

超塑性拉伸与超塑性压缩的比较*

姚祖斌

(华侨大学精密机械工程系, 泉州 362011)

摘要 通过对超塑性拉伸和压缩试验结果的比较,可看出其最佳超塑性变形温度、应变速度、流动应力和极限应变存在着明显的差异.

关键词 超塑性变形, 拉伸, 压缩

分类号 TG 115.5

对于金属材料超塑性力学性能,目前多采用超塑性拉伸试验,得出最佳超塑性变形温度(t),应变速度($\dot{\epsilon}$),应变速度敏感性指数值(m),以及最大延伸率(δ)和流动应力(σ)等.生产实际中,类似单向拉伸的成形条件很少,压缩类的零件较多.用单向拉伸试验得到的工艺参数,对压缩类成形零件是否合用,以及超塑性压缩变形的流变规律如何?有必要通过超塑性压缩变形试验研究,以揭示压缩变形条件下金属的流变规律,及其工艺参数与拉伸时参数的异同.

1 超塑性压缩和超塑性拉伸试验结果的比较

对 LY12 硬铝合金,HPb59-1 铅黄铜和 GCr15 轴承钢的超塑性压缩变形试验,可看出超塑性压缩与拉伸的试验结果有许多差异(附表).

1.1 试样的尺寸与润滑条件

拉伸试样的形状和尺寸对拉伸变形有一定影响.对于超塑性压缩变形,试样的直径(D)和高度(H)的大小,尤其是 H/D 值,对流变曲线形状、流动应力有更大的影响.

附表 三种材料超塑性变形试验结果

材料	变形	试样状态	$t/^\circ\text{C}$	$\dot{\epsilon}_0/\text{s}^{-1}$	$\delta/(\%)$	ϵ	$\sigma_{\epsilon=0.4}/\text{MPa}$	σ_{\max}/MPa	文献
LY-12 硬铝合金	超	未细化	430	5.0×10^{-3}	135	(0.854)	—	18.30	[1]
	塑		490	1.7×10^{-4}	346	(1.495)	—	—	[2]
	拉	细化	350	8.4×10^{-3}	226	(1.182)	—	21.50	[3]
	伸		400	2.5×10^{-4}	254	(1.264)	—	14.20	[4]
	超	未细化	450	5.5×10^{-3}	(655)	2.021	74.50	235.00	作
	塑	和石墨	475	6.3×10^{-4}	(806)	2.204	61.50	192.00	者
	压	润滑	490	1.5×10^{-3}	(786)	2.182	64.10	197.00	数
	缩		475 ^①	9.2×10^{-4}	(1233)	2.599	50.70	138.00	据

* 本文 1993-11-15 收到,福建省自然科学基金资助项目

续附表

材料	变形	试样状态	$t/^\circ\text{C}$	$\dot{\epsilon}_0/\text{s}^{-1}$	$\delta/(\%)$	ϵ	$\sigma_{\epsilon=0.4}/\text{MPa}$	σ_{\max}/MPa	文献
HPb59-1 铅黄铜	拉	细化	620	2.0×10^{-4}	>500	(>1.792)	—	1.96	[5]
	伸		600	—	350	(1.504)	—	2.25	[6]
	超	未细化	600	3.1×10^{-4}	(1469)	2.753	7.84	42.30	作者数据
	塑	和石墨	650	4.3×10^{-4}	(1474)	2.756	6.57	45.50	
	压	润滑	700	5.3×10^{-3}	(1584)	2.824	10.40	39.30	
	缩		650 ^②	3.8×10^{-4}	(1694)	2.887	5.49	30.40	
			650 ^③	2.9×10^{-4}	(2066)	3.066	3.53	31.00	
	超	细化	680	2.0×10^{-4}	540	(1.856)	—	42.50	[7]
	塑		700	—	543	(1.861)	—	26.50	[8]
	拉		700	2.0×10^{-4}	400	(1.609)	—	29.10	[9]
GCr15 轴承钢	伸		700	—	380	(1.569)	—	8.33	[10]
		球化退	700	7.5×10^{-4}	(259)	1.278	214.00	506.00	作者数据
		火和石	750	7.5×10^{-4}	(357)	1.519	170.00	430.00	
	超	墨润滑	775	6.3×10^{-4}	(404)	1.618	113.00	410.00	
	塑		775 ^③	7.5×10^{-4}	(559)	1.886	113.00	340.00	
	压	细化和	700	7.5×10^{-4}	(287)	1.352	223.00	465.00	
	缩	石 墨	750	3.8×10^{-4}	(478)	1.754	123.00	342.00	
		润 滑	775	7.5×10^{-4}	(439)	1.685	143.00	349.00	
			775 ^③	7.5×10^{-4}	(670)	2.041	99.00	254.00	

