

轻量型食品装备多界面管材塑性成型工艺 有限元模拟

Finite element simulation on plastic forming process of multi-interface
tube material in lightweight food equipment

朱成俊^{1,2} 王景¹

ZHU Cheng-jun^{1,2} WANG Jing¹

(1. 河南工业职业技术学院, 河南 南阳 473009; 2. 武汉理工大学机电工程学院, 湖北 武汉 430070)

(1. Henan Polytechnic Institute, Nanyang, Henan 473009, China;

2. School of Mechatronics Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan, Hubei 430070, China)

摘要:研究轻量型食品装备多界面管材的塑性成形工艺。以食品机械轴头的多界面管材为研究对象,确定了塑性成型的方法,通过 DEFORM 软件研究了温度和摩擦系数对管坯壁厚增量、端部内径以及载荷的影响,并对产生的常见缺陷提出优化方案。研究表明,该工艺将冷挤压与温挤压的优点相结合,节材减重,可满足小型食品机械零部件生产的需求。

关键词:塑性成型工艺;多界面管材;有限元模拟;温挤压;冷整形

Abstract: This paper studied the plastic forming process of multi-interface tube materials in lightweight food equipment. Taking the multi-interface pipe of the food machinery spindle head as the research object, the plastic forming method was determined. The effects of temperature and friction coefficient on the tube wall thickness increment, the end inner diameter and the load were studied by DEFORM software, and a plan was designed to optimize the common problem. Studies have shown that this process combines the advantages of cold extrusion and warm extrusion, saving materials and losing the weight, and can meet the needs of small food machinery parts production.

Keywords: plastic forming process; multi-interface pipe; finite element simulation; warm extrusion; cold forming

随着经济的发展,食品工业进入到一个蓬勃发展的阶段,食品工业的发展也带动了食品机械工业的发展。随着大众生活水平的提高,越来越多的食品加工设备来到了人们生活中,榨汁机、豆浆机、面条机等。许多设备设计之初是为了工业化量产,不符合家用需求,但设备原理不变,用更为轻便

的材料将工业设备小型化成了研究热点,设备管件塑性方法近几年得到了大量的关注^[1]。

在创通领域中,管材塑性工艺研究需要数次重复,直至产品完全定型,研发时间长、成本高、难度大,不适用于现阶段机械设备高速发展的需要^[2]。随着计算机技术的发展,现阶段主要采用有限元模拟的方式重复管材塑性研究,能够大幅度缩短研发时间,降低研发成本^[3]。本研究拟采用 DEFORM 数值模拟软件对多界面管材的塑性成形工艺进行研究,对轻量级食品装备管材性能的研发过程进行详细的介绍,方便同类型研究者进行参考,为加速中国高端装备制造业发展做出贡献。

1 多界面塑性成型方法

1.1 工艺方案的确定

此次模拟是对家用食品机械轴头进行研究,轴头由锥形连接多个不同直径的阶梯管组成。加工的原料是由矩形与圆形共同组成的圆管,见图 1。



图1 轴头所用的毛坯

Figure 1 The blank used for the shaft head

温挤压,冷整形,是本研究所用的成形工艺。温挤压的目的是按照主要尺寸成形出轴头的形状,这一步主要是分配材料的体积。其后再通过冷整形对轴头形状进行细致的处理^[4]。经过细致处理后,轴头的精度可以达到单用冷挤压工艺成形所能达到的精度。并且该工艺后序加工步骤少,且可直接应用到食品机械产品中,所选用的设备吨位低,适用于大批量生产^[5]。

