

Ni 含量对 Mg 基非晶复合材料组织和力学性能的影响

付丽丽¹, 邱克强²

(1. 辽宁石化职业技术学院石油化工系, 辽宁锦州 121001; 2. 沈阳工业大学材料科学与工程学院, 辽宁沈阳 110870)

摘要: 为了研究Ni含量对镁基非晶复合材料组织结构和力学性能的影响, 采用铜模铸造法制备了直径为2 mm的 $Mg_{77+x}Ni_{12-x}Zn_5Y_6$ ($x=0, 2, 4, 6, 8$) 系列合金。通过X-射线衍射(XRD)、扫描电镜(SEM)、高分辨透射电子显微镜(HRTEM)和力学性能试验机分析了复合材料的相组成和组织结构, 并进行力学性能测试。结果表明: 当Ni含量为8 at%时, 形成了大小、分布都均匀的长周期(LPSO)相; 相对于完全非晶合金来说, 五种复合材料都表现出一定的塑性; $Mg_{79}Ni_{10}Zn_5Y_6$ 复合材料的断裂强度最高, 达到783 MPa; $Mg_{81}Ni_8Zn_5Y_6$ 复合材料的塑性最大, 塑性应变达到20.23%。

关键词: 组织结构; 力学性能; Ni含量

与晶态合金材料相比, 非晶态合金材料的强度、比强度可成倍地提高, 并且具有较好的抗腐蚀性能, 因此得到了广泛的关注^[1-3]。但非晶态合金的塑性相对较差, 这限制了其在工程中的应用。采用内生法, 在非晶基体中引入第二相(增韧相)制备非晶复合材料, 可以显著提高非晶合金的综合性能^[4-7]。

2007年, 惠希东等^[4]采用内生法制备出 $Mg_{81}Cu_{9.3}Y_{4.7}Zn_5$ 非晶复合材料, 在塑性和比强度上有了新的突破。 $Mg_{81}Cu_{9.3}Y_{4.7}Zn_5$ 非晶复合材料出现高塑性的原因是在非晶基体中形成了长周期堆垛有序(long period stacking ordered, LPSO)结构, 压缩过程中, 剪切带的扩展受到LPSO相的抑制, 使材料的塑性得到提高。

过去十几年中, 对LPSO结构的研究主要集中在Mg-Zn-RE (RE=Y, La, Ce, Pr, Sm, Nd, Dy, Ho, Er, Gd, Tb, Tm, Yb等)合金体系^[8-11], 对LPSO增强Mg基非晶复合材料的研究相对较少^[12-14]。已有的研究结果^[15-16]表明, 合金元素的含量对LPSO结构的形成过程有较大的影响, 从而影响复合材料的力学性能。Qiu等^[6]的研究表明, $Mg_{77}Ni_{12}Zn_5Y_6$ 比 $Mg_{77}Cu_{12}Zn_5Y_6$ 非晶复合材料具有较高的强度和较大的塑性($Mg_{77}Ni_{12}Zn_5Y_6$ 和 $Mg_{77}Cu_{12}Zn_5Y_6$ 的压缩断裂强度分别为667 MPa和532 MPa, 塑性应变分别为7%和2.4%)。因此, 本研究以 $Mg_{77}Ni_{12}Zn_5Y_6$ 非晶复合材料为基础, 设计了一系列Mg-Ni-Zn-Y合金, 探讨Ni含量对非晶复合材料组织结构及力学性能的影响。

1 试验材料及方法

试验所用金属Mg、Ni、Zn、Y的纯度均为99.9wt.%以上, 按照 $Mg_{77+x}Ni_{12-x}Zn_5Y_6$ ($x=0, 2, 4, 6, 8$) 名义成分(at%, 下同)配料, 制备过程在高纯Ar气保护下进行。先使用非自耗真空电弧炉, 按配料比制备Ni-Y中间合金, 再按比例将中间合金与金属Mg、Zn一起置于BN坩埚内, 考虑Mg在制备母合金和浇注试样过程中会产生两次烧损, 配料时Mg多加5%。将装有合金料的BN坩埚放入真空感应熔炼炉中抽真空, 当炉腔的真空气度达到 1×10^{-3} Pa, 反冲入0.8 MPa的氩气保护, 然后熔化合金料制

