

doi: 10.11933/j.issn.1007-9289.20170808003

# 基于凹模压边区摩擦学性能的冲压仿真分析

陈平, 史哲, 刺颖乾, 项欣

(北京科技大学机械工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 通过改善凹模压边区摩擦学性能以提高冲压成形件质量, 分别利用 YLP-20 型激光加工系统和多弧离子镀膜沉积设备在试样表面制备三角形微织构和 TiN 薄膜, 采用 UMT-3 摩擦磨损试验机开展摩擦学性能试验; 通过 Dynaform 软件建立有限元模型, 以凹模压边区为研究对象, 根据试验所得摩擦因数对冲压过程进行仿真分析。结果表明: 镀膜和织构两种表面处理技术均能降低凹模压边区与板料间的摩擦因数, 且先织构后镀膜技术具有最佳减摩效果; 板料的减薄率随摩擦因数的减小而降低, 增厚率则相反, 并在摩擦因数减小到 0.150 后板料厚度变化趋于稳定; 增大压边力会导致板料减薄率增加, 减小凹模压边区与板料间的摩擦因数可抑制这一负面效果; 将表面织构和镀膜技术应用于凹模压边区改善板料成形性能是可行的。

**关键词:** 表面织构; TiN 薄膜; 摩擦因数; 冲压仿真; 凹模压边区

中图分类号: TG174.44; TG115.58

文献标志码: A

文章编号: 1007-9289(2018)01-0059-08

## Stamping Simulation Analysis Based on Tribological Properties of Die-binder Area

CHEN Ping, SHI Zhe, LA Ying-qian, XIANG Xin

(School of Mechanical Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083)

**Abstract:** To increase the stamping formability of sheet metal by improving the tribological properties of the die-binder area, an YLP-20 laser process system and a multi-arc ion deposition system were used to prepare triangular micro-textures and TiN coating, respectively. The tribological test was conducted by a UMT-3 pin-on-disk tribometer. The die-binder area was selected as the research subject, and the finite element model was established using Dynaform software. The stamping forming process was simulated according to the friction coefficient obtained from the above experiments. The results show that the laser surface texture technology and the coating technology can both reduce the friction coefficient between the die-binder area and the sheet metal. The texturing/coating technology has the best friction reducing effect. The thinning rate of the sheet metal decreases with the decreasing of the friction coefficient, while the thickening rate of the sheet metal increases. The change of the sheet metal thickness tends to be stable when the friction coefficient is lower than 0.150. The increase of die-binder force leads to the increase of the thinning rate. This negative effect can be controlled by reducing the friction coefficient between the die-binder area and the sheet metal. It is feasible to improve the stamping formability of the sheet metal by applying the surface texture and coating technology to the die-binder area.

**Keywords:** surface texture; TiN coating; friction coefficient; stamping simulation; die-binder area

收稿日期: 2017-08-08; 修回日期: 2017-12-25

网络出版日期: 2018-01-05 13:05; 网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20180105.1305.014.html>

通讯作者: 陈平 (1973—), 女 (汉), 副教授, 博士; 研究方向: 表面织构及其摩擦学效应; **E-mail:** chenp@ustb.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金 (51305023); 中央高校基本科研业务费专项资金 (FRF-BR-15-037A)

**Fund:** Supported by National Natural Science Foundation of China (51305023) and Fundamental Research Funds for the Central Universities of China (FRF-BR-15-037A)

引文格式: 陈平, 史哲, 刺颖乾, 等. 基于凹模压边区摩擦学性能的冲压仿真分析[J]. 中国表面工程, 2018, 31(1): 59-66.

CHEN P, SHI Z, LA Y Q, et al. Stamping simulation analysis based on tribological properties of die-binder area[J]. China Surface Engineering, 2018, 31(1): 59-66.

## 0 引言

冲压成形技术已广泛应用于汽车、电器、航空航天、建筑、装饰等领域<sup>[1]</sup>,特别是汽车制造业的快速发展,促进了冲压成形技术的不断更新<sup>[2-4]</sup>。然而,成形件在冲压过程中仍会出现板料拉裂、起皱等缺陷,针对这些问题,研究人员开展了广泛的研究<sup>[5-8]</sup>。有研究表明,增大压边力能够改善板料的起皱缺陷,如王孟君等<sup>[9]</sup>研究了汽车用5182铝合金板拉深成形性能,结果发现增大压边力可以提高材料极限拉伸比,从而避免起皱。Chen等<sup>[10]</sup>发现增大压边力可以成功拉深较大尺寸的板料。然而,压边力是把双刃剑,在其增大的过程中,也会加剧板料拉裂缺陷的形成<sup>[11-13]</sup>。符永宏等<sup>[11]</sup>通过Abaqus软件冲压仿真发现当压边力过大时,会引起严重的缺陷。Zhou等<sup>[12]</sup>通过铝合金冲击梁的试验和数值模拟研究发现增大压边力使起皱现象消除,但当压边力达到一定值时板料发生拉裂。傅垒等<sup>[13]</sup>通过建立铝合金热冲压有限元模型,证明压边力的增大会抑制板料向冲压区流动,使板料的减薄现象越来越严重。也有研究表明,冲压模具摩擦学特性对板料成形质量有明显影响<sup>[14-19]</sup>。Wang等<sup>[16]</sup>通过线性拟合计算与拉深试验对比说明成形工艺中的摩擦条件,对于板料成形性及提高板料的成形质量有重要意义。Tokita等<sup>[17]</sup>通过高强度钢板的球形拉伸成形试验发现在热成形条件下,高摩擦因数会导致高强度钢板拉伸成形性能的降低。Michael等<sup>[18-19]</sup>研究了室温下高强度薄钢板冲压过程中的温度变化,发现冲压过程中的摩擦热与板料的成形性能直接相关;同时还发现模具表面微小的形貌变化都会对板料成形性能造成影响。如果能够利用表面处理技术在模具表面加工规则的微观形貌,改善模具表面的摩擦学性能,将有可能提高板料成形性能。

