

HP₆₅₉-1黄铜超塑性压缩的试验研究

姚 天 长

(精密机械工程系)

摘要 本文研究了工业上用 HP₆₅₉-1黄铜在 $L/D=1$, 压缩对数应变 $\epsilon > 0.7$, 600—700℃, 卡头速度 0.0035—1.75mm/s 条件下, 在10t 万能试验机上呈现超塑性压缩的变形规律. 本文还探讨了合金的组织状态、超塑性压缩时的润滑条件等对变形的影响.

关键词 黄铜, 超塑性, 压缩变形, 应变

0 前言

对金属超塑性的研究, 大多数是进行拉伸试验, 当试样拉伸的延伸率 $\delta > 100\%$ 或应变速度敏感指数 $m \geq 0.3$ 时, 则说明该材料已呈现超塑性. 而 HP₆₅₉-1黄铜在超塑性拉伸时容易出现空穴, 而且, 它的大多数压力加工工艺是在压缩应力状态下成形的, 因此, 采用超塑性压缩试验来验测更为合适, 而在大应变时, 采用真应变.

验算表明, 拉、压真应变的换算关系是: 当 $\epsilon_x > 0.7$ 时, 延伸率 $\delta > 100\%$, 则说明该材料已呈现超塑性. 通常 HP₆₅₉-1黄铜, 直径5—40mm 棒料, 在常温供给状态下其延伸率仅有12%.

1 试验方法

1.1 试样牌号及化学成分

试件采用国产 HP₆₅₉-1黄铜 棒料, 加工成圆柱形 $L/D=1$ 的试样, 其化学成分如表1.

表1 HP₆₅₉-1黄铜的化学成分

成分	Cu	Pb	Zn	杂质总量
含量%	57.36	0.9	41.29	0.45

1.2 试验装置

试样和模具同时在电阻加热炉内加热, 压缩过程保持恒温, 压头上面装有10t 压力传感器, 试验机上夹头装着位移传感器, 压力和位移信号经 DY-3动静态应变仪后, 用 LZ3型函数记录仪记录.

1.3 试验规范

试样分成 A 组和 B 组.

本文1991-09-23收到.

A组:试样进行预细化处理——在250—300℃的恒温盐浴炉中保温60min并空冷,然后加热到470℃在冰盐水中淬火.处理后,在600℃,650℃,700℃温度下,卡头速度为0.0035—1.75mm/s,总压力3t,采用2#胶体石墨润滑条件,进行超塑性压缩.

B组:试样不进行预细化处理,直接在650℃温度下,卡头速度为0.0038—1.75mm/s,总压力3t,同样石墨润滑条件,进行超塑性压缩.

2 试验结果与分析

根据真应变的定义 $\epsilon_{\text{真}} = \ln(h_0/h)$, 式中, h_0 —试样压缩前的高度; h —试样压缩后的高度.

从函数记录仪上记录下来的位移-压力关系曲线上,根据试样体积不变的原则,可以计算出各种真应变时相应的位移及压缩后试样的接触面积 F ,并从曲线上得到相应真应变时载荷值 P ,从而得到平均变形抗力 $\sigma_{\text{平均}} = P/F$.

由自由墩粗时平均单位压力公式,真应力为 $\sigma_{\text{真}} = \sigma_{\text{平均}} / (1 + \frac{\mu D}{3h})$, 式中, μ —摩擦系数; D —墩粗后试样的直径; h —墩粗后试样的高度.

用我们的润滑剂,参考文献[1],取当 $T=600^\circ\text{C}$ 时, $\mu=0.1184$; $T=650^\circ\text{C}$ 时, $\mu=0.1224$; $T=700^\circ\text{C}$ 时, $\mu=0.1264$.

2.1 真应力 $\sigma_{\text{真}}$ 与真应变 $\epsilon_{\text{真}}$ 、应变速度 $\dot{\epsilon}_{\text{真}}$ 、变形温度的关系