作者简介:

付丽丽(1978-), 女, 副教授, 博士, 主要从事亚稳材料的研究。E-mail: fulili@126.com

中图分类号: TG139.8

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)

02-0166-06

基金项目:

辽宁省教育厅科学技术研究重点项目(201724123); 辽宁石化职业技术学院科研课题(LSHYJ1804)

收稿日期:

2018-11-02 收到初稿,

2018-12-10 收到修订稿。

备母合金。试样制备采用同等的真空条件，及铜模压铸法，其直径为2 mm、高约60 mm。

采用Rigaku D/max 2400型X-射线衍射仪（XRD，Cu K α 辐射， $\lambda=1.5406$ nm，功率12 kW，扫描范围 $20^\circ \sim 80^\circ$ ）、S-3400N型扫描电镜（SEM）和Tecnai G20型高分辨透射电子显微镜（HRTEM，工作电压为150 kV）分析合金的组织结构，同时采用选区电子衍射（SAED）进行相结构分析。使用CSS-55100型电子万能试验机进行试样的力学性能检测，压缩应变速率为 $1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ，试样高、径比为2/1。

扫描电镜试样表面需抛光处理。采用以下方法制备TEM试样：先使用线切割切成厚度小于1 mm的薄片，再手工磨至 $30 \sim 40 \mu\text{m}$ ，最终经离子减薄仪减薄，制成符合要求的薄膜试样。采用图像分析软件分析SEM图像中各组成相的体积分数（面积分析结果）。

2 试验结果及分析

2.1 Ni含量对复合材料相组成的影响

图1为 $\text{Mg}_{77+x}\text{Ni}_{12-x}\text{Zn}_5\text{Y}_6$ ($x=0, 2, 4, 6, 8$) 样品的XRD谱图。可以看到，在 2θ 为 $30^\circ \sim 45^\circ$ 范围内，五种试样均呈现非晶所特有的漫散射峰，同时在漫散射峰上及其他位置，叠加了晶态相尖锐的衍射峰，这说明制备的试样是一种Mg基非晶复合材料。五条曲线上晶态相尖锐衍射峰出现的位置、强度有所不同，这说明晶态相的种类、含量有所变化。通过分析可知，晶态相分别是 α -Mg相、 Mg_{12}YZn 相和 Mg_2Ni 相。表1所列为五种复合材料的相组成。

结合图1及表1可以看出：当Ni含量 ≤ 8 at%时，复合材料中的晶态相主要是 α -Mg相和 Mg_{12}YZn 相；当Ni含量 ≥ 10 at%时，出现了新的晶态相 Mg_2Ni 相。 $\text{Mg}_{83}\text{Ni}_6\text{Zn}_5\text{Y}_6$ 和 $\text{Mg}_{85}\text{Ni}_4\text{Zn}_5\text{Y}_6$ 两个合金的漫散射峰强度较低，说明非晶含量较少。DSC分析表明，Ni含量 ≥ 8 at%的三个成分的DSC曲线均有非晶晶化的放热峰，而Ni含量 ≤ 6 at%的两个成分，非晶晶化的放热峰很小。

2.2 Ni含量对复合材料组织结构的影响

图2为 $\text{Mg}_{77+x}\text{Ni}_{12-x}\text{Zn}_5\text{Y}_6$ ($x=0, 2, 4, 6, 8$) 试样中心部位的SEM形貌。从图中可以看到，每个试样都是在灰色基体上分布着黑色的针状相（如图2中椭圆形区域所示），结合XRD分析可知，灰色基体为非晶基体，黑色针状相为LPSO结构。一般认为，LPSO结构的成分是 Mg_{12}YZn ^[8]。五种复合材料中针状相的形态有所不同，当Ni含量较低（4 at%和6 at%）时，针状相细长，数量较多；当Ni含量较高（8 at%、10 at%和12 at%）时，针状相粗大，数量稍少，这与Ma等^[5]在

