

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6019740号
(P6019740)

(45) 発行日 平成28年11月2日 (2016. 11. 2)

(24) 登録日 平成28年10月14日 (2016. 10. 14)

(51) Int. Cl.	F 1
B 2 3 K 11/20 (2006. 01)	B 2 3 K 11/20
B 2 3 K 11/24 (2006. 01)	B 2 3 K 11/24 3 1 5
B 2 3 K 11/25 (2006. 01)	B 2 3 K 11/25 5 1 5

請求項の数 4 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2012-113331 (P2012-113331)	(73) 特許権者	000003137
(22) 出願日	平成24年5月17日 (2012. 5. 17)		マツダ株式会社
(65) 公開番号	特開2013-151018 (P2013-151018A)		広島県安芸郡府中町新地 3 番 1 号
(43) 公開日	平成25年8月8日 (2013. 8. 8)	(74) 代理人	100067828
審査請求日	平成27年3月12日 (2015. 3. 12)		弁理士 小谷 悦司
(31) 優先権主張番号	特願2011-285092 (P2011-285092)	(74) 代理人	100115381
(32) 優先日	平成23年12月27日 (2011. 12. 27)		弁理士 小谷 昌崇
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100133916
			弁理士 佐藤 興
		(72) 発明者	田中 耕二郎
			広島県安芸郡府中町新地 3 番 1 号 マツダ株式会社内
		(72) 発明者	西口 勝也
			広島県安芸郡府中町新地 3 番 1 号 マツダ株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 溶接方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

アルミニウムまたはアルミニウム合金からなるアルミニウム系材と鋼材とを互いに重ね合わせた状態で一対の電極により挟持するとともに当該電極への通電によりこれら材料どうしを抵抗スポット溶接する溶接方法であって、

各々が通電期間と通電停止期間とを備える複数のステップを順に実行することにより、複数のステップに分けて断続的に前記電極に電流を供給し、

前記複数のステップにおける前記通電期間の各長さを前記実行の順における後のステップほど長くし、かつ、前記複数のステップにおける前記通電停止期間の各長さを一定にすることにより、各ステップの積算電流量を前記実行の順における後のステップほど段階的に増加させることを特徴とする溶接方法。

【請求項 2】

アルミニウムまたはアルミニウム合金からなるアルミニウム系材と鋼材とを互いに重ね合わせた状態で一対の電極により挟持するとともに当該電極への通電によりこれら材料どうしを抵抗スポット溶接する溶接方法であって、

各々が通電期間と通電停止期間とを備える複数のステップを順に実行することにより、複数のステップに分けて断続的に前記電極に電流を供給し、

前記複数のステップにおける前記通電期間の各長さを一定にし、かつ、前記複数のステップにおける前記通電停止期間の各長さを前記実行の順における後のステップほど短くすることにより、各ステップの積算電流量を前記実行の順における後のステップほど段階的

10

20

に増加させることを特徴とする溶接方法。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の溶接方法において、

前記ステップ毎の前記電極による挟持圧力を、前記ステップが進行するに伴い低くすることを特徴とする溶接方法。

【請求項 4】

請求項 1 又は 2 に記載の溶接方法において、

前記ステップ毎の前記電極による挟持圧力を、前記ステップが進行するに伴い高くすることを特徴とする溶接方法。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、アルミニウムまたはアルミニウム合金からなるアルミニウム系材と鋼材との溶接方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、アルミニウムまたはアルミニウム合金からなるアルミニウム系材と鋼材とを接合する一つの方法として、これらを重ね合わせて一对の電極により挟持し、前記電極に電流を供給することでこれらを溶接する抵抗スポット溶接の研究が進められている。

【0003】

20

ここで、アルミニウム系材と鋼材の溶接では、鋼材同士の抵抗スポット溶接に比べて、材料抵抗の低さから大電流が必要となる。そのため、これらを抵抗スポット溶接する場合、アルミニウム系材が過剰に加熱されてチリとなって滅失してしまうという問題がある。これに対して、例えば、特許文献 1 には、アルミニウム系材と鋼材とを抵抗スポット溶接する溶接方法であって、電極に、予め設定された規定の電流をそれぞれ所定時間ずつ断続的に供給して、電流が長時間にわたって連続して供給されないようにすることで、アルミニウム系材の過剰な加熱ひいてはチリの発生を抑制するようにした方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0004】

【特許文献 1】特許第 4 4 2 5 1 5 9 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明者らは、前記特許文献 1 に開示されている従来方法では、チリの発生を抑制してこの抑制に伴う接合強度の向上は実現できるものの、各ステップにおいて各材料、特に、アルミニウム系材が過剰に加熱されて、接合部分周辺のアルミニウム系材の変形量が大きくなるとともに電極にアルミニウム系材が凝着して以降の溶接に悪影響を及ぼすという事態が生じて生産性が悪化すること、および、アルミニウム系材の厚みが減少することを突き止めた。

40

【0006】

本発明は、前記のような事情に鑑みてなされたものであり、生産性を高めつつ接合強度を確保することのできるアルミニウム系材と鋼材との抵抗スポット溶接方法の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

前記課題を解決するために、本発明は、アルミニウムまたはアルミニウム合金からなるアルミニウム系材と鋼材とを、互いに重ね合わせた状態で一对の電極により挟持するとともに当該電極への通電により抵抗スポット溶接する溶接方法であって、各々が通電期間と

50

通電停止期間とを備える複数のステップを順に実行することにより、複数のステップに分けて断続的に前記電極に電流を供給し、前記複数のステップにおける前記通電期間の各長さを前記実行の順における後のステップほど長くし、かつ、前記複数のステップにおける前記通電停止期間の各長さを一定にすることにより、各ステップの積算電流量を前記実行の順における後のステップほど段階的に増加させることを特徴とする溶接方法を提供する。

【0008】

この方法によれば、電極に複数のステップに分けて断続的に電流を供給することで各材料が過剰に加熱されるのを回避しつつ、基準期間に電極に供給する積算電流量を段階的に増加させることで先のステップでのナゲット形成に伴う材料間の抵抗低下に対抗して各材料の加熱量を増大することができ電流の供給に伴ってナゲットを適切に拡大させることができる。従って、この方法によれば、大電流の長時間通電を1ステップで行うことに伴い各材料、特にアルミニウム系材が過剰に加熱されることにより生じる、チリの発生、アルミニウム系材の変形、アルミニウム系材の厚みの減少およびアルミニウム系材の電極への凝着を抑制して生産性を高めつつ、ナゲット拡大に伴う接合強度の向上を実現することができる。