近年来的研究表明<sup>[20-24]</sup>,表面图形化技术(如表面织构)已经成为提高机械零件表面摩擦学性能的有效手段,并受到了国内外学者的广泛关注。Zhang等<sup>[23]</sup>研究三角形表面织构,结果表明润滑油沿三角形顶角到对边的方向流动时三角形表面织构可以有效减少摩擦和磨损。课题组<sup>[24]</sup>研究发现,在最优滑动方向上葫芦形表面织构相比于圆凹坑形织构减摩效果更好。除表面织构外,固体薄膜技术也可以用于显著提高材料的摩擦学性

能,其中TiN薄膜因具有硬度高、化学稳定性强、耐磨损性能好和摩擦因数低等优点,在模具超硬镀膜领域占据着重要地位<sup>[25-26]</sup>。张先龙等<sup>[26]</sup>通过对比几种典型的表面强化处理技术,发现TiN处理技术综合性能高、适用范围广,在模具应用中应优先考虑。为了进一步提高TiN薄膜的摩擦学性能,一些学者将其与表面织构化技术结合,对织构化薄膜进行了探索研究<sup>[27-30]</sup>。如Soroka等<sup>[30]</sup>利用物理气相沉积方法在工具钢表面沉积TiN薄膜,并发现不连续的TiN薄膜可以显著降低工具钢表面的摩擦磨损、提高其使用寿命。

文中以三角形微织构和TiN薄膜为研究对象,研究激光加工表面织构技术、镀膜技术以及二者结合的方式对凹模压边区表面摩擦因数的影响(图1),同时通过建立圆筒件冲压成形有限元模型,研究凹模压边区摩擦因数对圆筒件冲压成形性能的影响,研究结果可为冲压模具成形质量的提高提供参考。

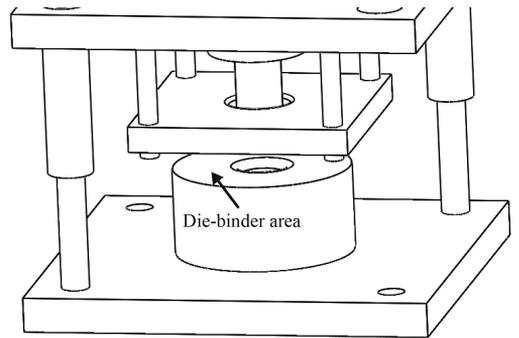


图1 凹模压边区示意图

Fig.1 Schematic diagram of die-binder area

## 1 摩擦学性能测试

为了确定冲压仿真过程中模具与板料之间的摩擦因数,首先对模具凹模的摩擦学性能进行了摩擦磨损试验研究。

### 1.1 试样加工

试验上试样为底面接触直径 $\Phi 5$  mm的304不锈钢圆柱销,下试样为 $45\text{ mm}\times 45\text{ mm}\times 4\text{ mm}$ 的50Cr钢板,正火态,显微硬度约为27 HRC,对钢板上表面进行抛光处理至粗糙度(Ra)约为 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 。根据课题组前期研究的三角形织构参数和镀膜沉积参数<sup>[29]</sup>,分别使用YLP-20激光加工系统和多弧离子镀沉积系统在抛光后的50Cr钢板表

面加工织构和镀 TiN 薄膜。如图 2 所示, 加工类型共有 4 种: TiN 镀膜处理的单一镀膜试样 (Coating sample); 激光织构加工的单一织构试样 (Texturing sample); 先激光织构加工后 TiN 镀膜的织构/镀膜试样 (Texturing/Coating sample, T/C sample); 先 TiN 镀膜处理后激光织构加工的镀膜/织构试样 (Coating/Texturing sample, C/T sample)。

图 3 所示为试样三角形织构的三维形貌和 TiN 薄膜的二维剖面。从图 3(a) 中可以清楚地看到, 由于激光点蚀产生的毛刺和加工过程中金属氧化物残渣。由图 3(b) 可知, TiN 薄膜的平均厚度约为  $1\ \mu\text{m}$ 。由于 TiN 颗粒在试样表面的堆积,

