闭挤式精冲成形材料流动及变形区显微状态分析

陈明明，邓明，吕琳，杨显红
（重庆理工大学材料工程学院，重庆 400050）

摘要：通过对闭挤式精冲零件进行金相观察，变形区流线和显微硬度分析，对闭挤式精冲加工中出现的一些材料微观状态的特点和规律进行了研究。

关键词：精冲；成形机理；显微硬度
中图分类号：TG381 **文献标识码**：A
文章编号：1674-6457(2010)01-0057-04

Research on Flow Mechanism of Materials and Micro-state of Distortion Area in Closed Extruding Fine-blanking Process

CHEN Ming-ming, *DENG Ming*, *LV Ling*, *YANG Xian-hong*
(Chongqing University of Technology, Chongqing 400050, China)

Abstract: There are some differences between traditional fine-blanking and closed extruding fine-blanking in stress, separation process and the changes of material's performance. By metallographic observation and analyzation of flow line of deformation zone and microhardness of the closed extruding fine-blanking parts, the characteristics and rules of the micro-state of materials in closed extruding fine-blanking process are researched.

Key words: fine-blanking; forming mechanism; microhardness

闭挤式精冲通过在变形过程中始终将坯料限制在有限的模具型腔内，使变形区产生比强力压边精冲更强大的静水压力，提高变形区材料的塑性，可以达到精冲低塑性材料和厚板的目的。用该闭挤式精冲工艺对材料为硬铝 LY12 的坯料进行加工，得到了具有较高表面质量的精冲制件（如图 1 所示）。该零件尺寸公差可达 IT8～7 级，剪切面粗糙度可达 0.8～0.4 μm[1]。在此，对闭挤式精冲工艺的变形分离过程、应力状态和精冲件的组织性能变化，以及显微硬度分布等方面进行实验研究，对于促进这一新工艺的应用很有意义。

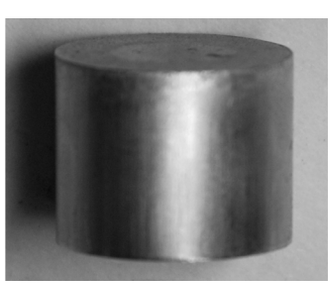


图 1 闭挤式精冲零件
Fig. 1 Part of closed extruding fine-blanking

收稿日期：2009-11-27
基金项目：重庆市科委攻关项目（CSTC，2007AC3032）
作者简介：陈明明（1984-），男，重庆云阳人，硕士研究生，主要从事精冲方面的研究。

1　实验方案

实验所用材料为硬铝 LY12,该合金精冲性较差,测得延伸率 $\delta=9.5\%$,在相关资料中给出的精冲适应性为 3,属于精冲困难的材料[2]。实验中首先将待分析的零件沿直径剖开,如图 2 所示,左边为成

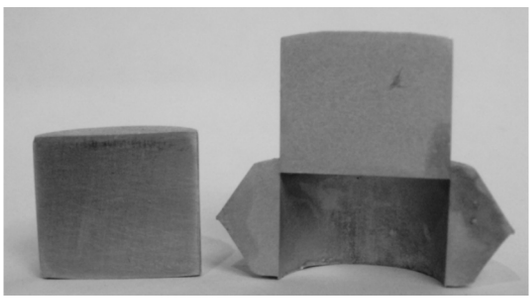


图 2　待测零件剖面

Fig. 2　Profile chart of parts

形零件剖面,右边为凸模进入凹模厚度约 5/6 时的坯料。应用高倍显微镜、体视学显微镜和显微硬度仪等仪器对零件断面加以观察和测试,通过对其金相组织和变形区流线的观察并进行显微硬度测量,对闭挤式精冲成形过程的微观特点和成形机理进行研究。

