

冷挤压摩擦对金属变形流动和模具受力的影响

尹甜甜, 李 辉

(开封大学, 河南 开封 475004)

摘 要:采用 Deform-3D 软件对不同摩擦状况下反挤压金属变形流动的机理进行分析,探讨了不同摩擦状况下,凹模内壁压力分布及其最大值,凹模内壁压力最大值与凸模单位压力的关系。

关键词:冷挤压摩擦;反挤压金属;变形流动;模具受力;数值模拟

中图分类号:TH117

文献标识码:A

文章编号:1008-486X(2015)02-0038-03

0 引言

在冷挤压过程中,摩擦的主要特点是模具与坯料的接触表面产生局部黏结、接触表面的机械咬合、中间物质的剪切^[1]。在金属塑性成形中,常用的两种摩擦模型是库伦摩擦模型和常摩擦模型^[2]。严格地说,在冷挤压加工中,库伦定律已不适用。因为冷挤压产生的摩擦力应该由与正压力有关的摩擦力和与正压力无关的附着力两部分组成。但是,目前对于塑性成形中的摩擦规律研究仍无多大进展,欲确定与局部黏结、机械咬合、中间物质等有关的摩擦力大小是很困难的,故研究计算时,仍采用与库伦定律相同的形式。

本文选用库伦摩擦模型,采用 Deform-3D 软件研究摩擦状况对反挤压金属变形流动行为和模具受力的影响。

1 冷挤压模拟条件及其模型参数

1.1 库伦摩擦模型

库伦摩擦模型定义为

$$\tau = \mu \sigma_n \quad (1)$$

式中: μ 为摩擦系数; σ_n 为坯料和模具间的接触法向应力。

应该注意的是,摩擦切应力 τ 不能随 σ_n 的增大而无限地增大。因为当 $\tau = \tau_{\max} = K$ (被加工金属的剪切屈服强度)时,被加工金属的接触表面将要产生塑性流动,此时的 σ_n 极限值为被加工金属的拉伸屈服强度 Y (真实应力)。 K 与 Y 之间应满足一定的关系。根据屈服准则, $K = (1/2 - 1/\sqrt{3})Y$ 。所以,摩擦系数 μ 的极限值为 0.5~0.577。本文选用的冷挤压模型坯料处于轴对称应力状态,故取极限值 $\mu = 0.5$ 。

1.2 模型的建立及其模拟参数设置

根据不同的挤压条件,摩擦系数也是不一样的。当模具表面采用研磨加工,且润滑良好时,摩擦系数可达到 0.05~0.10;当模具表面仅采用研磨加工,且无润滑时,摩擦系数为 0.10~0.15;当模具表面为精加工面时,摩擦系数为 0.15~0.20;当模具表面为粗加工面时,摩擦系数为 0.20~0.30。

摩擦系数在整个塑性成形过程中是变化的^[3]。因此,为了定性分析摩擦状况对冷挤压凹模内壁压力的影响,取 6 种不同的摩擦系数 (分别为 0.05、0.08、0.10、0.20、0.30、0.5),选用库伦摩擦模型进行模拟。坯料为 ALUMINUM-2024,尺寸为 $\phi 40 \text{ mm} \times 24 \text{ mm}$,其变形程度为 36%,挤压温度 20℃,凸模速度为 8 mm/s^[4]。

2 冷挤压模拟结果分析

2.1 金属变形流动行为

当凸模压下一高度时,在坯料断面上取原始位置相同的 4 个截面(如图 1 所示)。坯料变形后,4 个截面上各点轴向位移量的数值分布如图 2 所示。从图 2 中可以看出,当 $\mu = 0.05$ 时,不同截面上各点的轴向位移以轴线 oo' 为对称轴,呈对称分布,轴线处的金属坯料轴向位移最大(绝对值)。这表明,该处的金属流速最快。而且,随着距轴线距离的减小,轴向位移(绝对值)呈增大的趋势。

