

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.10.008

PVC 板料渐进成形润滑方式研究^{*}

张晓博,王进,陈博,张淑芹
(青岛理工大学机械学院,山东青岛 266520)

摘要:采用数控渐进成形工艺,利用高速转动工具头与聚氯乙烯(PVC)板料间局部摩擦热以成形变角度圆锥制件,研究了皂液、40号机油、聚四氟乙烯脂、锂基高温润滑脂、水等5种不同润滑剂对PVC板料渐进成形性能的影响,利用多功能摩擦磨损试验机测试了5种不同润滑剂的摩擦系数。结果表明,润滑剂对成形制件最大成形深度和最大成形角度的影响程度由大到小为:皂液>40号机油>聚四氟乙烯脂>水>锂基高温润滑脂。水作润滑剂时,随摩擦时间增加,摩擦系数由小增大,基底暴露,起屑严重,制件表面粗糙;皂液、40号机油、聚四氟乙烯脂、锂基高温润滑脂做润滑剂时摩擦系数相差较小,制件表面有轻微刀痕,表面质量相差较小。与其它润滑剂相比,皂液作润滑剂时PVC板料具有较好的渐进成形性能和表面质量。

关键词:工具头转动数控渐进成形;PVC板料;润滑;摩擦系数;表面质量

中图分类号: TG386 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)10-0036-04

Study on Lubrication Methods of Rotational Incremental Forming for PVC

Zhang Xiaobo, Wang Jin, Chen Bo, Zhang Shuqin

(Department of Mechanical Engineering, Qingdao Technological University, Qingdao 266520, China)

Abstract : Through NC incremental forming technology, the local friction heat generated between the high speed rotating tool head and the polyvinyl chloride (PVC) sheet material was used to form conical parts with variable angle. The influences of five different kinds of lubricants including liquid soap, 40th oil, PTFE grease, lithium base grease, water on the forming performance of PVC sheet material in incremental forming were studied, friction coefficient of the five kinds of lubricants were measured by using multi functional friction and wear testing machine. The results show that influence degree of the five kinds of lubricants on the maximum forming depth and maximum forming angle of the formed conical parts is from big to small : liquid soap > 40th oil > PTFE grease > water > lithium base grease. When water is used as lubricant, friction coefficient increases, basement is exposed, chips is serious and the surface of the parts is rough. The friction coefficient difference of liquid soap, 40th oil, PTFE grease and lithium base grease is smaller, the surface of the parts have slight marks, surface quality difference is smaller. PVC sheet material has a better incremental formability and surface quality with liquid soap as lubricant than with 40th oil, PTFE grease, lithium base grease and water.

Keywords : rotational NC incremental forming ; PVC sheet material ; lubrication ; friction coefficient ; surface quality

塑料具有质量轻、比强度高、耐腐蚀、电性能优异和热导率小等优良性能,在轻工业、农业、国防、航天航空、交通运输、机械制造、仪器仪表、建筑材料、包装、日用品等各个领域应用非常广泛。数控渐进成形技术作为一种新型成形技术可实现无模成形,缩短了产品开发周期,降低成本,且保持材料原有性能。与传统成形方法相比可降低加热能和减轻热分解,已逐渐应用到塑料的加工成形过程中。V. Franzen等^[1]首次实现渐进成形技术在聚氯乙烯(PVC)板料领域的应用,对PVC板料渐进成形极限进行了基础研究。M. B. Silva等^[2]以PVC为研究对象,研究PVC板料在渐进成形过程中的基本原理

和主要影响因素,指出在旋转对称条件下的理论框架,这个框架可以定量或定性的分析主要成形参数的影响。M. A. Davarpanah等^[3]以聚乳酸(PLA),PVC板料为研究对象,研究Z轴层进给量和主轴转速在渐进成形过程中如何影响失败模型、成形力、孔隙结构和成形材料的结晶度。S. A. Yonan等^[4]以PVC板料为研究对象基于ABAQUS建立渐进成形有限元模型,研究几何偏差、板厚、成形力数值模拟

^{*} 国家自然科学基金项目(51205217)

