

铜锌合金及20CrMnTi钢中温塑性加工的规律和机理的研究

周 向 东

摘要: 本文研究了H68黄铜和20CrMnTi钢的动态应变时效(DSA)和动态退火(DA)对其机械性能的影响。试验是在300—1100K的温度范围内进行的,应变速度为 $1.1 \times 10^{-2} \text{s}^{-1}$ 到 $1.1 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$,平均晶粒尺寸为 $10 \mu\text{m}$ 。试验结果表明: H68黄铜的最大均匀应变量和加工硬化参数均在某一温度范围内出现一个峰值,而20CrMnTi钢则在高温区和低温区分别形成一个峰值。试验的另一个结果是发现动态应变时效现象与动态退火现象在靠近临界温度时有一定的重叠。建议在研究中温塑性加工的规律时,有必要考虑这两种现象的影响。

一、引 言

对于某些金属材料,在中温范围内进行塑性加工,不仅能比冷加工减少变形抗力、获得较高的塑性和易于加工,而且比热加工氧化少、节约能量和易于操作。因此,在国内外得到了广泛的应用。但从目前来看,对中温变形的规律和机理尚不很清楚。

自从1959年Bolling发现了动态应变时效现象以来,西德和美国的一些学者陆续进行了研究,取得了一些进展,尤其是美国金属物理学家Reed-Hill^[1]提出的模型最新且最接近实际。在动态退火方面Janas和酒井拓^[2, 3]做了很多工作,对一些材料的动态退火机理提出了一些看法。国内在动态退火方面有过一些研究,而对于动态应变时效只有福州大学的钱匡武教授^[4, 5]有过一些研究。但如何将动态应变时效与动态退火有机地联系起来,构成金属中温加工的规律和机理,国内外均未见发表。作者认为这方面的工作无论在学术上还是实际生产中都具有很大的意义。

二、实验步骤

本实验工作所用H68(Cu—32wt-%Zn)系供应态黄铜棒料,直径为14mm,经过 $\epsilon = 50\%$ 的预变形后,加工成直径为 $5 \times 30 \text{mm}$ 、两端为螺纹的拉伸试样,然后在613K下进行一小时的退火、空冷后得到平均晶粒直径为0.01mm的 α 单相固溶体组织。20CrMnTi也为直径14mm的棒料,经过 $\epsilon = 40\%$ 的预变形后,加工成同上的拉伸试样,然后在898K退火一小时,得到晶粒尺寸为0.01mm的组织。以上两种材料的压缩试样均加工为 $\phi 10.5 \times 14$ 的小试样。

金相试样经粗磨后, 再进行机械抛光, 然后, 铜试样在成份为 FeCl_3 5g + HCl 10ml + H_2O 100ml 的浸蚀剂中腐蚀 1~2 分钟, 钢试样在 4% 的硝酸酒精溶液中腐蚀几秒到 1 分钟, 进行金相观察和扫描电镜观察。

从发生了动态应变时效和动态退火的试样上利用电火花切割截取薄片, 经机械减薄及双喷电解减薄后制成金属薄膜样, 在 Hitachi-800 透射电镜上观察。

静拉伸试验及压缩试验均在岛津 AG-10T 万能试验机上进行, 试样置于自制的拉伸压缩装置中, 装置内设有加热垂直式电阻炉和外保温电炉, 用流动的氩气保护试样, 温度由校正过的镍铬-考铜热电偶测得并由 DWT-703 进行自动控温, 温度误差在 $\pm 1\text{K}$ 之内。

三、试验结果

1. 应力—应变行为

H68 黄铜试样随着变形温度升高, 加工硬化速度在某个温度达到极大值, 该极值温度随着变形速度的增大而向高温区移动。面缩率 ψ 与最大均匀应变 ϵ_u 在某个温度前基本是随着温度的升高而平缓地下降, 当温度高于该临界值时 ψ 与 ϵ_u 急剧下降, 显示出在此温度性能有一个突变, 该临界温度也随着变形速度的增大移向高温区, 与此同时, 强度极限 σ_s 达到一个峰值。由图 1 可以看到在一定的温度范围内 (300—600K), 拉伸曲线上出现了不均匀流变, 即所谓的“锯齿式屈服”现象。锯齿波只有在达到一定的临界变形量 ϵ_c 之后才会出现, 如图 2 所示, 该临界变形量 ϵ_c 在某一温度达到极小值, 该温度也随着变形速度的增加而移向高温