10

【0012】

また、この方法によれば、複数のステップにおける通電期間の各長さを実行の順における後のステップほど長くなるように変更するという簡単な方法で、積算電流量を段階的に増加させることができ、電流制御を容易に行うことができる。

20

【0013】

また、本発明は、アルミニウムまたはアルミニウム合金からなるアルミニウム系材と鋼材とを互いに重ね合わせた状態で一对の電極により挟持するとともに当該電極への通電によりこれら材料どうしを抵抗スポット溶接する溶接方法であって、各々が通電期間と通電停止期間とを備える複数のステップを順に実行することにより、複数のステップに分けて断続的に前記電極に電流を供給し、前記複数のステップにおける前記通電期間の各長さを一定にし、かつ、前記複数のステップにおける前記通電停止期間の各長さを前記実行の順における後のステップほど短くすることにより、各ステップの積算電流量を前記実行の順における後のステップほど段階的に増加させることを特徴とする溶接方法を提供する。

30

【0014】

この方法によれば、通電停止時間を段階的に変更するという簡単な方法で、積算電流量と同意義である各ステップの発熱量を段階的に増加させることができ、電流制御を容易に行うことができる。

【0015】

なお、上記の方法において、前記一对の電極の挟持圧力は略一定であってもよいが、ステップ毎の当該挟持圧力をステップの進行（ステップ数の増加）に伴い変化させるようにすれば、ナゲット形成を促進させる上で有効となる。

【0016】

具体的には、前記ステップ毎の前記電極による挟持圧力を、前記ステップの進行に伴い低くするようにする。

40

【0017】

この方法によれば、ステップの進行に伴い材料（アルミニウム系材と鋼材）間の接触抵抗が増加して各材料の発熱が促進される。その結果、ナゲット形成が効果的に促進される。また、挟持圧力をステップの進行に伴い低くすることで、アルミニウム系材の変形を抑制することが可能となる。

【0018】

また、前記ステップ毎の前記電極による挟持圧力を、前記ステップの進行に伴い高くするようにしてもよい。

【0019】

この方法によれば、ステップの進行による電流量の上昇に伴い発生し易くなるチリの発

50

生を効果的に押さえ込むことが可能となる。さらに、材料同士の接触面積を拡大させることが可能となる。そのため、チリの発生を抑制しつつ比較的大きな電流を電極に供給して材料を加熱することが可能となり、これにより、ナゲット形成を促進させることが可能となる。

【発明の効果】

【0020】

以上のように、本発明によれば、アルミニウム系材と鋼材との抵抗スポット溶接において生産性を高めつつこれらの接合強度を確保することができる。

【図面の簡単な説明】

【0021】

10

【図1】本発明の実施形態に係る溶接方法を説明するための図である。

【図2】抵抗スポット溶接方法を説明するための面図である。

【図3】従来の溶接方法における通電電流のタイムチャートである。

【図4】本発明の第1実施形態に係る溶接方法における通電電流のタイムチャートである。

。

【図5】本発明の第2実施形態に係る溶接方法における通電電流を示したタイムチャートである。

【図6】本発明の第3実施形態に係る溶接方法における通電電流を示したタイムチャートである。

【図7】本発明の第4実施形態に係る溶接方法における通電電流と電極の加圧力（挟持圧力）とを示したタイムチャートである。

20

【図8】本発明の第5実施形態に係る溶接方法における通電電流と電極の加圧力（挟持圧力）とを示したタイムチャートである。

【図9】実施例1～18の通電電流を示したタイムチャートである。

【図10】比較例1，2の通電電流を示したタイムチャートである。

【図11】比較例1の接合結果を示した写真である。

【図12】実施例1の接合結果を示した写真である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

以下、図面を参照しつつ、本発明の、アルミニウムまたはアルミニウム合金からなるアルミニウム系材と鋼材とを抵抗スポット溶接する溶接方法の好ましい実施形態について説明する。

30

【0023】

本発明に係る溶接方法の概要を説明する。ここでは、図1に示すように、板状のアルミニウム系材10と板状の鋼材20とを抵抗スポット溶接する場合について説明する。各板材10，20の具体的な材質は特に限定されないが、例えば、アルミニウム系材10としては、JIS6000系（Al-Mg-Si系合金）が用いられ、鋼材20としては、亜鉛メッキが施された鋼材が用いられる。

【0024】

まず、アルミニウム系材10と鋼材20とを互いに重ね合わせて配置する。次に、これら板材10，20を一对の電極30a，30bにより挟持する。このとき、電極30a，30bを互いに近づく方向に押圧し、電極30a，30bを介して板材10，20を互いに近づく方向に所定の加圧力（本発明の挟持圧力）で加圧する。そして、板材10，20への加圧を維持した状態で、電極30a，30bに電流を供給する。

40

【0025】

電極30a，30bへ電流が供給されると、アルミニウム系材10と鋼材20とは、自身の材料抵抗および板材どうしの接触抵抗により、電極30a，30bとの接触部分を中心として発熱する。すなわち、電極30a，30bへの電流の供給に伴い、アルミニウム系材10と鋼材20とは加熱される。加熱されることで、図2に示すように、アルミニウム系材10は溶融して鋼材20にはりつき、これら各板材10，20間にナゲット40が

50

形成されて、アルミニウム系材 10 と鋼材 10 とが接合される。

【0026】

ここで、アルミニウム系材 10 と鋼材 20 との接合強度を高めるためには、アルミニウム系材 10 を十分に溶融させてナゲット径 R (ナゲット 40 の板面方向の直径) が大きい方が好ましい。そして、このナゲット径 R を大きくするためには、電極 30a, 30b に供給する電流量を大きくする必要がある。

【0027】

ところが、電極 30a, 30b に電流量一定の電流を連続して供給する方法を用い、この電流量を大きくした場合には、アルミニウム系材 10 が過剰に加熱されてチリとなって滅失するという問題、電極 30a, 30b の中心部分の加熱量が周囲部分に比べて過剰に大きくなりこの中心部分におけるアルミニウム系材 10 の板厚が減少するという問題、電極 30a, 30b の周囲部分におけるアルミニウム系材 10 が盛り上がる等してアルミニウム系材 10 が大きく変形するという問題、また、溶融したアルミニウム系材 10 が電極 30a に凝着するという問題が生じる。