如图 2(b)所示,在无润滑成形过程中,靠近模腔底部的金属受摩擦条件的影响,不易发生变形流动。从轴向位移图可以看出,模壁与轴线处金属变形流动的差异较大。受侧壁摩擦阻力的影响,模壁处金属的变形流动明显滞后于轴心部位;当使用润滑剂

收稿日期:2014-12-01

作者简介:尹甜甜(1987-),女,河南洛阳人,助教,硕士,模具设计与制造,研究方向:精密塑性成形,模具 CAD/CAE。

后,模腔底部较难变形区的范围显著缩小,模壁处与轴心处的金属流速差异也明显降低。

通过不同摩擦情况下的轴向位移对比图可知,在较好的润滑情况下,变形金属坯料外壁(a-a截面)轴向位移为0.42 mm;在没有润滑或者润滑不好的状况下,变形金属坯料外壁轴向位移为0.10 mm。这是由于在没有润滑或者润滑不好的状况下,金属坯料受凹模内壁摩擦阻力的影响较大,致使向上流动困难。因此,在冷挤压时,要有良好的润滑^[5]。这样,能降低挤压力以及对凹模内壁压力的影响,改善挤压时金属的不均匀流动。

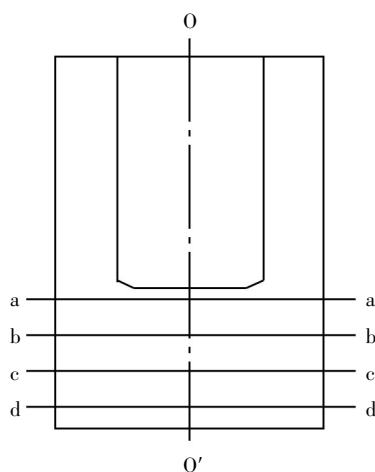
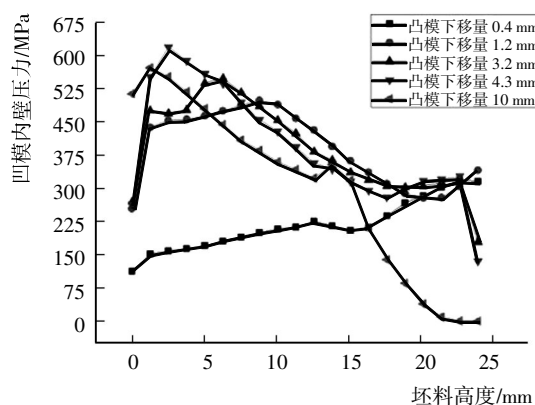