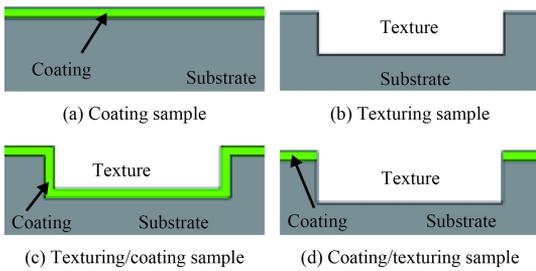
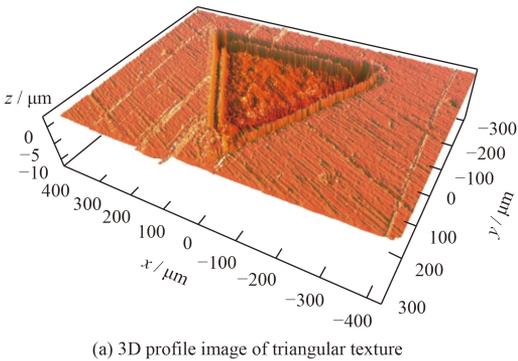
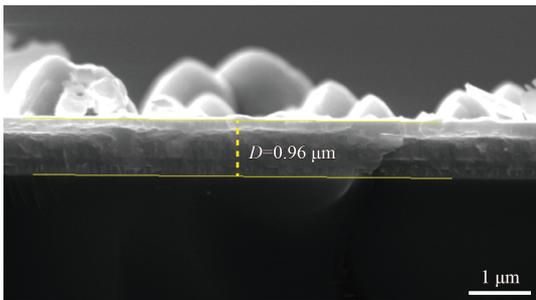


图 2 试样横截面示意图

Fig.2 Schematic diagrams of sample cross section



(a) 3D profile image of triangular texture



(b) 2D profile image of TiN coating

图 3 三角形结构和 TiN 涂层形貌

Fig.3 Morphologies of triangular texture and TiN coating

镀膜试样表面存在圆包形的凸起。在摩擦磨损试验前, 对下试样表面进行抛光, 以除去激光加工织构边缘产生的铁屑和毛刺; 同时对上试样进行打磨和抛光, 保证上下试样的面接触。

## 1.2 摩擦磨损试验

摩擦试验在 UMT-3 摩擦磨损试验机上进行, 图 4 所示为销盘试验示意图<sup>[29]</sup>。采用上试样固定, 下试样单向旋转 (旋转方向为相对上试样由三角形顶角到对边) 的方式, 试验考察摩擦副在充分润滑条件下的摩擦学性能, 其中, 法向载荷  $5\ \text{N}$ , 粘度为  $0.293\ \text{Pa}\cdot\text{s}$  的 SE15W-40 润滑油, 室温 ( $20\ ^\circ\text{C}$ )。为保证试验数据的准确性, 每组不同速度下的试验进行 3 次, 取平均值。

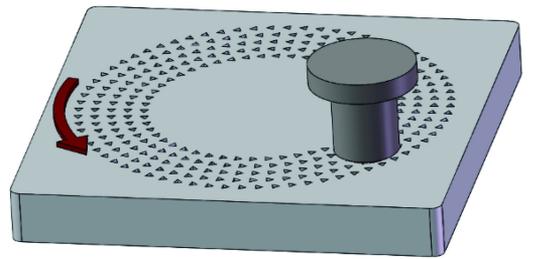
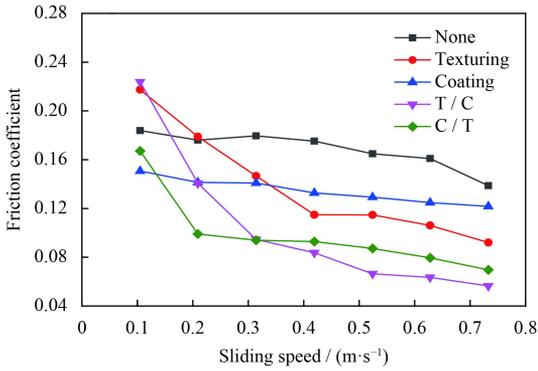


图 4 销盘试验示意图

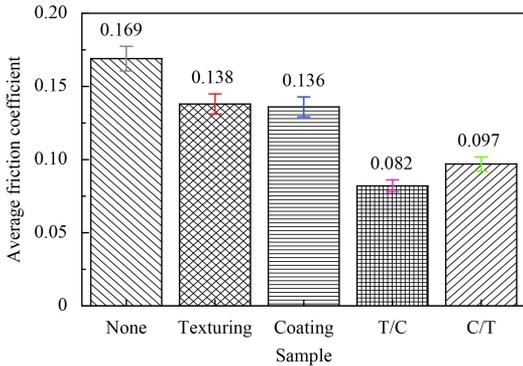
Fig.4 Schematic diagram of pin-on-disk

## 1.3 结果与分析

图 5 给出了在油润滑条件下各组试样的摩擦因数。从图 5(a) 中可以看出, 各组试样的摩擦因数均随着滑动速度的增加而逐渐减少。试验初始阶段, 相比于无织构试样, 单一镀膜试样的摩擦因数相对较小, 含织构的所有试样 (单一织构试样、织构/镀膜试样和镀膜/织构试样) 的摩擦因数相对较大, 这可能是因为试验开始时滑动速度较低, 润滑油陷入试样表面的三角形凹坑中, 在试验过程中无法顺畅流动形成有效的润滑膜, 不能起到良好的润滑作用, 摩擦在边界润滑状态下进行, 加之织构试样表面较粗糙而造成。随着速度的增加, 无织构试样和单一镀膜试样的摩擦因数相对较为稳定, 而有织构试样的摩擦因数却明显降低。这可能是由于随着速度的增加, 织构减少摩擦、储存润滑油的能力逐渐体现出来, 使得有织构试样表面产生了局部流体动压润滑效应并逐渐处于流体润滑状态, 在接触面间形成一层润滑膜, 提高了摩擦副的承载能力<sup>[23, 31]</sup>; 而无织构试