1.2 轴头挤压常见问题及解决方案

材料折叠、飞边、堆积缺陷,见图 2。形成该缺陷的原因

作者简介:朱成俊(1977—),男,河南工业职业技术学院,副教授。

E-mail: zhchj222@sina.com

收稿日期:2017-12-21

可能是模具尺寸设计不合理、温度较高或者摩擦系数偏大,金属不能及时向自由端流动,从而导致缺陷的产生。本研究主要通过修改模具尺寸来解决该问题。

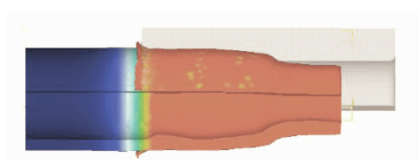


图2 温挤压常见缺陷

Figure 2 Warm extrusion common defects

挤压件与模具定径区充不满,有间隙,见图3。材料的屈服强度、磨具的摩擦系数和锥角都会影响间隙的大小。本研究通过改进优化温挤压模来解决该问题^[6]。



图3 温挤压间隙充不满

Figure 3 Warm squeezed gap

固定端墩粗现象的出现,见图4。图4是经过冷整形处理后的轴头。但是其并未与磨具完全贴合,挤压的过程还未达到要求,从而导致墩粗现象在固定端的出现。因此,对于挤压件的温挤压变形量设置,要尽量贴近最终的尺寸要求,这样才能够达到较好的成形效果。



图4 固定端墩粗

Figure 4 Fixed end upsetting

1.3 有限元模拟

有限元模拟过程中涉及2个模型,分别为模具和管坯^[7]。模具所用的材料为5CrNiMo,在对称边界条件设置时选择刚形体。管坯所用的材料为SAE1527,在对称边界条件设置时选择塑性体。对于模拟部位的选取,是根据轴头的对称性特征和圆管来选择的^[8]。本研究在有限元模拟中选取圆管及模具的1/4进行模拟,按照成形方式设定挤压速度为30 mm/s,摩擦系数为0.05,管坯和挤压模热传递系数为模拟默认值。

由于DEFORM没有建模功能,为了能在短时间内模拟出来,本研究在前处理中将模具与管坯在CATIA中配置好,调整好定位。然后把管坯和挤压模分别以STL格式储存,最后将数据导入至DEFORM,其中挤压模拟的起始定位情况见图5。

2 试验过程 and 数据分析

模拟参数影响着模拟的结果和最终效果,因此对模拟参数的研究十分必要。在塑性成形过程中有3个主要的模拟



图5 有限元模型

Figure 5 Finite element model

参数,挤压速度、加压时加热温度以及摩擦系数。其中挤压速度对于成形的影响并不显著,但另外2个参量都会严重影响模型成型。为了让轴头成形的结果更为准确,本研究对温度和摩擦系数进行了具体研究。

2.1 温度对挤压成形效果的影响

在温度对挤压成形的效果模拟中,分别取500,600,700,800℃作为研究对象,其他条件和参数保持一致。

图6为温度对壁厚增量的影响。从图6中可以看出,随着温度的升高,管坯壁厚也随之增加。并且在500~700℃时,管壁厚度的增加速度并不剧烈,但在700~800℃时,厚度增加的速度急剧上升。由于管坯内径处于自由状态,在500~800℃时钢的塑性随温度升高而增加,金属在径向加速流动,从而引发管壁厚度的剧烈变化。

