

タングステン系材料の抵抗溶接電極への展開

向江 信悟

日本タングステン(株)

1 はじめに

抵抗溶接とは電極により被溶接物（ワーク）を加圧通電し、ワークの固有抵抗によりジュール熱を発生させ局部的に溶融させて接合する方法である。この接合方法は、様々な溶接手法の中で最も広く用いられている手法の1つであり、その用途も自動車関連部品や家電製品など幅広く利用されている。

ワークが鋼板などの鉄系材料の場合、鉄は比較的固有抵抗が高く自己発熱も大きく、抵抗溶接が容易であることから電極としてクロム銅などの銅合金材料が使用される。一方、固有抵抗が低く、熱伝導率が高い銅系材料の抵抗溶接ではワークの自己発熱が小さいので電極の発熱も必要であり、固有抵抗が高く高温特性に優れるタングステン系電極が使用される場合が多い。とくに自動車産業においてワイヤハーネスやモータの生産工程には銅系材料の抵抗溶接（ヒュージング）工程が多く、タングステン電極の需要が大きい。

また近年はZnめっき鋼板においてもめっきの合金化やクロムフリー化など多様化し、電極へ掛かる負荷も大きく、電極の変形やめっき成分との合金化により従来よりも電極が短寿命となるケースが増えている。こういったケースでもタングステン系材料が電極の長寿命化に貢献している。

繰り返し加圧、通電を行う抵抗溶接において電極は消耗品であることから、安価でかつ寿命が長いことが求められる。当社は様々なワークに応じて最適な電極材を選定し、独自の製法によりコストパフォーマンスに優れた電極を提供している。

2 タングステン系電極について

抵抗溶接電極におけるタングステン系電極の主なメリットとしては、優れた高温硬さ、他の金属成分と反応しにくいという2点が挙げられる。溶接時の電極温度領域において、銅合金と比べて高温硬さに優れるタングステン系電極は打点数を重ねても電極形状の変形が少なく、電流密度が維持される。また、タングステンは他の金属と合金化しにくいことから、ワークとの溶着や合金層形成が抑えられる。これら特性から、タングステン系電極はワークが低抵抗で高熱伝導な銅系材料など溶接条件が厳しくなる場合に最適な電極材料となる。当社でラインナップしている主なタングステン系電極材料を以下に示す。

2.1 タングステン (W)

タングstenは高温硬さに優れ他の金属成分と合金化しにくいことから、ワークの自己発熱だけでなく電極材の発熱も利用する銅系材料の熱かしめ（ヒュージング）などに用いられる。ただし、高硬度であるが機械的、熱的な衝撃に弱く、クラックなどの消耗を生ずる。

2.2 モリブデン (Mo)

電気特性や他の金属成分との合金化しにくいといった特性はタングstenと同様であるが、硬さや加工性、酸化消耗性に違いがある。モリブデンはタングstenよりも低硬度であるが、機械的、熱的な衝撃にはタングstenよりも強く、タングsten電極のクラック対策として使用される場合がある。また、難削材であるタングstenと比べ加工性にも優れるため、複雑形状の場合は加工コストを考慮し、モリブデンが選定される場合もある。

ただし、耐酸化性についてはタングステンの方が優れている。これらを考慮し、電極の消耗形態や加工コストから電極材質の選定を行う。

2.3 銅タングステン (CuW)

銅とタングステンの複合材料であり、タングステンと銅合金との中間的な特性を持つ。適度な高温硬さと電気伝導率を有した材料であり、切削加工も可能である。組成30wt% Cu-70wt% Wの銅タングステンが一般的であるが、当社では10wt% Cu-90wt% Wから50wt% Cu-50wt% Wまでの材料ラインナップをそろえており、求められる特性に応じて材料を選定することが可能である。

2.4 銀タングステン (AgW)

