

論文内容の要旨

氏名	高崎佳明
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	産第36号
学位授与の日付	平成24年3月22日
学位授与の要件	学位規程第5条第2項該当
学位論文題目	インバータ型スポット溶接機を用いた電流制御法に関する研究
論文審査委員(主査)	教授 園田敏勝
(副主査)	教授 江崎秀
(副主査)	教授 角藤亮

今日、種々の電気溶接機が開発実用化されている。その中のスポット溶接機は、自動車業界、製缶業界、建築業界などで幅広く利用されている。より正確な溶接を行うためには、電流の制御性に優れ、しかも小容量の商用電源で運転可能なスポット溶接機の開発が望まれている。

スポット溶接機は、アーク溶接と異なり、アーク維持に要する電圧は不要であることから、基本的には低電圧・大電流型となる。すなわち、被溶接材料間に、短時間に数kAの電流を流し、必要とする入熱エネルギーを供給する能力が要求されることから、主には次の2課題を満足する必要がある。(1)高圧受電設備を有しない町工場や現場などで動作するスポット溶接機の開発と小型軽量化、および(2)スポット溶接動作時における溶接部の等価抵抗は、溶接部の温度上昇、溶接電極の圧力、溶接時間などによって大幅に変化するため、広範囲にわたる電流の制御性を有することである。

本研究では、課題(1)に対して磁束制御形インバータ電源を提案している。この電源は、要求されるインバータ電源容量に対して最小の鉄心サイズで動作する結果、インバータ電源に用いる変圧器の小型軽量化を可能としている。また、インバータ電源に蓄電池を併用することで、一般家庭に供給されている商用電源(100V、20A程度)での溶接を可能としている。すなわち、非溶接時には、蓄電池に充電しておき、溶接時には、商用電源と蓄電池とから溶接に必要な電力を溶接部に供給することができる。この磁束制御形インバータ電源は、変圧器鉄心に施した探りコイルに誘導する電圧を時間積分して検出した変圧器鉄心の磁束がその目標値に達する毎に一次巻線電流の極性を交互に切り換えて動作する方式である。従って、変圧器鉄心の最大磁束密度は、予め定めて大きさと動作することが可能となることから、最小の鉄心サイズで必要とする溶接電流を得ることができ、小型軽量化を可能としている。課題(2)に対しては、電流の制御性に優れた周波数制御形インバータ電源を提案している。この電源の動作原理は、インバータに用いる変圧器と溶接負荷とが誘導性であることに着目している。周知のように、誘導性リアクタンス成分は、周波数に比例することから、インバータ周波数によって、溶接電流の制御を可能としている。ここで、溶接に必要な10kAに達する溶接電流の検出を考えると、今日、産業界で多用されている変流器は、被検出電流が極めて大きいことと非正弦波であるため、巻線で生じるインダクタンス成分に基づく電圧降下が誤差要因となる。また、ホール素子型の電流センサは、被検出電流によって生じる磁束の時間

論文審査結果の要旨

微分成分がホール素子面と鎖交して極めて大きな誤差となり、共に不適である。そこで本研究では、電流検出法で最も基本的な RI 降下法に着目したパイプ型の電流センサと電流の時間微分成分を相殺するファラデーの電磁誘導を用いた 2 種の分無誘導電流センサを提案している。ファラデーの電磁誘導を用いた電流センサを周波数制御形インバータ電源に適用して、10 kA を超える溶接電流の制御を可能としている。

以上、本研究では、スポット溶接機の小型軽量化に対し、蓄電池を併用した磁束制御形インバータ電源が有用であることを明らかにしている。また、提案した周波数制御形インバータ電源に無誘導電流センサを適用することにより、10 kA を超える溶接電流の制御を可能としている。

第 1 章では、産業界におけるスポット溶接機の利用状況と、より正確な溶接を行うために溶接機に求められている課題について述べている。次に、スポット溶接機の発達とパワーエレクトロニクスの現状、半導体スイッチング素子の中で特に IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) の出現と溶接機電流の制御性との関係について述べ、スポット溶接機の構成法について述べている。

第 2 章では、溶接機の構成法として磁束制御形を提案し、溶接機の小型軽量化が可能であることを示している。更に、スポット溶接機に蓄電池を併用することで、一般家庭に供給されている商用電源で溶接が可能になることを示している。

第 3 章では、周波数制御形インバータ電源を提案し、電源の動作原理、周波数制御と溶接電流の実際について述べている。そして、溶接電源と溶接負荷とのインピーダンスマッチングの問題について述べている。

第 4 章では、10 kA に達する非正弦波電流の検出に適する電流検出法について述べ、変圧器やホール素子型の電流センサは、共に溶接電流の検出に不適であることを示している。次に、電流検出法で最も基本的な RI 降下法に着目した 2 種の分無誘導電流センサを提案している。

第 5 章では、周波数制御形インバータ電源に提案した電流センサを適用した場合の溶接電流の制御例を示している。パイプ型の電流センサを用いた場合には、300A 程度、ファラデー型の場合には、12 kA 程度までの溶接電流の制御例を示している。そして、溶接電極圧力と溶接時間が溶接結果にどのように影響するかについて述べている。