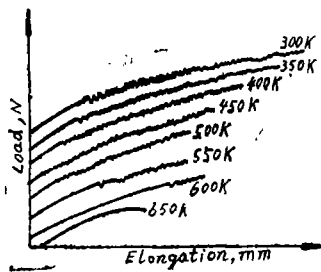


图1 不同温度下载荷—伸长量曲线 (示意图)

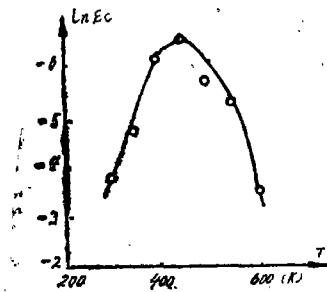


图2 出现锯齿波的临界应变 $\ln \epsilon_c$ 和变形温度 T 的关系

20CrMnTi 钢与 H68 铜试样的不同之处在于无论是 ϵ_c 还是 $\sigma_{4.5}$ ($\epsilon = 4.5\%$ 时的强度) 曲线都存在着低温区和高温区两个峰值, 整个曲线随着变形速度的增加而移向高温区。在一定的温度范围内 (当变形速度为 $\dot{\epsilon} = 1.1 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ 时, 该范围为 500—700K), 拉伸曲线上也出现“锯齿式屈服”, 其临界变形量与温度的关系则与 H68 不同, 在某一温度形成一个极大值。

2. 加工硬化效应

本试验的加工硬化程度用 $(\sigma_{4.5} - \sigma_4)$ 表示 ($\sigma_{4.5}$ 、 σ_4 分别代表 $\epsilon = 4.5\%$ 和 $\epsilon = 4\%$ 时的强度值)。试验结果表明, 无论对 H68 还是 20CrMnTi 都在一定的温度范围内产生加工硬化峰值, 所不同的是 20CrMnTi 钢分别在低温区和高温区产生两个硬化峰。无论哪种材料其峰值温度都随着应变速度增大而向高温方向移动。

3. 应变速度敏感性

本文所采用的 s 值 ($s = \frac{\Delta\sigma}{\Delta \ln \dot{\epsilon}}$) 和 n 值 ($n = \frac{\Delta \ln \sigma}{\Delta \ln \dot{\epsilon}}$) 均是用速度突变法测得的,

H68黄铜的 s 值和 n 值如图3、4所示,其 $\dot{\epsilon}_L = 1.1 \times 10^{-3}$, $\dot{\epsilon}_H = 1.1 \times 10^{-2}$ $\epsilon = 5\%$ 。20GrMnTi钢与H68铜有类似的曲线形状,其 s 值和 n 值的两个最低点温度为500K和600K。