联系人: 张晓博, 硕士, 主要研究方向为聚合物数控渐进成形性能的研究及工艺参数的选择

收稿日期: 2015-07-21

结果与实验的不同。

在渐进成形过程中,高速转动的工具头与板料局部之间产生的摩擦热能够提高板料局部温度,而这种特性可以被用于提高板料的成形性能。I. Bagudanch 等^[5]研究发现板料成形温度主要是由工具头与板料间摩擦产生。润滑剂的选择影响工具头转动渐进成形过程中温度的产生,因而是研究 PVC 板料数控渐进成形的重要问题之一。目前,关于 PVC 板料工具头转动渐进成形的润滑剂优化选择的研究尚未见报道。此前,学者们研究 PVC 板料渐进成形时各自使用了不同的润滑剂,如 V. Franzen 等^[1]采用的润滑剂为皂液;M. A. Davarpanch 等^[3]采用的润滑剂为聚四氟乙烯脂;V. S. Le 等^[6]研究聚丙烯的渐进成形时采用的润滑剂为润滑油;任云星等^[7]采用的润滑剂为 20 号机油。基于学者们和当前实验室使用的润滑方式,笔者主要研究工具头转动渐进成形中皂液、40 号机油、聚四氟乙烯脂、锂基高温润滑脂、水对 PVC 板料成形性能的影响,以选择合理润滑方式,为以后研究建立基础。

1 实验部分

1.1 主要原料

PVC 板料:S-700 QS1050P,规格为 150 mm×150 mm×2 mm,深圳市新穗源塑胶材料有限公司;

皂液、40 号机油、聚四氟乙烯脂、锂基高温润滑脂:市售。

1.2 主要仪器及设备

渐进成形机床:NHJ-1A 型,南京航空航天大学;

多功能摩擦磨损试验机(UMT):UMT-3 型,美国 CERT 公司。

1.3 不同润滑剂摩擦系数的测试

将 PVC 板料切割成 15 mm×15 mm×2 mm 的块状。设定 UMT 试验力为 $F_z = -10$ N(数值前的负号表示该力为压力),频率为 2 Hz,上试样采用工具头直径为 9.5 mm 小钢珠,设定测量时间为 400 s。将试样固定于底盘上,向 5 块 PVC 板料上分别均匀涂抹一层皂液、40 号机油、聚四氟乙烯脂、锂基高温润滑脂、水。试验过程中,底盘做往复运动,上试样固定不动,用应变/力传感器测量试样在 Z 方向(竖直方向)上的变形量及运动过程中切向力 F_x 和法向力 F_z ,摩擦系数即为 F_x/F_z 的比值。计算机搜集不同摩擦时间的摩擦系数值绘制成曲线。

1.4 渐进成形实验

将实验制件设计为变角度圆锥的形状,如图 1 所示,将制件上方开口尺寸设为 96 mm,初始角度设为 40°,母线半径设为 80 mm,通过记录不同润滑剂下板料成形时所能达到的最大成形深度 L 和最大成形角度 θ 来评定不同润滑剂对 PVC 板料渐进成形性能的影响程度。为能够最大程度地考察不同润滑剂下 PVC 板料的渐进成形性能,将 θ 的目标值设为 85°。

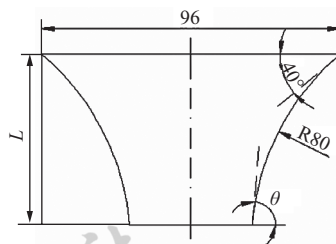


图1 制件几何图形示意图

根据图 1 所设计的制件形状和尺寸,在 UG8.0 中建立相关三维模型,在加工模块中生成等高线刀具轨迹及 NC 加工代码,将 PVC 板料装夹在 NHJ-1A 型渐进成形机床上,四周用压板压紧,根据 NC 加工代码运动到指定位置,并对板料下压预定深度,分层逐点加工板料,直至整个制件成形完成。本实验采用负成形方式成形制件,其成形原理如图 2 所示。