銅タングステンと同様に、銀とタングステンの複合材料であるが、銀が鉄、ニッケルと合金化しにくいため、鉄、ニッケル系のワークに対して有効な電極材料である。

2.5 ヘビーアロイ

ヘビーアロイとはタングステンを主成分に少量のニッケルや銅、鉄で構成したタングステン基の焼結合金である。ヘビーアロイはタングステンを主成分としながら切削加工が可能な材料であり、ウェイト材、遮蔽材といった用途が一般的である。抵抗溶接電極の材料としてはタングステンや銅タングステンほど一般的ではないが、その電気抵抗の高さから特に電極の発熱が求められるような溶接案件で用いられる材料である。

3 台金との接合

繰り返して加圧と通電を繰り返す抵抗溶接電極は、積極的に冷却することが電極の長寿命化につながる。ま

た、タングステン系電極はクロム銅などの銅合金と比べてコスト高であることから、ワークと接触する部分のみタングステン系材料を用いる。これらの観点から、タングステン電極は、安価で熱伝導性に優れた銅合金と接合して使用する場合が多い。その接合法としてはろう付や圧入といった方法が一般的であるが、当社ではNDB法という独自の直接接合法を用いて冷却性能に優れた電極を提供している。

NDB法とはタングステン、モリブデン、銅タングステン電極に銅合金を直接溶融、凝固させ鑄込みのように直接接合させる方法である。NDB法はその製法から、従来のろう付品や圧入品と比べ接合面積率が高く冷却性能に優れており、電極の長寿命化に寄与する。NDB法とろう付の接合品質の違いを表1に示す。ろう付品にはろう材の接合層とろう隙が確認されるがNDB品は直接接合であることから接合層自体が介在せず、接合隙も見られない。この優れた接合品質により溶接時に発熱したタングステン部分の熱を素早く台金側に逃がし、タングステン部分の負荷を減らすことにより電極の長寿命化を実現する。

ユーザーでのNDB法による電極長寿命化事例を図1に示す。電極サイズが大きくなるほど溶接条件も厳しく、電極への負担も大きくなることから、NDB法の優

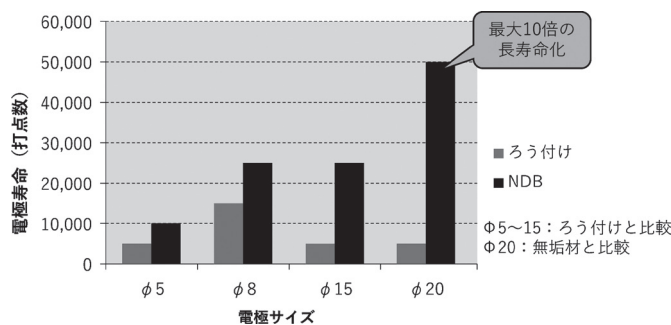


表1 接合品質比較

	ろう付	NDB法
特徴	・熱伝導性が低い ・ろう隙により接合品質が不安定	・熱伝導性が高い ・接合品質が安定している
接合面積率	60～80%	ほぼ100%
接合強度	98MPa以上	127MPa以上
接合断面		

れた冷却性能は比較的大きなサイズの電極で発揮される。今回、ろう付品との比較では最大5倍、無垢材との比較では約10倍の長寿命化が確認された。

4 新材料開発への取り組み（アルミ溶接用電極）

近年、自動車の軽量化の要求が高まっていることから、銅材料をアルミへ置き換えるケースが増えている。アルミは融点が低く、接合を阻害する安定な酸化被膜を形成することから抵抗溶接が非常に困難な材料であるが、市場では既存の抵抗溶接機を用いてアルミ材の接合工程を確立したいという声が多く聞かれる。

そこで当社ではアルミ材の抵抗溶接に特化した電極材料の開発に取り組んでおり、今回、現在開発中の新材料をご紹介します。

一般的なクロム銅電極ではアルミとの合金化による消耗が課題となっていることから、開発のコンセプトとしてはアルミとの濡れ性が悪い材料を用いて、アルミ溶接時の耐合金化性を高めることに重点を置いた。アルミとの濡れ性が悪い材料として「窒化チタン（TiN）」を選定し、ある程度の導電性を維持するためタングステン（W）との合金材料を検討した。試作品として体積比で75%のTiNを含有する25vol% W-75vol% TiN（以下