(a) Relationship between friction coefficient of samples and sliding speed



(b) Average friction coefficient of samples

图5 不同滑动速度下试样表面的摩擦因数

Fig.5 Friction coefficient of samples under different sliding speeds

样和单一镀膜试样表面没有凹坑存在,无法容纳润滑油,随着速度的增加,试样表面的润滑油易被甩出接触面,使上下试样的部分表面直接接触,增大摩擦。相比于单一织构试样,织构/镀膜试样和镀膜/织构试样的摩擦因数始终相对较低,这可归因于TiN薄膜高硬度和耐磨性能<sup>[27]</sup>。另外,从图5(a)中还可以注意到,镀膜与织构相结合的试样在摩擦的大部分过程中均表现出最低的摩擦因数,说明两种表面处理技术的结合对于提高摩擦副之间的摩擦学性能是有利的。而在低速条件下,镀膜/织构试样的摩擦因数小于织构/镀膜试样,到高速条件下,织构/镀膜试样的摩擦因数小于镀膜/织构试样,这种改变说明随着滑动速度增加,先织构后镀膜的加工方式更有利于摩擦副之间摩擦学性能的改善。

图5(b)为试验过程中各组试样的摩擦因数平均值。从图5(b)中也可以看出,织构/镀膜试样的平均摩擦因数最小,这说明织构/镀膜试样的摩擦学性能最好,可以产生最大的减摩效果。试样的平均摩擦因数代表了不同的表面处理技术对于凹

模压边区的摩擦学性能影响,因此,将试样的平均摩擦因数用于冲压仿真中来预测不同表面处理技术的凹模压边区对于板料成形性能的影响。

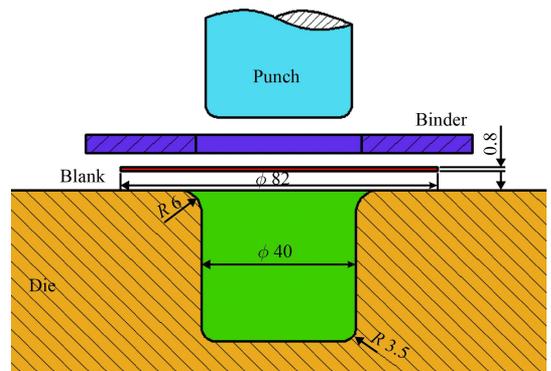
## 2 冲压仿真分析

基于Dynaform的冲压仿真分析,文中评估了镀膜和织构减小摩擦因数对板料成形性能的影响,研究了模具压边区的摩擦因数对于板料成形性的影响。

### 2.1 有限元模型建立

参照实际生产中的模具尺寸建立了圆筒件有限元模型。如图6所示,其相关重要尺寸参数为:凹模直径 $\Phi=40$  mm,压边区圆角半径 $R=6$  mm,底部圆角半径 $R=3.5$  mm,高度 $H=19.2$  mm;板料直径 $\Phi=82$  mm。在初始设置中,选择凹模为基准,并以此为基准,创建凸模和压边圈。

图7(a)为软件仿真的几何模型,包括凹模、凸模、板料和压边圈。材料选择汽车覆盖件常用的DQSK36低碳钢,板料初始厚度为0.8 mm。定义凹模零件时,将凹模划分为压边区和冲压区两部分,如图7(b)。保证压边区摩擦因数改变时,其他冲压区域摩擦因数保持不变。模型中板料的网格划分设置单元尺寸为4.0,模具网格划分为最大边长为5、最小边长为0.5、角度设置为 $20^\circ$ 的网格。为提高计算精度,利用Dynaform软件的网格自适应划分功能对产生严重变形的部位进行网格细化。分别设定压边力20、25和30 kN,拉伸深度12 mm。结合摩擦磨损试验结果,可知凹模压边试样表面的平均摩擦因数范围为0.080~0.170,



(Unit: mm)