图1 坯料断面示意图

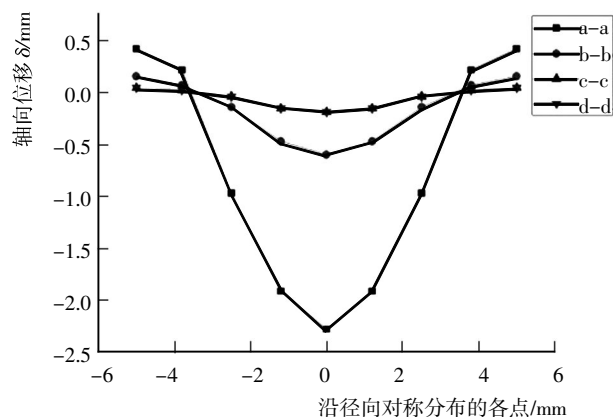
Fig.1 Blank fracture surface

2.2 不同摩擦状况下凹模内壁压力分布及 $P_{凹max}$

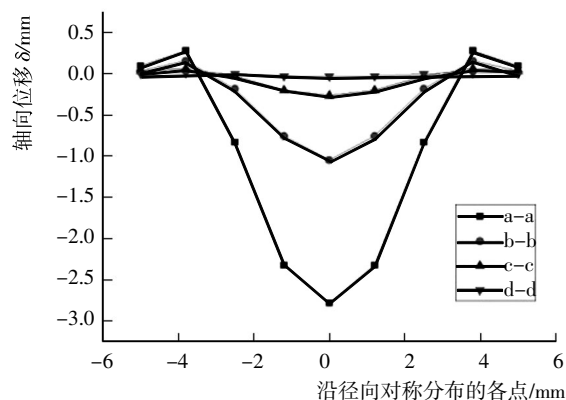
从坯料底部沿高度方向等间距取20个点,探讨坯料外壁应力的分布状态,进而了解凹模内壁应力的分布状态。如图3所示,挤压刚刚开始时,大部分金属仍处于弹性状态,对凹模内壁的压力较小。随着凸模下行,塑性区不断下移,凹模内壁压力分布曲线的峰值位置也不断下移。在润滑不好的情况下,凹模



(a)有润滑



(a)有润滑



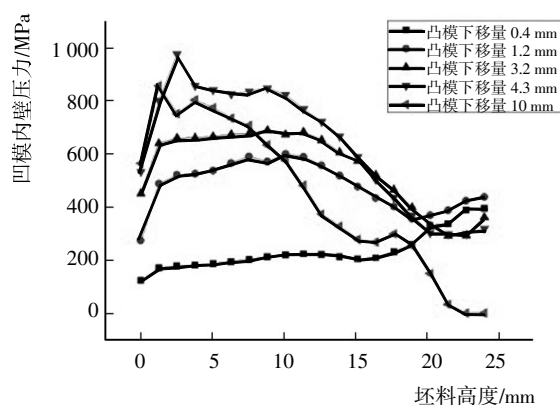
(b)无润滑

图2 轴向位移对比图

Fig.2 Comparison of axial displacement

内壁压力较润滑良好情况有显著增大。凹模内壁压力沿高度方向是不均匀分布的,塑性区对应的凹模内壁压力值大于弹性区对应的凹模内壁压力值。

摩擦状况一方面会影响塑性变形区的范围,另一方面会加大挤压功的消耗。模拟计算结果显示,摩擦系数越大,凹模内壁压力状态分布曲线的峰值也越大,如图4所示。当摩擦系数为0.05、0.08、0.10、



(b)无润滑

图3 不同摩擦状况下凹模内壁压力的分布

Fig.3 Pressure distribution of cavity inwall of different friction state

0.20、0.30、0.5 时,对应的凹模内壁压力最大值分别为 658 MPa、702 MPa、792 MPa、984 MPa、987 MPa、1 010 MPa。所以,在一般情况下,摩擦系数越大,凹模内壁压力越大。

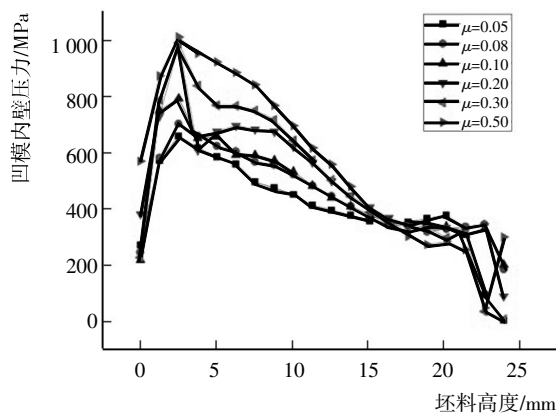


图4 摩擦状况对凹模内壁压力的影响

Fig.4 Influence of friction state to the cavity inwall pressure

2.3 凹模内壁压力最大值 $P_{\text{凹max}}$ 与凸模单位压力 $P_{\text{凸}}$ 的关系

不同摩擦状况下的 $P_{\text{凹max}}$ 、 $P_{\text{凸}}$ 和 $P_{\text{凹max}}/P_{\text{凸}}$ 值如表 1 所示。

