

# 薄板压延中在压边圈叠加振动的模拟试验

唐荻 王先进

北京科技大学材料科学与工程学院,北京 100083

**摘要** 应用模拟的方法在薄带摩擦试验中于正压力上叠加低频振动,模拟薄板在叠加振动的压边圈下的摩擦状态,系统地研究了振幅、频率、正压力、拉速、表面与摩擦力的关系.试验表明,在一定的条件下,低频振动叠加是可以改善薄板成形变形区的摩擦状况,降低摩擦力的.

**关键词** 摩擦,表面,振动,薄板成形

**中图分类号** TG 384.41, TH 117.2

在薄板成形中工具与材料间会产生摩擦力.70年代以来,人们在变形区上叠加超声波振荡以降低摩擦力<sup>[1,2]</sup>,但是,该方法设备投资大,对大型的汽车零件生产不适用;应用低频振荡叠加法是在该领域的又一新的尝试<sup>[3]</sup>.本工作应用模拟的方法系统地研究有关工艺参数对摩擦力的影响.

## 1 实验

实验在一拉带摩擦试验机上进行,用电磁振荡器在正压力上叠加振动,以研究频率、振幅、拉速、正压力、表面对摩擦力的影响.

实验材料为 St14 低碳软钢.选用 4 种表面进行试验:激光处理表面 (LAS),电子束处理表面 (EBT),电火花处理表面 (EDT) 和喷丸处理表面 (SBT).润滑剂为压延油 Draw140N.

实验参数的设定尽量以易于在工业生产中实现和设备不进行大的改动为前提,并适当地放宽范围以满足研究的需要,其参数如表 1.

表1 试验参数设定值

参数		范围
频率	$f/\text{Hz}$	5, 10, 15, 20, 30, 40, 60
振幅	$a/\text{N}$	10, 30, 60, 100
拉滑速度	$v/(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$	100, 150, 200, 300
正压力	$F_n(\text{N}\cdot\text{mm}^{-2})$	3, 4, 5, 6, 7
表面油量	$w/(\text{g}\cdot\text{m}^{-2})$	10

## 2 结果与讨论

正压力,拉滑速度,频率和振幅对摩擦力的影响见图 1 ~ 图 4.

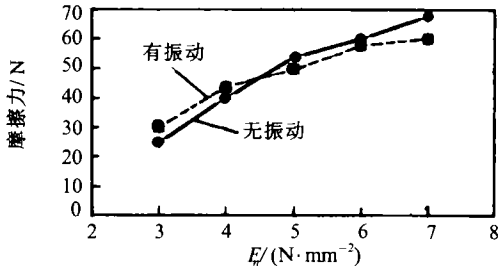


图1 正压力对摩擦力的影响  
St14, EBT,  $f=20$  Hz,  $a=10$  N,  $v=100$  mm/s

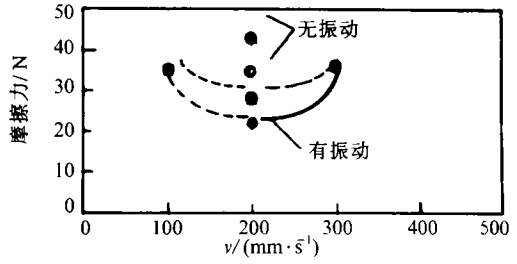


图2 拉速对摩擦力的影响  
St14, EDT,  $f=20$  Hz,  $a=20$  N,  $F_n=5$   $N/mm^2$

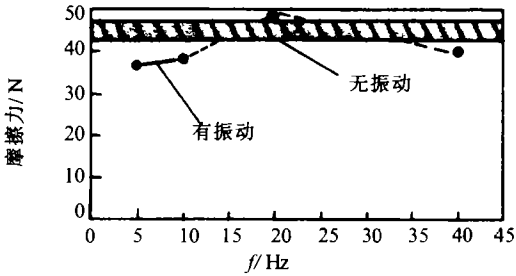


图3 频率对摩擦力的影响  
St14, SBT,  $a=30$  N,  $v=100$  mm/s,  $F_n=5$   $N/mm^2$

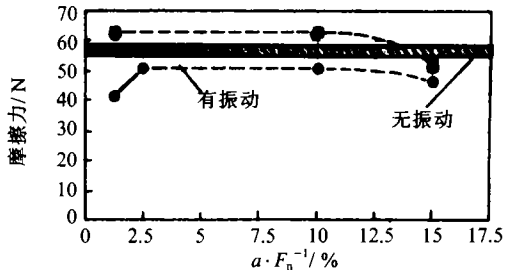


图4 正压力  $F_n=5$   $N/mm^2$  时摩擦力与正压力的关系  
St14, LAS,  $f=20$  Hz,  $v=100$  mm/s,  $F_n=5$   $N/mm^2$