图6 模具尺寸参数

Fig.6 Size parameter of die

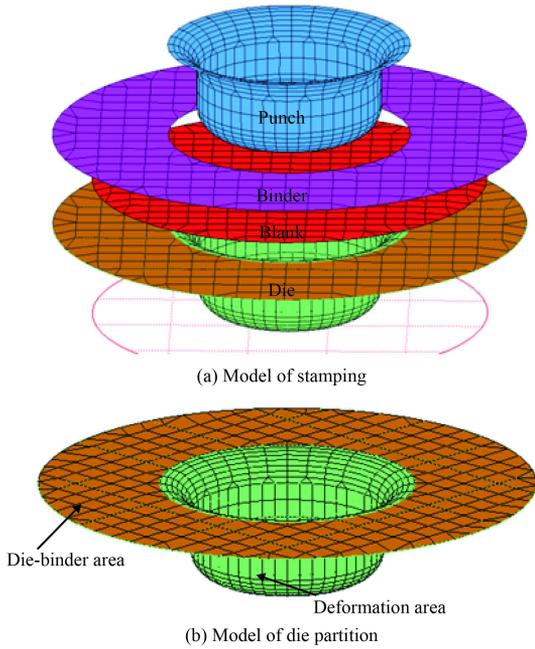


图7 有限元模型示意图

Fig.7 Schematic diagrams of finite element model

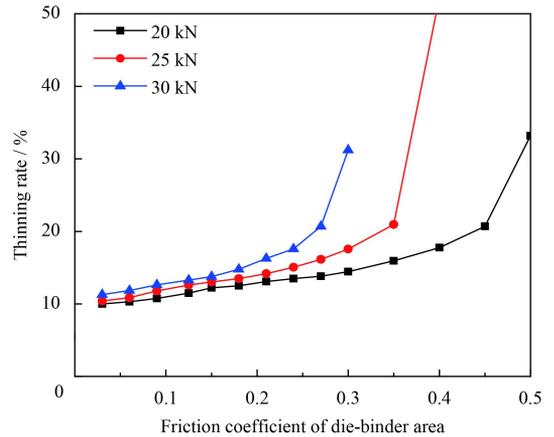
且差值约为 0.030, 为了更全面地分析板料成形变化趋势, 对模具压边区分别取摩擦因数: 0.030、0.060、0.090、0.125、0.150、0.180、0.210、0.240、0.270 和 0.300 进行分析计算, 并对 20 kN、25 kN 的模型继续增大摩擦因数, 直到圆筒件出现拉裂现象。当改变该区域的摩擦因数时, 其余接触区域摩擦因数保持不变, 取默认值 0.125。

## 2.2 仿真结果分析

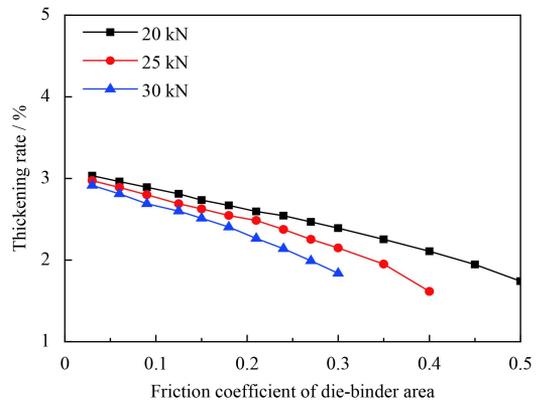
图 8(a) 为不同压边力下圆筒件减薄率与凹模压边区摩擦因数的关系。从图 8(a) 可以看出, 不同压边力下, 圆筒件的减薄率均随着凹模压边区与板料间的摩擦因数增加而增大; 压边力增大, 减薄率增加, 导致拉裂现象发生, 可通过减小摩擦因数降低减薄率, 从而消除压边力带来的负面影响。这可归因于凹模压边区与板料间摩擦因数的减少, 导致在板料拉深过程中压边部分受到的拉深阻力变小, 使板料更容易向型腔中移动<sup>[13]</sup>, 从而改善了板料的成形性能。在凹模压边区摩擦因数低于 0.150 时, 减薄率的变化曲线趋于平缓, 并且不同压边力的 3 条曲线趋于重合, 这是压边区摩擦因数降低到该数值时, 拉伸阻力趋于稳定所致。这说明在凹模压边区摩擦因数低于 0.150 时, 该区域的摩擦学性能对于板料的成形性影响很小, 无论是改变摩擦因数还是改变压边

力, 减薄率都没有明显的变化。而当该区域摩擦因数高于 0.150 时, 曲线的斜率开始急剧上升, 并且不同压边力的 3 条曲线的间距开始越来越大。这可能是由于板料与模具之间由于摩擦因数较大, 产生了较大的拉伸阻力, 该阻力成为了板料成形过程中的主要影响因素。说明当摩擦因数较高时, 板料开始对凹模压边区的参数变得敏感, 压边力和摩擦因数都能显著影响板料的减薄率, 且此时, 板料的减薄率始终处于较高的水平。结合图 5(a) 摩擦试验结果, 表面未处理试样的摩擦因数为 0.169, 该摩擦因数下板料的减薄率相对较高, 而处理后的试样均低于 0.150, 处于较理想的摩擦因数范围。说明凹模压边区表面处理后, 可提高板料的成形性能, 且先织构后镀膜试样所得到的摩擦因数有最低的减薄率, 有可能得到最优的板料成形质量。

图 8(b) 为不同压边力下圆筒件增厚率与凹模



(a) Relationship between thinning rate and friction coefficient of die-binder area