【0028】

この問題に対して、図 3 に示すように、電極 30a, 30b に対して電流量一定の電流を供給する一方、これら電極 30a, 30b への通電を瞬間的に停止させる方法がある。具体的には、この方法では、電極 30a, 30b に時間 $t1_b$ だけ電流量 Ib の電流を供給した後、時間 $t2_b$ 通電を停止させるというサイクルを複数回行う。本発明者らは、この方法を用いて各種試験を行った結果、この方法を用いればチリの発生をある程度抑制することができ、チリの抑制に伴って接合強度をある程度高めることができることを確認した。一方、本発明者らは、この方法、すなわち、電極 30a, 30b に対して電流量一定の電流を供給しつつ瞬間的にその通電を停止させる方法を用いても、接合強度のさらなる向上と、アルミニウム系材 10 の板厚の減少の抑制、アルミニウム系材 10 の変形の抑制、アルミニウム系材 10 の電極への凝着の抑制とを両立させることができないことを発見した。具体的には、電極 30a, 30b へ供給する電流量を大きくする場合、アルミニウム系材 10 の板厚の減少等の問題は避けられないことを発見した。

【0029】

本発明者らは、この結果について鋭意研究した結果、前記のように瞬間的に通電を停止させつつ電流量一定の電流を電極 30a, 30b へ供給する方法、すなわち、複数のステップに分けて電極 30a, 30b を通電する方法では、各ステップでの加熱量が過剰となることで、アルミニウム系材 10 の変形量が大きくなる、アルミニウム系材 10 の板厚が減少する、アルミニウム系材 10 が電極 30a に凝着するという問題が依然として生じることを突き止めた。

【0030】

そして、この知見に基づき、本発明者らは、複数のステップに分けて十分な通電停止時間を設けながら断続的に、かつ、これら電極 30a, 30b に供給された電流量を予め設定された基準期間積算した積算電流量が段階的に増加するように、前記電極 30a, 30b に電流を供給することで、接合強度のさらなる向上と、アルミニウム系材 10 の板厚の減少の抑制、アルミニウム系材 10 の変形の抑制、アルミニウム系材 10 の電極への凝着の抑制との両立を実現した。なお、積算電流量は、電極 30a, 30b に供給される電流値と時間との積算値に相当する。

【0031】

第 1 実施形態に係る溶接方法では、図 4 に示すような波形の電流を電極 30a, 30b に供給することで、電極 30a, 30b に複数のステップに分けて断続的に電流を供給し、かつ、積算電流量を段階的に増加させることを実現した。すなわち、第 1 実施形態に係る溶接方法では、一定時間 $t1$ の間、電極 30a, 30b に連続的に電流を供給するというステップを、一定の通電停止時間 $t2$ を挟んで複数回実施し、かつ、各ステップでの電流量 I を徐々に増加させる。

【0032】

ここで、電極 30 a, 30 b に供給された電流量を予め設定された基準期間積算した積算電流量が段階的に増加するように前記電極 30 a, 30 b に電流を供給するとは、すなわち、先のステップでのナゲット形成に伴う板材 10, 20 間の抵抗減少に対抗して次のステップにおいてこれら板材 10, 20 間の発熱量を増大させるということであり、前記基準期間は、第 1 ステップ S 1 の開始から第 2 ステップ S 2 の開始までの時間以上の時間であって、全通電時間すなわち第 1 ステップ S 1 の通電開始から最終ステップの通電終了までの時間を均等に複数に分けた時間である。例えば、第 1 実施形態では、通電時間 t_1 と通電停止時間 t_2 の和 ($t_1 + t_2$) の値を用いることができる。

【0033】

図 4 に示す例では、電流供給ステップを 4 回実施しており、第 1 ～第 4 ステップ S 1 ～ S 4 における電流量 $I_1 \sim I_4$ を、 $I_1 < I_2 < I_3 < I_4$ となるように設定している。例えば、各ステップ S 1, S 2, S 3, S 4 での電流量 I_1, I_2, I_3, I_4 は、順に 15 kA, 15.5 kA, 16 kA, 16.5 kA に設定される。

【0034】

ここで、アルミニウム系材 10 の過剰な加熱を抑制するためには、通電停止時間 t_2 を長くしてこの通電停止時間においてアルミニウム系材 10 の温度をより低下させるのが好ましい。そこで、この第 1 実施形態では、通電停止時間 t_2 を通電時間 t_1 と同じ時間に設定して長く確保し、アルミニウム系材 10 の過剰な加熱を確実に抑制している。例えば、 t_1 と t_2 とは同じ 167 ms 程度に設定される。

【0035】

また、前記電極 30 a, 30 b が、いわゆる R 型であって先端面が曲面を呈するものでは、大電流を必要とし装置負荷が高くなる上、チリが発生しやすくなる。そこで、この実施形態では、前記電極 30 a, 30 b として、先端面が平面を呈し各材と面接触するものを用いる。例えば、その先端面が直径 5 ～ 6 mm (電極の直径は 13 ～ 16 mm) のものを用いる。なお、各ステップ S 1 ～ S 4 における通電時の電極 30 a, 30 b による加圧力は一定であり、例えば、4.9 kN に設定される。

【0036】

以上のように、第 1 実施形態に係る溶接方法では、一定の通電停止時間 t_2 を挟んで断続的に一定の通電時間 t_1 だけ電極 30 a, 30 b に通電し、かつ、電極 30 a, 30 b への通電電流量をステップの増加に伴って徐々に増加させる。この方法によれば、断続的に電極 30 a, 30 b に通電されることでアルミニウム系材 10 が過剰に加熱されるのが回避され、チリの発生、アルミニウム系材の変形、ナゲットの厚みの減少およびアルミニウム系材 10 の電極への凝着を抑制することができるとともに、通電電流ひいてはアルミニウム系材 10 の加熱量が段階的に増加することで先のステップでのナゲット形成に伴う材料間の抵抗低下に対抗して材料間の発熱量を確保して通電実施毎にナゲットを適切に拡大させていくことができ接合強度を高めることができる。特に、通電停止時間 t_2 が長い時間確保されているため、前記過剰な加熱を回避することができる。

【0037】

なお、図 4 および後述する図 5、図 6 は、インバータ式電源を用いて電極 30 a, 30 b を通電した場合を示しているが、電源の種類はこれに限らない。例えば、単相交流式電源を用い、1/2 サイクルの交流波の一部を通電停止状態とさせてもよい。

【0038】

次に、第 2 実施形態に係る溶接方法について説明する。この第 2 実施形態に係る溶接方法は、電極 30 a, 30 b への具体的な通電方法においてのみ第 1 実施形態と異なる。そこで、ここでは、この通電方法についてのみ説明する。