Mg-Cu-Ni-Y体系中观察到的现象一致。 $\text{Mg}_{81}\text{Ni}_8\text{Zn}_5\text{Y}_6$ 复合材料中针状相大小、分布都比较均匀，长约 $5 \sim 15 \mu\text{m}$ ，宽约 $0.5 \sim 1.2 \mu\text{m}$ 。 $\text{Mg}_{83}\text{Ni}_6\text{Zn}_5\text{Y}_6$ 和 $\text{Mg}_{85}\text{Ni}_4\text{Zn}_5\text{Y}_6$ 非晶复合材料中的针状相之间夹杂的少量黑色片状组织为 α -Mg相。

进一步观察可以发现， α -Mg相的含量随Ni含量的降低而提高。在Ni ≥ 8 at%时， α -Mg相主要分布在LPSO相内或附近（条状相内衬度较黑部分），而在Ni ≤ 6 at%时， α -Mg相独立分布在基体中（黑色部分）。 α -Mg相独立存在容易辨别，但存在于LPSO相内或附近的 α -Mg相需要进一步分析。图3为 $\text{Mg}_{81}\text{Ni}_8\text{Zn}_5\text{Y}_6$ LPSO条状相和 α -Mg相的HRTEM图像。图中左半部分为LPSO特有的条纹，而右半部分则是 α -Mg相，两相间存在5 nm的过渡层。

Ni是非晶形成的主要元素，随Ni含量的变化，

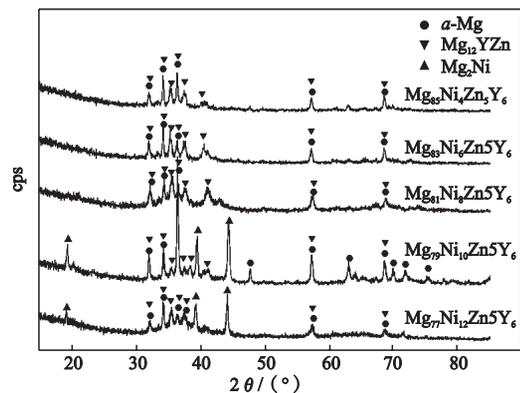


图1 $\text{Mg}_{77+x}\text{Ni}_{12-x}\text{Zn}_5\text{Y}_6$ 复合材料的XRD谱图
Fig. 1 XRD patterns of $\text{Mg}_{77+x}\text{Ni}_{12-x}\text{Zn}_5\text{Y}_6$ composites

表1 $\text{Mg}_{77+x}\text{Ni}_{12-x}\text{Zn}_5\text{Y}_6$ 复合材料的相组成
Table 1 Phase constituent of $\text{Mg}_{77+x}\text{Ni}_{12-x}\text{Zn}_5\text{Y}_6$ composites

复合材料种类	相组成
$\text{Mg}_{77}\text{Ni}_{12}\text{Zn}_5\text{Y}_6$	非晶相、 α -Mg、 Mg_{12}YZn 、 Mg_2Ni
$\text{Mg}_{79}\text{Ni}_{10}\text{Zn}_5\text{Y}_6$	非晶相、 α -Mg、 Mg_{12}YZn 、 Mg_2Ni
$\text{Mg}_{81}\text{Ni}_8\text{Zn}_5\text{Y}_6$	非晶相、 α -Mg、 Mg_{12}YZn
$\text{Mg}_{83}\text{Ni}_6\text{Zn}_5\text{Y}_6$	非晶相、 α -Mg、 Mg_{12}YZn
$\text{Mg}_{85}\text{Ni}_4\text{Zn}_5\text{Y}_6$	非晶相、 α -Mg、 Mg_{12}YZn