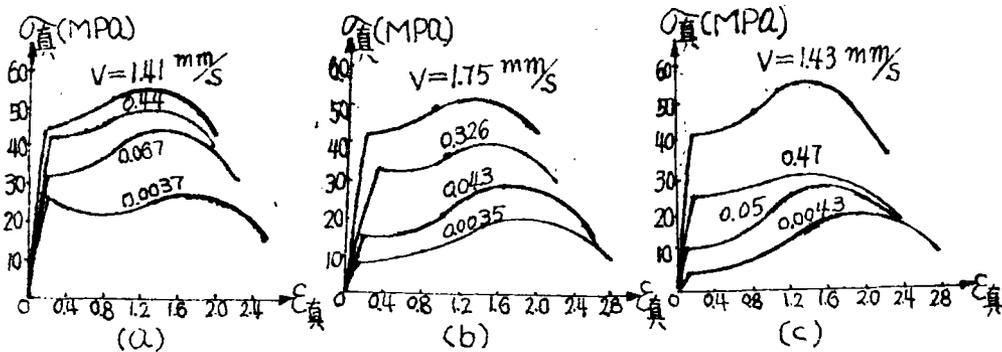


图1 经细化的HP.59-1黄铜压缩时真实应力-应变的关系曲线
(a) $T=600^\circ\text{C}$; (b) $T=650^\circ\text{C}$; (c) $T=700^\circ\text{C}$

从图1曲线可见,在一定温度,一定真应变时,随着卡头速度的提高,真应力亦增大,其原因是在压缩过程中,当 $\epsilon_{\text{真}}$ 一定时, $\dot{\epsilon}_{\text{真}}$ 与卡头速度 V 成正比,由超塑性状态方程 $\sigma = Ke^{\dot{\epsilon}}$ 就一目了然.

$\epsilon_{\text{真}} = 0.4$ 时,各条曲线对应的真应力都处于较低或下降趋势,这可能是由于该状态时,出现变形软化效应的结果.

在一定温度,一定卡头速度条件下,随着 $\epsilon_{\text{真}}$ 的增加,即 $\dot{\epsilon}_{\text{真}}$ 亦加速,在超塑性变形中,应变硬化效应和软化效应是同时进行的,硬化效应导致真应力增大;而软化效应引起应力松弛,使真应力降低.所以,曲线表明,硬化效应占优势时,应力呈上升趋势;软化效应占优势时应力呈下降趋势.

在超塑性变形温度600—700℃范围内,在卡头速度较低时,随着温度的上升,真应力明显下降;随着卡头速度的提高,温度的上升对真应力的影响不明显,从而说明HP,59-1黄铜在超塑性状态下,真应力对应变速度变化的敏感性。

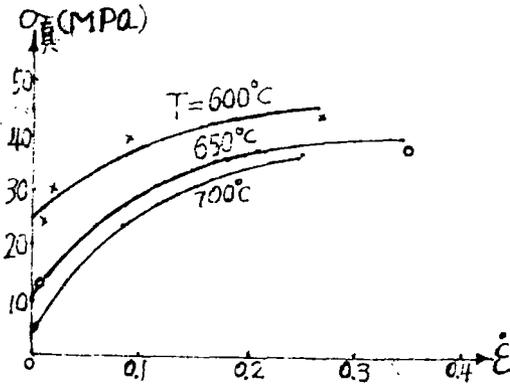


图2 细化的HP,59-1黄铜压缩时
真实应力-应变速度关系曲线 $\epsilon_x=0.4$

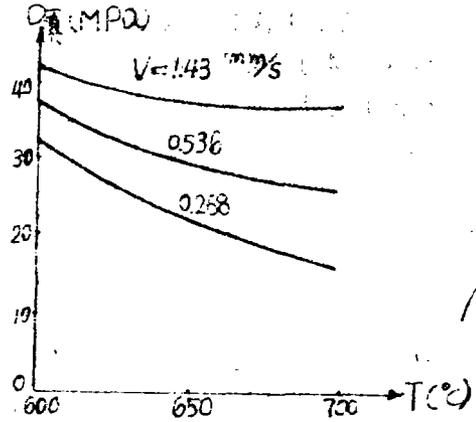


图3 细化的HP,59-1黄铜压缩时
真实应力-温度的关系曲线 $\epsilon_x=0.4$

图2表明:在一定温度条件下, $\sigma_{真}$ 随应变速度的增加而提高,但随着温度的增加,在低应变速度时, $\sigma_{真}$ 随 $\dot{\epsilon}_x$ 变化的敏感性也增加. 在一定的应变速度时,真应力随温度的上升而减小. 图3表示在不同的卡头速度时,在 $\epsilon_x=0.4$,真应力随温度变化的规律. 曲线表明:在超塑性温度范围内、温度上升、应变速度降低,则真应力随着减小。

