

[文章编号] 1004- 0609(2002)01- 0096- 05

反向挤压时的挤压力变化规律^①

邓小民

(安徽工业大学 冶金工程系, 马鞍山 243002)

[摘 要] 利用正、反向挤压对比实验研究了反向挤压铝合金时, 在基本挤压阶段, 挤压力的变化规律以及其最大挤压力与正向挤压时的差异, 以便为合理制订反向挤压工艺和进行工具设计提供依据。研究表明: 挤压棒材时, 随着挤压过程的进行, 挤压力呈现上升趋势, 在挤压结束时达到最大值, 这与正向挤压时是相反的, 其最大挤压力比正向挤压时小 10% 左右; 挤压管材时, 在基本挤压阶段开始时的挤压力最大, 随着挤压过程的进行, 挤压力呈现下降趋势, 与正向挤压时相似, 而当挤压过程进行到一定程度时, 挤压力基本保持稳定, 其最大挤压力比正向挤压时小 30% 左右。

[关键词] 挤压力; 变化规律; 反向挤压; 棒材; 管材

[中图分类号] TG 37

[文献标识码] A

与正向挤压相比, 反向挤压可降低挤压力 30% ~ 40% (有些资料介绍达 50%^[1]), 提高挤压速度 0.5~ 1 倍, 提高成品率 10% ~ 20%^[2], 而且挤压制品的尺寸精度高、组织和性能均匀^[3~ 7], 特别是对于航空、航天、兵器及机械制造等工业部门要求组织和性能均匀、严格控制粗晶缺陷的产品来说, 反向挤压具有很大的优势, 日益受到各国的重视^[8]。

目前, 有关反向挤压方面的资料还比较少, 对于反向挤压的一些问题的认识也不是很清楚, 以致在某些问题上观点不一致, 甚至与实际相差较大, 如关于基本挤压阶段挤压力的变化规律、其最大挤压力与正向挤压时的差异、是否存在中心缩尾等等^[2, 6~ 8, 9~ 10]。这就要求对反向挤压进行深入、细致、全面地研究。

本文作者通过正、反向挤压棒材、管材的对比实验, 研究了反向挤压过程中, 在基本挤压阶段挤压力的变化规律以及最大挤压力与正向挤压时的差异, 以便为合理制订反向挤压工艺和进行工具设计提供参考。

1 实验方法

用 49MN 挤压机正、反向及单、双孔挤压棒材; 用 24.5MN 反向挤压机反向挤压管材; 用 34.3MN 挤压机正向挤压管材。测量挤压过程中挤

压力的大小及有关参数。实验材料选用 2A11, 2A12 合金, 铸锭加热温度定为 380~ 400 °C, 挤压筒定温 370~ 400 °C, 铸锭的规格、挤压制品规格及有关参数见表 1。

2 结果及分析

把挤压轴(或堵头)向前移动不同距离 L 时测得的单位挤压力 p 的值, 绘制成示功图曲线(即 $p-L$ 曲线), 如图 1~ 4 所示。图 1 所示是单孔正、反向挤压 2A12 合金棒材的示功图曲线; 图 2 所示是双孔正、反向挤压 2A12 合金棒材的示功图曲线; 图 3 所示是用不同挤压速度单孔反向挤压 2A11 合金棒材的示功图曲线; 图 4 所示是正、反向挤压 2A11 合金管材的示功图曲线, 挤压管材时没有润滑穿孔针。

由图 1~ 3 可以看出, 反向挤压棒材时, 在基本挤压阶段, 随着挤压过程的进行, 开始时挤压力呈缓慢上升趋势, 当挤压过程进行到一定程度时, 挤压力出现明显上升, 在挤压结束时, 达到最大值。挤压力的这种变化规律与正向挤压时正好相反。其主要原因可能有以下几个方面:

1) 由于铸锭与挤压筒之间无摩擦, 挤压力大小与铸锭长度无关。

2) 反向挤压棒材时, 主延伸变形量随着压出棒材长度的增加而增大, 尤其是边部增加更明显,

① [收稿日期] 2001- 03- 16; [修订日期] 2001- 06- 11

[作者简介] 邓小民(1959-), 男, 高级工程师, 硕士。

表 1 铸锭规格、制品规格及工艺参数

Code	Extrusion ingot	Product	Die orifice	Ratio of extrusion	Remainder/mm	Extrusion method
2A12	$d\ 350\ \text{mm} \times 1\ 000\ \text{mm}$	$d\ 110\ \text{mm}$	1	10.71	100	Direct
	$d\ 405\ \text{mm} \times 800\ \text{mm}$	$d\ 105\ \text{mm}$	1	16.0	30	Backward
	$d\ 405\ \text{mm} \times 1\ 000\ \text{mm}$	$d\ 91\ \text{mm}$	2	10.65	100	Direct
	$d\ 405\ \text{mm} \times 1\ 000\ \text{mm}$	$d\ 85\ \text{mm}$	2	12.21	30	Backward
2A11	$d\ 405\ \text{mm} \times 1\ 000\ \text{mm}$	$d\ 110\ \text{mm}$	1	14.58	30	Backward
	$d\ 255/77\ \text{mm} \times 640\ \text{mm}$	$d\ 70\ \text{mm} \times 5\ \text{mm}$	1	47.7	40	Backward
	$d\ 270/106\ \text{mm} \times 350\ \text{mm}$	$d\ 88\ \text{mm} \times 5\ \text{mm}$	1	37.1	50	Direct