表2 各電極材質の物性値

材料	電気伝導率 (IACS%)	硬度 (HV)
W-75TiN	8	1150
タングステン	30	450
クロム銅	80	120

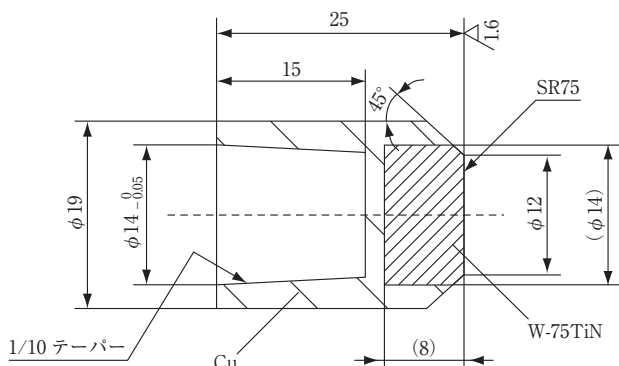


図2 W-75TiNの電極仕様

表3 溶接条件

	クロム銅	W-75TiN
電流値 (kA)	18, 19, 20, 21, 22	7, 8, 9, 10
加圧力 (kN)	2.0	1.5
通電時間 (cyc)	8	8

W-TiN)を製作し、その電気伝導度 (IACS%)と硬度 (HV)を表2に示す。既存の電極材料であるタングステンやクロム銅と比べると硬度は高いが、電気伝導度は低いことが分かる。

今回、このW-TiNを用いてアルミ溶接試験を行った。ワークは厚み0.8mmのアルミニウム合金A5052を用い、電極はW-TiNと比較材としてクロム銅でも試験を実施した。W-TiNの電極仕様を図2に示す。銅との接合品とし先端にW-TiNが埋設した構造とした。クロム銅電極は同サイズで一体物を使用し、溶接機は単相交流式のスポット溶接機を使用した。

表3に示す溶接条件でのワークの引張せん断試験および断面観察（ナゲット径、接合状態）を行った。クロム銅電極では電極表面にアルミとの合金を形成するものの溶接自体は可能であった。W-TiN電極では電極表面でアルミとの合金化は見られないものの、溶接電流の増加に伴い電極とアルミニウムの間で溶着が見られた。

4.1 せん断試験およびナゲット径測定結果

せん断引張試験結果を図3に示す。JIS Z 3140では、板厚0.8mmのA5052の場合、1.6kN以上の引張せん断力

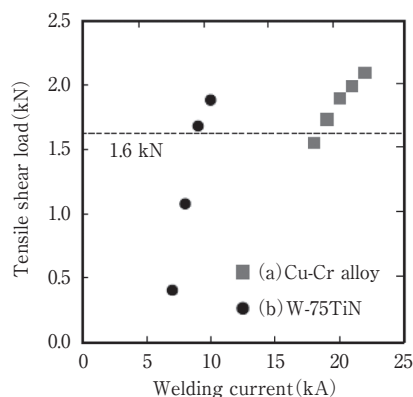


図3 せん断引張試験結果

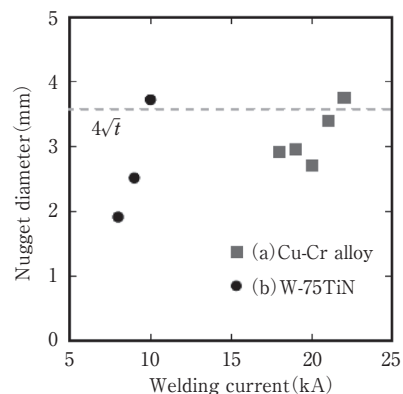


図4 ナゲット径測定結果

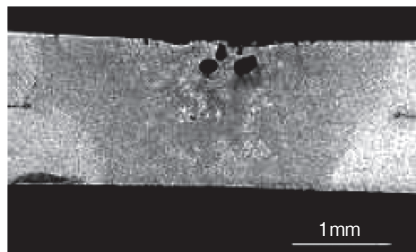


図5 ナゲット部断面写真 (W-TiN, 10kA)