将表 1 中各个摩擦状况下凹模内壁压力最大值 $P_{\text{凹max}}$ 、凸模单位压力 $P_{\text{凸}}$ 绘制成曲线,如图 5 所示。由图 5 可以看出,凹模内壁压力并不等于凸模单位压力,凹模内壁压力始终小于凸模单位挤压力,两者之间并不是呈简单的正比例关系。随着摩擦系数的增加,两者也均随之增大。这是因为,摩擦的增大导致金属向上流动困难,向外膨胀的趋势增加,故凹模内壁压力也逐渐增加,而且摩擦的增大也加大了挤压功的消耗致使凸模单位压力升高。

根据表 1 的模拟结果,利用回归分析方法得到摩擦系数和 $P_{\text{凹max}}/P_{\text{凸}}$ 的关系曲线(如图 6 所示)。由图 6 可以看出,在误差范围内, $P_{\text{凹max}}/P_{\text{凸}}$ 随着摩擦系数的增大呈上升趋势。从表 1 中可以看出,在摩擦比较小的情况下,凹模内壁压力 $P_{\text{凹max}}$ (取计算结果略大值)可以通过下式确定:

$$P_{\text{凹max}} = \varepsilon P_{\text{凸}} + \sigma_s \quad (2)$$

式中: ε 为坯料的变形程度; σ_s 为坯料的屈服极限。

3 结语

(1)在润滑良好的条件下,反挤压金属坯料轴向位移大,向上流动速度快,对凹模内壁压力较小。

(2)摩擦状况不仅影响塑性变形区的范围,也会加大挤压功的消耗。在一般情况下,摩擦系数越大,

表 1 不同摩擦状况下的 $P_{\text{凹max}}$ 、 $P_{\text{凸}}$ 和 $P_{\text{凹max}}/P_{\text{凸}}$ 值
Table 1 The value of $P_{\text{凹max}}$, $P_{\text{凸}}$ and $P_{\text{凹max}}/P_{\text{凸}}$ at different friction

摩擦系数 μ	凹模内最大压力值 $P_{\text{凹max}}/\text{MPa}$	凸模压力 $P_{\text{凸}}/\text{MPa}$	$P_{\text{凹max}}/P_{\text{凸}}$	$\varepsilon P_{\text{凸}}$
0.05	698	1142.3	0.61	411.21
0.08	709	1172.0	0.60	421.91
0.10	738	1181.9	0.62	425.48
0.20	900	1278.1	0.70	460.13
0.30	932	1361.6	0.68	490.19
0.50	1010	1394.7	0.72	519.75