【0039】

第 2 実施形態に係る溶接方法では、図 5 に示すような波形の電流を電極 30 a, 30 b に供給することで、電極 30 a, 30 b に複数のステップに分けて断続的に電流を供給し、かつ、積算電流量を段階的に増加させることを実現した。すなわち、第 2 実施形態に係る溶接方法では、電極 30 a, 30 b に電流量一定の電流 I_{20} を連続的に供給するとい

うステップを、一定の通電停止時間 t_{20} を挟んで複数回実施し、かつ、各ステップでの通電時間を徐々に増加させる。

【0040】

図5に示す例では、電流供給ステップを4回実施しており、第1～第4ステップS1～S4において、電流量 I_{20} を一定に制御する一方、各ステップS1～S4の通電時間 $t_{21} \sim t_{24}$ を、 $t_{21} < t_{22} < t_{23} < t_{24}$ となるように制御する。例えば、各ステップS1～S4での通電電流 I_{20} が15.5kA一定とされ、通電停止時間 t_{20} が167ms一定とされ、各ステップS1～S4での通電時間 t_{21} 、 t_{22} 、 t_{23} 、 t_{24} が、順に167、200ms、233ms、266msに設定される。

【0041】

この第2実施形態に係る溶接方法においても、断続的に電極30a、30bが通電されつつ、各ステップでの通電時間が徐々に増加されることにより板材10、20の加熱量が段階的に増加される。そのため、アルミニウム系材10が過剰に加熱されるのを回避して、チリの発生、アルミニウム系材の変形、ナゲットの厚みの減少およびアルミニウム系材10の電極への凝着を抑制することができる上に、先のステップでのナゲット形成に伴う材料間の抵抗低下に対抗して材料間の発熱量を確保して通電実施毎にナゲットを適切に拡大させていくことができ接合強度を高めることができる。

【0042】

次に、第3実施形態に係る溶接方法について説明する。この第3実施形態に係る溶接方法も、電極30a、30bへの具体的な通電方法においてのみ第1実施形態と異なる。そこで、ここでは、この通電方法についてのみ説明する。

【0043】

第3実施形態に係る溶接方法では、図6に示すような波形の電流を電極30a、30bに供給することで、電極30a、30bに複数のステップに分けて断続的に電流を供給し、かつ、積算電流量を段階的に増加させることを実現した。すなわち、第3実施形態に係る溶接方法では、電極30a、30bに電流量一定の電流30を一定時間 t_{30} 連続的に供給するというステップを、所定の通電停止時間を挟んで複数回実施し、かつ、各ステップ間の通電停止時間を徐々に減少させる。

【0044】

図6に示す例では、電流供給ステップを4回実施しており、第1～第4ステップS1～S4において電流量 I_{30} および通電時間 t_{30} を一定に制御する一方、第1ステップS1と第2ステップS2の間の第1通電停止時間 t_{31} と、第2ステップS2と第3ステップS3の間の第2通電停止時間 t_{32} と、第3ステップS3と第4ステップS4の間の第3通電停止時間 t_{33} とを、 $t_{31} > t_{32} > t_{33}$ となるように設定制御する。例えば、各ステップS1～S4での通電電流量 I_{30} が15.5kA、通電時間 t_{30} が167ms一定とされ、各通電停止時間 t_{31} 、 t_{32} 、 t_{33} が、順に167、125ms、83msに設定される。

【0045】

この第3実施形態に係る溶接方法においても、断続的に電極30a、30bが通電されつつ、通電停止時間（板材10、20の冷却時間）が徐々に短くなることで各ステップの通電初期の材料抵抗が徐々に上昇し、その結果、板材10、20の加熱量が段階的に増加される。そのため、アルミニウム系材10が過剰に加熱されるのを回避して、チリの発生、アルミニウム系材の変形、ナゲットの厚みの減少およびアルミニウム系材10の電極への凝着を抑制することができる上に、先のステップでのナゲット形成に伴う材料間の抵抗低下に対抗して材料間の発熱量を確保して通電実施毎にナゲットを適切に拡大させていくことができ接合強度を高めることができる。

【0046】

次に、第4実施形態に係る溶接方法について説明する。

【0047】

この第4実施形態に係る溶接方法は、電極30a、30bへの具体的な通電方法は第1

10

20

30

40

50

～第3実施形態の何れかと同じで、ステップ毎の電極30a, 30bによる加圧力を、ステップが進行するに伴い（ステップ数が増加するに伴い）低くなるようにしたものである。

【0048】

図7は、第4実施形態に係る溶接方法の通電電流と加圧力との関係を示したタイムチャートである。同図に示すように、この実施形態の通電方法は、上述した第1実施形態の通電方法と同じである。具体的には、一定時間 t_1 の間、電極30a, 30bに連続的に電流を供給するというステップS1～S4を、一定の通電停止時間 t_2 を挟んで複数回実施するとともに、各ステップでの電流量 I を徐々に増加させる。例えば電流量 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 は、順に15kA、15.5kA、16kA、16.5kAに設定され、 t_1 と t_2 は167ms程度に設定される。

10

【0049】

そして、通電時の電極30a, 30bによる板材10, 20の加圧力をステップ毎に、詳しくは電極30a, 30bに時間 t_1 だけ電流を供給した後、時間 t_2 だけ通電を停止させるというサイクル毎に、一定値ずつ徐々に減少させる。例えばステップS1～S4の各加圧力 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 は、4.9kN、3.92kN、2.94kN、1.96kNに設定される。つまり、ステップ毎に0.98kNずつ加圧力を減少させる。なお、ステップS4の加圧力 P_4 は、この抵抗スポット溶接における初期加圧期間中の圧力として設定される初期加圧力 P_0 と等しく、例えば1.96kNに設定されている。

【0050】

20

この第4実施形態に係る溶接方法によれば、ステップの進行に伴い電極30a, 30bによる加圧力が一定値ずつ減少することで、当該ステップの進行に伴って板材10, 20間の接触抵抗が増加する。そのため、全ステップS1～S4の加圧力が略一定である第1実施形態の溶接方法に場合に比べると、ステップの進行に伴う各板材10, 20の加熱をより良好に行わせることが可能となる。従って、この第4実施形態に係る溶接方法によれば、各ステップS1～S4でのナゲット形成を効果的に促進させることができ、これにより、より大きなナゲット40を形成して高い接合強度を得ることが可能となる。また、加圧力が一定値ずつ減少することで、アルミニウム系材10の変形を抑制することができるという効果もある。