### 2.1 正压力的影响

图1表示了正压力变化对摩擦力的影响,其中虚线为正压力上叠加振动的结果,而实线则为无振动.由图可见,在较小的正压力下 ( $3$   $N/mm^2$  和  $4$   $N/mm^2$ ),正压力振动不能降低摩擦力,反而使其升高;较高的正压力 (大于  $5$   $N/mm^2$ ) 叠加振动使摩擦力有了明显的下降,而且随着正压力的提高,这种下降趋势更明显.

这一结果表明,在叠加振动的条件下,正压力的大小是十分重要的因素,并且其变化趋势与常规摩擦试验研究的结果相似.文献指出,在一般摩擦条件下,随着正压力的增加,摩擦因数稍有下降<sup>[4]</sup>,在本试验中尽管叠加了振动,这一规律未有改变.

### 2.2 拉滑速度的影响

图2表示了拉速对摩擦力的影响.由图可见,在试验的振幅和频率条件下,拉速对摩擦力的影响也很大,当拉速比较低时 ( $100$   $mm/s$ ),摩擦力较高 (约  $35$   $N$ ),随拉速的提高,摩擦力有一个极小值 ( $200$   $mm/s$  时,仅约  $25$   $N$ ),但拉速继续增加,达到  $300$   $mm/s$  时,摩擦力又有提高.在流体摩擦中,速度是一个非常重要的因素,其变化规律由 Stribeck 给出,随速度增加,流体润滑的比例提高,同时边界润滑的比例下降<sup>[4]</sup>叠加振动以后的规律与 Stribeck 图仍然相似.

### 2.3 频率的影响

频率对于摩擦力的影响如图3所示.由图可知,在试验的范围内,低频振动时 ( $5$   $Hz$ ),摩擦力较低,随频率升高,摩擦力也升高,当频率为  $20 \sim 30$   $Hz$  时,有最大值,但是,当超过

30 Hz, 摩擦力又一次下降。

对流体润滑, 有著名的雷诺方程:

$$\frac{dP}{dx} = 6U\eta \frac{h-h^*}{h^3} + 12V\eta \frac{x-x^*}{h^3}$$

式中:  $x$  为单元体位置坐标;  $P$  为油膜压力;  $U$  为两表面水平相对速度;  $V$  为两表面垂直相对速度;  $\eta$  为粘度;  $h-h^*$  为两平面间两点的高度差。

由公式知, 在流体摩擦中, 液体压力的建立与两表面的垂直、水平速度 ( $V, U$ )、润滑剂 ( $\eta$ ) 和润滑区内两点的高度差 ( $h-h^*$ ) 有关。

对于频率影响的分析可以由雷诺公式得到解释, 即频率的变化在公式中由垂直速度  $V$  间接得到了反映, 频率比较高时, 垂直速度  $V$  也较大, 所以摩擦力也低。至于在频率很低时, 摩擦力也较低, 则需进一步研究。

## 2.4 振幅的影响

图 4 为振幅的影响。由图可知, 随振幅的增加, 开始摩擦力变化不大, 但到一确定值  $a/F_n = 10\%$  时, 摩擦力开始下降, 且在试验的范围内, 摩擦力连续下降。

振幅的影响也可以由雷诺方程得到解释。在方程中有一项, 称为楔型项, 表示了两滑动表面间、任意两点的高度差  $h-h^*$  对油膜压力的影响, 而  $h-h^*$  在一定程度上反映了振幅的大小, 振幅大,  $h-h^*$  也大, 造成的流体压力大, 润滑效果也好。

值得指出的是, 由雷诺方程所确定的  $h-h^*$  和  $V$  值, 在振动条件下, 对一个振动周期, 只有半波是对降低摩擦力是有利的, 即增加正压力的半波; 减少正压力的半波对降低摩擦力不利, 因为此时  $h-h^*$  和  $V$  均为负值。但是, 从另一方面分析, 如果正压力减少较多, 对摩擦力的降低也有利。由图 4 可见, 在较小的振幅情况下 ( $a/F_n$  小于  $10\%$ ), 有利的半波使摩擦力下降了, 但不利的半波也同样使摩擦力上升, 其数值的范围比无振动的更宽, 达到约  $45 \sim 70$  N,