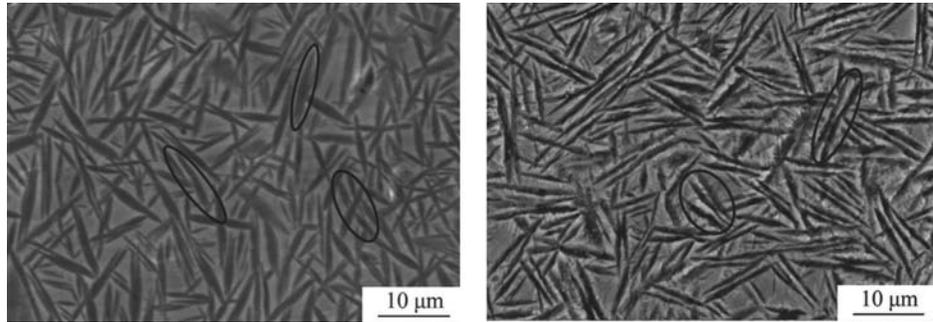
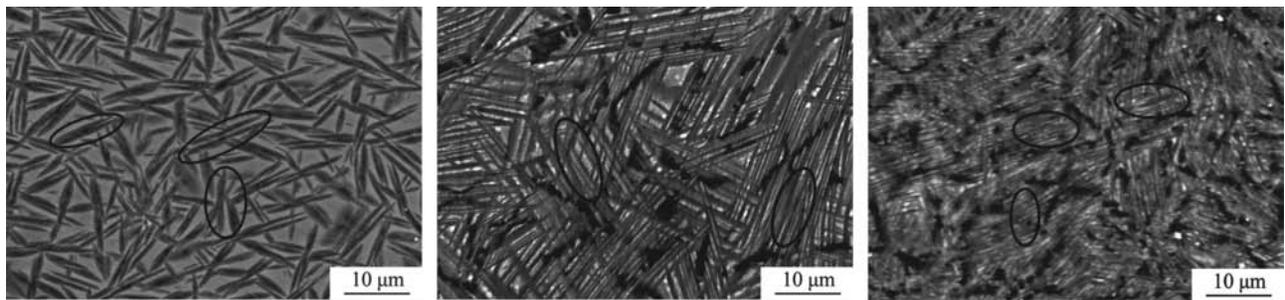
(a) $Mg_{77}Ni_{12}Zn_5Y_6$ (b) $Mg_{79}Ni_{10}Zn_5Y_6$ (c) $Mg_{81}Ni_8Zn_5Y_6$ (d) $Mg_{83}Ni_6Zn_5Y_6$ (e) $Mg_{85}Ni_4Zn_5Y_6$

图2 非晶复合材料SEM形貌

Fig. 2 SEM of amorphous matrix composites

Ni不仅在非晶相中的含量发生变化，其在晶态相中的存在方式也发生变化。表2中给出了主要组成相成分的EDS分析结果。可以看出，大部分灰色区域所代表的非晶基体，其元素组成与设计合金的名义组成较为接近，而针状相的元素组成与非晶基体的差别较大。综合SEM和XRD分析结果，可以看出，除Ni含量为10 at%的合金外，其他试样的针状相中Zn、Y含量基本相同，说明针状相主要为 $Mg_{12}YZn$ 类型长周期相；但对于Ni含量较低的 $Mg_{83}Ni_6Zn_5Y_6$ 和 $Mg_{85}Ni_4Zn_5Y_6$ 两种合金，针状相中还含有低于名义成分的Ni元素（分别为5.46 at%和3.55 at%），而在 $Mg_{81}Ni_8Zn_5Y_6$ 、 $Mg_{79}Ni_{10}Zn_5Y_6$ 和 $Mg_{77}Ni_{12}Zn_5Y_6$ 样品中，针状相含有高于名义成分的Ni元素（分别为9.60 at%、14.47 at%和10.2 at%），因此，这与不含Ni的合金中所获得的 $Mg_{12}YZn$ ^[8]LPSO相有区别。Saal等研究^[17]表明，Ni元素一方面可以形成 Mg_2Ni 相，另一方面，可以作为LPSO结构中团簇 $X_6^S X_8^L L_2$ （S和L分别表示X原子比Mg原子小和大）中的组成原子，而不以相的形式出现。在SEM图像中没有观察到除针状LPSO外的第二相，说明除针状相 L_2 型团簇中含有Ni外，过高的Ni元素可能以细小的 Mg_2Ni 相出现而导致Ni含量超过名义成分。为了证实这种推测，对