【0051】

30

なお、ここでは、具体的な電極30a, 30bに対する通電方法として第1実施形態の通電方法を適用した場合について説明したが、勿論、第2、第3実施形態の通電方法を適用するようにしてもよい。これらの場合も同様の作用効果を奏することができる。

【0052】

次に、第5実施形態に係る溶接方法について説明する。

【0053】

この第5実施形態に係る溶接方法は、ステップ毎の電極30a, 30bによる加圧力を、ステップが進行するに伴い（ステップ数が増加するに伴い）高くなるようにしたものであり、それ以外は、第4実施形態に係る溶接方法と同様である。

【0054】

40

図8は、第5実施形態に係る溶接方法の通電電流と加圧力との関係を示したタイムチャートである。同図に示すように、この実施形態は、通電時の電極30a, 30bによる板材10, 20の加圧力を一定値ずつ徐々に増加させる。例えばステップS1～S4の各圧力 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 は、1.96kN、2.94kN、3.92kN、4.9kNに設定される。つまり、ステップ毎に0.98kNずつ加圧力を増加させる。

【0055】

この第5実施形態に係る溶接方法によれば、ステップの進行に伴い電極30a, 30bによる板材10, 20の加圧力が増加することで、ステップの進行による電流量の上昇に伴い発生し易くなるチリの発生を効果的に押さえ込むことが可能となる。また、材料同士の接触面積を拡大させることが可能となる。そのため、チリの発生を抑制しつつ比較的大

50

きな電流を電極30a, 30bに供給して板材10, 20を加熱することができ、これにより、ナゲット形成を促進させて高い接合強度を得ることが可能となる。

【0056】

つまり、第4実施形態に係る溶接方法と第5実施形態に係る溶接方法とは、電極30a, 30bによる加圧力を徐々に減少させるか、又は増加させるかで方法および作用が異なるが、何れの場合も、結果的にはナゲット形成を促進させて、より高い接合強度を得ることが可能になるという共通の効果を奏することができる。

【0057】

なお、この第5実施形態では、具体的な電極30a, 30bに対する通電方法として第1実施形態の通電方法を適用した場合について説明したが、勿論、第2、第3実施形態の通電方法を適用してもよい。これらの場合も同様の作用効果を奏することができる。

【実施例】

【0058】

次に、第1～第5実施形態に係る溶接方法を用いてアルミニウム系材10と鋼材20とを抵抗スポット溶接した実施例1～18の溶接結果と、電極30a, 30bに電流量一定の電流を連続して所定時間供給することでアルミニウム系材10と鋼材20とを抵抗スポット溶接した比較例1、2の溶接結果とについて、表1、2を用いて説明する。

【0059】

これら実施例1～18および比較例1、2では、アルミニウム系材10として、板厚0.9mmの板状のJIS6000系(Al-Mg-Si系合金)材を用い、鋼材20として、板厚0.8mmの亜鉛メッキが施された板状の鋼材を用いた。また、溶接結果として、引張強度TSと、アルミニウム系材10の変形量と、チリの発生状況とを調べた。なお、表1において、引張強度TSにおけるN1、N2は、それぞれ、異なる試験片における値である。

【0060】

まず、表1に従って、第1～第3実施形態の溶接結果(実施例1～6)について説明する。実施例1～6では、図9に示すように、電極に、電流量 I_{a} , I_{b} , I_{c} , I_{d} の電流をそれぞれ、時間 t_{on_a} , t_{on_b} , t_{on_c} , t_{on_d} ずつ供給する第1～第4の電流供給ステップS1～S4を、それぞれ、通電停止時間 t_{off_a} , t_{off_b} , t_{off_c} あけて実施した。各電流供給ステップS1～S4ではそれぞれ、電極30a, 30bにより加圧力 P_{a} , P_{b} , P_{c} , P_{d} で試験片を挟持した。なお、加圧力 P_0 は、上述した最低加圧力である。表1には、各実施例1～6について、それぞれ、これら電流量と、通電時間と、通電停止時間の具体的な値を示している。実施例1～3は、通電時間および通電停止時間を一定として各ステップの電流値を段階的に増加させる第1実施形態に係る溶接方法を用いた結果である。実施例4、5は、各ステップの電流値および通電停止時間を一定として各ステップの通電時間を段階的に増加させる第2実施形態に係る溶接方法を用いた際の結果である。実施例6は、第3実施形態に係り、第2ステップの電流値が第1ステップの電流値よりも大きく設定され、その後の各ステップの電流値が一定、すなわち、第2ステップの電流値と同一とされ、各ステップの通電時間が一定で、かつ、各ステップ間の通電停止時間が段階的に減少されるという溶接方法を用いた結果である。なお、表1中では省略されているが、各ステップの加圧力は一定($P_{a}=P_{b}=P_{c}=P_{d}=P_0$)である。

【0061】

比較例1、2では、前述のように、また、図10に示すように、電極30a, 30bに、電流量 I_{a} 一定の電流を連続して時間 t_{on_a} 供給した。表1には、比較例1、2について、これら電流値と、通電時間とを示している。

【0062】

表1に示されるように、17.5kAと比較的高い電流が300msが連続的に供給された比較例2では、アルミニウム系材10の変形量が大きくなった上に、チリが生じ、2.5kN程度と低い引張強度しか得ることができなかった。一方、比較例2よりも供給電

10

20

30

40

50

流が低く、16.5 kAの電流が300ms連続的に供給された比較例1では、チリの発生を回避し、かつ、2.6 kN程度の引っ張り強度を得ることができたものの、比較例2と同様に、アルミニウム系材10の変形量は大きく、適正な接合形状を得ることができなかった。

【0063】

これに対して、実施例1～6では、いずれの例においても、チリの発生を回避し、アルミニウム系材10の変形量を中程度以下に抑えつつ、2.6 kN以上の引っ張り強度を得ることができた。特に、第1実施形態に係る比較例1～3では、チリの発生を回避し、アルミニウム系材10の変形量をわずかな量に抑えつつ、2.9 kN以上の高い引っ張り強度を得ることができた。

10

【0064】

ここで、図11は、比較例1の接合結果を示した写真であり、図12は、実施例1の接合結果を示した写真であり、これらの写真の領域Aの比較からも、比較例1では、実施例1よりも、アルミニウム系材10の変形量が大きいことがわかる。また、これらの写真から、比較例1におけるアルミニウム系材10の板厚d1が、実施例1における板厚d2よりも小さくなっていることがわかる。さらに、これらの写真から、比較例1では、領域Bにおいて溶融域がアルミニウム系材10の表面まで到達しており、溶融したアルミニウム系材10が電極30aに凝着する状態となっているのに対し、実施例1では、溶融域が表面に達しておらず、適正なナゲットが形成されていることがわかる。