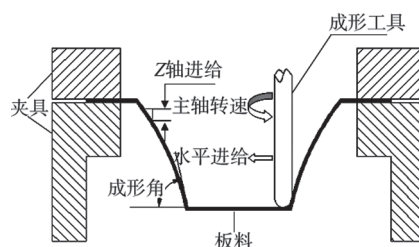


图2 负成形实验原理图

成形过程中分别选用不同润滑剂——皂液、40 号机油、锂基高温润滑脂、聚四氟乙烯脂、水。采用相同成形工艺参数:主轴转速为 2 500 r/min,进给速度为 500 mm/min,层进给量为 0.5 mm,工具头直径为 10 mm。在成形过程中不断补充润滑剂,保证成形过程中持续润滑。为保证实验结果的准确性,每种润滑剂下的成形实验重复 3 次,一共进行 15 次成形实验。

在实验过程中需要记录的数值为最大成形深度,其值在数控机床上获得。成形过程中,当制件开始产生失效形式(即破裂)时,记录此时的成形深度。根据 UG8.0 三维建模模块,测得最大成形深度

所对应的最大成形角度。

2 结果与讨论

2.1 不同润滑剂的摩擦系数

不同润滑剂的摩擦系数曲线如图 3 所示。从图 3 可以看出,所采用的 5 种润滑剂对于 PVC 板料都具有比较低的摩擦系数,锂基高温润滑脂摩擦系数稳定在 0.1 左右;聚四氟乙烯脂摩擦系数稳定在 0.07~0.08;皂液摩擦系数稳定在 0.06 左右;40 号机油摩擦系数稳定在 0.05 左右;水作润滑剂时,当摩擦时间较短时,摩擦系数处于较低水平(0.06)且平稳,当摩擦时间达到 100 s 左右时,摩擦系数开始剧烈波动并显著增加,最后平稳在 0.5 左右。水作润滑剂时,在一定时间后,分子膜被破坏,基底暴露,因此摩擦系数开始剧烈增加^[8]。PVC 板料表面很光滑,分别使用皂液、40 号机油、锂基高温润滑脂、聚四氟乙烯脂做润滑剂时,易形成润滑膜,局部接触区域不会产生干摩擦,润滑效果良好,摩擦系数较低。

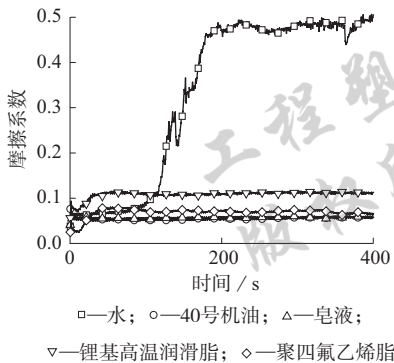
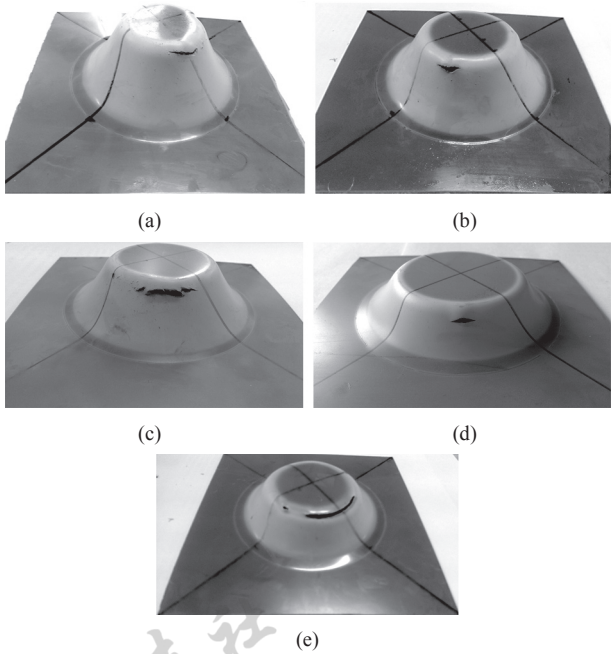