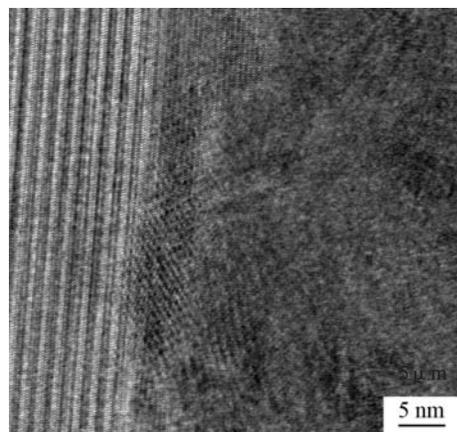


图3 $Mg_{81}Ni_8Zn_5Y_6$ 铸态合金中LPSO与 α -Mg相共存的HRTEM分析
Fig. 3 HRTEM analysis of coexisted LPSO and α -Mg phases in as-cast $Mg_{81}Ni_8Zn_5Y_6$ alloy

铸态 $Mg_{79}Ni_{10}Zn_5Y_6$ 材料中的针状相进行了HRTEM分析，发现了一种六方结构，其明场像如图4a所示。图4b为沿 $[10\bar{1}0]$ 轴向的选区衍射图谱，经分析其晶胞参数为 $a=0.520\ 5\ nm$ ， $c=1.323\ 6\ nm$ ，结合XRD及SEM分析，其组成为 Mg_2Ni 相。这说明Ni含量为8 at%是

表2 复合材料主要组成相成分的能谱分析
Table 2 EDS analysis of main phases in the composites

复合材料 种类	灰色区域				针状相			
	Mg	Ni	Zn	Y	Mg	Ni	Zn	Y
Mg ₇₇ Ni ₁₂ Zn ₅ Y ₆	77.02	11.43	5.52	6.03	78.53	10.20	5.20	6.07
Mg ₇₉ Ni ₁₀ Zn ₅ Y ₆	76.55	13.14	6.62	3.69	74.65	14.47	7.13	3.75
Mg ₈₁ Ni ₈ Zn ₅ Y ₆	80.67	8.23	4.89	6.21	77.62	9.60	6.29	6.49
Mg ₈₃ Ni ₆ Zn ₅ Y ₆	80.46	7.15	6.46	5.93	84.71	5.46	4.69	5.14
Mg ₈₅ Ni ₄ Zn ₅ Y ₆	85.00	4.30	5.30	5.40	86.23	3.55	5.25	4.97

Mg₂Ni相出现的转折点，即对于Ni含量较低（4 at%、6 at%）的合金，Ni存在于LPSO结构的L1₂型团簇中，而当Ni含量>8 at%时，针状相中存在细小的Mg₂Ni相。

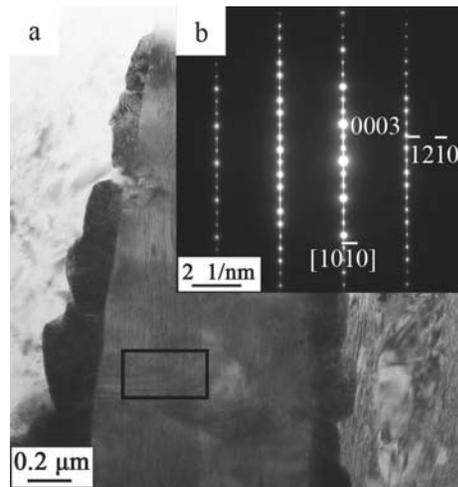
表3为各组成相的体积分数分析结果。可以看出，对于Ni含量≥8at%的合金，主要组成相为LPSO和非晶相，而对于Ni含量≤6at%的合金，主要组成相为LPSO和α-Mg相。