【0065】

20

【表 1】

	通電電流(kA)				通電時間(ms)				通電停止時間(ms)			TS(kN)		変形	チリ
	I _a	I _b	I _c	I _d	t _{on_a}	t _{on_b}	t _{on_c}	t _{on_d}	t _{off_a}	t _{off_b}	t _{off_c}	N1	N2		
実施例1	15	15.5	16	16.5	167				167			2.89	2.9	小	なし
実施例2	15.5	16	16.5	17	167				167			3.08	3.05	小	なし
実施例3	16	16.5	17	17.5	167				167			3.01	3.15	小	なし
実施例4	15.5				167	217	267	333	167			2.68	2.5	中	なし
実施例5	16.5				167	217	267	333	167			2.78	2.87	中	なし
実施例6	15	16			167				167	117	67	2.76	2.65	小	なし
比較例1	16.5				300							2.56	2.6	大	なし
比較例2	17.5				300							2.46	2.31	大	あり

【0066】

次に、表2に従って、第4、第5実施形態の溶接結果（実施例7～18）について説明する。

10

20

30

40

50

【0067】

表2には、各実施例7～18について、それぞれ、図7に基づき、電流量、通電時間、通電停止時間、および加圧力の具体的値を示している。

【0068】

実施例7～12は、通電方法として第1実施形態に係る通電方法を用いた結果であり、実施例13～16は、通電方法として第2実施形態に係る通電方法を用いた結果であり、実施例17、18は、通電方法として第3実施形態に係る通電方法を用いた結果、具体的には、上記第6実施例と同様に、第2ステップの電流値が第1ステップの電流値よりも大きく設定され、その後の各ステップの電流値が一定、すなわち、第2ステップの電流値と同一とされ、各ステップの通電時間が一定で、かつ、各ステップ間の通電停止時間が段階的に減少される方法を用いた結果である。なお、実施例番号に続くアルファベット「A」は、第4実施形態、つまりステップ毎の加圧力を、ステップが進行するに伴い減少させた実施例であり、「B」は、第5実施形態、つまりステップ毎の加圧力を、ステップが進行するに伴い増加させた実施例である。比較例1、2は、表1と同じである。

10

【0069】

表2に示されるように、実施例7～18のいずれの例においても、チリの発生を回避し、アルミニウム系材10の変形量を中程度以下に抑えつつ、2.9kN以上の引っ張り強度を得ることができた。そして、実施例7～12の引っ張り強さと、これら実施例と通電方法が共通する、表1中の実施例1～3の引っ張り強度とを比較すると、実施例1～3が2.89kN以上であるのに対して、実施例7～12は3.15kN以上であった。同様に、実施例13～16の引っ張り強さと、表1中の実施例4、5の引っ張り強度とを比較すると、実施例4、5が2.5kN以上であるのに対して、実施例13～16は2.9kN以上であった。同様に、実施例17、18の引っ張り強さと、表1中の実施例6の引っ張り強度とを比較すると、実施例6が2.65kN以上であるのに対して、実施例17、18は2.95kN以上であった。つまり、ステップ毎の加圧力をステップの進行に伴い変化させる実施例7～18の溶接方法によれば、全ステップの加圧力を略一定とする実施例1～6の溶接方法と同様の通電方法を用いながらも、当該実施例1～6の溶接方法に比べて、効果的に接合強度を高めることができた。

20

【0070】

【表 2】

	通電電流(kA)				通電時間(ms)				通電停止時間(ms)				加圧力(kN)						TS(kN)		変形	チリ	平均 ナゲット径 (直径 mm)
	I_a	I_b	I_c	I_d	t_on_a	t_on_b	t_on_c	t_on_d	t_off_a	t_off_b	t_off_c	電極 タッチ (P_0)	P_a	P_b	P_c	P_d	N1	N2					
実施例7A	15	15.5	16	16.5	167				167				1.96	4.9	3.92	2.94	1.96	3.25	3.19	小	なし	8.1	
実施例8B	15	15.5	16	16.5	167				167				1.96	1.96	2.94	3.92	4.9	3.15	3.21	小	なし	8	
実施例9A	15.5	16	16.5	17	167				167				1.96	4.9	3.92	2.94	1.96	3.35	3.27	小	なし	8	
実施例10B	15.5	16	16.5	17	167				167				1.96	1.96	2.94	3.92	4.9	3.32	3.31	小	なし	8	
実施例11A	16	16.5	17	17.5	167				167				1.96	4.9	3.92	2.94	1.96	3.27	3.41	小	なし	8.1	
実施例12B	16	16.5	17	17.5	167				167				1.96	1.96	2.94	3.92	4.9	3.35	3.37	小	なし	8.2	
実施例13A	15.5				167	217	267	333	167				1.96	4.9	3.92	2.94	1.96	2.95	3.01	小	なし	8	
実施例14B	15.5				167	217	267	333	167				1.96	1.96	2.94	3.92	4.9	2.92	2.9	中	なし	8	
実施例15A	16.5				167	217	267	333	167				1.96	4.9	3.92	2.94	1.96	3.02	3.15	小	なし	8.1	
実施例16B	16.5				167	217	267	333	167				1.96	1.96	2.94	3.92	4.9	3.19	3.19	中	なし	8	
実施例17A	15	16			167				167	117	67	1.96	4.9	3.92	2.94	1.96	3	2.95	小	なし	8		
実施例18B	15	16			167				167	117	67	1.96	1.96	2.94	3.92	4.9	2.98	2.97	小	なし	8.1		
比較例1	16.5				300							1.96	4.9			2.56			2.6	大	なし	7.6	
比較例2	17.5				300							1.96	4.9			2.46			2.31	大	あり	7.4	

【0071】

以上のように、本発明に係る溶接方法によれば、チリの発生を回避し、かつ、アルミニウム系材10の変形、アルミニウム系材10の板厚の減少、アルミニウム系材10の電極

10

20

30

40

50

への凝着を抑制しつつ、高い引張強度すなわち接合強度を得ることができる。

【0072】

ここで、通電時間、通電停止時間、通電電流量、加圧力、通電ステップ数は前記に限らない。

【0073】

ただし、アルミニウム系材10の過剰な加熱を確実に抑制するためには、通電停止時間を長くするのが好ましい。具体的には、通電停止時間を60～500ms（60Hzにおいて4サイクル～30サイクル）とすれば、アルミニウム系材10の過剰な加熱に伴うアルミニウム系材10の変形、アルミニウム系材10の厚みの減少、アルミニウム系材10の電極30a、30bへの凝着、チリの発生といった事態を回避して高い生産性を確保することができることが分かっている。