① $\varnothing 8 \times 16$ 试样, ② $\varnothing 8 \times 12$ 试样, ③ 玻璃粉润滑

在给定的应变速度下, 当 D 相同, 较短的 H 在压缩变形时, 上下模具的两平面越接近, 其“末端”效应就越大, 因而流动应力也会增大。另外, 试样虽有相同的 H/D 值, 但直径不同, 比如直径较小的试样, 其流动应力均比直径较大的试样大, 同时流动应力随真应变(ϵ)的上升也较快。拉伸中, 由于不存在上、下模具的影响, 试样尺寸的大小就不会引起如此明显的变化。

压缩变形中, 试样与模具直接接触, 变形时摩擦力影响明显, 因而是否用润滑及润滑剂种类, 将直接影响超塑性性能。对于 LY12CZ(时效态)最佳超塑性变形温度在 $450 \sim 475^\circ\text{C}$ 范围, 应用石墨润滑剂就可取得较好效果。对于 HPb59-1, 最佳超塑性变形温度在 $650 \sim 700^\circ\text{C}$ 范围, 仍采用石墨润滑。对于 GCr15 钢, 超塑性变形温度在 750°C 以上, 采用玻璃润滑剂显然要比石墨润滑剂效果好。

1.2 流变曲线的比较

三种材料的超塑性压缩流变曲线($\sigma-\epsilon$)见图 1。变形初期应力达到峰值后, 应力随应变增加而下降, 这纯粹是加工软化。这在拉伸变形的曲线中同样存在, 不同之处: 拉伸时应变速度随应变的增加而逐渐减小, 这将促进应力下降。换言之, 拉伸时应力的下降, 是加工软化和应变速度减小共同作用的结果。压缩时, 随应变的增大其应变速度也增大, 这时应力下降则完全是由加工软化所引起的。达到稳定阶段后(约在 $\epsilon=0.4$ 左右), 随应变的加大, 应力急剧增大(H 较小的试样尤其明显), 是由于上、下两个模具端面越来越接近而引起“末端”效应的结果。此时试样高度显著减小, 引起材料体积中摩擦作用的增大。同时, 由于稳定阶段效应贡献的增

此时试样高度显著减小,引起材料体积中摩擦作用的增大.同时,由于稳定阶段效应贡献的增加,结果也使应力进一步上升,其中一小部分是应变速度增大的结果,“末端”效应比起应变速度效应的作用更大.从三种材料压缩的 σ - ϵ 对比中,可知HPb59-1超塑性能最好,变形抗力最小. $\varnothing 8 \times 8$, $\varnothing 8 \times 12$, $\varnothing 8 \times 16$ 三种尺寸的试样,都有相当长的稳定流动阶段.LY12CZ只有在试样为 $\varnothing 8 \times 16$, $\varnothing 8 \times 20$ 时,流动应力变化才较平缓; $\varnothing 8 \times 8$ 的试样变形时流动应力的上升则较快.GCr15不论是球化退火试样还是细化处理试样,其变形抗力都较大.流变曲线达到稳定流动阶段后,随应变量的增大,应力上升很快,观察不到拉伸时流变曲线在稳定流动阶段后平缓或稍有下降的情况.

在压缩变形中,是否使用润滑剂和用何种润滑剂,都会明显地影响流变曲线.无润滑剂压缩变形,变形抗力要高出许多.

