アークを熱源に用いた溶解凝固制御装置の開発 —アークキャスト法の新展開—

横山 嘉彦¹⁾ 深浦 健三²⁾ 砂田 久吉³⁾
高木 健児^{1)*} 菊池 捷範^{2)**}

1. はじめに

金属工学において合金を清浄かつ簡便に作製し目的形状に成形することは非常に有益な実験手段である。金属を酸化物等の坩堝や耐火物を用いずに清浄に溶解する方法としては、抵抗加熱法、高周波溶解法、アーク溶解法、電子ビーム溶解法等があるが、コールドクルーシブル法としては高周波加熱によるスカル溶解法とアーク溶解法が現在では広く用いられている。スカル溶解法は、均一な溶解と、合金溶製後に鋳造が可能である等多くの利点がある。しかし、スカル溶解には非常に出力の大きな高周波発振装置が必要になり経済的な負担が著しく大きくなるという欠点もある。一方、アーク溶解法はアーク炎のあたらない溶湯と炉床の接触部は溶解していないことが多く、均一な溶解が難しい。しかし、熱源がアーク溶接機と共通であるために汎用性が高く、装置の製造が安価に出来るという大きな利点がある。

そこで、姫路工業大学ならびに日新技研株式会社との共同開発で、安価で簡便かつ多機能なアーク溶解鋳造(アークキャスト)装置の作製を試みた。

2. アーク溶解法について

アーク溶解炉はアーク炎による加熱と水冷銅炉床による冷

却を同時に行っているために均一な溶解が困難である。アーク溶解が均一溶解でないことは高融点金属の溶解で容易に見当がつくが、一見、完全に溶解が出来ていそうな溶融合金についてもその内部では不均一核発生が頻繁に行われており溶融合金の上部と底部とでは組成的な揺らぎが必ず存在する。静的過冷効果の非常に大きい金属ガラス⁽¹⁾と言われる合金が見出されてからは、アーク溶解のみでガラス相が得られているが、同時に非常に微細な結晶核の集まりが炉床との接触部分で幾つか見られ、不均質核発生が溶湯内部において頻繁に行われていることを視覚的に明らかにしている。このような遊離結晶核の多くは、図1に示すように溶融合金から炉床に電気を流している部分(コールドスポット)で急激に溶湯が冷やれることで溶湯内部に向かって急速に樹枝状晶が成長し、溶湯の対流によって枝の部分が溶断されて次々と遊離核を形

図1 溶湯内、炉床接触部に出来たコールドスポットと遊離核。

* 姫路工業大学工学部材料工学科

1)助手 2)助教授 3)教授

** 日新技研株式会社

1)社長 2)開発部長

Development of Multipurpose Arc-Casting Furnace; Yoshihiko Yokoyama*, Kenzo Fukaura*, Hisakichi Sunada*, Kenji Takagi**, Katsunori Kikuchi**(*Himeji Institute of Technology. **Nissin Co. Ltd.)

1999年11月22日受理

成しているものと考えられる。この核発生部分を無くすことは容易ではないが、その発生箇所を限定することは技術的に可能である。即ち、予め溶湯とオーミック接触しやすい部分を炉床に設けておけば、そこに優先的に核発生部分を集めることが期待出来る。本装置の開発において、重要な技術開発の一つに、この核発生部分の抑制・制御があり、良い铸造材をアーク溶解法で作製するためには必要不可欠な新技術である。

3. アークキャスト法

アーク溶解法と铸造機構を組み合わせたアークキャスト装置は今まで幾つか市販化⁽²⁾⁽³⁾されている。その多くは、柄杓型の小さな炉床で合金を溶解し、傾斜させて铸型に注湯⁽²⁾するか、あるいは炉床を縦に2つに割って炉床底部より注湯⁽³⁾する方式を採用していた。傾斜させて注湯する方法は、溶湯表面に浮遊する酸化皮膜等も注湯してしまい铸造品に欠陥を作るという欠点があり、また、炉床から注湯する方法は大きなスリット状の穴が炉床に開くため、注湯速度の制御が難しい。そこで、アークキャスト法をより完成度の高い素形材製造法にするために、本装置ではこれらの問題点を解決する斬新な注湯方法を考案する必要があった。本装置の最大の特徴でもあるこの注湯法は、図2に示すように炉床を鉤型に段差を付けて縦に2つに割り、互いの炉床をずらすことで段差の部分にずらした分だけ隙間を作ることが出来、此处から溶湯を注湯するという機構を有している。また、注湯するときに遊離結晶核を一緒に流し出さないように、炉床にリング状の突起物を湯口から離れた部分に予め設けておくことで、不均一核発生サイトを注湯口付近には形成しない配慮を施す。この不均一核発生サイトの抑制機構は非常に有効な手段で、実際注湯するときにも溶湯は最後までこのリング状の突起物に粘り着いており、この部分で多くのコールドスポットが形成されていたことを示唆している。しかも、注湯時には、注湯口の真上をアーク炎で強く加熱するために粘性の高い溶湯も注湯時には完全に高温で溶解されて粘性を低くして湯流れ性の良い状態で铸型に流れていき、铸造性の向上と、铸造材の欠陥となる粗大な遊離結晶核の除去に役立って

図2 鉤型縦割アーク溶解炉床(閉口(左), 開口(右)).