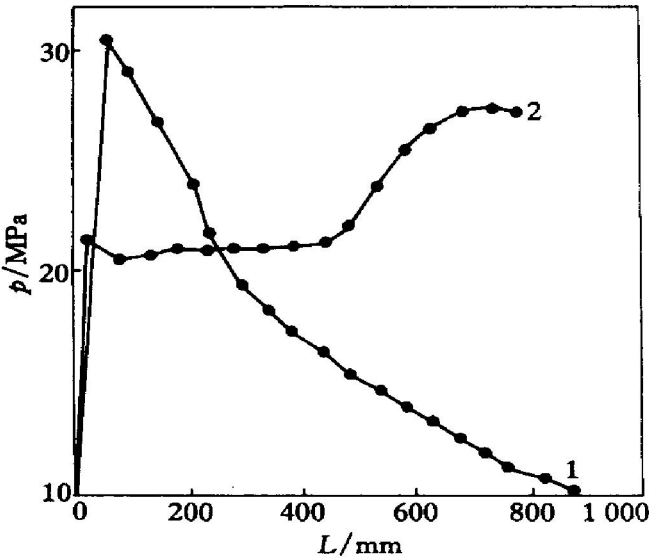


图 1 单孔挤压 2A12 合金棒材 $p-L$ 曲线

Fig. 1 $p-L$ curves of 1 die orifice extrusion 2A12 alloy bar

1—Direct; 2—Backward

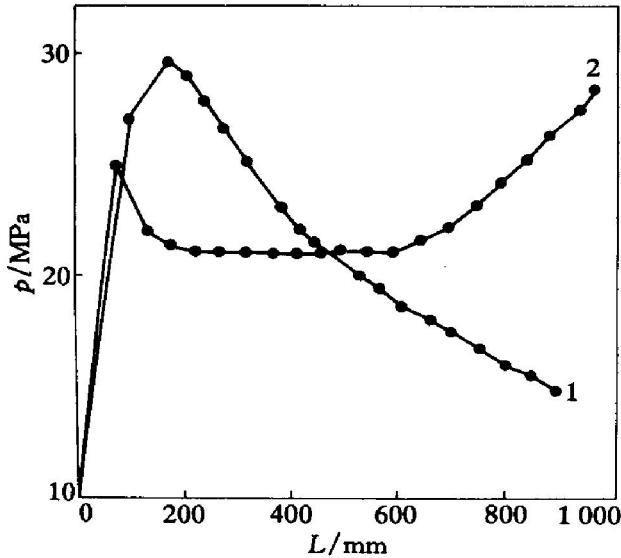


图 2 双孔挤压 2A12 合金棒材 $p-L$ 曲线

Fig. 2 $p-L$ curves of 2 die orifice extrusion 2A12 alloy bar

1—Direct; 2—Backward

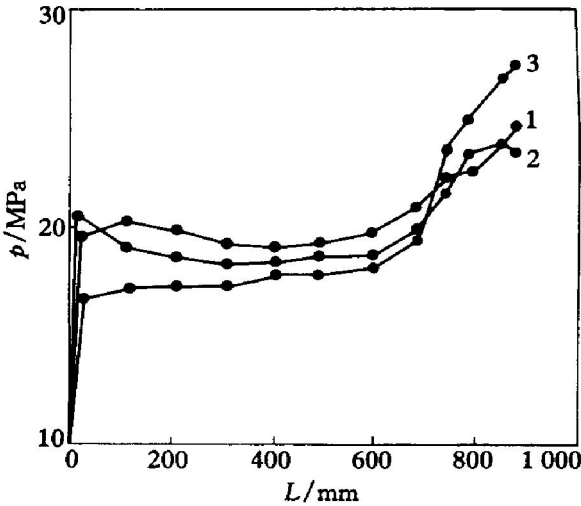


图 3 单孔反向挤压 2A11 棒材 $p-L$ 曲线

Fig. 3 $p-L$ curves of 1 die orifice backward extrusion 2A11 alloy bar

1— $t=365\ ^\circ\text{C}$, $v=4.0\ \text{mm/s}$; 2— $t=380\ ^\circ\text{C}$, $v=3.0\ \text{mm/s}$;
3— $t=380\ ^\circ\text{C}$, $v=2.0\ \text{mm/s}$

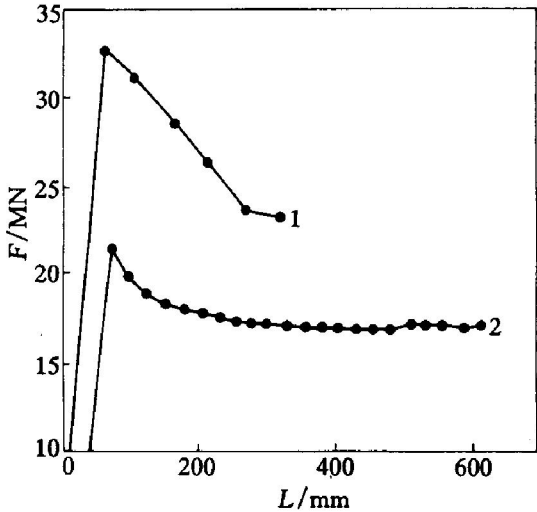


图 4 挤压 2A11 管材 $F-L$ 曲线

Fig. 4 $F-L$ curves of extrusion 2A11 alloy pipe

1—Direct; 2—Backward

而挤压力与主延伸变形量的大小成正比关系^[2]。

3) 由于铸锭内部存在着疏松、气孔等影响铸锭致密度的缺陷^[2, 11, 12], 在挤压过程中, 变形区

中的金属产生了宏观的塑性变形流动,而变形区外部的金属,在三向压应力强烈、连续地作用下会产生微观的塑性变形,铸锭内部的疏松、气孔会逐渐被压合^[13],使其致密度逐渐提高,从而使其变形抗力逐渐增加。

4) 加工硬化作用 反向挤压过程中铸锭与挤压筒之间无摩擦,摩擦热、变形热等产生的温升小。据文献[14]介绍,正向挤压 2A11 合金时的温升可达 216 °C,而研究中反挤 2A11 合金棒材的实测温升为 25~60 °C。可见反向挤压过程中温升对金属的软化作用小,加工硬化明显。一般来说,对于热加工,在变形初期加工硬化表现不明显,当变形进行到一定程度时就会明显表现出来。

5) 温降作用 虽然实验时挤压筒和铸锭的加热温度范围是一致的,反挤 2A11 合金 $d110\text{ mm}$ 棒材时筒温比锭温高 40~55 °C,不会因筒温低而造成挤压后期铸锭降温。但由于挤压垫的温度较低,对铸锭尾端产生了冷却作用,加上铸锭出炉时端面的温降,从而使挤压后期金属变形抗力提高,使挤压力增加。这一点可从实际反向挤压生产中,由于更换模子等造成较长时间停车,使挤压垫降温过多,在挤压进行过程中出现了挤不动的“闷车”现象得以证实。