而无振动的摩擦力范围仅为  $54 \sim 58$  N。显然这是由于不利半波虽然能部分减少摩擦力, 但其与  $h-h^*$  为负值时造成的不利影响相比较小, 因而造成了在摩擦力下限降低的同时, 上限更高。但随着振幅的增加, 不利半波对正压力减小的影响突出, 因此最终的结果是, 使  $h-h^*$  为负值而造成的不利影响与正压力减少的综合作用, 使摩擦力连续下降。

## 2.5 对摩擦峰值的影响

在薄板成形的实际过程和拉带摩擦试验中, 薄板从静止到滑动, 一般要经过一个摩擦力的峰值, 图 5 是试验中实测的正压力、摩擦力随时间变化的曲线。可见摩擦力曲线开始有一个峰值, 该峰值对成形是不利的。为考察振动对摩擦峰的影响, 定义一  $S$  值,  $S = (h_A - h_B) / h_B$ , 显然当  $S$  值为零时, 摩擦峰消失。

图 6 表示了  $S$  值与相对振幅的关系, 图 7 表示了  $S$  值与频率的关系。从两图可见, 振动对降低  $S$  值是有利的, 而频率的影响更显著。

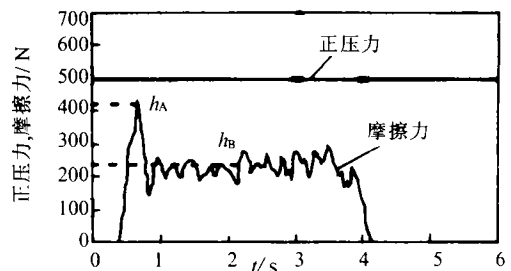
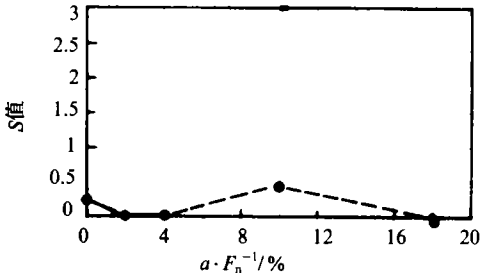
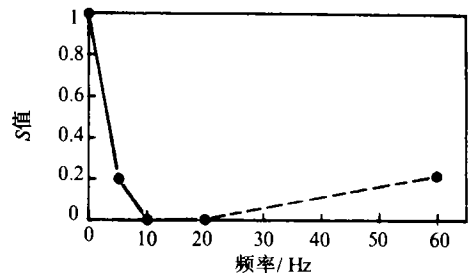


图5 定义的摩擦峰值

图6 正压力 $5 \text{ N/mm}^2$ 时S值与振幅的关系图7 正压力 $5 \text{ N/mm}^2$ 时S值与频率的关系

## 4 结论

(1) 在较大的正压力上 ( $>5 \text{ N/mm}^2$ ) 叠加振动, 可使摩擦力降低 20% 左右。(2) 频率 5 ~ 15 Hz 的范围, 对降低摩擦力是有利的。(3) 当相对振幅 ( $a/F_n$ ) 大于 10% 时, 摩擦力有明显的降低。(4) 在振动条件下, 拉速 200 mm/s 时摩擦力有最低值。(5) 在正压力为  $5 \text{ N/mm}^2$  下, 振动的叠加, 使摩擦峰下降, 直至消失, 而频率的影响更大。

### 参考文献

- 1 Gebhart J. Ziehen von Drahten mit Ueberlagerten Ultraschallschwingungen, Teil 1: Draht, 1981, 34: 199
- 2 Moeller J. Ueber den Einfluss von Ultraschall auf das Reibungsverhalten Kohlenstoffarmes Feinblech beim Tiefziehen. (Dr. Inge Dissertation). TU Hannover, 1974
- 3 N.N: Euro-BLECH 92, Blech Rohre Profile, 1993, 40(1): 64
- 4 Siegert K, Wanger S. Einfluss der Oberflaechenstrukturen von Feinblech aus Aluminiumlegierungen und Werkzeug auf Tribologische Verhalten beim Tief- und Streckziehen. EFB-Kolloquium, 1993

## Overlapping Oscillation on Blank Holder for Improving Friction during Deep Drawing

Tang Di      Wang Xianjin

Materials Science and Engineering School, UST Beijing, Beijing 100083, China

**ABSTRACT** A low frequency oscillation is overlapped in strip drawing test, which simulates the friction state of sheet between blank holder and die with oscillation. The influence of amplitude, frequency, drawing speed, normal pressure, surface topography on friction have been given through the test. It shows, overlapping low frequency oscillation on blank holder in sheet metal forming is helpful under some conditions.

**KEY WORDS** friction, surface, oscillation, deep drawing