对GCr15钢,用玻璃润滑剂明显优于石墨润滑剂.使用玻璃润滑的GCr15钢的变形抗力,与用石墨润滑的LY12CZ的变形抗力差不多,流变曲线相近.

1.3 超塑性应变表示法及其数值比较

最大延伸率值是通用表示超塑性能的指标之一.其实,用延伸率表示应变只是相对应变,它只适用较小的应变范围.超塑性拉伸变形时的应变相当大,用延伸率表示较直观但误差大,若用真应变(对数应变 $\epsilon = \ln l_0/l$)则较准确.在压缩变形中,采用真应变 $\epsilon = \ln h_0/h$ 表示应变.为便于对比,可把延伸率换算成真应变.

超塑性拉伸应变与总压力为 p 时的压缩应变(非极限值)列于图2.压缩应变明显大于拉伸应变,且最大应变所处的温度也不相同,即压缩的最大应变的温度明显高于拉伸的温度.拉伸时的 $\delta(\epsilon)$ - t 曲线有明显的最高点,增大或降低变形温度将急剧降低最大延伸率;压缩时,随着变形温度的上升其压缩应变逐渐增大.当然在太高变形温度下压缩时,由于晶粒长大而使应变下降,因而也有最佳变形温度值.无润滑压缩变形时, $\epsilon_{\text{压}}/\epsilon_{\text{拉}}$ 的数值较小,如当 $D/H=1$ 时, $\epsilon_{\text{压}}/\epsilon_{\text{拉}}$ 约为1.08~1.40;采用润滑剂压缩变形时, $\epsilon_{\text{压}}/\epsilon_{\text{拉}}$ 的数值增大,如 $D/H=1$ 时,约为1.47~1.58;而当 D/H 值越小, $\epsilon_{\text{压}}/\epsilon_{\text{拉}}$ 数值越大,如当 $D/H=0.5$ 时, $\epsilon_{\text{压}}/\epsilon_{\text{拉}}$ 值约为1.68~1.74.

1.4 变形温度的比较

由附表可见,LY12CZ超塑性拉伸时最佳变形温度为400~430℃,超塑性压缩变形时的最佳变形温度为475℃,两者最佳变形温度差值为45~75℃.而HPb59-1,超塑性拉伸时最佳变形温度为600~620℃,压缩时则为650~700℃,压缩比拉伸高50~80℃.GCr15钢超塑性拉伸

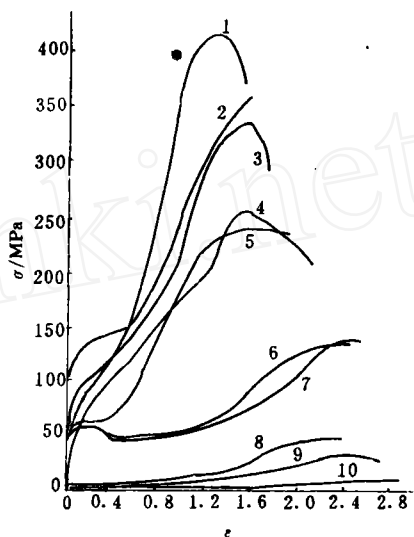


图1 三种材料超塑压缩的 σ - ϵ 关系

1. GCr15 球化退火, 石墨润滑; 2. GCr15 细化, 石墨润滑;
3. GCr15 球化退火, 玻璃润滑; 4. GCr15 细化, 玻璃润滑;
5. LY-12CZ 石墨润滑, $\varnothing 8 \times 8$; 6. LY-12CZ, $\varnothing 8 \times 16$;
7. LY-12CZ, $\varnothing 8 \times 20$; 8. HPb59-1 石墨润滑, $\varnothing 8 \times 8$;
9. HPb59-1, $\varnothing 8 \times 12$; 10. HPb59-1, $\varnothing 8 \times 16$

时的最佳温度为680~700℃,而压缩时为750℃,压缩比拉伸高50~70℃.可见超塑性压缩比超塑性拉伸的最佳变形温度高50~80℃.这可能是在压应力的作用下,提高变形温度更有利于晶界滑移的进行.