超塑性变形中,有关变形硬化与软化的问题有待深入的研究,目前,尚未得到统一的、公认的见解。

2.2 最大真应变与卡头速度和温度的关系

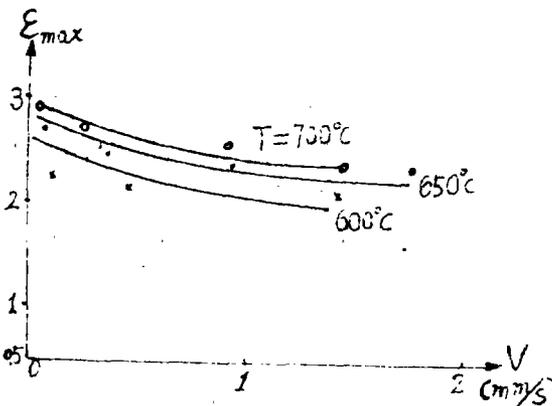


图4 细化的HP,59-1黄铜最大
真应变-卡头速度的关系曲线,最终载荷3t

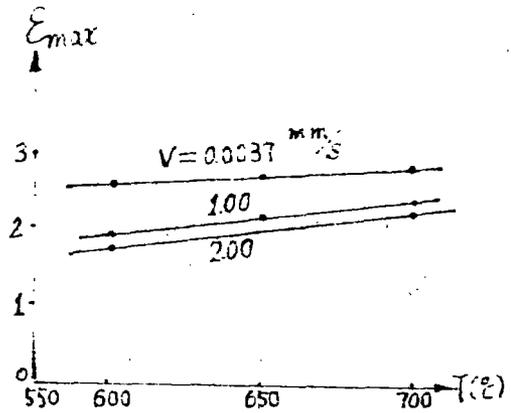


图5 细化的HP,59-1黄铜最大
真应变-温度的关系曲线,最终载荷3t

从图4可见,当温度在600—700℃,卡头速度 V 在0—1.75mm/s 时,最大真应变变化范围为1.95—2.85,这相当于延伸率为600—1600%,从而说明试件已呈现出好的超塑性。

在恒温压缩过程,随着卡头速度的增加,最大应变量降低,如果在生产过程中,要求材料达到额定的应变量,在超塑性温度范围内,温度升高,压缩速度可以增大;温度降低,则压缩速度必须减慢,这就要权衡提高生产效率和高温所带来的一系列问题。

若在一定的卡头速度下,随着温度的升高,最大应变量亦增加,图5表示试样在最终3 σ 载荷作用下,以不同的卡头速度时,温度与最大应变量之间的关系,曲线基本上呈线性变化。

2.3 试样预细化处理对真应力-真应变的影响

图版 11是 HP.59-1黄铜拉制棒料的原始金相显微组织,为片状结构, β 相中析出 α 相;图版 12是经过一次预细化处理后的金相显微组织, α 相固溶于 β 相中, α 相析出较少,其晶粒细化和等轴状均比原始材料好,但平均晶粒度仍有12.5 μ m,因此,该材料经过一次预细化处理还不够理想。

图6表示未经预细化处理的试样,在 $T=650^\circ\text{C}$ 以不同的卡头速度时,真应力与真应变的关系,比较图1(b)与图6可见,试样经一次预细化处理后,在超塑性压缩变形中,真应力有所降低,但不够明显,最大应变量增加也不够明显,这可能与我们预处理不够细化有关。

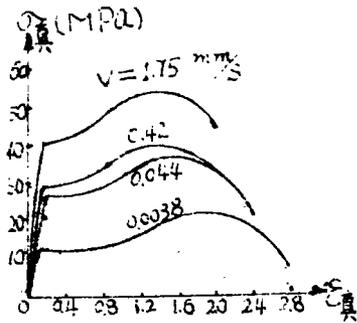


图6 未细化的 HP.59-1黄铜压缩时真应力—应变关系曲线, $T=650^\circ\text{C}$

图6表示,试样在超塑性压缩变形中,即使卡头速度达到1.75mm/s 时,最大应变量仍能达到2(相当于延伸率 $\delta=650\%$),呈现出好的超塑性,所以,对 HP.59-1黄铜,可以不进行预细化处理直接进行超塑性压力加工,这样可以节省预处理工艺过程,提高经济效益。

2.4 超塑性压缩变形后的组织变化

图版 13是未经预细化处理的试样,在 $T=650^\circ\text{C}$,卡头速度 $V=0.00326\text{mm/s}$,最大真应变 $\epsilon_x=2.788$ 条件下压缩后,横断面的金相显微组织,它与图版 11比较可见,超塑性压缩变形后,原始片状晶粒边界圆滑了,这是因为通过超塑性变形中的动态再结晶完成了晶粒的等轴化过程,晶粒趋于均匀,但已经长大了。