10

【0074】

また、アルミニウム系材10の過剰な加熱を確実に抑制するためには、通電電流量をある程度低く抑えるのが好ましい。具体的には、通電電流量を20kA以下、より好ましくは17.5kA以下に抑えれば、アルミニウム系材10の過剰な加熱に伴うアルミニウム系材10の変形等を確実に抑えることができることが分かっている。

【0075】

また、接合強度を確保するためには、電流供給ステップ数を3以上とすることが好ましい。

【0076】

20

また、第4、第5実施形態に関し、上記実施形態では、加圧力を一定値ずつ減少又は増加させているが、加圧力の変化量は必ずしも一定である必要はない。例えばステップ毎の通電時間に対応した変化量をそれぞれ設定するようにしてもよい。

【0077】

また、第4、第5実施形態では、各ステップの通電開始時点で加圧力を変化させるようにしているが、加圧力を変化させるタイミングは、通電終了時点や通電停止中であってもよい。

【0078】

また、本発明は、複数のステップに分けて断続的に、かつ、前記電極に供給された電流量を予め設定された基準期間積算した積算電流量が段階的に増加するように、電極に電流を供給すればよく、その具体的な通電方法は、前記に限らない。例えば、前述の各実施形態に係る通電方法を組み合わせてもよい。

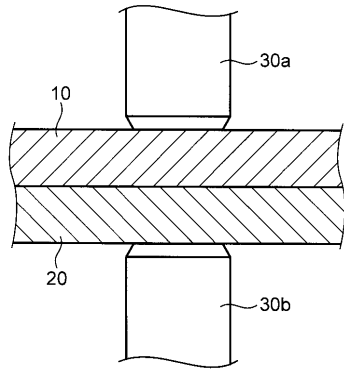
30

【符号の説明】

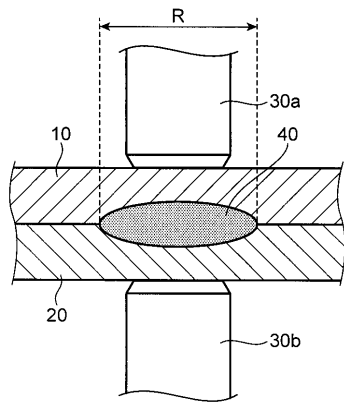
【0079】

- 10 アルミニウム系材
- 20 鋼材
- 30a, 30b 電極
- 40 ナゲット
- R ナゲット径

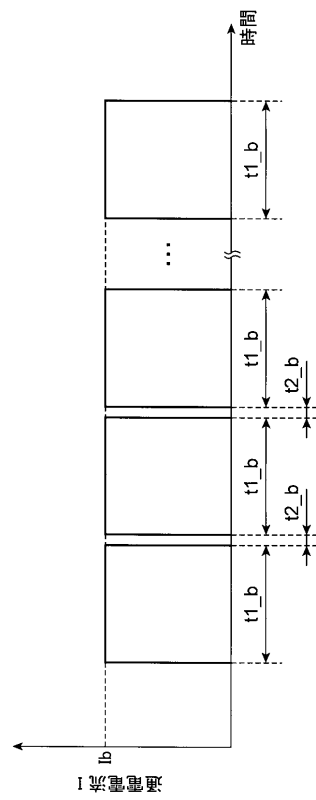