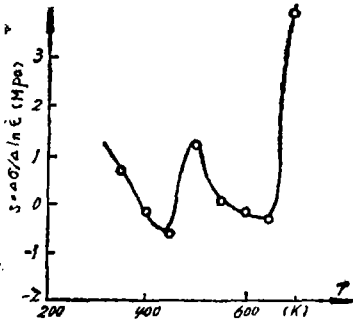


图3 H68黄铜 s 值与温度的关系

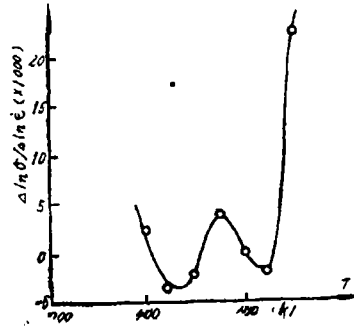


图4 H68黄铜 n 值与温度的关系

四、讨 论

1. 锯齿式屈服现象

众所周知,发生动态应变时效时的一个最直观的现象就是在其应力应变曲线上出现锯齿状屈服。它的出现是由于在拉伸过程中可动位错与溶质原子之间的相互作用而产生的。对于置换式固溶体来说,仅存在Cottrell DSA,而不存在Snoek DSA。对于间隙式固溶体来说,既可能产生Cottrell DSA,也可能有Snoek DSA产生,这是与试验结果一致的。DSA发生时,材料的强度提高,塑性下降。随着应变速度的增加,可动位错的运动速度加快,同时要求与位错相互作用的溶质原子运动速度增大,所以曲线随应变速度的增加而向高温区移动。

2. 动态应变时效的区域

作者曾做了上述两种材料在不同温度范围和速度范围的拉伸曲线,根据曲线上的锯齿状屈服定性地测定了它们发生 DSA 的范围。结果得到是一个封闭的或半封闭的椭圆形曲线,对于H68黄铜由于在常温时就有DSA出现,低温试验没有进行,所以没能得出一个完整的曲线。一般来说,当 $\dot{\epsilon}$ 过大时,原子的运动速度跟不上,就产生不了拖曳位错的作用,而当温度过高时,由于原子的活动性太大,不能形成Cottrell气团,因而也不发生DSA现象。

3. 动态应变时效与动态退火的重叠

动态应变时效与动态退火不是完全相斥的两种机理,而是有一定程度的交叉。金相结果表明:对于在600K拉伸变形的H68黄铜试样,拉伸曲线上有明显的锯齿屈服现象,而其激冷试样的微观组织显示出新的再结晶晶粒的存在关于更明确的关系尚须进一步研究。

五、结 论

1. H68黄铜在高达600K时,动态应变时效仍是塑性变形的一种重要方式,对材料的

机械性能的影响是不容忽视的。

2. 两种材料的最大均匀应变量都随温度的升高而在某个温度范围产生峰值、推荐的这两种材料的中温加工应在下述范围内进行: H68: 400—550K. 20CrMnTi: 600—700K。

3. H68黄铜在500—600K, 20CrMnTi钢在450—500K, 650—700K 都出现加工硬化峰, 这种强化作用被认为是DSA作用的结果、其中H68黄铜只产生 Cottrell DSA。20CrMnTi的两个硬化峰分别对应于Snoek DSA和Cottrell DSA。

4. DSA与DA在某个温度范围有一定程度的重叠、因此, 在该温度范围内性能的变化应是这两种作用共同的结果。

参 考 文 献

- [1] R.E.Reed-Hill, Tuling Zhu, High Temperature Materials and Process., 6, No.1&2, 93—117 (1984)
- [2] T.Sakai (酒井拓), J.J.Jonas, Acta Met., 32, 189 (1984)
- [3] 酒井拓, 日本金属学会会报, 17, No.3, 195—199 (1978)
- [4] 钱匡武, 金属学报, 21, No.3 A 203—A 208 (1985)
- [5] 陈文哲, 钱匡武, 金属学报, 25, No.2, A132—A136 (1989)

A Study of the Processing Law and Mechanism of the Plastic Deformation in the Cu-Zn Alloy and 20CrMnTi Steel Under the Moderate Temperature

Zhou Xiangdong

Abstract

The effects of the dynamic strain ageing (DSA) and dynamic annealing (DA) on the mechanical properties of a H68 brass and 20CrMnTi steel were investigated by the experiment in which the temperature were between 300k and 1100k with $10\mu\text{m}$ grain size and strain rates between $1.1 \times 10^{-2}/\text{s}$ and $1.1 \times 10^{-4}/\text{s}$. The results have shown that uniform elongation and work hardening parameters of H68 have a peak value in a temperature region, while that of 20CrMnTi have peak values both in high and low temperature regions respectively, Another result is that DSA and DA phenomena can be found simultaneously if it is close to the critical temperature. Therefore it is suggested that the influences of these two phenomena should be considered when the processing is carried out at the intermediate temperature.