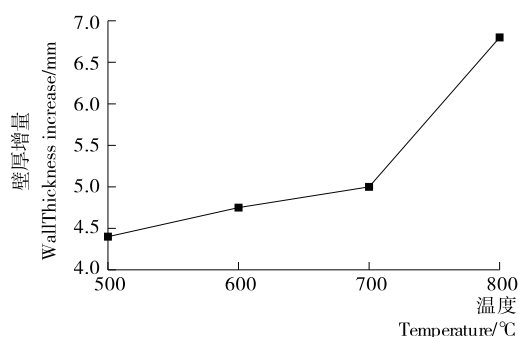


图6 温度对壁厚增量的影响

Figure 6 Influence of temperature on wall thickness increment

图7为分析端部翘曲受温度影响的变化情况。从图7中可以看出,随着温度的增加,端部内径的数值有微小下降,但是变化并不明显。由此可以说明端部翘曲受温度影响很小。

图8为温度对载荷的影响。从图8中可以看出,载荷随着温度的升高而显著降低。

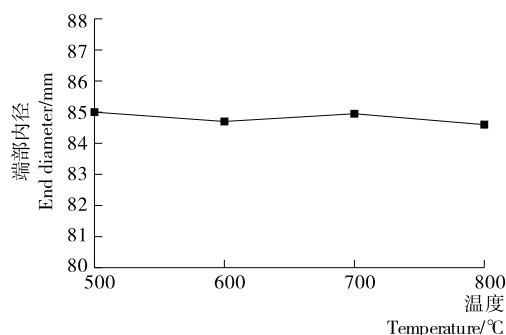


图7 温度对端部内径的影响

Figure 7 Temperature effect on the inner diameter of the end

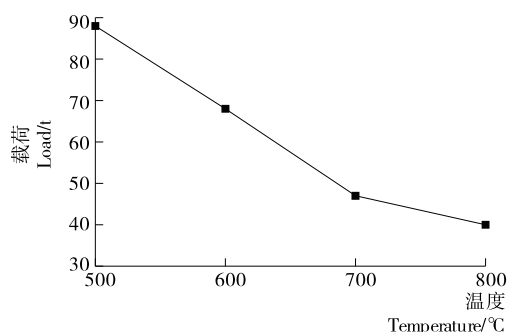


图 8 温度对载荷的影响

Figure 8 Temperature effect on the load

考虑到较小的载荷可以减少模具的磨损降低生产成本,但温度过低金属材料的塑性不好,温度过高可能会使金属材料发生堆积,严重的可能会导致折叠。所以依据试验结果得出:温度的增加会使管壁厚度增加,载荷降低,但对端部内径无影响,选取温度 700 °C 作为最终成形模拟的参数。

2.2 摩擦系数对挤压成形效果的影响

在摩擦系数对挤压成形效果的模拟中,分别取 0.00, 0.05, 0.10, 0.15 作为研究对象,其他条件和参数保持一致。

图 9 与图 10 分别为摩擦系数对壁厚增量以及延伸量的影响。随着摩擦系数的增加,管壁厚度增加十分明显,同时导致伸长量明显减小。这是由于管坯内壁没有模具的限制,金属的径向流动不受摩擦系数影响,从而壁厚增加。但金属的轴向流动受摩擦系数的影响,摩擦系数增大,流动受阻也增大,从而使得延伸量减小。

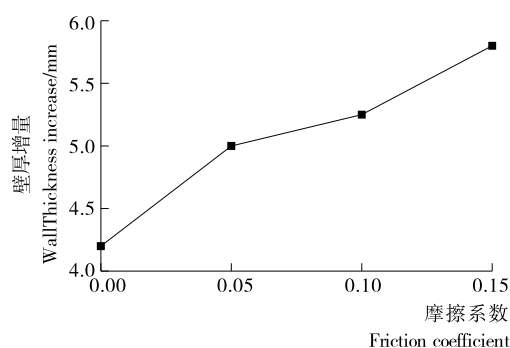


图 9 摩擦系数对壁厚增量的影响

Figure 9 Influence of friction coefficient on wall thickness increment

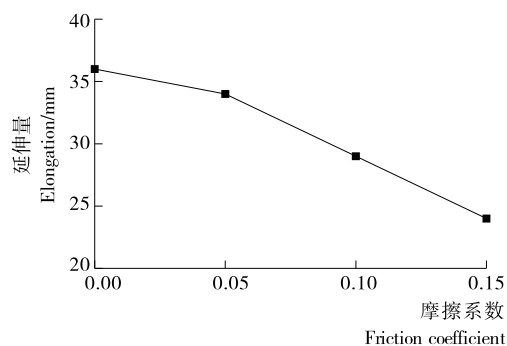


图 10 摩擦系数对延伸量的影响

Figure 10 Effect of friction coefficient on elongation

图 11 为端部内径受摩擦系数影响的变化曲线。由图 11 可知,随着摩擦系数的增加,端部内径也随之增大,从而使得翘曲程度加剧,可能是金属的径向和轴向流动受摩擦系数的影响不一致导致的。管材翘曲会因材料内外部流动的不均衡而变化明显。虽然管坯前部是翘曲出现的主要部位,材料内外流动不均,管材的翘曲程度会非常明显。虽然翘曲出现的区域位于管坯前部,且出现范围较小,对于轴头成形并没有太大影响,但是还是应该尽量避免翘曲的出现,减少摩擦,选择性能较好的润滑剂对管坯表面进行处理。

