

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560857

研究課題名(和文) 鑄造欠陥の極めて少ない、高品位ガラス合金およびヘテロアモルファス合金の作製

研究課題名(英文) Fabrication of high quality cast amorphous/heteroamorphous alloys with a small amount of cast defects

研究代表者

横山 嘉彦 (Yokoyama, Yoshihiko)

東北大学・金属材料研究所・准教授

研究者番号：00261511

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)： 鑄造欠陥の少ない鑄造アモルファス合金の製造を実現するために、吸引鑄造の鑄造速度制御や、傾角鑄造の自動化および炉床の形状最適化を行ってきました。改善の結果、従来の同じ鑄造法に比べてボイドや湯境などの外観上、目に見えて判断できる大きな鑄造欠陥については軽減することが出来ました。これらの成果を踏まえて、幾つかの企業の提案で製品化が試みられており、関連技術に関するノウハウ契約や特許についても申請をしています。結果として、作製した鑄造アモルファス合金は密度や弾性率のバラツキが十分に抑えられた良質なものでした。以前は5%程度ばらついていたのに対して、本開発プロセスでは1%以内に抑えることが出来ました。

研究成果の概要(英文)： In order to realize the high quality of casting amorphous alloys with small amount of cast defects, we tried to control the feeding rate of suction casting and the shape of hearth of tilt casting. As a result, we achieved a high quality cast amorphous alloy with good visual by neck eye to compared with the conventional processed cast amorphous alloy. Based on these results, commercialization of productions has been tried by some companies, and we are making the application about the know-how contract and patent submissions. We construct whole process of fabrication of cast amorphous alloys, and the reproducibility was remarkably improved about the deviation of density and modulus to be within 1% (about 5% in conventional process).

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・金属物性

キーワード：鑄造欠陥 鑄造アモルファス合金

1. 研究開始当初の背景

鑄造アモルファス合金の研究・開発において、バルク形状化は学問的にも大きな意味があります。ガラス合金もバルク化に伴って破壊靱性値や疲労特性に関する報告が出ていますが、これらの性質は鑄造欠陥の影響を強く受けるために初期の報告は材料の本質を捉え切れていないとする見方があります。例えば、極端に低い疲労耐久限度に対して問題提起をする論文[例えば、G.Y. Wang et al., Scripta Mater. 57(2007), 65]があります。しかしながら、鑄造欠陥の問題を解決する試みは国内外を通じて充分に行われていないのが現状であり、良質な鑄造アモルファス合金を作製するための技術開発は急務となっております。本問題の解決が分野全体として遅れている原因としては、鑄造アモルファス合金の製造が技術的に未完成な部分が多く、試験片の材質が作成者に大きく依存していることが挙げられます。

2. 研究の目的

私は、鑄造アモルファス合金の分野において材料の持つ本質的な疲労特性を明らかにすることを目的に、各種合金系および目的形状に合わせて高品位な鑄造材を得るため様々なプロセスの開発に取り組んできた。これらの開発における経験から、良質な鑄造材料を作製するためには、(1)不純物元素の抑制(ポロシティの原因となるガス成分除去や結晶成長速度が速い結晶の生成抑制)、(2)合金化過程の最適化(高融点化合物の発生を抑える、効果的な合金化プロセス)、(3)鑄造方法の最適化(湯境やボイドなどの鑄造欠陥の生成抑制)など、製造プロセス全般で改善すべき点が多々あることを明らかにしている。そこで、本研究では、鑄造プロセスに着目し、鑄造欠陥を発生しにくい湯流れおよび湯の供給速度の調整について、差圧鑄造法および傾角鑄造法等の鑄造プロセスについて改善する事を目的としている。鑄造欠陥の詳細について調べることは難しいが、得られた試験片の質が揃っているかについて着目し、密度や弾性率等の物性値について測定を行う事で、品質のバラツキについて明らかにすることで欠陥の量を見積もります。疲労試験等の実験結果については、共同研究を通じて時間が掛かりますが統計学的解釈も含めて明らかにしていきたいと考えております。