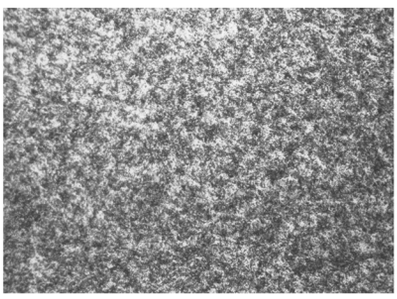
2　变形区显微组织变化和流线分析

2.1　晶粒形状变化

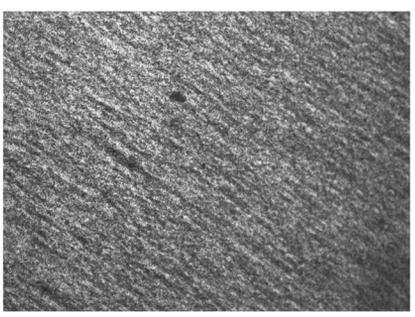
把加工过的零件沿轴线剖切,在剖切面上观察其挤剪面附近晶粒形状的变化,精冲试件径向截面上的金相照片如图 3 所示。从图 3 可以看出,未变形区材料为初始等轴晶,晶粒均匀,排列无明显方向性;大变形区的晶粒沿着形变方向发生了明显的伸长,变形量很大,且变形区的晶粒都沿着变形方向挤压伸长并呈较规则的线状排列。这说明在闭挤式精冲的变形过程中,心部材料变形量很小甚至不变形,而挤剪面附近材料变形量较大,所受到的强大挤压作用可以抑制裂纹的萌生,工件表面质量较好。

2.2　变形区流线变化

为了分析精冲变形区的金属流动情况,对某精



a　试件心部(未变形区)



b　试件挤剪面附近(大变形区)

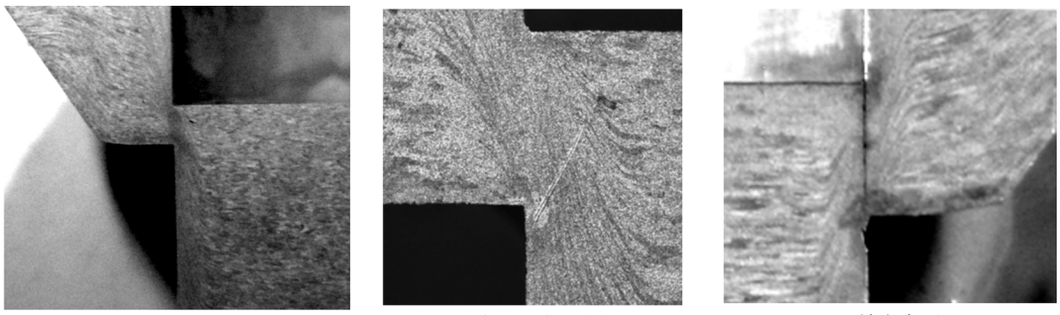
图 3　试件断面金相照片(经 15% 氢氧化钠溶液侵蚀,200×)

Fig. 3　Microstructure of parts´ profile chart(erosion by 15% sodium hydroxide solution, 200×)

冲工件,沿轴线剖开,在断面上进行流线观察。闭挤式精冲过程中凸模压入凹模一定距离时,填充率较高的零件和填充率不足的零件挤剪面附近的变形流线分别如图 4a,c 所示,图 4a 中零件和废料连接处的放大如图 4b 所示。

通过图 4 可以看出,与传统强力压边精冲一样,凸、凹模连线附近为挤剪变形区。以该连线为中心宽约 2 mm 的带状区域内变形最为剧烈,流线明显。该区变形量很大,流线密集,大量流线被挤压到一起而无法分辨。其分布与挤压过程有着一些相似的特点:材料向凸模下部流动的趋势非常明显,在凸模下行过程中,凸模与试件之间强大挤压和摩擦作用使凸模周围的材料流入到凸模下部的区域之中。图 4 中,零件心部流线稀疏,变化走向不明显,说明工件内部的变形量很小。传统精冲中,金属流动主要集中在挤剪面两侧大约 1 mm 的范围内,流线也主要分布于这一区域[2],而闭挤式精冲变形区域比较宽,挤压强度比较大,外环挤压作用明显,整个外环型腔内的材料均发生了较明显的塑性流动,流线连续分布于零件断面上。