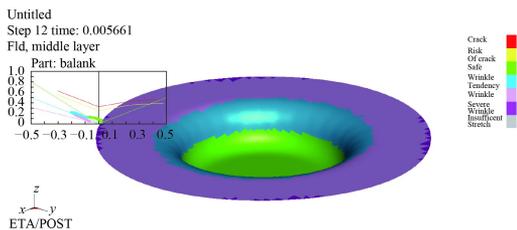
(b) Relationship between thickening rate and friction coefficient of die-binder area

图8 圆筒件减薄率和增厚率曲线

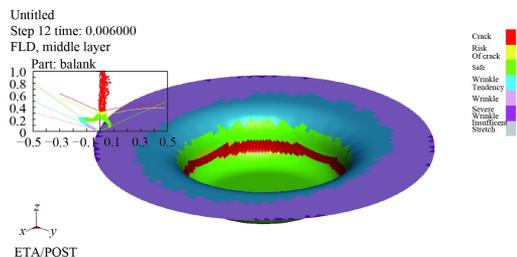
Fig.8 Curves of thinning and thickening rate of cylindrical cup

压边区摩擦因数的关系。与减薄率有类似并相反的趋势,但可以看出,3条曲线的整体变化幅度不大,曲线非常平缓,说明凹模压边区的摩擦因数对于增厚的影响较小。

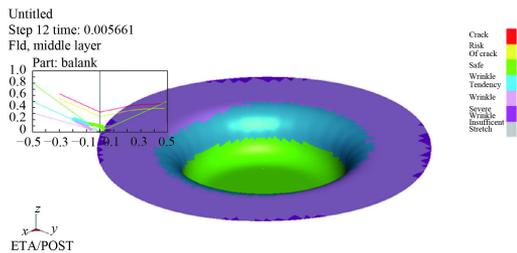
图9中显示了压边力20 kN、30 kN,摩擦因数0.030、0.300的圆筒件成形极限图(Forming limit diagrams, FLD)。从图9中可以看出,压边力30 kN、压边区摩擦因数为0.030的工况下(图9(a)),其成形情况良好,其各部分应变 $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$ 均保持在破裂曲线以下,起皱现象不明显,并且板料成形均匀;在压边力30 kN、压边区摩擦因数0.300的工况下,板料出现了明显的破裂现象(图9(b));对于压边力20 kN,压边区摩擦因数0.030的工况



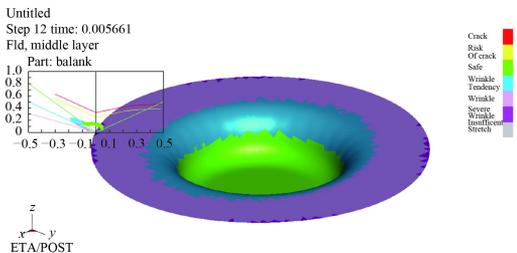
(a) FLD of  $P=30$  kN and friction coefficient=0.030



(b) FLD of  $P=30$  kN and friction coefficient=0.300



(c) FLD of  $P=20$  kN and friction coefficient=0.030



(d) FLD of  $P=20$  kN and friction coefficient=0.300

图9 圆筒件成形极限图

Fig.9 FLD of the cylindrical cup

来说,虽然没有出现破裂现象,但是起皱现象较为明显,而且在圆筒件圆角部分的成形均匀性较差(图9(c))。从图9(d)压边力20 kN、压边区摩擦因数0.300的工况下板料的成形极限图中可以看出,其成形情况基本与图9(a)相似,起皱现象与图9(a)比略有缓解。比较4组成形极限图可知,增大压边力可以减少起皱现象的生成,但是会导致拉裂现象的产生,而减小压边区的摩擦因数可以抑制这一负面效果的产生,同时也保证了圆筒件的均匀性。压边力和压边区摩擦因数同时过大(图9(b))或者压边力和压边区摩擦因数都较小(图9(c))均会导致板料的成形性变差;而高压边力、压边区低的摩擦因数(图9(a))和低压边力、压边区高摩擦因数(图9(d))的搭配显示出了更优秀的成形质量。

尤其值得注意的是,当压边力过大导致减薄率急剧增加时,减少凹模压边区的摩擦因数,可以抑制这一负面效果的产生。在图9中,压边力20 kN、压边区摩擦因数0.300工况与压边力20 kN、压边区摩擦因数0.300工况有着优异的成形质量。同时结合图8中减薄率和增厚率的分析,可以看出,较大压边力和较小摩擦因数的组合所拉伸的圆筒件均匀性更好(图9(a))。因此,减小压边区的摩擦因数是提高板料成形性的有效方法。这一结论也印证了上述试验中表面织构改善后的凹模压边区的摩擦学性能对板料成形性能的改善意义。

### 3 结论

- (1) 镀膜和织构两种表面处理技术均可改善凹模压边区的摩擦学性能,且先织构后镀膜处理的试样具有最优的减摩效果。
- (2) 凹模压边区摩擦因数对板料的减薄率的影响显著,对增厚率影响较小;压边力可以有效减少增厚率,但会明显增加板料减薄率。
- (3) 表面织构与镀膜技术改善凹模压边区表面的摩擦因数能够有效提高板料成形性能。