2.3 Ni含量对复合材料力学性能的影响

材料性能的变化与微观组织变化有关，而且非晶相的形成已经超出传统晶态材料的成分-组织-性能概念。由于非晶相、LPSO相、α-Mg相以不同的体积分数出现，所以LPSO相与α-Mg相的强度、伸长率、加工硬化均不相同，这就造成了组织与力学性能的复杂性。

Mg_{77+x}Ni_{12-x}Zn₅Y₆ (x=0, 2, 4, 6, 8) 试样的压缩应力-应变曲线如图5所示，其力学性能参数列于表4中。从图5和表4中可以看出，相对于完全非晶合金来说，五种复合材料都表现出一定的塑性。Ni含量为8 at.%以上的合金组织相似，主要由非晶相和LPSO相组成，可以进行对比分析。可以看出Mg₇₉Ni₁₀Zn₅Y₆非晶相含量最高，因此屈服和断裂强度最高，达到783 MPa；Mg₈₁Ni₈Zn₅Y₆针状LPSO相含量最高，因此压缩应变也最大，达到20.23%，与相同体系的Mg₈₁Cu_{9.3}Y_{4.7}Zn₅非晶复合材料^[2]（塑性应变18.5%）相比，塑性应变提高了近2%，但屈服和断裂强度最低；Mg₇₇Ni₁₂Zn₅Y₆合金的组织性能则介于二者之间。Mg₈₃Ni₆Zn₅Y₆和Mg₈₅Ni₄Zn₅Y₆组织相似，主要由LPSO和α-Mg相组成，但由于前者Ni含量高，非晶相含量也相对多，因此屈服和断裂强度高，而二者的塑性相差不大。Mg₈₁Ni₈Zn₅Y₆与Mg₈₃Ni₆Zn₅Y₆相比，虽然前者非晶相含量更高，但针状相相对粗大，而后者针状相细小，因而强度较高，但压缩应变较低，这可以归于后者存在较强的加工硬化倾向，而Mg₈₁Ni₈Zn₅Y₆几乎没有加工硬化，因此可以获得更高的压缩应变。

图5的五条应力-应变曲线均明显表现出锯齿状特征，这说明复合材料在压缩过程中受到变化的阻力作用。这是因为复合材料中存在针状LPSO相，压缩过程中形成的剪切带在扩展过程中遇到LPSO相，使剪切带的扩展受阻，这就需要更大的能量来克服这种阻



(a) 明场像；(b) 衍射图谱

图4 铸态Mg₇₉Ni₁₀Zn₅Y₆复合材料针状相TEM图

Fig. 4 TEM images of needle-like phase in as-cast Mg₇₉Ni₁₀Zn₅Y₆ composite

表3 合金的各相体积分数
Table 3 Volume fraction of each phase /%

合金种类	LPSO	a-Mg	Mg ₂ Ni	非晶相
Mg ₇₇ Ni ₁₂ Zn ₅ Y ₆	60	包含在LPSO中	少量	40
Mg ₇₉ Ni ₁₀ Zn ₅ Y ₆	45	包含在LPSO中	少量	55
Mg ₈₁ Ni ₈ Zn ₅ Y ₆	67	包含在LPSO中	0	33
Mg ₈₃ Ni ₆ Zn ₅ Y ₆	68	8	0	包含在LPSO中
Mg ₈₅ Ni ₄ Zn ₅ Y ₆	73	13	0	包含在LPSO中

力, 表现为应力升高; 一旦剪切带扩展, 则表现为应力降低。剪切带的扩展由于LPSO相的存在而再次受阻, 使应力再次升高, 从而产生锯齿状。剪切带扩展过程中, LPSO相同时产生塑性变形, 诱发新的剪切带产生。值得指出的是, $Mg_{81}Ni_8Zn_5Y_6$ 复合材料中针状LPSO相的大小、分布都比较均匀, 对剪切带扩展的阻力作用更加明显, 所以其塑性最高。