当外环填充率不足,三向压应力不够大时,部分



a 填充率较高　　b 将 a 连接处放大　　c 填充率不足

图 4 挤剪面两边流线(15% 氢氧化钠溶液侵蚀约 1 min)

Fig. 4 Flow line on both sides of shear surface (erosion by 15% sodium hydroxide about 1 minute)

冲压件在加工结束之前,裂纹已经扩展到整个断面上。如图 4c 所示,外环与零件的流线断开。这是由于在结束阶段,坯料变形区中出现了较大的拉应力,导致工件提前断裂。在试验过程中发现,型腔填充率较高的试件,可以发生完全的塑性剪切而分离,流线分布完整;填充率较低的试件则在精冲过程完成之前就已经发生了分离,流线不连续分布,但是部分此类零件表面光洁度仍然较高。

闭挤式精冲挤压圆环处的强烈变形区流线如图

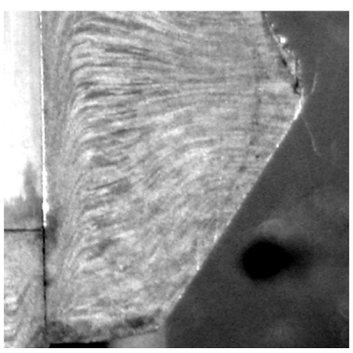


图 5 挤压圆环处流线(15% 氢氧化钠溶液侵蚀约 1 min)

Fig. 5 Flow line of extrusion ring (erosion by 15% sodium hydroxide solution about 1 minute)

5 所示,原来近似平行的流线在加工过程中几乎全部被挤压到一起。尖角处流线的密集程度甚至与挤剪变形区相似,流线从尖角处向型腔方向呈放射状分布。从该区的流线分布可以看出:当副凹模向下运动时,副凹模尖角部分挤压坯料,材料在斜面的压力作用下屈服,沿径向向型腔中流动,型腔中的材料有增厚的趋势[1]。副凹模挤靠过程完成后,材料发生径向塑性枯竭,有利于对精冲坯料提供强大的三向压应力。

3 变形区显微硬度分布

3.1 变形区硬度

随机抽取的某闭挤式精冲制件径向截面上挤剪面附近的显微硬度分布情况如图 6 所示。

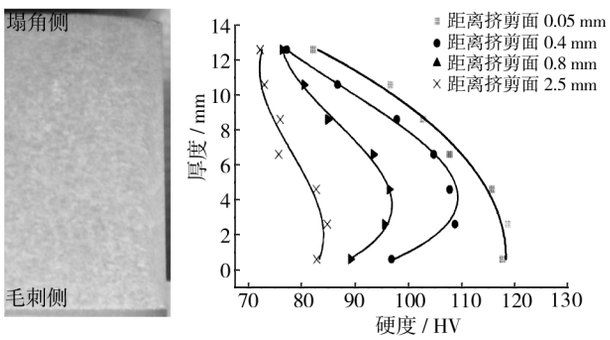


图 6 零件挤剪面附近硬度分布

Fig. 6 Hardness distribution near the shear surface

1) 硬度分布曲线显示了离挤剪面不同距离的断面上,从毛刺侧到塌角侧不同板厚处的材料硬度值。挤剪表面附近的硬度最高,随着离开表面距离增大,硬度逐渐减小,到距离挤剪面一定距离的地方,由于加工硬化作用较小,硬度与基体硬度大致相当。图 6 中距离挤剪面 0.05 mm 的断面上,最大硬度达到了 120,为其基体硬度的 1.7 倍左右,加工硬化作用显著。

2) 闭挤式精冲挤剪面附近的加工硬化作用区较宽,在距离挤剪面约 3 mm 的地方都还有非常明显的加工硬化作用。硬度曲线呈“C”形分布,从毛刺侧到塌角侧,硬度随距毛刺侧的距离增大,有先增