### 参考文献

- [1] 鄂大辛. 成形工艺与模具设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014: 30-32.
- [2] ER D X. Forming technology and die design[M]. Beijing: China Machine Press, 2014: 30-32 (in Chinese).
- [3] BEHRENS B A, RAATZ A, HÜBNER S, et al. Automated

- stamp forming of continuous fiber reinforced thermoplastics for complex shell geometries[J]. *Procedia CIRP*, 2017, 66: 113-118.
- [3] WANG H, ZHOU J, ZHAO T S, et al. Multiple-iteration springback compensation of tailor welded blanks during stamping forming process[J]. *Materials & Design*, 2016, 102: 247-254.
- [4] CHOI J, CHOI B, HEO S, et al. Numerical modeling of the thermal deformation during stamping process of an automotive body part[J]. *Applied Thermal Engineering*, 2018, 128: 159-172.
- [5] GHIOTTI A, BRUSCHI S, MEDEA F, et al. Tribological behavior of high thermal conductivity steels for hot stamping tools[J]. *Tribology International*, 2016, 97: 412-422.
- [6] 张灵晓, 文学洙. 浅谈影响冷冲压模具寿命的因素及提高寿命的措施[J]. *装备制造技术*, 2013(2): 106-108, 121.
- ZHANG L X, WEN X Z. Acting factors and countermeasures of the cold punching die's service life[J]. *Equipment Manufacturing Technology*, 2013(2): 106-108, 121 (in Chinese).
- [7] NETO D M, OLIVEIRA M C, SANTO A D, et al. Influence of boundary conditions on the prediction of springback and wrinkling in sheet metal forming[J]. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2017, 122: 244-254.
- [8] 夏琴香, 熊盛勇, 邝乃强, 等. 不锈钢/铝/不锈钢复合板的力学及拉深成形性能[J]. *华南理工大学学报(自然科学版)*, 2016, 44(12): 1-6.
- XIA X Q, XIONG S Y, KUANG N Q, et al. Investigation into mechanical and deep drawing properties of stainless steel/aluminum/stainless steel-laminated sheet[J]. *Journal of South China University of Technology(Natural Science Edition)*, 2016, 44(12): 1-6 (in Chinese).
- [9] 王孟君, 任杰, 黄电源, 等. 汽车用5182铝合金板材的温拉伸流变行为[J]. *中国有色金属学报*, 2008, 18(11): 1958-1963.
- WANG M J, REN J, HUANG D Y, et al. Flow behavior of 5182 aluminum alloy for automotive body sheet during warm tensile deformation[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2008, 18(11): 1958-1963 (in Chinese).
- [10] CHEN F K, CHIU K H. Stamping formability of pure titanium sheets[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2005, 170: 181-186.
- [11] 符永宏, 杨守军, 许华, 等. 基于均匀性的模具表面复合织构[J]. *江苏大学学报(自然科学版)*, 2014, 35(3): 343-348.
- FU Y H, YANG S J, XU H, et al. Composite texture of mold surface based on uniformity[J]. *Journal of Jiangsu University(Natural Science Edition)*, 2014, 35(3): 343-348 (in Chinese).
- [12] ZHOU J, WANG B Y, LIN J G, et al. Forming defects in aluminum alloy hot stamping of side-door impact beam[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2014, 24(11): 3611-3620.
- [13] 傅垒, 王宝雨, 孟庆磊, 等. 铝合金热冲压成形质量影响因素[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2013, 44(3): 936-941.
- FU L, WANG B Y, MENG Q L, et al. Factors affecting quality in hot stamping of aluminum alloy[J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2013, 44(3): 936-941 (in Chinese).
- [14] 郑燕萍, 王列亮, 沈思琳. 板料冲压成形过程摩擦特性数值仿真[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(23): 79-85.
- ZHENG Y P, WANG L L, SHEN S L. Simulation of friction characteristics in sheet metal stamping forming[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(23): 79-85 (in Chinese).
- [15] 倪昀, 黄亚玲, 章跃洪. 基于DYNAFORM汽车覆盖件冲压仿真分析[J]. *热加工工艺*, 2011, 40(11): 108-111.
- NI Y, HUANG Y L, ZHANG Y H. Stamping simulation analysis of auto-body panels based on dynaform[J]. *Hot Working Technology*, 2011, 40(11): 108-111 (in Chinese).
- [16] WANG C, MA R, ZHAO J, et al. Calculation method and experimental study of coulomb friction coefficient in sheet metal forming[J]. *Journal of Manufacturing Processes*, 2017, 27: 126-137.
- [17] TOKITA Y, NAKAGAITO T, TAMAI Y, et al. Stretch formability of high strength steel sheets in warm forming[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2017, 246: 77-84.
- [18] PEREIRA M P, ROLFE B F. Temperature conditions during 'cold' sheet metal stamping[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2014, 214(8): 1749-1758.
- [19] PEREIRA M P, WEISS M, ROLFE B F, et al. The effect of the die radius profile accuracy on wear in sheet metal stamping[J]. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2013, 66: 44-53.
- [20] KUMMEL J, BRAUN D, GIBMEIER J, et al. Study on micro texturing of uncoated cemented carbide cutting tools for wear improvement and built-up edge stabilization[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2015, 215: 62-70.
- [21] WIESLAW G, WALDEMAR K, PAWEL P, et al. Improving tribological behavior of piston ring-cylinder liner frictional pair by liner surface texturing[J]. *Tribology International*, 2013, 61: 102-108.
- [22] 王静秋, 王晓雷. 表面织构创新设计的研究回顾及展望[J]. *机械工程学报*, 2015, 51(23): 84-95.
- WANG J Q, WANG X L. State of the art in innovative design of surface texture[J]. *Journal of Mechanical Engineer-*