至于图 2 中最初挤压力上升到一较大值后又迅速下降,然后又呈现出缓慢上升趋势,则是因为铸锭出炉后,因上一根分离残料时间较长造成端面温度降低较多,使局部变形抗力升高引起突破挤压力上升所致。如果因修模等原因造成模子工作表面温度降低,也会出现类似的现象。

反向挤压棒材时的挤压力与挤压速度有关。如图 3 所示,在开始挤压阶段,挤压速度高,突破挤压力大。这是由于挤压速度高,金属在变形区中停留的时间短,硬化系数大^[9],金属的硬化程度高,所需的挤压力大。随着挤压的继续进行,挤压速度高,积蓄在变形区中的变形热不易散失,温升高^[15],软化作用大,从而会使挤压力有所下降。在挤压后期,挤压力增加的趋势较慢。而挤压速度低时,温升小,硬化作用大,从而使挤压力一直处于上升趋势,在挤压后期,挤压力增加的趋势较强。

反向挤压管材采用的是双轴固定针挤压的方式,如图 5 所示。在挤压过程中,穿孔针、模子轴及模子固定不动,挤压轴和挤压筒沿着箭头所指方向同步移动。变形金属与挤压筒内壁无摩擦,但与穿孔针之间有较强的摩擦。

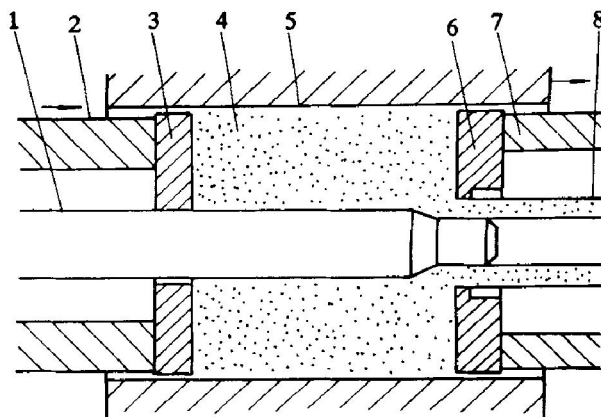


图 5 反向挤压管材示意图

Fig. 5 Motion of backward extrusion pipe

1—Arbor; 2—Stem; 3—Ejector plate; 4—Metal;
5—Container; 6—Extrusion die; 7—Support axis; 8—Pipe

反向挤压管材时的最大挤压力出现在镦粗结束时的突破挤压阶段。因为这时作用在穿孔针上的摩擦拉力最大。随着挤压轴向前推进,筒内铸锭长度逐渐减小,与穿孔针的接触面积逐渐减少,则摩擦力逐渐减小,故挤压力呈现出下降趋势。由于金属与穿孔针的摩擦力,远远小于正向挤压时与筒壁的摩擦力,故挤压力的这种下降趋势比正向挤压时缓慢得多。

与此同时,另外一种机制对挤压力也逐渐开始产生影响。这就是前面所说的由于主延伸变形量的增加,铸锭内部疏松、气孔等缺陷的逐渐被压合,以及加工硬化等因素的影响而使金属变形抗力逐渐增大,使挤压力逐渐提高。

当这种使挤压力增加的因素与因摩擦力减小以及铸锭与穿孔针摩擦发热而使变形抗力减小等因素所起的作用相当时,挤压力将会基本保持稳定。这就是反向挤压管材时,在基本挤压阶段的初期挤压力下降较快,随后逐渐变缓慢,进而基本稳定不变的主要原因。

3 讨论

挤压力是进行设备能力选择、工具强度校核、新产品开发及合理制订生产工艺的重要依据。反向挤压时,由于铸锭与挤压筒之间无摩擦,所以挤压力大小与铸锭长度无关。基于这种认识,许多人认为在金属流出模孔瞬间挤压力达到最大值,其后将基本稳定不变,这从许多资料^[9, 10, 14, 16, 17]的示功图上都能清楚地反映出来。根据上述的实验结果及分析,反向挤压棒材时,随着金属从模孔中流出,