图版 14是经过预细化处理的试样,在 $T=650^\circ\text{C}$,卡头速度 $V=0.0035\text{mm/s}$,最大真应变 $\epsilon_x=2.75$ 条件下,压缩后横断面的金相显微组织,它与图版 12比较可见, α 相又从 β 相中析出,同样由于动态再结晶完成了等轴化过程,晶粒也长大了。

比较图版 13、4发现,经过预细化处理的试样,压缩变形后晶粒长大来得慢,因此,预细化处理,能抑制动态再结晶过程中晶粒的长大,提高产品的性能,同时,从材料的组织性能来看,超塑性变形温度范围应为600—650℃ 为宜。

2.5 润滑剂对真应力-真应变的影响

图7表示在 $T=650^\circ\text{C}$,卡头速度 $V=0.0055\text{mm/s}$ 时,干摩擦和石墨润滑剂时,试样超塑性压缩中 $\sigma_{\text{干摩}}$ 与 ϵ_x 之间的关系,由图可见,当 ϵ_x 在0—0.8之间,两条曲线相差不大,随着 ϵ_x 继

续增加,干摩擦情况下的平均应力 $\sigma_{平均}$ 迅速增大,当 $\epsilon_{真}=2.0$ 时,干摩擦时的平均应力是石墨润滑剂时的1.54倍.在3t等值载荷下, $V=0.0055\text{mm/s}$,干摩擦时的,最大真应变为2.0,石墨润滑剂时,最大真应变可达2.4.若把卡头速度提高到 $V=1.63\text{mm/s}$ 时,干摩擦,在3t载荷下,最大真应变为1.79时却把试样压裂了.因此,在大变形,快速超塑性压力加工时,必须选择最好的润滑条件.

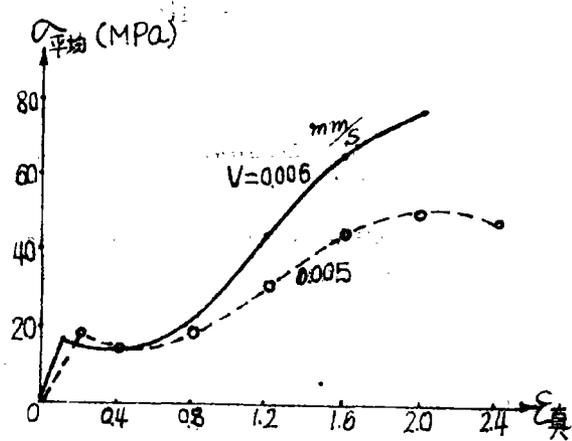


图7 细化的HP₅₉₋₁黄铜
压缩时平均应力-真应变的关系曲线,
 $T=650^{\circ}\text{C}$,——为干摩擦;---为石墨润滑

3 结论

(1)HP₅₉₋₁黄铜在超塑性压缩变

形中,同时存在着应变硬化和应变软化效应,试样在超塑性状态下,流变应力对应变速率变化是敏感的.

(2)工业上用HP₅₉₋₁黄铜,经一次预细化处理后,在600—700 $^{\circ}\text{C}$,卡头速度0.0035—1.75mm/s时呈现出好的超塑性,最大真应变随变形温度成线性增加.

(3)市场供应HP₅₉₋₁黄铜经一次预细化处理后,晶粒细化和等轴化均有改善,但预处理后试样在超塑性变形中,流动应力的降低和最大真应变的增加均不显著.因此,市场供应状态的HP₅₉₋₁黄铜可以不要预细化处理直接用于超塑性压力加工.

(4)HP₅₉₋₁黄铜,不管是否预处理,经过超塑性压缩变形后,由于变形过程的动态再结晶,均使材料的显微组织呈现均匀、等轴化.但在650 $^{\circ}\text{C}$ 时,晶粒已经长大,而预细化处理对晶粒长大有抑制作用.从组织性能要求,超塑性变形温度为600—650 $^{\circ}\text{C}$ 为宜.

(5)HP₅₉₋₁黄铜在恒温超塑性变形中,在低应变($\epsilon < 0.8$)时,润滑条件对平均应力几乎没有影响,当应变 $\epsilon > 0.8$,随着应变速度提高,无润滑条件下,平均应力迅速提高,最大应变下降.故在大变量、高速压力加工时,必须选择最佳的润滑条件.

参 考 文 献

- (1) 王孝培,冲压设计资料,机械工业出版社,(1983).
- (2) 季霍诺夫, A. C. (刘春林译),金属与合金的超塑性效应,科学出版社,(1983).
- (3) 林法禹等,HP₅₉₋₁黄铜超塑性的研究与应用,机械工程材料,4(1982).
- (4) 桂林电器科学研究所,HP₅₉₋₁黄铜超塑性成形塑料模型腔的研究及应用,模具工业,5(1986).
- (5) 陈立新,HP₅₉₋₁黄铜的超塑性锻造,锻压机械,2(1987).
- (6) 何景素、王燕文,金属的超塑性,科学出版社,(1986).