第 6 章では、以上の結果を総括し、本研究で得られた成果と知見、今後の課題について述べている。

本論文は、「インバータ型スポット溶接機を用いた電流制御法に関する研究」と題し、今日産業界で用いられているスポット溶接機に求められているいくつかの課題解決を目指して検討した内容をまとめたものである。ここで検討されている具体的な課題は、(1)電力会社から供給される小容量の契約電力で動作する溶接機を開発すること、および (2)スポット溶接動作時における溶接部の等価抵抗が、溶接部の温度、溶接電極の圧力、溶接時間などによって大幅に変化するのを、広範な電流の制御性を可能にすることである。

本研究では、(1)に対して磁束制御形インバータ電源を提案している。この電源は、要求されるインバータ電源容量に対して最小の鉄心サイズで動作する結果、インバータ電源に用いる変圧器の小型軽量化を可能としている。また、インバータ電源に蓄電池を併用することで、一般家庭に供給されている商用電源 (100 V、20A 程度) での溶接を可能としている。すなわち、非溶接時には、蓄電池に充電しておき、溶接時には、商用電源と蓄電池とから溶接に必要な電力を溶接部に供給することができる。この磁束制御形インバータ電源は、変圧器鉄心に施した探りコイルに誘導する電圧を時間積分して検出した変圧器鉄心の磁束がその目標値に達する毎に一次巻線電流の極性を交互に切り換えて動作する方式である。従って、変圧器鉄心の最大磁束密度は、予め定めた大きさで動作することから、最小の鉄心サイズで必要とする溶接電流を得ることができ、小型軽量化を可能としている。

(2)に対しては、電流の制御性に優れた周波数制御形インバータ電源を提案している。この電源の動作原理は、インバータに用いる変圧器と溶接負荷とが誘導性であることに着目している。周知のように、誘導性リアクタンス成分は、周波数に比例することから、インバータ周波数によって、溶接電流の制御を可能としている。ここで、溶接に必要な 10 kA に達する溶接電流の検出法について考えてみる。非正弦波で極めて大きな電流を今日、産業界で多用されている変流器で検出すると、巻線で生じるインダクタンス成分に基づく電圧降下が誤差要因となる。また、ホール素子型の電流センサは、被検出電流によって生じる磁束の時間微分成分がホール素子面と鎖交して極めて大きな誤差となり、共に不適である。これに対し本研究では、電流検出法で最も基本的な RI 降下法に着目したパイプ型の電流センサと電流の時間微分成分を相殺するファラデーの電磁誘導を用いた 2 種の無誘導電流センサを提案している。ファラデーの電磁誘導を用いた電流センサを周波数制御形インバータ電源に適用して、10 kA を超える溶接電流の制御を可能としている。

以上、本研究では、スポット溶接機の小型軽量化に対し、蓄電池を併用した磁束制御形インバータ電源が有用であることを明らかにしている。また、提案した周波数制

御形インバータ電源に無誘導電流センサを適用することにより、10 kA を超える溶接電流の制御を可能としている。

第1章では、産業界におけるスポット溶接機の利用状況と今日溶接機に求められる課題について述べている。次に、スポット溶接機の発達とパワーエレクトロニクスの現状、半導体スイッチング素子の中で特にIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) の出現と溶接機電流の制御性との関係について述べ、スポット溶接機の構成法について述べている。

第2章では、溶接機の構成法として磁束制御形を提案し、溶接機の小型軽量化が可能であることを示している。更に、スポット溶接機に蓄電池を併用することで、一般家庭に供給されている商用電源で溶接が可能になることを実験を含めて確認している。

第3章では、周波数制御形インバータ電源を提案し、電源の動作原理、周波数制御と溶接電流の実際について述べ、提案法の有用性を確認している。そして、溶接電源と溶接負荷とのインピーダンスマッチングの問題について検討している。実験の結果、 $m\Omega$ 以下と極めて低インピーダンスの負荷では、マッチングの得られる場合と得られない場合のあることを示し、得られない場合の根拠を明らかにしている。

第4章では、10 kA に達する非正弦波電流の検出に適する電流検出法について述べ、変圧器やホール素子型の電流センサは、共に溶接電流の検出に不適であることを示している。次に、電流検出法で最も基本的な RI 降下法に着目した2種の分無誘導電流センサを提案している。

第5章では、周波数制御形インバータ電源に提案した電流センサを適用した場合の溶接電流の制御例を示している。パイプ型の電流センサを用いた場合には、300A 程度、ファラデー型の場合には、12 kA 程度までの溶接電流の制御を可能としている。そして、溶接電極圧力と溶接時間が溶接結果にどのように影響するかについて検討し、溶接には、最適溶接条件の存在することを実験に基づいて示している。

第6章では、以上の結果を総括し、本研究で得られた成果と知見、今後の課題について述べている。

以上のように本論文は、IGBT で代表される今日の半導体スイッチング素子の進歩、ならびにアナログとデジタル IC の高性能化を基盤として、スポット溶接機に求められている上記2課題を解決しており、高い評価を見出すことができ、博士(工学)の学位論文に十分値すると認められる。