- ing, 2015, 51(23): 84-95 (in Chinese).
- [23] ZHANG H, HUA M, DONG G N, et al. A mixed lubrication model for studying tribological behaviors of surface texturing[J]. Surface & Coatings Technology, 2016, 93: 583-592.
- [24] 李俊玲, 陈平, 邵天敏, 等. 葫芦形微凹坑对不锈钢表面摩擦学性能的影响[J]. 摩擦学学报, 2016, 36(2): 207-214.  
LI J L, CHEN P, SHAO T M, et al. The effect of gourd-shaped surface texture on tribological performance of stainless steel[J]. Tribology, 2016, 36(2): 207-214 (in Chinese).
- [25] MA G J, WANG L L, GAO H X, et al. The coefficient of friction evolution of a TiN coated contact during sliding wear[J]. Applied Surface Science, 2015, 345: 109-115.
- [26] 张先龙, 高盛. 冲压模表面强化处理技术和应用[J]. 模具制造, 2012(12): 76-79.  
ZHANG X L, GAO S. The surface treatment technology and appliances of stamping die[J]. Die & Mould Manufacture, 2012(12): 76-79 (in Chinese).
- [27] 邵天敏, 耿哲. 图形化固体薄膜技术及其摩擦学性能的研究进展[J]. 中国表面工程, 2015, 28(2): 1-26.  
SHAO T M, GENG Z. Research progress in patterned thin solid film techniques and their tribological performance[J]. China Surface Engineering, 2015, 28(2): 1-26 (in Chinese).
- [28] ARSLAN A, MASJUKI H H, VARMAN M, et al. Effects of texture diameter and depth on the tribological performance of DLC coating under lubricated sliding condition[J]. Applied Surface Science, 2015, 356: 1135-1149.
- [29] CHEN P, XIANG X, SHAO T M, et al. Effect of triangular texture on the tribological performance of die steel with TiN coatings under lubricated sliding condition[J]. Applied Surface Science, 2016, 389: 361-368.
- [30] SOROKA E, LYASHENKO B, QIAO S G, et al. Tribological behavior and cutting performance of PVD-TiN coatings/substrate system with discontinuous surface architecture[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2011, 40(4): 580-584.
- [31] SAEIDI F, MEYLAN B, HOFFMANN P, et al. Effect of surface texturing on cast iron reciprocating against steel under starved lubrication conditions: A parametric study[J]. Wear, 2016, 348-349: 17-26.

(责任编辑: 常青)

• 本刊讯 •

## 第 25 届国际热处理及表面工程联合会大会将在西安举行

第 25 届国际热处理及表面工程联合会大会将于 2018 年 9 月 11~14 日在西安曲江国际会议中心召开。会议由国际热处理及表面工程联合会 (IFHTSE) 发起, 中国机械工程学会热处理分会主办, 国家自然科学基金委员会、中国机械工程学会等单位支持, 西安交通大学、中国机械工程学会表面分会、A3TS(法国)、AWT(德国) 等协办。本次大会将秉承历届大会的优良传统, 涵盖热处理及表面工程领域的最新进展, 云集世界各地学术界和工业界优秀代表, 创造和谐的学术研讨和信息交流的最佳氛围。

专题论坛包括: 固态相变与凝固, 新材料的热处理, 化学热处理, 真空低压渗碳, 高压气淬技术与装备, 感应热处理, 多场耦合热处理, 淬火介质、冷却与畸变控制, 有色金属及其合金的热处理与表面工程, 关键零部件的热处理与表面工程, 核能领域热处理与表面工程, 能源装备的热处理与表面工程, 热处理传感器与装备, 热处理信息化和智能化, 高能束表面工程与增材制造, 硬质与超硬薄膜新技术, 高功率脉冲磁控溅射技术, 等离子体电解及放电沉积技术, 表面功能化涂层, 热喷涂, 表面完整性与抗疲劳制造, 摩擦和磨损, 模型与模拟, 再制造, 残余应力表征与评价, 失效分析, 热处理技术在先进高强汽车钢上的应用, 组织与性能。

会议论文需用英文书写, 作者需登录会议网站 [www.25ifhtse.org](http://www.25ifhtse.org) 在线投稿, 所有被会议接受的论文将收录在大会论文集中, 会前出版论文集(或光盘), 会后大会学术委员会将选拔优秀论文推荐至相关支持媒体正式发表。大会设立 Tom Bell 青年作者奖和大会优秀青年作者奖。会议全文截止日期为 2018 年 5 月 31 日。

(本刊编辑部 供稿)