图 3 不同润滑剂的摩擦系数曲线

2.2 成形性能

以皂液、40 号机油、锂基高温润滑脂、聚四氟乙烯脂和水分别作润滑剂,通过工具头转动渐进成形方式成形变角度圆锥制件,待制件失效后,停止加工,所得的失效制件实物图如图 4 所示。实验中得到的最大成形深度和最大成形角度如表 1 所示。

从表 1 的数据可以看出,工具头转动数控渐进成形过程中分别使用 5 种不同润滑剂时, PVC 板料的成形性能从高到低为:皂液>40 号机油>聚四氟乙烯脂>水>锂基高温润滑脂。水作润滑剂时,分子膜被破坏后,摩擦系数相对较大,成形过程中出现严重的起屑现象,工具头与局部接触区域剧烈相互作用产生大量热量,使部分碎屑粘结在工具头上继续划伤板料表面,润滑效果严重降低,减薄现象越来越严重,直到最后发生破裂,破裂处有减薄现象。在



a—皂液; b—40 号机油; c—聚四氟乙烯脂; d—锂基高温润滑脂; e—水

图 4 不同润滑剂成形后失效的变角度圆锥制件实物图

表 1 不同润滑剂最大成形深度与成形角

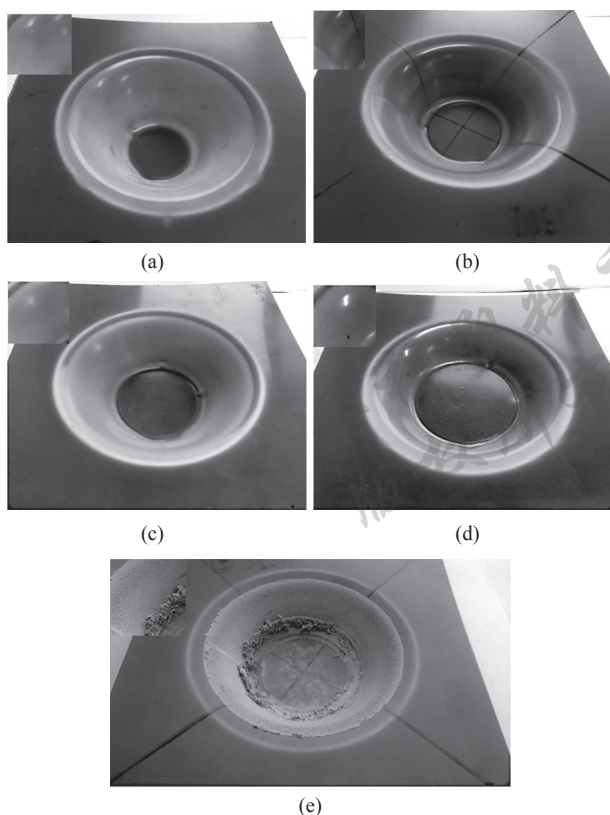
项 目	润滑剂类型				
	皂液	40 号机油	聚四氟乙烯脂	锂基高温润滑脂	水
最大成形深度/mm	36.999	30.499	26.499	23.499	25.999
最大成形角/(°)	72.3	67.4	64.6	61.8	63.8

玻璃转化温度以下,高速转动的工具头与板料间摩擦产生热量越多,成形性能越好。聚四氟乙烯脂和锂基高温润滑脂的摩擦系数比皂液和 40 号机油高,在实验中观察到两种润滑剂只覆盖在刀具轨迹部分,几乎没有保温作用,仅刀具与板料接触区域因摩擦产生的热量加热板料,其它区域热量部分散失,成形性能相对较差,其中锂基高温润滑脂作润滑剂时 PVC 板料的成形性能甚至不如水作润滑剂时的性能。相对于聚四氟乙烯脂和锂基高温润滑脂,在实验中观察到皂液和 40 号机油覆盖变角度圆锥制件的底部,具有保温的作用,成形性能较好。皂液的摩擦系数比 40 号机油相对较高,在成形过程中,工具头与板料局部接触区域产生的热量相对较多,成形性能最好。