挤压力呈现上升趋势, 在基本挤压阶段结束时达到最大值。而反向挤压管材时, 在金属流出模孔瞬间挤压力达到最大值, 随后挤压力呈下降趋势, 进而基本稳定不变。如果不知道挤压力的这种变化规律, 以金属流出模孔时的挤压力为依据, 在选择设备和制订反向挤压棒材工艺时, 就可能出现挤压进行过程中设备能力不足, 发生挤不动的“闷车”现象。即使不闷车, 也使设备经常处于极限能力的运行状态, 这对设备关键部件的使用寿命是很不利的, 当进行工具设计时, 有可能出现因强度不够而损坏工具。

采用反向挤压工艺可降低挤压力, 从而可降低挤压温度以提高挤压速度, 这一点对硬铝合金效果非常显著^[3, 6]。但挤压力能降低多少, 对确定合理的挤压温度-速度参数是很重要的。降低挤压温度会使金属的变形抗力增大, 从而使挤压力增大, 那么挤压机器的能力是否够, 工具的强度是否能满足要求等都要考虑。反向挤压时的挤压力能降低多少, 不同资料中的说法不完全相同, 如文献[6]认为是10%~30%, 文献[9]是20%~30%, 文献[2]是30%~40%, 文献[10]是40%以上, 而文献[1]是50%, 等等。根据实验结果, 反向挤压棒材时的最大挤压力比正向挤压时小10%左右, 反向挤压管材时小30%左右。

由于反向挤压过程中温升小, 采用降温提速工艺时, 挤压筒、挤压垫等工具温度不能太低。否则, 在挤压后期由于温降会使金属变形抗力明显提高, 使挤压力增加过高而出现挤不动的“闷车”现象。

知道了反向挤压时挤压力的变化规律和最大挤压力与正向挤压时的差异, 就可以合理地选择设备, 进行工具强度校核, 合理制订生产工艺, 充分发挥其优势。

4 结论

1) 反向挤压棒材时, 在基本挤压阶段, 随着挤压过程的进行, 挤压力呈现增大的趋势, 特别当挤压进行到中后期时, 挤压力会有较明显地增大, 在挤压结束时达到最大值。挤压力的这种变化规律与正向挤压时相反。

2) 反向挤压管材时, 在金属流出模孔时挤压力最大, 随着挤压过程进行, 挤压力呈现缓慢下降趋势, 继而基本稳定不变。其变化规律与正向挤压时基本一致。

3) 与正向挤压相比, 反向挤压棒材时挤压力

可减小10%左右, 反向挤压管材时可减小30%左右。

4) 反向挤压过程中温升小, 有利于实现等温、等速挤压。

[REFERENCES]

- [1] 纳盖采夫 A A, 格拉巴尔尼克 И М. 铜及铜合金管棒材的挤压 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1988. 28.
Legazef A A, Grebalk L M. Extrusion of Pipe and Bar of Copper Alloy [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1988. 28.
- [2] 王祝堂, 田荣璋. 铝合金及其加工手册 [M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1989. 378, 385, 454, 455, 462 - 463.
WANG Zhutang, TIAN Rong-zhang. Working Hand Book of Aluminium Alloy [M]. Changsha: Central South University of Technology Press, 1989. 378, 385, 454, 455, 462- 463.
- [3] Noetatsuhike. Pipe backward extrusion of Nonferrous metal [J]. Plastic Working, (in Japanese), 1981, 10: 990- 992.
- [4] Koihouten. Effects of punch velocity on the preciseness of backward extruded cups [J]. Plastic Working, (in Japanese), 1981, 22(241): 185- 190.
- [5] 刘静安. 铝合金正反向挤压制品的组织差异 [J]. 铝加工, 1999, 3: 22- 24.
LIU Jing-an. The difference of structure between aluminium alloy products by forward extrusion and backward extrusion [J]. Aluminium Fabrication, 1999, 3: 22- 24.
- [6] 尹丽丽. 国外铝挤压技术及其装备的进展 [J]. 轻合金加工技术, 2000, 10: 8- 11.
YIN Lili. The development of technique and apparatus of aluminium extrusion abroad [J]. Light Alloy Fabrication Technology, 2000, 10: 8- 11.
- [7] 崔国栋, 张成久. 铝合金反挤压工艺研究 [A]. 轻合金文集 [C]. 哈尔滨: 中国金属学会有色金属材料与加工学术委员会、中国有色金属加工工业协会金属分会, 1983. 170- 175.
CUI Guodong, ZHANG Chengjiu. The technical research of aluminium alloy backward extrusion [A]. Collected Works of Light Alloy [C]. Haerbin: Non-ferrous Materials and Metals Treating Academic Committee of China Institute of Metals, Slight Metals Association of China Non-ferrous Metals Treating Engineering Institute, 1983. 170- 175.
- [8] 刘静安. 金属反向挤压技术及其应用 [J]. 铝加工, 2000, 3: 23- 25.

