响

夹持锻件的尺寸范围 $D_{\min}\sim D_{\max}$ 是锻造操作机的基本参数之一^[7],它指的是夹持圆柱型锻件直径的最小及最大尺寸范围。研究夹钳在夹持不同尺寸锻件时输出夹持力 F 的变化情况,对保证夹持界面的近恒力输出有重要参考意义。设 $\theta=110^\circ, T=1000^\circ\text{C}$, $D-F$ 的变化规律见图8。

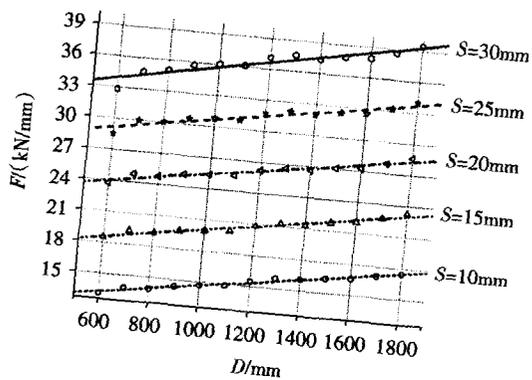


图8 系列 S 下的夹紧力

可以发现,当夹钳输入位移一定时,输出夹持力随锻件直径的增大而增大,几乎成线性比例关系。

3.5 接触压力沿锻件周向分布

图9给出了锻件直径 $D=1000\text{mm}$ 时,四个接触面在不同夹钳输入位移下的接触压力分布形状。

由图9可以看出,四个接触位置的接触压力分布几乎吻合;随着夹钳给进位移的增大,接触压力峰值和接触范围增大;且其分布规律呈齿状,接触中心压力低,两端有峰值。

3.6 接触压力沿锻件轴向分布

现有的夹紧力计算公式都是基于钳口与锻件接触面的正压力沿钳口长度方向呈三角形线性分布的假定^[7]。然而钳口上下侧对锻件产生的正压力沿锻件

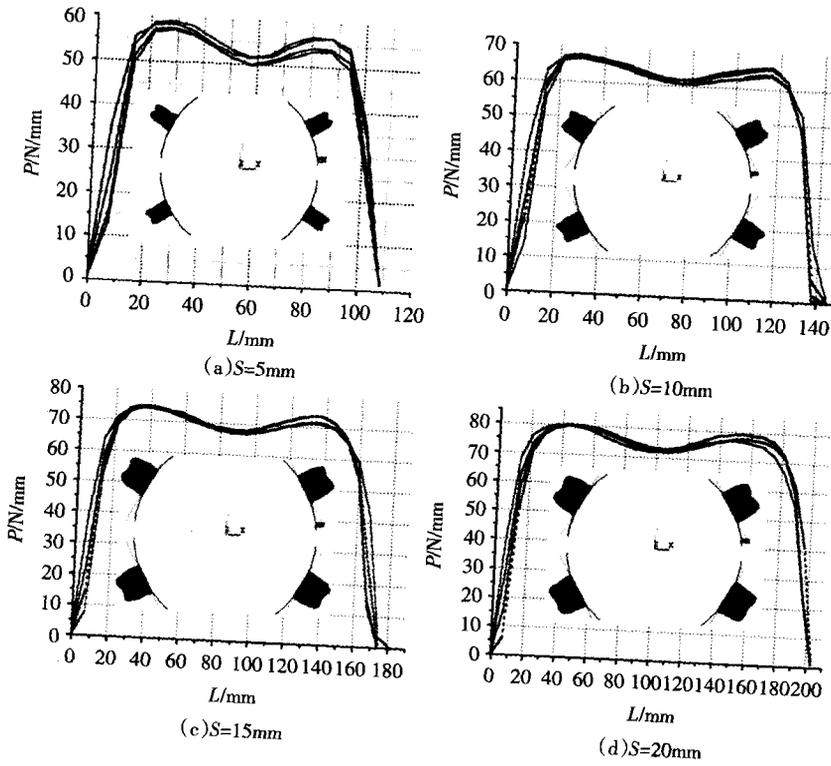


图9 不同强制位移下夹持界面的接触压力分布

长度方向的分布情况，是与实际的钳口和锻件的接触状态有关。通过本算例，研究了ST41钢在高温下，钳口在不同位置时夹持界面的接触压力分布形式。

图10显示了钳口处于水平和垂直位置时，上下侧钳口的接触压力分布情况。图中所标识的数字1~5代表不同的路径号，每条路径的选取是在有限元软件ANSYS的后处理模块中，根据各夹持界面接触面大小沿钳口长度方向等间距选取。