【図 1】



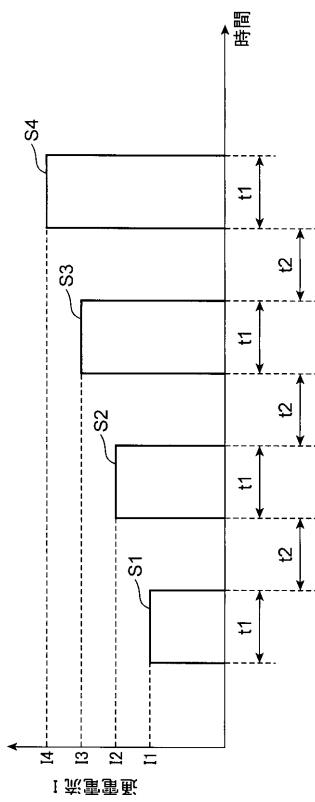
【図 2】



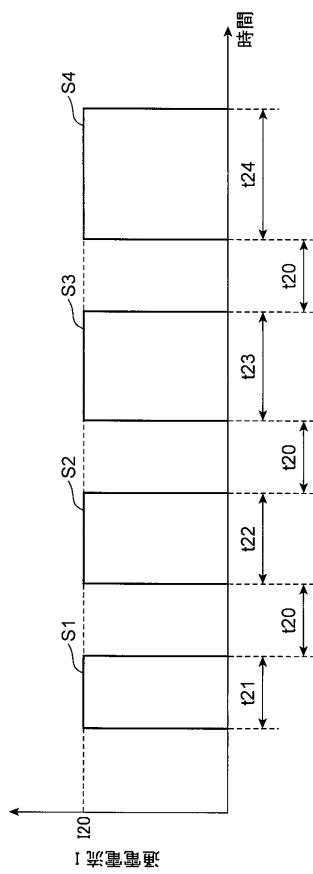
【図 3】



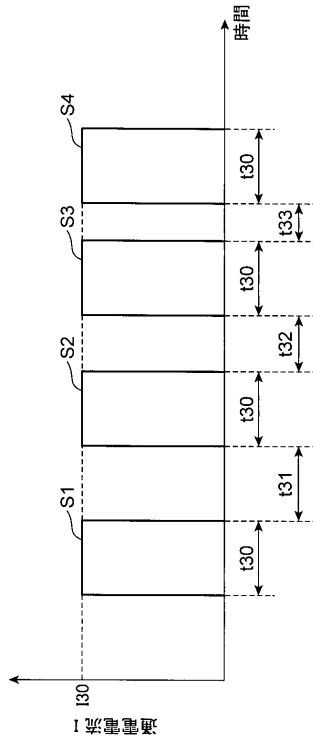
【図 4】



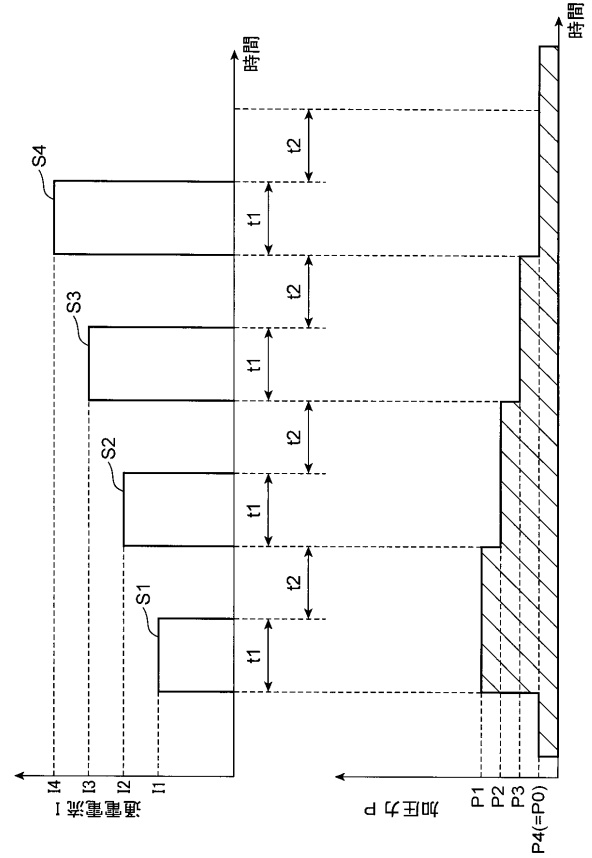
【図 5】



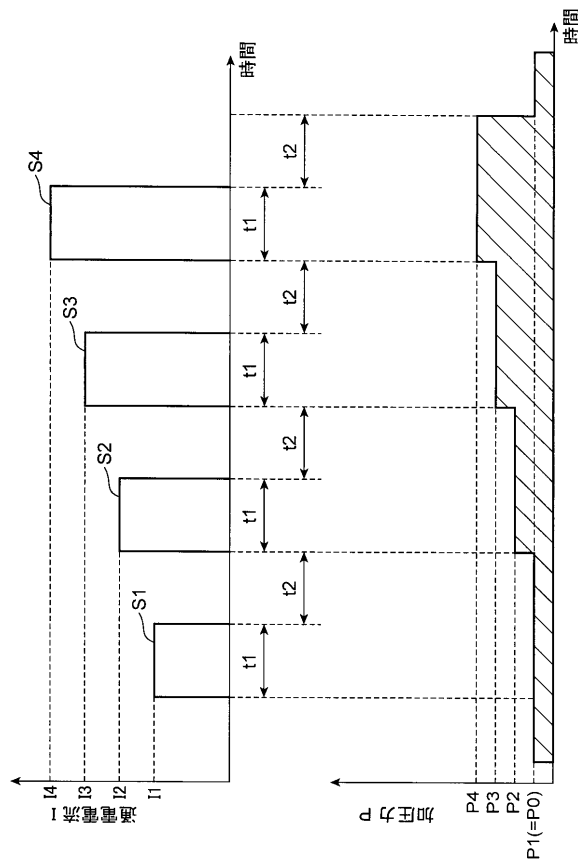
【図 6】



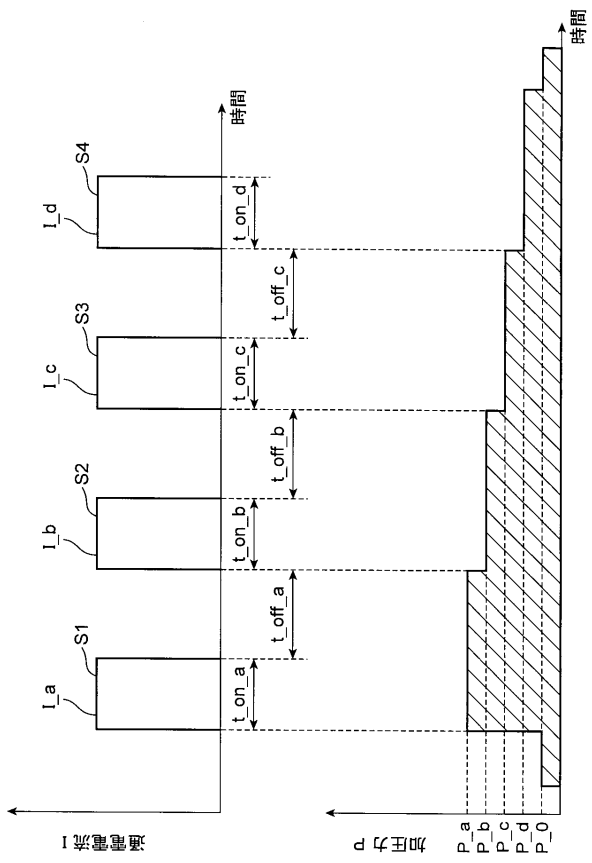
【図 7】



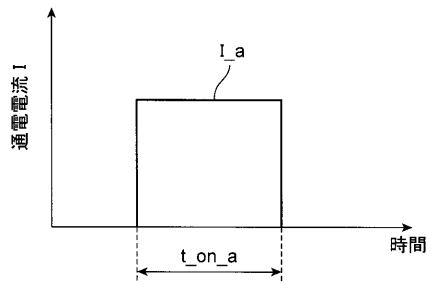
【図 8】



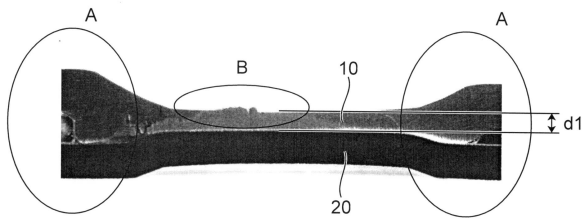
【図 9】



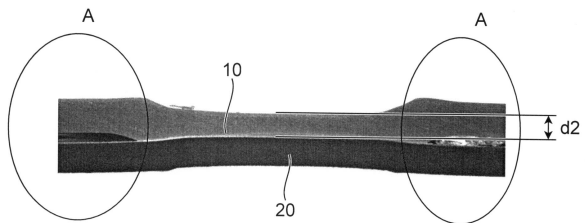
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

審査官 豊島 唯

- (56)参考文献 特開2002-210566 (JP, A)
特開2010-194609 (JP, A)
特開2011-088192 (JP, A)
特開2006-224150 (JP, A)
特開平07-303973 (JP, A)
特開平02-046981 (JP, A)
特開2012-152796 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B23K 11/11 - 11/25