図3 本研究で開発したアークキャスト装置の外観。

いる。このように、本機構によるアーク铸造の特徴を列記すると、

- (1) 溶湯表面の酸化皮膜やゴミを注湯しない炉床下部からの注湯である。
- (2) 特殊な炉床形状により注湯口の大きさを任意に変えることが出来、铸造速度の制御が可能である。
- (3) コールドスポットを誘起するリング状の突起物によって注湯への遊離核の影響を抑える。
- (4) 注湯されていく溶湯に直接アーク炎で加熱することが出来るので、遊離核による溶湯の汚染を防ぐことが出来、铸造性も向上する。

等が挙げられる。また、図3に示すように本装置は従来の汎用アーク溶解炉と比べてもコンパクトにまとめ上げられており、一畳程の設置場所があれば十分に使用できる。

4. 凝固制御機構

本研究で開発した割型炉床によって任意の注湯が出来るようになり、溶解の後の凝固制御機構についても、多岐にわたって行えるようになった。本装置に应用可能な凝固制御機構としては、金型铸造法、液体急冷法、アトマイズ法等が挙げられる。このうち、本装置の凝固機構として備えているのが、金型铸造法と液体急冷法である。前者は、主として生体材料等の試験片作製を考えており、Ti等の高融点金属を瞬時に目的形状に铸込むことを可能にしている。一方、後者は非平衡物質の作製を考えており、アモルファス合金、ナノ結晶合金等のリボン状超急冷箔帯を得ることが出来る。

(1) 金型铸造法

従来の高周波溶解法による金型铸造法は、石英ノズルを使用していたため注湯速度が遅く、試料形状が制限されていた。というのは注湯速度を上げようとしてノズル径を大きく

図4 本装置で作製した純 Ti の金型鑄造試験片。

すると溶解時に湯の自重でノズル先端孔から湯が漏れてしまうため、ノズル径を大きくできないからである。しかし、本方法では縦割り型の水冷銅炉床を使用しているために、溶解時はノズル孔は閉じており、注湯時には任意にノズル孔の大きさを変化させることが出来る。この機構によってはじめて、生体用部材として使用できるような大型の金型鑄造製品の作成が可能になる。溶解時、溶解チャンバーは 60 kPa の Ar ガスで充填され、アーク炎によって水冷炉床上で合金が溶解されている。この水冷銅炉床の下は凝固制御チャンバーで 6.6×10^{-3} Pa の真空度が維持されている。このため、割型炉床のノズル開口部の気密性を維持するために特殊なパッキンを使用している。注湯時は、図 2 に示すように割型水冷銅炉床をずらして開口部を炉床下部に作り、溶解チャンバーと凝固制御チャンバー間の気圧差を利用して一気に注湯する。図 4 に本方法で作成した純 Ti 金属のダンベル形状の試験片の写真を示す。試験片の直径は 10 mm、長さは 70 mm の大きさであり、両端に見られる突起は湯道部である。このように簡便かつ短時間に金型鑄造材が得られることで、生体材料や歯科技工用治具等の作成が容易になり、生体材料以外の新しい産業分野への応用も広がるものと予測している。

(2) 液体急冷法

従来の高周波溶解法による液体急冷法では、溶解出来る材料が限られており、高融点の合金、化合物、特にセラミックス系の超急冷は困難であった。しかし、本方法ではアーク溶解法を熱源として用いているために、これらの難溶解物質の溶解も容易に行うことが出来、新しい非平衡物質の創製が可能になる。単ロール液体急冷を用いて綺麗な超急冷箔帯を得るために最も重要なことはロールとノズルのクリアランスであり、本方法ではノズルに黒鉛ノズルを用いてロールとのクリアランスを調整できるような機構を施している。ノズルの材質は溶解する素材に合わせて選択が可能で、超急冷箔帯の形状さえ気にしなければ、ノズルが無い状態でも、フレック状の超急冷試験片を得ることが出来る。

図 5 に本装置の単ロール液体急冷法で作製した超急冷箔帯

図5 本装置で作製した超急冷箔帯(幅広(左)細孔(右))。

の写真を示す。超急冷箔帯の合金組成は $\text{Ti}_{50}\text{Cu}_{50}$ でそれぞれ細孔および幅広形状のノズルを用いて作製しており、両者とも X 線回折の結果、非晶質单相であった。このように、アークを熱源に用いた本装置の液体急冷法を用いても、従来の高周波溶解法で作製した超急冷箔帯と比較しても遜色無いレベルの美しい超急冷箔帯が得られており、新開発のノズル機構の高い有用性を示唆している。今後は本装置を用いることで、研究分野の狭間にあった未開発の素材の超急冷が可能になり、セラミックスと金属の複合素材や、超急冷セラミックス等、多くの新しい素材の研究分野が広がるものと期待している。

5. 結 言

本装置の特徴は、第一に簡便、安価であるということと、第二に、新しいノズル機構の開発により合金の溶製と鑄造、超急冷が清浄に、同一の装置で行えるということが挙げられる。製造プロセスとしてみた場合、その新奇性は従来のアークキャスト法の欠点を一掃することに成功した新しいノズル機構に集約される。非常に単純なアイデアではあるが画期的な装置の開発の礎になったものと考えており、今後は新素材創製の有用な手法として大いに活用されるものと期待している。

本装置のような開発が、我が国の教育・研究機関で活かされて、素材開発に関する教育・研究が活性化し、材料系の学生が新しい物作りの考え方に少しでも興味を持ってくれることを切に願う。

文 献

- (1) A. Inoue: *Bulk Amorphous Alloys*, Trans Tech Publications, Uetikon-Zuerich, (1998), 41.
- (2) For example, Edmund Bühler GmbH & Co., "Arc Melter AM", Germany.
- (3) For example, Iwatani Co. Ltd., "Castmatic", Japan.