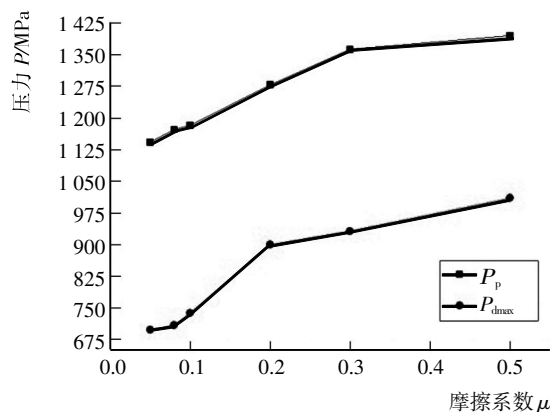


图5 $P_{\text{凸}}$ 、 $P_{\text{凹max}}$ 与挤压摩擦状况的关系曲线

Fig.5 Relations of $P_{\text{凸}}$, $P_{\text{凹max}}$ and extrusion friction

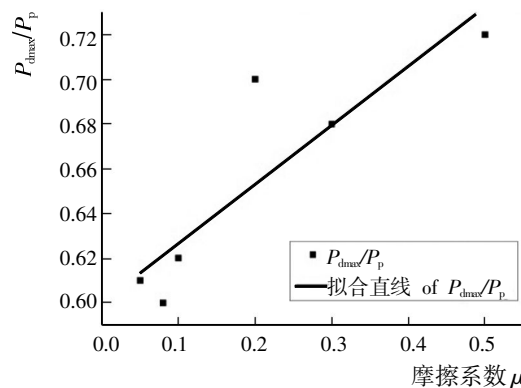


图6 $P_{\text{凹max}}/P_{\text{凸}}$ 与挤压摩擦状况的关系曲线

Fig.6 Relations of $P_{\text{凹max}}/P_{\text{凸}}$ and extrusion friction

凹模内壁压力越大。

(3)在不同的摩擦状况下,反挤压凹模内壁压力并不等于凸模单位挤压力。两者随摩擦的增加而增大,并不呈现简单的正比例关系,凹模内壁压力 $P_{\text{凹max}}$ 可通过式 $P_{\text{凹max}} = \varepsilon P_{\text{凸}} + \sigma_s$ 确定。

参考文献:

- [1] 王丽君,赵振铎,邵明志,张志红.铝合金冷挤压摩擦与润滑研究[J].锻压机械,2002(4):34-36. (下转第 51 页)

亚甲基蓝有很强的萃取能力,萃取率均在 95%以上。但是,它对甲基橙的萃取效果不佳。这主要是因为,甲基橙为酸性染料,与 BmimPF₆ 酸性体系难以发生酸碱反应,导致萃取率很低。

3 结语

(1)离子液体 BmimPF₆ 具有很强的萃取能力和较大的萃取容量,对一定浓度的罗丹明 B、孔雀石绿、亚甲基蓝等碱性染料溶液均有很高的萃取率。

(2)离子液体 BmimPF₆ 萃取染料所需时间很短,2 min 即能达到萃取平衡,明显优于传统有机溶剂液液萃取。

(3)在萃取过程中,溶液的 pH 值对萃取率的影响较大。

参考文献:

[1] 常安刚,周凯,江静,等.温度驱动的离子液体分散

液-液微萃取法同时检测环境水体中磺胺类药物[J].环境化学,2013,32(2):295-301.

[2] 何爱珍,刘红光,王坤,等.离子液体在废水处理中的研究进展[J].工业水处理,2009,29(12):11-16.

[3] 李长平,辛宝平,徐文国,等.疏水性离子液体萃取脱色水溶性染料实验研究[J].北京理工大学学报:自然科学版,2006,26(7):647-650.

[4] 张静.室温离子液体的研究进展[J].北京服装学院学报:自然科学版,2002,22(1):27-31.

[5] Vijayaraghavan R, Vedaraman N. Extraction and recovery of Azo Dyes into an ionic liquid [J]. Talanta, 2006,69(1):1059-1062.

[6] 刘海玲,刘雪,肖乾芬,刘树深.离子液体对有机染料的萃取行为[J].环境化学,2013,32(7):1405-1409.

[责任编辑 杨明庆]

(上接第 40 页)

[2] 俞汗青.金属塑性成形原理[M].北京:机械工业出版社,1998:34-75.

[3] 邓小民.挤压铝合金时的摩擦及摩擦系数研究[C]//中国有色金属学会,广东省有色金属学会.Lw2007 铝型材技术(国际)论坛论文集,广州:广东省有色金属学会 2008:478-482.

[4] 贾俐俐.挤压工艺及模具[M].北京:机械工业出版社,2004:21-105.

[5] 李峰,刘晓晶,苑世剑.摩擦条件对铝合金挤压变形流动行为的影响[J].中国有色金属学报,2008,18(11):15-18.

[责任编辑 杨明庆]

On Influence of Cold Extrusion Friction to Metal Deformation Flow and Die Stress

YIN Tian-tian, LI Hui

(Kaifeng University, Kaifeng 475004, Henan, China)

Abstract: With using the Deform-3D software, it analyzes the mechanism of backward extrusion metal deformation flow under different friction states, and explores the pressure distribution and its maximum value of die inwall and the relationship between die inwall maximum pressure and terrace die specific pressure.

Key Words: Cold extrusion friction; backward extrusion metal; deformation flow; die stress; numerical modeling