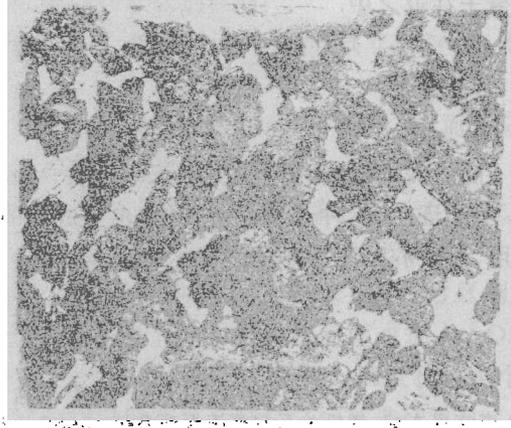
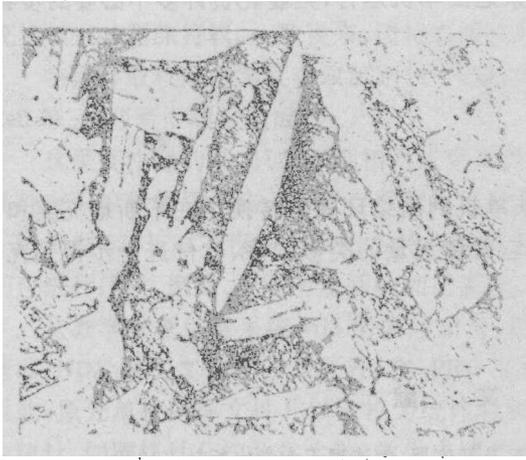
Pilot Studies of Brass HPb 59-1 under Superplastic Compression

Yao Tianchang

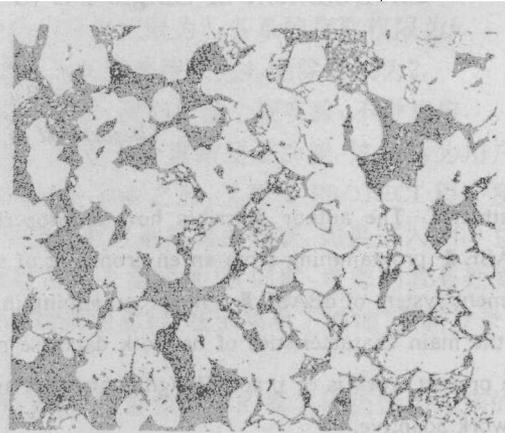
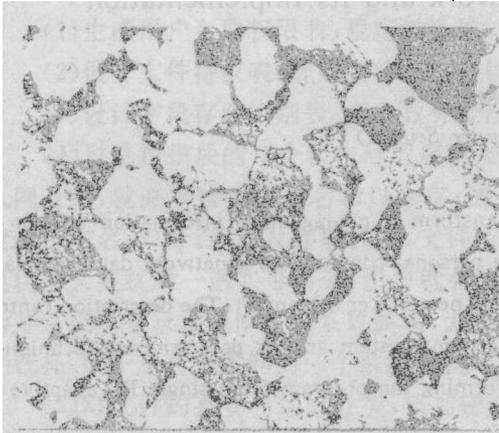
(Department of Precision Mechanical Engineering)

Abstract The superplastic compression of commercial brass HPb 59-1 can be shown on an universal testing machine of 100,000 tons. The author studies the regular pattern of its deformation under the conditions of $L/D = 1$, compressive logarithmic strain $\epsilon > 0.7$, $600 - 700\text{ }^\circ\text{C}$, and chuck speed up to $0.035/1.75\text{mm/s}$. The author also goes further into the influences of configuration of alloy, lubrication condition during superplastic compression, etc. on the deformation.

Key words brass, superplasticity, compressive deformation, strain



1	2
3	4



图版 I 说明(HP.59-1 黄铜)

1—原始供应状态,压前,横向,×400;

2—经 270°C 退火、470°C 淬火预细化处理后,压前,横向,×400;

3—650°C, $V=3.26 \times 10^{-3}$ mm/s, $\epsilon=2.788$, 原始供应状态,压后,横向,×400;

4—650°C, $V=3.5 \times 10^{-3}$ mm/s, $\epsilon=2.75$, 预处理后,压后,横向,×400.