



Title	アーク溶接の熱効率に関する研究
Author(s)	藤山, 将士
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/98647">https://doi.org/10.18910/98647</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

氏 名 ( 藤 山 将 士 )

論文題名      アーク溶接の熱効率に関する研究

## 論文内容の要旨

本論文における研究目的は、測定者によって生じる熱効率の差異に潜む真因を解き明かし、熱損失やアークから母材への熱輸送現象を適切に考慮した評価方法を確立することである。確立された評価方法を用いてGas Tungsten Arc Welding (GTAW) 及びGas Metal Arc Welding (GMAW) の熱効率を測定し、両者の熱輸送プロセスの違いから熱効率に影響を与える要因を本論文で考察した。

1章では、熱効率測定に用いられる熱量計の中で水冷銅板熱量計、浸水式熱量計、銅ブロック熱量計、Seebeck Envelope 熱量計、液体窒素熱量計を取り上げて過去の研究事例を整理した。そしてそれらの熱量計に対する測定精度に関して過去に実施された検証内容を整理した。1章で紹介した熱量計の内、適用できる溶接方法の多様性及び測定効率の高さから液体窒素熱量計を熱効率測定に採用した。また、測定方法による溶接条件の変化が熱効率に与える影響を考察するため、溶融池や鉄蒸気の影響を含まず、更に過去の実績が多い水冷銅板熱量計を比較対象として採用した。

2章において本論文で使用する液体窒素熱量計と水冷銅板熱量計の具体的な装置構成を記載した。

3章では、本論文で採用した熱量計に対して、熱量計に特有の制限や熱損失が熱効率に与える影響を評価するため、液体窒素熱量計によりGTAWの熱効率を測定した。熱損失及び誤差を評価し、過去に液体窒素熱量計、水冷銅板熱量計により測定された熱効率と比較することで本論文における測定方法の妥当性を検証した。はじめに溶接中及び溶接後に生じる熱損失についてそれぞれ評価した。溶接中に生じる熱損失についてはLiskevychらと異なる解釈を提示し、溶接長0 mmの極限では熱的定常状態に達していないこと、数十mm程度の溶接長では熱損失は無視できることを考察し、溶接長が十分長い時の熱効率を採用することとした。溶接後から入熱量の測定開始までに発生する熱損失として、母材からの熱放射と母材落下時に発生する空気強制対流の寄与を見積もり、母材落下中の熱損失が無視できることを確認した。Hiraokaらが水冷銅板熱量計により測定したGTAWの熱効率と本論文での測定値に10ポイント近く差が生じていたが、その差が母材の材質に起因するのか、あるいは測定方法の違いから生じるのか、本論文にて水冷銅板熱量計により測定したGTAWの熱効率と比較して、Hiraokaらにより測定された熱効率と本論文で測定された熱効率の違いは母材の違いに起因している可能性があることを示した。

4章では、GTAW及び電流制御などを使用しないGMAWの熱効率を特定の溶接電流域で測定して両者を比較することで、アーク内に存在する鉄蒸気、アークからの熱放射、溶滴移行現象、母材内部の熱伝導が熱輸送に及ぼす影響を考察した。溶込み深さの増加に伴いアーク直下の未溶融母材の温度勾配が小さくなり、母材内の熱伝導が抑制されることを裏付けるため、軟鋼を母材とするGTAW及びGMAWの溶込み深さを計測したところ、両者に負の弱い相関が認められた。