- LIU Jing-an. The technology and appliance of backward extrusion of metals [J]. Aluminium Fabrication, 2000, 3: 23– 25.
- [9] 马怀宪. 金属塑性加工学 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1997. 8, 19– 20, 41.
- MA Hua-xian. Plastic Working of Metal [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1997. 8, 19– 20, 41.
- [10] 别洛夫 А Ф, 科瓦索夫 Ф И. 铝合金半成品生产 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1982. 167, 180.
- Belof A F, Kofozof F N. Raw Product Product of Aluminium Alloy [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1982. 167, 180.
- [11] 刘静安, 赵云路. 铝材生产关键技术 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1997. 68.
- LUI Jing-an, ZHAO Yun-lu. Key Technology of Aluminium Produce [M]. Chongqing: University of Chongqing Press, 1997. 68.
- [12] 吴德海, 任家烈, 陈森灿. 近代材料加工原理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1997. 267– 272.
- WU De-hai, REN Jia-lie, CHEN Sen-can. Material Working Principle of Modern Times [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1997. 267– 272.
- [13] 林道孚. 锻造工技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1999. 77– 78.
- LIN Dao-fu. Technology of Forger [M]. Beijing: Machine Industry Press, 1999. 77– 78.
- [14] 刘静安. 铝合金挤压工具与模具〈上〉 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1990. 24, 26, 62, 87.
- LIU Jing-an. Ejection Apparatus and Extrusion Die of Aluminium Alloy [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1990. 24, 26, 62, 87.
- [15] Matsukatomiharu Eiki. Technology of raise produces of Aluminium alloy hotextrusion [J]. Plastic working, (in Japanese), 2000(5): 432– 433.
- [16] 杨守山. 有色金属塑性加工学 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1982. 233, 243.
- YANG Shou-Shan. Plastic Working of Nonferrous Metals [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1982. 233, 243.
- [17] 魏 军. 有色金属挤压车间机械设备 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1988. 10.
- WEI Jun. Machine of Extrusion Shop of Nonferrous Metal [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1988. 10.

Varying law of extrusion force in process of backward extrusion

DENG Xiao-min

(Department of Metallurgical Engineering, Anhui University of Technology,
Maanshan 243002, China)

[Abstract] By the aid of the comparison experiment of direct extrusion with backward extrusion, the varying law of extrusion force and the difference of maximum extrusion force between direct and backward extrusion were studied. The experiment results show that in backward extruding bars, the extrusion force increases with extrusion process and reaches the maximum value which is about 10% smaller than that in direct extrusion at the end of the extrusion process, and this phenomenon is opposite to that in direct extrusion; in backward extruding pipes, the extrusion force reaches the maximum value which is about 30% smaller than that in direct extrusion at the beginning of basic extrusion stage and then decreases with extrusion process and reaches a constant in end. This phenomenon is similar to that in direct extrusion.

[Key words] extrusion force; varying law; backward extrusion; bar; pipe

(编辑 吴家泉)