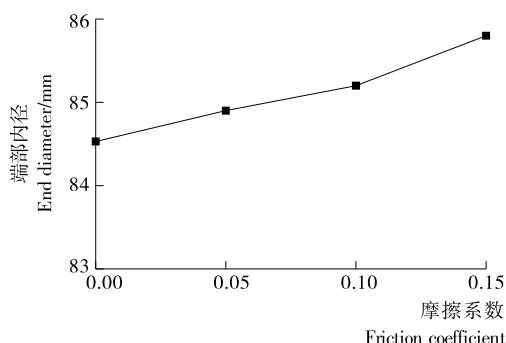


图 11 摩擦系数对端部内径的影响

Figure 11 The effect of friction coefficient on the inner diameter of the end

图 12 为摩擦系数对载荷的影响。从图 12 中可以看出,载荷随着摩擦系数的增大而增大。较小的载荷可以减少模具的磨损,降低生产成本,因此在成形过程中应尽量控制摩擦力,减小阻力。

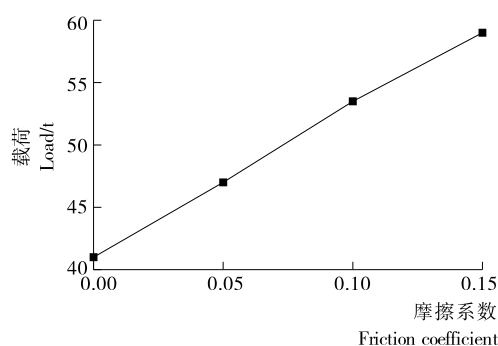


图 12 摩擦系数对载荷的影响

Figure 12 Effect of friction coefficient on load

考虑到摩擦系数的增大,会使得管壁厚度、端部内径和载荷都依次增加。因此,在管壁厚度可以达到要求的情况下,应在成形过程中尽量减小摩擦系数,从而减少管材翘曲程度和模具的磨损。

3 结论

以轻量小型食品装备中的机械轴头为研究对象,确定了轴头多界面管材的塑性成型工艺,即温挤压和冷整形。研究了轴头在成形中常见的三类缺陷问题,分别对三类问题产生的原因进行了分析,并提出了相应的解决方案。最后,通过有限元模拟技术,分别研究了温度和摩擦系数对轴头挤压成

(下转第 155 页)

则对 NO 释放具有显著抑制作用($P < 0.05$), NO 浓度可由 LPS 刺激的 $(7.605 \pm 0.000) \mu\text{mol}$ 降至 $(6.975 \pm 0.008) \mu\text{mol}$ ($P < 0.05$), 抑制率为 8.28%。MTT 试验活性检测 results 和炎症模型活性检测结果皆表明中压离子交换色谱分离纯化获得的免疫活性最佳组分为 RPHs-A3-B3, 后续研究拟将采用低压凝胶过滤色谱继续对其进行分离纯化。

3 结论

中压色谱是对常压色谱的延续与发展, 具有分辨率高、分离速度快、可梯度洗脱、制备量大、可自主填充分离柱填料等优点。目前多用于天然产物的分离纯化, 在生物活性肽领域里的应用较少, 还有待进一步的研究。本研究表明中压离子交换色谱能显著提高大米免疫活性肽 RPHs-A3 组分的免疫活性, 使其 SI 值从 1.273 提高到 1.315 ($P < 0.05$), 且对细胞内 NO 释放的抑制率为 8.28% ($P < 0.05$)。本研究不仅得出了中压离子交换色谱分离纯化大米免疫活性肽 RPHs-A3 组分的最佳条件, 同时也为中压离子交换色谱技术在活性肽分离纯化中的应用提供了理论依据。

参考文献

- [1] 陈月华, 程云辉, 许宙, 等. 食源性生物活性肽免疫调节功能研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(5): 209-213.
- [2] 王璐, 陈月华, 许宙, 等. 大米免疫活性肽水解用酶的筛选[J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 38-42.
- [3] 徐嘉, 杨骏, 黄孝春, 等. 连翘酯苷反相硅胶中压制备工艺的优化[J]. 中国药师, 2012, 15(1): 47-50.
- [4] FENG Jia-tao, XIAO Yuan-sheng, GUO Zhi-mou, et al. Purifi-

cation of compounds from Lignum Dalbergia Odorifera, using two-dimensional preparative chromatography with Click oligo (ethylene glycol) and C18 column[J]. Journal of Separation Science, 2011, 34(3): 299-307.