3. 研究の方法

鑄造欠陥を作らない鑄造に於いて重要な点として、湯が暴れないことが挙げられます。そのために、一定速度で湯面の暴れない安定

した湯の供給が最も重要で有り、どのような鑄造法に於いても理想的な注湯であると考えられます。このような注湯法を差圧鑄造法および傾角鑄造法で実現するために、それぞれ別の方法を用いました。前者に対しては、従来法では真空に引くのが一般的でしたが、それでは注湯速度の制御が出来なくなります。そこで、本研究では溶解チャンバーと鑄型内部の圧力を任意に変化させることで注湯速度の制御を試み、鑄造欠陥の少ない鑄造アモルファス合金の作製を試みました。結果として、注湯が可能である限りは差圧は少ない方が密度の高い鑄造材を得ることに成功しました。一方、傾角鑄造法に於いては傾鑄速度の制御が重要になりますが、人力で動かしていると正確な制御が出来ないためパルスモーターを組み込むことで精密な傾動制御を可能にする事が出来ました。

4. 研究成果

差圧鑄造法における $Zr_{55}Cu_{30}Ni_5Al_{10}$ 鑄造アモルファス合金の注湯の駆動力である差圧と注湯速度の関係を図1に示します。注湯速度はビデオ撮影した画像の解析から求めました。このように、差圧の低い領域に於いては直線的な関係が得られ、注湯速度は差圧の変化で制御が可能であることが分かります。次に、 $Zr_{55}Cu_{30}Ni_5Al_{10}$ 鑄造アモルファス合金の密度と差圧の関係を図2に示します。このように、差圧が0.01MPa以上では密度が低下して鑄造内部にボイドが存在していることが示唆されています。このように、差圧鑄造に於いては、差圧は0.5MPa以下にすることで良質な鑄造アモルファス合金が得られることが分かりました。

一方、傾角鑄造法における炉床形状の最適化と傾鑄機構の自動化を行うことで、従来よりも鑄造アモルファス合金の密度や弾性率のバラツキが抑えられることが分かりました。

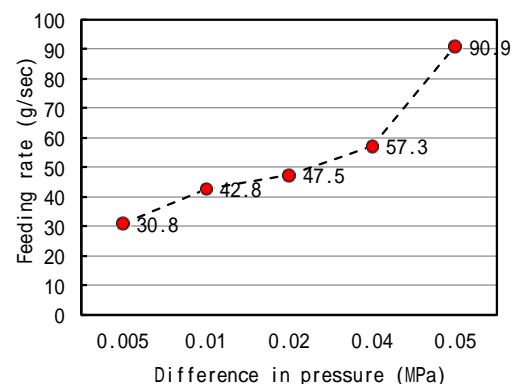


図1. 差圧鑄造における差圧と鑄造速度の関係。用いている合金は $Zr_{55}Cu_{30}Ni_5Al_{10}$

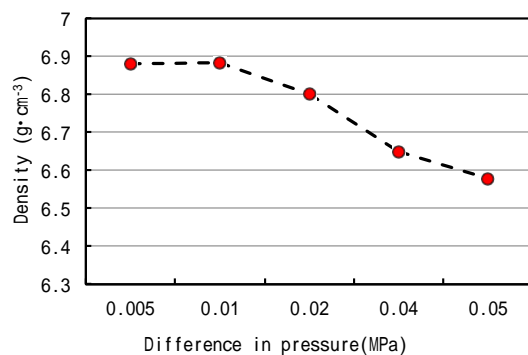


図2. 差圧鋳造におけるZr₅₅Cu₃₀Ni₅Al₁₀鋳造アモルファス合金の密度と差圧の関係。

このように、鋳造法を改善・改良することで、質を揃えた鋳造アモルファス合金を作製することに成功しています。また、鋳造法以外にも 1.用いる金属原料の表面処理や真空予備溶解、2.合金化プロセスの最適化、3.合金化過程における均質化のための攪拌機構の改善・改良、4.合金化の度合いを見積もるための溶融合金粘性の相対変化の測定、5.磁場を用いたアーク溶解における攪拌法の開発、6.秤量、合金化、鋳造などのプロセスの完全自動化などの項目で研究を進めているため、純粋に鋳造プロセスの改善によるものだけではありませんが、従来の手作業で行っていた作成方法と比べて、今回開発したプロセスを用いた鋳造アモルファス合金は、密度、ポアソン比そして弾性率に於いて 25 本の試験片について測定した結果、バラツキは 1% 以下に抑えることに成功しております。(従来の方法では、およそ 5% 程度のばらつきが見られています。) 今後、更なる改良を進めていくことで、このばらつきはより小さくなっていくものと期待している。これらの結果については、Journal of Materials Processing に投稿しております。