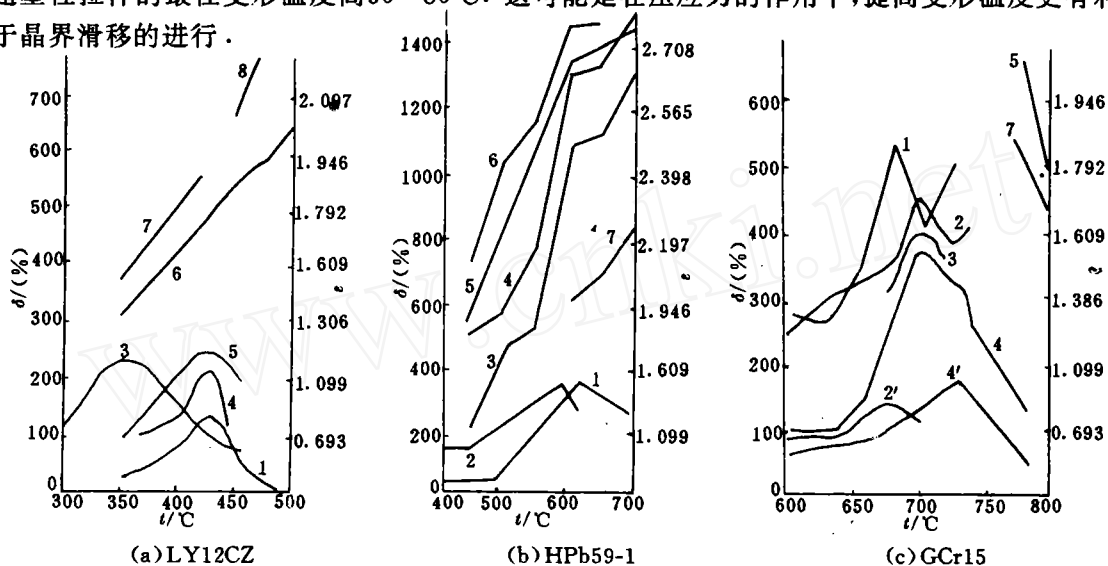


图2 三种材料超塑性拉伸与压缩应变量的比较

(a) 1~5^(1~4)为超塑性拉伸, 6~8为超塑性压缩; (b) 1~2^(5~6)为超塑性拉伸, 3~7为超塑性压缩; (c) 1~4^(7~10)为超塑性拉伸, 5~7为超塑性压缩

1.5 流动应力的比较

在超塑性压缩变形中,稳定流动时的应力与最大流动应力相差很大.为了真实反映这个差别,将稳定流动时的应力 $\sigma_{t=0.4}$ 与 σ_{max} 同时列出(附表).为合理进行比较,取稳定流动时的应力进行比较(图3).无润滑压缩变形时, $\sigma_{压}/\sigma_{拉}$ 的数值较大,如当 $D/H=1$ 时, $\sigma_{压}/\sigma_{拉}$ 约5.0~