- [5] 卜汉萍. 大米免疫活性肽的制备及分离纯化[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2014: 15-16.
- [6] 田亚平, 周楠迪. 生化分离原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [7] 王戈莎. 大米多肽的分离纯化及其抗氧化活性的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008: 13.
- [8] WU Ting-feng, HSU Chiung-yueh, HUANG Huei-sheng, et al. Proteomic analysis of pycnogenol effects in RAW 264.7 macrophage reveals induction of cathepsin D expression and enhancement of phagocytosis[J]. J. Agric. Food Chem., 2007, 55: 9 784-9 791.
- [9] WEN Li, CHEN Yue-hua, ZHANG Li, et al. Rice protein hydrolysates (RPHs) inhibit the LPS-stimulated inflammatory response and phagocytosis in RAW264.7 macrophages by regulating the NF- κ B signaling pathway[J]. Rsc Advances, 2016, 6(75): 10.1039/C6RA08927E.
- [10] 钟芳, 张晓梅, 麻建国. 大豆肽的离子交换色谱分离及其活性评价[J]. 食品与机械, 2006, 22(5): 16-19.
- [11] CUMMINS P, DOWLING O, O'CONNOR B. Ion-exchange chromatography: basic principles and application[J]. Methods in Molecular Biology, 2011, 681(681): 215-228.
- [12] 贾晨, 李静媛, 金玉兰, 等. 章鱼下脚料发酵液中多肽的分离及抗氧化活性的研究[J]. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2015, 32(1): 36-41.

(上接第 110 页)

形效果的影响。研究表明, 管坯的壁厚随着温度的增加而增加, 随着摩擦系数的增大而增加; 翘曲程度随着摩擦系数的增大而增加; 载荷随着温度的增加而降低, 随着摩擦系数的增大而增大。本研究提出针对食品机械多界面管材的塑性成形工艺, 管件设备能够同时满足加工工艺中冷挤压与温挤压结合的特点, 材料本身质量轻, 成本低, 便于加工, 可满足家用面条机、和面机、食物料理机等食品机械需求。

参考文献

- [1] TRABELSI O, MALVÈ M, MENAT A, et al. Simulation of swallowing dysfunction and mechanical ventilation after a Montgomery T-tube insertion[J]. Computer Methods in Biomechanics & Biomedical Engineering, 2015, 18(14): 1 596-1 605.
- [2] MARIUS U, MĂ @ RIAUX C A, KURZ-BESSONC B. The propagation of gravity currents in a V-shaped triangular cross-section channel: experiments and theory[J]. Journal of Fluid Mechanics, 2014, 754(9): 232-249.
- [3] ENDO S, MIZUTA K, TAKAHASHI G, et al. The effect of

ventilation tube insertion or trans-tympanic silicone plug insertion on a patulous Eustachian tube[J]. Acta Oto-Laryngologica, 2016, 136(6): 551-555.

- [4] PENG L F, XU Z T, FUM W, et al. Forming limit of sheet metals in meso-scale plastic forming by using different failure criteria[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2017, 120: 190-203.
- [5] BONET J, BHARGAVA P, WOOD R D. Finite element analysis of the superplastic forming of thick sheet using the incremental flow formulation[J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 2015, 40(17): 3 205-3 228.
- [6] BREPOLS T, VLADIMIROV I N, REESE S. Numerical comparison of isotropic hypo- and hyperelastic-based plasticity models with application to industrial forming processes[J]. International Journal of Plasticity, 2014, 63: 18-48.
- [7] HAN Z W, HU Q C, ZHANG Z H, et al. Strain analysis in advanced tool forming process with spline finite strip (SFS) method[J]. Ironmaking & Steelmaking, 2013, 40(6): 413-419.
- [8] OÑATE E, FRANCI A, CARBONELL J M. A particle finite element method for analysis of industrial forming processes[J]. Computational Mechanics, 2014, 54(1): 85-107.