大后减小的趋势,而强力压边精冲仅在剪切表面附近较小范围内因剧烈的塑性变形而使加工硬化作用比较明显[4]。图6中,在距离挤剪面0.4 mm的断面上,从塌角侧到零件厚度约2/3的地方,维氏硬度从85增加到110,随后又逐渐降至98,其它断面上的曲线存在类似的变化模式。

3)该批硬铝LY12零件在闭挤式精冲后挤剪表面的平均加工硬化率为50%左右。

零件中部硬度较高,而毛刺侧和塌角侧硬度较低的趋势与金属网格实验的结果(加工过程中,试件两端材料有向型腔中流动的趋势,材料所受到的加工硬化作用剧烈)[1]相吻合。由于塌角侧材料的变形量较小,加工硬化作用也较小,硬度较低。在加工过程的最后阶段,材料严重加工硬化,韧性会降到最小。材料中非常小的缺陷都会引起裂纹,同时材料所受的应力状态中出现拉应力,材料内部开始萌生裂纹,在加工过程中逐渐扩展。虽然最终并没有扩展为宏观裂纹,但是工件挤剪面上的加工硬化作用却由此而减弱或停止,毛刺侧的硬度也比较小,因此挤剪面附近硬度呈"C"型分布。

3.2　挤剪面硬度

在某零件挤剪圆弧面上按照距离毛刺侧的不同距离分别测量了3组数据,对其取平均值,作图得到的挤剪面上的硬度分布曲线如图7所示。挤剪面上

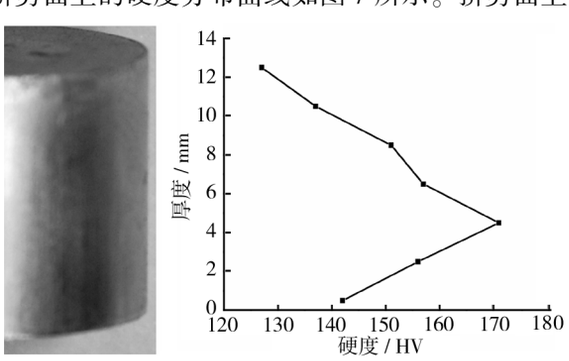


图7　挤剪面硬度分布

Fig. 7　Hardness distribution on shear surface

的硬度分布与断面上的硬度分布有相似的趋势。挤剪面上的加工硬化作用比零件内部更加显著,其硬度均达到了基体硬度的2倍左右,最大硬度出现在零件表面的中部,两侧的硬度较低,并且毛刺侧的硬度比塌角侧稍高。

4　结语

1)闭挤式精冲的加工硬化作用范围比传统精冲宽,挤剪面附近2.5 mm左右的条形带内都产生了强烈的塑性流动,加工硬化作用明显。

2)零件厚度方向的硬度分布规律呈"C"型曲线,中间部分硬度较高,两侧的硬度较低。

3)挤压圆环处的预变形对于精冲件的质量影响较大,填充率较高的试件可以获得较长的塑性变形阶段,制件流线分布完整连续。

4)金属流动趋势明显,带有挤压的部分特点,凸模周围的金属会随着凸模向下流动到凸模下部的区域中。

参考文献:

[1]　邓明,张会杰,吕林,等. 闭挤式精冲工艺及其材料流动机理[J]. 锻压技术,2009,34(6):38-40.

[2]　涂光祺. 精冲技术[M]. 北京:机械工业出版社,1990.

[3]　SCHMIDT R A, BIRZER F, HÖFEL P, et al. 冷成形与精冲[M]. 赵震,向华,庄新村译. 北京:机械工业出版社,2008.

[4]　邓明,夏庆发,杜丽伟. 基于变形区显微状态分析的精冲成形机理研究[J]. 塑性工程学报,2005,12(6):71-73.