从图中可以看出，沿钳口长度方向紧靠钳口端部接触压力有应力集中现象，其他位置由于塑性流动导致压力分布变平，呈缓慢增长。整体来看，锻件上下接触面的压力沿锻件长度方向呈梯形分布，与前人的线性三角形压力分布假设有别。

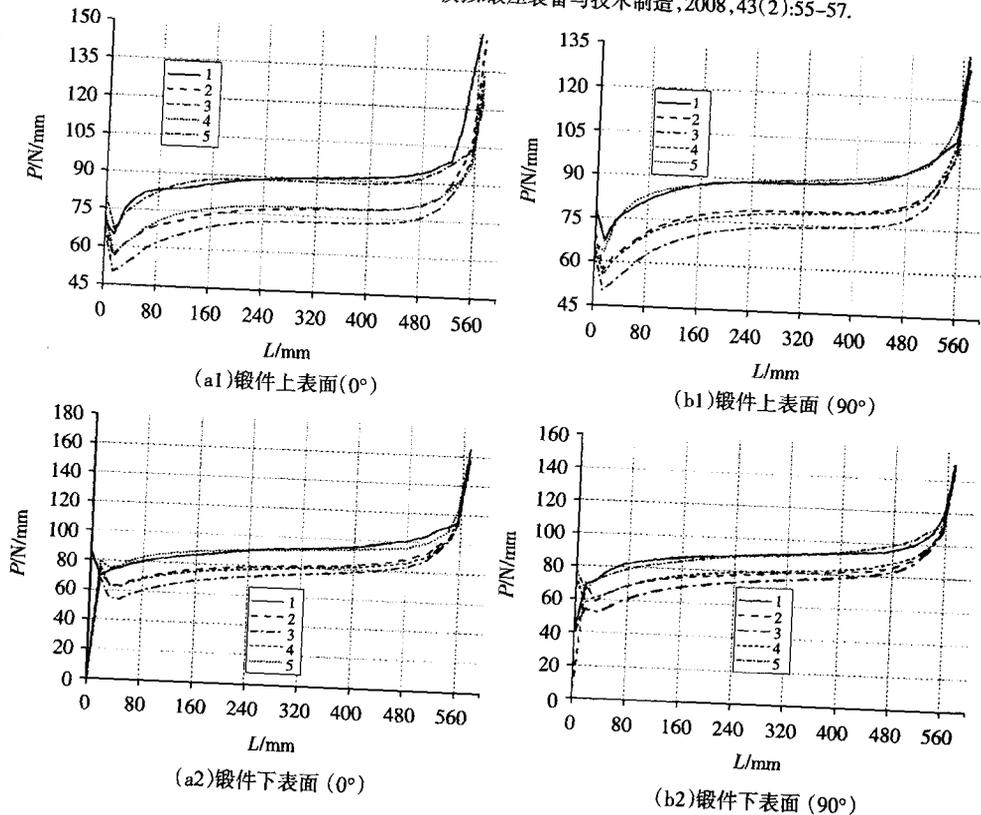


图10 钳口处于水平(0°)及垂直(90°)时的接触压力分布

4 结论

本文以V形钳口和轴类锻件为研究对象，建立锻造操作机夹持界面研究有限元模型。采用静力隐式算法，研究了在系列参数下，夹持界面力的传递特性和压力分布规律。通过系列计算获得如下结论：