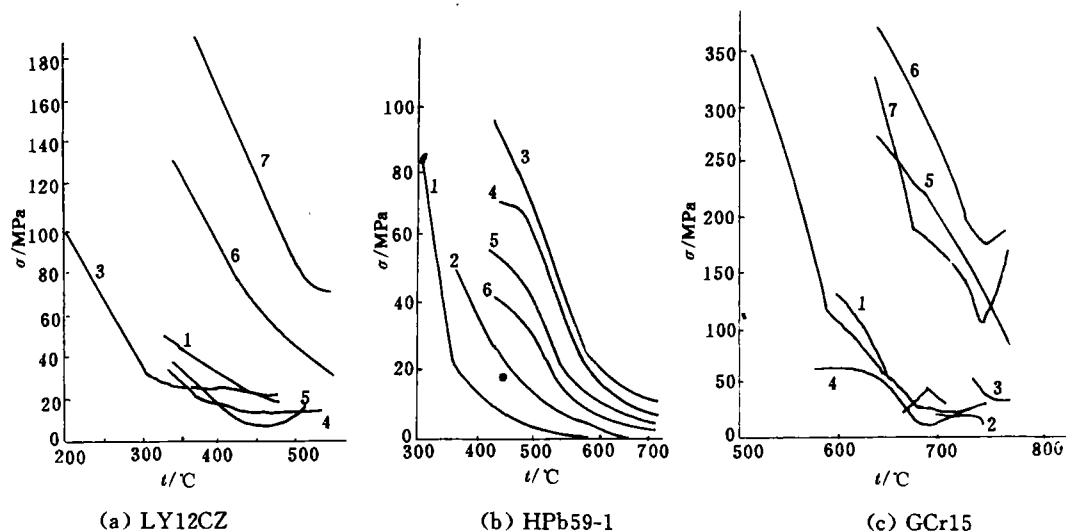


图3 三种材料超塑性拉伸与压缩流动应力 $\sigma_t=0.4$ 的比较

(图中曲线上的序号与图2中相应序号的含义相同)

8.6;采用润滑变形时, $\sigma_{\text{压}}/\sigma_{\text{拉}}$ 的数值变小,如 $D/H=1$ 时,约为3.3~6.0;当 D/H 值越小, $\sigma_{\text{压}}/\sigma_{\text{拉}}$ 也越小,如 $D/H=0.5$ 时, $\sigma_{\text{压}}/\sigma_{\text{拉}}$ 约为1.8~3.2.

1.6 应变速度的比较

从试验所得应变速度的数据分析可知,超塑性压缩变形的最佳应变速度高于超塑性拉伸变形的最佳应变速度,且一般要高几倍甚至几十倍.

2 结论

超塑性压缩变形与超塑性拉伸变形有明显不同:(1)最佳超塑性压缩变形温度要比拉伸变形高50~80℃;(2)最佳超塑性压缩应变速度要比拉伸变形快几倍甚至几十倍;(3)压缩时达到稳定流动阶段的流动应力要比拉伸变形大2~8倍;(4)超塑性压缩变形能比拉伸变形达到更大的极限应变量,一般可提高1.2~2倍.关于超塑性压缩变形机理尚有待进一步研究.

参 考 文 献

- 1 张程勇.供应状态下LY12合金轧制板材的超塑效应及应用.热加工工艺,1987,(6):27~29
- 2 连建设,郭威,刘玉文.LY12CZ铝合金超塑性孔洞长大及其对断裂的影响.材料科学进展,1991,(3):215~219
- 3 陈浦泉,杨金凤,张嫩芝.对铝合金LF6,LY12超塑性的研究及对其塑性潜力的预测.金属科学与工艺,1986,(1):43~51
- 4 刘玉文,刘文俊,赵庭良.供应状态铝合金LY12超塑性的研究.吉林工业大学学报,1983,(2):22~30
- 5 林法禹.黄铜的超塑性研究.锻压机械,1980,(3):4~8
- 6 陈浦泉,孙太.HPb59-1黄铜超塑性及 $\beta \rightarrow \beta'$ 转变诱发塑性.机械工程材料,1985,(5):4~8
- 7 毛良桢,肖文斌,董长发.GCr15轴承钢的超塑性.上海交通大学学报,1980,(3):121~133
- 8 北京机电研究所,北京有色金属研究所.GCr15钢超塑性的研究.金属热处理,1980,(5):3~19
- 9 文九巴,杨蕴林,席聚奎.GCr15钢的超塑形变热处理.热加工工艺,1988,(1):33~36
- 10 陈浦泉,郭殿俭,袁树生等.GCr15钢超塑性及超塑成形模具型腔.机械工程材料,1988,(3):41~45

Comparison between Superplastic Tension and Superplastic Compression

Yao Zubin

(Dept. of Precis. Mech. Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract By comparing the result of superplastic tensile test with that of superplastic compression test, obvious difference in optimal superplastic deformation temperature, strain rate, flow stress, and maximum strain magnitude can be demonstrated.

Keywords superplastic deformation, tension, compression