3 结论

(1) 在 $Mg_{77+x}Ni_{12-x}Zn_5Y_6$ ($x=0, 2, 4, 6, 8$) 系列复合材料中, 当 $x \leq 4$ 时, 组织主要由非晶相和LPSO相组成, 同时存在微量的 α -Mg相和 Mg_2Ni 相; 当 $x \geq 6$ 时, 组织主要由LPSO相和晶态 α -Mg相组成。而对于 $x=4$ 的合金, LPSO相均匀分布在非晶基体上。

(2) 材料的力学性能与组织变化有关。当 $x \leq 4$ 时, 按照典型的LPSO增强非晶基体规律变化, 非晶含量越高, 强度越高, LPSO含量越高, 压缩应变变量越高, 其中, $Mg_{79}Ni_{10}Zn_5Y_6$ 的断裂强度达到783 MPa, $Mg_{81}Ni_8Zn_5Y_6$ 的塑性应变达到20.23%。当 $x \geq 6$ 时, 按照非晶强化晶态材料规律变化, 非晶含量高, 强度提高, 同时存在加工硬化现象, 但非晶不能改善塑性, 因此二者塑性应变变量差别不大。

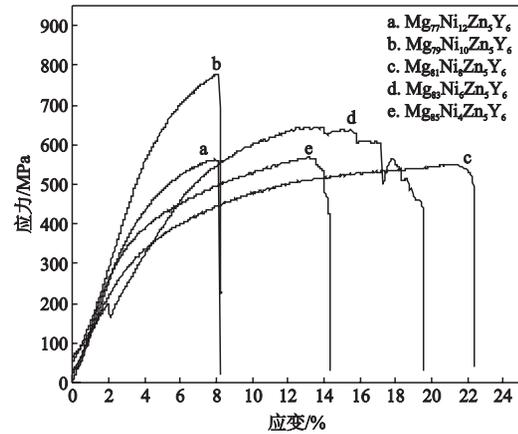


图5 $Mg_{77+x}Ni_{12-x}Zn_5Y_6$ 试样的压缩应力-应变曲线

Fig. 5 Compressive stress-strain curves of $Mg_{77+x}Ni_{12-x}Zn_5Y_6$ composites

表4 $Mg_{77+x}Ni_{12-x}Zn_5Y_6$ 复合材料的力学性能
Table 4 Mechanical properties of $Mg_{77+x}Ni_{12-x}Zn_5Y_6$ composites

复合材料种类	屈服强度/MPa	断裂强度/MPa	塑性应变/%
$Mg_{77}Ni_{12}Zn_5Y_6$	341	562	5.39
$Mg_{79}Ni_{10}Zn_5Y_6$	476	783	4.84
$Mg_{81}Ni_8Zn_5Y_6$	228	556	20.23
$Mg_{83}Ni_6Zn_5Y_6$	441	647	11.42
$Mg_{85}Ni_4Zn_5Y_6$	269	563	11.41

参考文献:

- [1] 张亚娟, 寇生中, 李春燕, 等. Zr含量对非晶合金非晶形成能力及力学性能的影响 [J]. 铸造, 2014, 63 (1): 15-18.
- [2] 邱克强, 于向男, 张丹, 等. Zr基非晶合金在拉伸条件下流变特征与本构方程 [J]. 铸造, 2015, 64 (12): 1218-1221.
- [3] 李断弦, 袁子洲, 康健, 等. 冷却速率对Zr-Co-Al-Y非晶合金热稳定性和耐蚀性能的影响 [J]. 铸造, 2015, 64 (5): 445-449.
- [4] HUI X, DONG W, CHEN G L, et al. Formation, microstructure and properties of long period order structure reinforced Mg-based bulk metallic glass composites [J]. Acta Materialia, 2007, 55 (3): 907-920.
- [5] MA H, SHI L L, XU J. Chill-cast in situ composites in the pseudo-ternary Mg-(Cu, Ni)-Y glass-forming system: Microstructure and compressive properties [J]. Journal of Materials Research, 2007, 22 (2): 314-325.
- [6] QIU K Q, HU N N, Zhang H B, et al. Mechanical properties and fracture mechanism of as-cast $Mg_{77}TM_{12}Zn_5Y_6$ (TM=Cu, Ni) bulk amorphous matrix composites [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2009, 478 (1): 419-422.
- [7] 邵阳, 陈刚, 赵玉涛, 等. 原位CuYSi颗粒增强块体镁基非晶合金复合材料的研究 [J]. 功能材料, 2012, 43 (8): 1012-1015.
- [8] LUO Z P, ZHANG S Q. High-resolution electron microscopy on the X-Mg₁₂ZnY phase in a high strength Mg-Zn-Zr-Y magnesium alloy [J]. Journal of Materials Science Letters, 2000, 19 (9): 813-815.
- [9] WANG D D, ZHANG W B, Zong X M, et al. Abundant long period stacking ordered structure induced by Ni addition into Mg-Gd-Zn alloy [J]. Materials Science and Engineering A, 2014, 618: 355-358.
- [10] TANE M, KIMIZUKA H, HAGIHARA K, et al. Effects of stacking sequence and short-range ordering of solute atoms on elastic properties of Mg-Zn-Y alloys with long-period stacking ordered structures [J]. Acta Materialia, 2015, 96: 170-188.

- [11] 付丽丽, 邱克强, 任英磊, 等. 长周期结构增强镁合金的研究进展 [J]. 材料导报, 2016, 30 (9): 152-157.
- [12] 任英磊, 吴妍惠, 孙晶, 等. 镁基非晶合金复合材料的长周期结构形成规律 [J]. 沈阳工业大学学报, 2010, 32 (4): 370-374.
- [13] SHAO X H, YANG Z Q, You J H, et al. Microstructure and microhardness evolution of a $Mg_{83}Ni_6Zn_5Y_6$ alloy upon annealing [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2011, 509 (26): 7221-7228.
- [14] 付丽丽, 邱克强, 任英磊, 等. 热处理对 $Mg_{81}Ni_8Zn_5Y_6$ 合金中长周期结构的影响 [J]. 中国有色金属学报, 2016, 26 (7): 1414-1419.
- [15] 王飞, 孙威, 刘林林, 等. Zn含量对Mg-Gd-Nd-Zn合金中析出相和长周期堆垛结构形成的影响 [J]. 稀有金属材料与工程, 2010, 39 (9): 1598-1603.
- [16] KIMIZUKA H, FRONZI M, Ogata S. Effect of alloying elements on in-plane ordering and disordering of solute clusters in Mg-based long-period stacking ordered structures: A first-principles analysis [J]. Scripta Materialia, 2013, 69 (8): 594-597.
- [17] SAAL J E, WOLVERTON C. Thermodynamic stability of Mg-based ternary long-period stacking ordered structures [J]. Acta Materialia, 2014, 68: 325-338.

Effect of Ni Content on Microstructure and Mechanical Properties of Mg-Based Amorphous Matrix Composites

FU Li-li¹, QIU Ke-qiang²

(1. Petrol-Chemical Department, Liaoning Petrol-Chemical Vocational and Technical College, Jinzhou 121001, Liaoning, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, Liaoning, China)

Abstract:

$Mg_{77+x}Ni_{12-x}Zn_5Y_6$ ($x=0, 2, 4, 6, 8$) alloys with 2 mm in diameter were fabricated by Cu-mold casting method to study the effect of Ni content on the microstructure and mechanical properties of Mg-based amorphous matrix composites. The phase constituent, microstructure and mechanical properties of the composites were analyzed using X-ray diffraction, scanning electron microscopy, high-resolution transmission electron microscope and mechanical property tester. The results showed that when Ni content was equal to 8 at%, the size and distribution of the LPSO phase became uniform; all the five amorphous matrix composites showed a certain plasticity; $Mg_{79}Ni_{10}Zn_5Y_6$ had maximal fracture strength, up to 783 MPa; $Mg_{81}Ni_8Zn_5Y_6$ had the highest plastic strain, up to 20.23%.

Key words:

microstructure; mechanical property; Ni content