(1)轴类锻件毛坯制造过程中产生的圆度误差对接触力大小和接触面积有较大的影响；当圆度误差为5%R时，接触力的最大偏差可以达到20.31%。

(2)夹钳钳口角度会影响接触面大小、接触面压力。当夹钳输入位移一定，钳口角度为110°附近时，夹持界面具有较高的力的传递能力。

(3)夹持界面接触压力分布规律：沿钳口长度方向，呈梯形分布；沿锻件周向，呈齿状分布。

【参考文献】

- [1] 许飞霞, 崔振山, 陈文, 等. 大型圆筒形锻件高温锻造过程数值模拟. 锻压装备与技术制造, 2008, 43(2): 55-57.

文章编号:1672-0121(2010)01-0081-03

无飞边闭式胎模锻新工艺

江荣华

(杭州前进齿轮箱集团股份有限公司,浙江 杭州 311203)

摘要:介绍了在大批量生产条件下,将在模锻设备上生产的多种模锻件,改为在自由锻锤上用“无飞边闭式胎模锻”工艺方法来生产的工艺和模具设计,指出了该工艺方法的优点。

关键词:机械制造;胎模锻造;无飞边;工艺设计

中图分类号:TG316.3 **文献标识码:**B

1 前言

无飞边闭式胎模锻是锻造生产中一种常用的方法。适应这一工艺的锻件种类很多,一般以锻件主轴方向与锤击方向相一致的回转体为宜。可分为如下两类:齿轮类——饼类锻件;轴类——多台阶轴类锻件。

2 锻件图的设计

设计闭式胎模锻件图时要考虑以下要素:

(1)阻力环

选择并设计在上、下模接触的外缘处具有一定

角度(α)和一定高度(h)的一个环形区域称为阻力环(图1),锻造成形时此处金属流动变形阻力最大,充满最困难。阻力环是保证胎模锻工艺实现无飞边锻造、高效生产的关键要素,其作用犹如模锻工艺中的毛边槽(图2)的作用一样重要,设计锻件图时必须予以考虑。

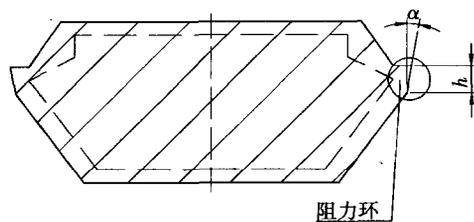


图1 无飞边胎模锻造的阻力环

图1所示锻件角度取值 $\alpha=10^\circ$,取值原则是在这一角度下锻件能从下模中自然快速出模。高度取

收稿日期:2009-10-29

作者简介:江荣华(1970-),男,工程师,从事锻造工艺设计与设备的使用维护

[2] Yong-Ming Guo. Analyses of forging processes by a rigid-plastic finite-boundary element method. *Materials Processing Technology*, 1998, 84:13-19.

[3] 何宜柱, 陈大宏, 雷廷权. 热变形动态软化本构模型. *钢铁*, 1999, 34(9):29-33.

[4] 工程材料实用手册编辑委员会. 工程材料实用手册. 结构钢-不锈钢. 北京:1988.

[5] Johnson K.L. *Contact Mechanics*. UK: Cambridge University Press, 1985.

[6] 秦敏, 曲周德, 刘建生, 等. 大型锻造过程数值模拟中摩擦模型的研究动态. *大型铸锻件*, 2008, (2):42-44.

[7] 万胜狄, 王运赣, 等. 锻造机械化与自动化. 北京: 机械工业出版社, 1983-01.

Contact Mechanics Analysis on Grasping Interface of Forging Manipulator

WANG Hong, ZHANG Tao, YANG Wenyu, WANG Ning

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, Hubei China)

Abstract: The static mechanical properties between clamps and workpiece have been researched through numerical simulation. Serial factors which would influence the contact mechanical properties including the roundness and size of the work piece, friction coefficient of the contact interface, and the angle of clamps have been investigated, which provides reference for the solution of the stability in grasping.

Keywords: Grasping; Forging Manipulator; Mechanical property; Numerical simulation