注釈： 詳細な差圧鋳造機の形状や、傾角鋳造装置の形状については製造している企業との間でノウハウ契約をしているため開示しておりません。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 14 件)

1. “Recovering compressive plasticity of bulk metallic glasses by high-temperature creep”
Y. Tong, W. Dmowski, Y. Yokoyama, G. Y.

Wang, P. K. Liaw, T. Egami, Scripta Materialia, **69**(2013), 570-573.

2. “Characterization of free volume in cold-rolled Zr₅₅Cu₃₀Ni₅Al₁₀ bulk metallic glasses” O. Haruyama, K. Kisara, A. Yamashita, K. Kogure, Y. Yokoyama, K. Sugiyama, Acta Materialia, **61**(2013), 3224-3232.
3. “Ni-Free Zr-Cu-Al-Nb-Pd Bulk Metallic Glasses with Different Zr/Cu Ratios for Biomedical Applications” L. Huang, Y. Yokoyama, W. Wu, P. K. Liaw, S. J. Pang, A. Inoue, T. Zhang, W. He, J. Biomedical Mater. Res. B, **100B**(2012), 1472-1482.
4. “Influence of Al Content on Martensitic Transformation Behavior in Zr₅₀Cu_{50-x}Al_x” F. Q. Meng, K. Tsuchiya, F. X. Yin, S. Li, Y. Yokoyama, J. Alloys Comp., **522**(2012), 136-140.
5. “Bendable Bulk Metallic Glass: Effects of a Thin, Adhesive, Strong, and Ductile Coating” J. P. Chu, J. E. Greene, J. S. C. Jang, J. C. Huang, Y. L. Shen, P. K. Liaw, Y. Yokoyama, A. Inoue, T. G. Nieh, Acta Materialia, **60**(2012), 3226-3238.

[学会発表] (計 11 件)

1. “Automatic Fabrication of High Entropy Alloys and Their Properties” by Y. Yokoyama, X. Xie, J. Antonaglia, M. Hemphill, T. Zhi, T. Yuan, G. Wang, C-W Tsai, J-W Yeh, A. Chuang, K. Dahmen, P.K. Liaw, 2013/03/03~2013/03/07, San Antonio (US), TMS annual meeting 2013
2. “Micro-scale moldability and mechanical properties of hypoeutectic Zr-based metallic glasses” by Y. Yokoyama, S. Takashima, T. Yamasaki, K. Fujita, A. R. Yavari, A. Inoue, 2012/03/11~2012/03/15, Orlando (US), TMS annual meeting 2012

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

出願状況 (計 2 件)

名称： ハース部材、及び該ハース部材を用

いた冷却凝固金属作製装置

発明者：横山嘉彦

権利者：東北テクノアーチ、大亜真空株式会社

種類：特許

番号：2012-182039

出願年月日：2012/8/21

国内外の別：国内

名称：金属材料の溶解装置および金属材料の溶解方法

発明者：横山嘉彦

権利者：東北テクノアーチ、日新技研株式会社

種類：特許

番号：2012-117265

出願年月日：2012/5/23

国内外の別：国内

取得状況（計0件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

プレスリリース：小型自動アーク溶解炉の開発

<http://www.tohoku.ac.jp/japanese/2012/11/press20121105-01.html>

プレスリリース：横山准教授が小型自動アーク溶解炉を開発

http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/jp/news/press/2012/20121107_000306.html

プレスリリース：超小型傾角鑄造装置

http://www.t-technoarch.co.jp/content/licence_S10-005.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

（代表）

横山嘉彦（Yoshihiko Yokoyama）

東北大学・金属材料研究所・准教授

研究者番号：00261511