5章では、溶接速度と母材・溶融池の過渡特性を考慮した上で測定した熱効率とChristensenらがまとめた熱効率及びSmarttらによって測定された熱効率を比較し、熱効率の値の差異について考察した。Christensenらにより総括された熱効率と本論文の熱効率を重ね合わせた結果、GTAWの熱効率は本論文の結果は75~85%、Christensenらの値は21~48%であり、熱効率を取る値とその幅に大きな差があった。その差を生む要因として、Christensenらにより提示されたGTAWの熱効率は熱効率測定時に母材への入熱が冷媒である水に十分伝達されていなかったことが疑われた。一方、GMAWの熱効率はChristensenらの示した熱効率と本論文において測定した熱効率が概ね一致した。単位時間当たりの溶接電源による投入エネルギーが1,375 cal/s以上で母材への入熱が下振れしているが、その原因はアーク中心に鉄蒸気が混入することで熱放射の増加したことと考えられた。Smarttらにより液体窒素熱量計で測定された熱効率と本論文での熱効率を比較し、本論文の熱効率が概ね10%程度大きい値を示した。その要因を、溶接速度の有無の観点から考察した。Smarttらの実験条件では、母材内部の温度勾配が相対的に小さく、Fourierの法則に従う熱輸送が発生しにくい。対して本論文における実験条件は母材内部の温度分布における定常状態が実現しており、Fourierの法則に従う熱輸送が生じているため、これがSmarttらにより測定された条件よりも大きな熱効率が測定された要因であったと推測した。

6章は結論であり、本研究で得られた知見を総括した。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 藤 山 将 士 )			
論文審査担当者	(職) 氏 名		
	主 査	教授	田中 学
	副 査	教授	佐野 智一
	副 査	教授	平田 弘征

## 論文審査の結果の要旨

溶接におけるアークから母材への熱輸送メカニズムは溶接変形、溶融池の特性、溶融金属の組織形成に影響を与える因子であり、母材への入熱及び熱効率率は溶接施工管理において重要な指標である。入熱及び熱効率率は水冷銅板、水を媒質とした熱量計、銅ブロックを媒質とした熱量計、液体窒素の蒸発潜熱による熱量計を使用して測定され、各測定方法の精度を検証する研究が行われている。しかし測定者によって熱効率の値は異なり、熱効率の真値に対して統一的な見解は得られていない。また、過去に測定された熱効率率は各溶接法に特有の幅を持っているが、幅をもたらず要因が単なる誤差によるものか、アークの物理現象として説明されるものなのか明らかにされていない。

本論文では液体窒素熱量計を用いた熱効率の測定方法を検証し、測定値の解釈について熱伝導論的観点から考察している。確立された熱効率の測定方法でガスタングステンアーク溶接及びガスメタルアーク溶接の熱効率を測定し、溶滴移行、アークからの熱放射、溶融池が熱効率に与える影響が考察されている。そして先行研究で測定されたガスタングステンアーク溶接の熱効率と本論文で測定された熱効率を比較し、熱効率の値が幅を持っていることに対してアーク現象に基づいた考察を与えている。

本論文によって明らかにされている点は以下の通りである。

1. 先行研究では、液体窒素熱量計による熱効率測定では溶接長が仮想的に 0 とした時の熱効率が真値であるとされている。これに対し本研究では、溶接長と熱効率の回帰曲線の性質に着目し、溶接長が溶接速度と母材の温度拡散係数から算出される特徴的長さスケールよりも十分に大きい場合の熱効率が真値であることが示されている。そして母材の温度分布によって熱効率が異なり、母材が熱的に定常状態に達した時に実際の溶接施工に近い状況で熱効率が測定されることが示唆されている。
2. ガスタングステンアーク溶接、ガスメタルアーク溶接における熱効率と溶込み深さを測定した結果、熱効率と溶込み深さが弱い負の相関関係を示している。このことにより、溶込み深さの増加に伴いアーク直下の未溶融母材の温度勾配が小さくなり、母材内の熱伝導が抑制されたことが示唆されている。
3. 先行研究で測定されたガスタングステンアーク溶接の熱効率は、母材内部の温度分布が定常状態に至らずに溶融池が拡大した結果、熱効率が低下していることが示唆されている。それを裏付けるために、Tanaka らによって計算された電極、アーク、溶融池の統合シミュレーションによる母材及び溶融池の温度分布から母材内部の温度勾配を算出している。その結果、母材への入熱量が減少することで、熱効率が減少することが示されている。

以上のように、本論文は測定者によって生じる熱効率の差異に潜む真因を解き明かし、熱損失やアークから母材への熱輸送現象を適切に考慮している。本論文で示された知見は溶接施工時の正確な入熱管理のみならずアーク溶接の数値計算による予測技術にも大いに貢献すると期待できる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。