2.3 表面质量

图 5 为不同润滑剂下所成形的制件的内表面及局部图。由图 5 可以看出,水作润滑剂时(图 5e),基底暴露后,工具头与板料间局部接触区域摩擦增大,工具头粘结碎屑划伤表面,出现严重的起屑现象,随着成形深度增加,起屑现象越来越严重,表面

粗糙,表面质量最差。如图 5a~图 5d 所示,皂液、40 号机油、聚四氟乙烯脂、锂基高温润滑脂作润滑剂时,润滑性能良好,几乎没有发生起屑现象,内表面出现轻微的刀痕,但 4 种润滑剂摩擦系数相差很小,制件表面出现刀痕的程度也相差很小。通过观察和触摸制件,发现采用聚四氟乙烯脂和高温锂基润滑脂作润滑剂的制件表面明显有工具头每次下压预定深度产生的刀痕;采用 40 号机油作润滑剂时,制件表面刀痕较浅,且随深度增加而逐渐变浅,直到圆锥底部无明显刀痕;采用皂液做润滑剂时只有制件开始部分有轻微刀痕,变角度部分几乎无刀痕,制件表面质量较好。



a—皂液; b—40 号机油; c—聚四氟乙烯脂;
d—锂基高温润滑脂; e—水

图 5 不同润滑剂成形后变角度圆锥件内表面及局部图

3 结论

(1) 工具头转动渐进成形 PVC 板料过程中,水作润滑剂时,摩擦系数由 0.06 逐渐增加到 0.5,基底暴露,起屑严重,碎屑粘着在工具头上划伤制件表面,使切屑现象更严重,在破裂处有减薄现象,表面粗糙。

(2) 聚四氟乙烯脂和锂基高温润滑脂的摩擦系数比皂液和 40 号机油高,但两种润滑剂只覆盖在刀具轨迹部分,几乎没有保温作用,成形性能相对较差。

(3) 皂液和 40 号机油摩擦系数最小,两种润滑剂覆盖在变角度圆锥制件底部,具有保温作用,成形性能较好。

(4) 采用皂液作润滑剂时, PVC 板料的成形性能最好。

参考文献

- [1] Franzen V, Kwiatkowski L, Martins P A F, et al. Single point incremental forming of PVC[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209(1):462-469.
- [2] Silva M B, Alves L M, Martins P A F. Single point incremental forming of PVC: Experimental findings and theoretical interpretation[J]. European Journal of Mechanics-A / Solids, 2010, 29(4):557-566.
- [3] Davarpanah M A, Mirkouei A, Yu Xiaoyan, et al. Effects of incremental depth and tool rotation on failure modes and microstructural properties in single point incremental forming of polymers[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2015, 222:287-300.
- [4] Yonan S A, Soyarslan C, Haupt P, et al. A simple finite strain non-linear visco-plastic model for thermoplastics and its application to the simulation of incremental cold forming of polyvinylchloride (PVC)[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2013, 66:192-201.
- [5] Bagudanch I, Garcia-Romeu M L, Centeno G, et al. Forming force and temperature effects on single point incremental forming of polyvinylchloride[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2015, 219:221-229.
- [6] Le V S, Ghiotti A, Lucchetta G. Preliminary studies on single point incremental forming for thermoplastic materials[J]. International Journal of Material Forming, 2008, 1(S1):1 179-1 182.
- [7] 任云星, 高霖, 史晓帆. PVC 板料热渐进成形性能影响因素 [J]. 机械制造与自动化, 2013, 42(5):53-56.
Ren Yunxing, Gao Lin, Shi Xiaofan. Influencing factors of formability in PVC hot incremental forming[J]. Machine Building & Automation, 2013, 42(5):53-56.
- [8] 连峰, 张会臣, 常允乐, 等. 表面润湿性对水润滑 Al-Mg 合金摩擦学特性的影响 [J]. 功能材料, 2013, 44(21):3 154-3 158.
Lian Feng, Zhang Huichen, Chang Yunle, et al. Effect of surface wettability of Al-Mg alloy on its tribological characteristics in the condition of water lubrication[J]. Journal of Functional Materials, 2013, 44(21):3 154-3 158.