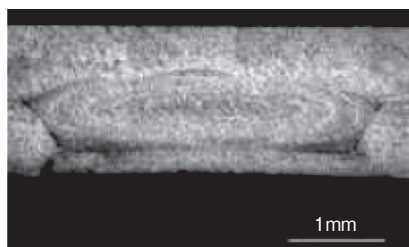


図6 ナゲット部断面写真 (クロム銅, 22kA)

をJIS A級の平均値として規定されている。クロム銅電極では19kA以上、W-TiN電極では9kA以上の溶接電流で1.6kN以上の引張せん断力が得られた。

ナゲット径の測定結果を図4に示す。ナゲット径の基準としては主に $4\sqrt{t}$ (t :板厚) が用いられており、W-TiN電極では10kA、クロム銅電極では22kAの溶接電流において、この値を上回ることができた。

4.2 ワーク断面観察

W-TiN電極による10kA、クロム銅電極による22kAで溶接を行ったワークのナゲット断面組織をそれぞれ図5, 6に示す。クロム銅電極で溶接を行った場合は、スポット溶接のナゲット形状として一般的な楕円状のナゲットが形成されている。一方、W-TiN電極で溶接した場合は、ワークの溶融領域が広く、表面まで溶融している。このことから、溶接の際にアルミニウムとW-TiN電極の間で生じた溶着は、アルミニウムの表面が溶融することによって生じたものと考えられる。W-TiN電極はクロム銅電極と比較して、高抵抗、低熱伝導であることから溶接後の溶接点での冷却性が悪く、アルミニウム表面での溶融に至ったと考えられる。

4.3 まとめ

W-TiN電極およびクロム銅電極を用いて、板厚0.8mmのアルミニウム合金A5052のスポット溶接を行い、各電極の溶接性を比較した。W-TiN電極ではクロム銅電極より低い溶接電流で同等の引張せん断力およびナゲット径が得られ、定格電流の小さい溶接機でのアルミ溶接も



「抵抗溶接電極ガイドブック」

期待できる。しかし、高い電流域では電極とアルミとの合金化は見られないもののアルミ溶融による溶着が課題であり、今後は電極材料の抵抗と熱伝導性のバランス改善をテーマとして材料開発を継続する。

5 おわりに

タングステン系の抵抗溶接電極はすべてのワーク材質に有効というわけではなく、銅など低抵抗で高熱伝導材がワークの場合に最適である。さらに適切な電極材質選定や台金との直接接合 (NDB法) により接合品質やショットサイクルの向上、電極の長寿命化が期待できる。

当社ではこれらタングステン系抵抗溶接電極に関するノウハウを多数網羅した「抵抗溶接電極ガイドブック」を発行した。初版発行以来、顧客からいただいた意見、要望を反映した第2版を昨年発行しており、下記に内容の一部を紹介する。

- ◆各タングステン系材料のラインアップとその特徴, 用途例
 - ◆推奨電極材料及びトラブルシューティング (お困りマップ, 不具合特性要因図)
 - ◆当社独自の接合方法 (NDB法) による電極の長寿命化やその他メリット
 - ◆電池生産ライン向け: Niと反応しにくい電極材料
 - ◆電極設計の参考データ: 電極寸法と発熱量の関係
 - ◆その他参考データ: 電極材料の常温硬さと電気伝導度 (IACS%) の関係, 高温硬さなど
- *このガイドブックは無料でお届けします。当社HPよりお申し込みください。