

高速・高強度異材接合法による リチウムイオンバッテリー用電極端子

ファインネクス株式会社

代表取締役社長 松田 竜彦

富山県産業技術研究開発センター

所長 高林 外広

ファインネクス(株) 企画開発部 部長

北嶋 一郎

ファインネクス(株) 圧造設計部 主査

江尻 雄一

ファインネクス(株) 圧造設計部 主任

段 一輝

富山県産業技術研究開発センター ものづくり研究開発センター 課長 山岸 英樹

はじめに

モビリティの電動化が急速に進む中、コアとなるリチウムイオンバッテリー(LIB)では通常正極端子にAl、負極端子にCuが用いられる。

従って、LIBセルの直列接続ではCu/Al異材接合が必要になるが、この材種の組合せでは脆弱な金属間化合物(IMC)が容易に形成するため、実用的な溶接ができない(IMCの厚みがわずか1~2 μm 程度であってもIMCにき裂や空孔が生じ接合強度が大きく低下することが知られている)。

このため、これらの電極端子の接続には一般に高価なCu/Alクラッドバスバーが用いられるが、コスト低減、さらに電気部品としての機能性・信頼性向上のため、Cu負極端子をAlトップ化、軽くて安いAlバスバーで接続可能なCu/Al複合電極端子の市場ニーズが強く高まっている(図1)。

本開発では、富山県産業技術研究開発センターが近年開発、IMCを脆弱性の目安となる1 μm よりも十分薄く抑え込み実質IMCフリー化する固相接合技術(低温鍛接(CFW)法)(図2)をファインネクス(株)が長年培ってきた高精

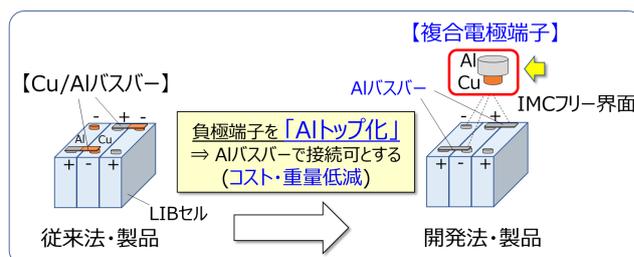


図1 LIBに求められるCu負極端子のAlトップ化

度複動金型技術と組み合わせることで、従来の高価なCu/Alバスバーを不要にする次世代の複合電極端子を開発した。

開発のねらい

現在LIB電極端子には、一般にその接続が同材種で溶接可能となる異材接合されたCu/Alバスバーが用いられている。また最近ではCu/Alクラッド端子も一部で用いられている。しかしながら、これらはいずれも「クラッド+熱処理+プレス加工」によるものであり、材質およびその製造工程から高コストで、また接合品質も優れたものとは言えない。

低温鍛接法を接合基盤原理とし、界面に接合強度また電気特性に優れる欠陥の無い冶金的に

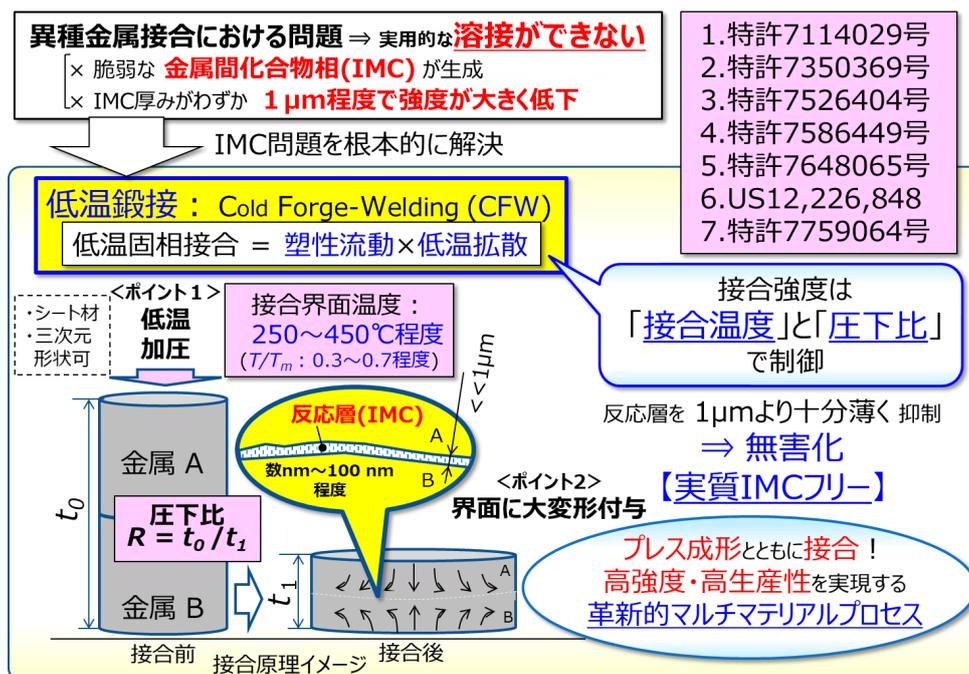


図2 本開発技術の基盤技術となった低温鍛接法

適切なナノメートルオーダーの拡散反応層を形成、電極部品として性能、耐久性の高い複合電極端子をハイスループット・低コストで製造する金型、自動機を開発した。

装置の概要

低温鍛接法を接合原理とし、複合電極端子を製造するためには被接合材を加熱、接合温度を保ったまま端子成形・接合を同時に行う必要がある。本装置ではそれらを一連のラインの中で高速かつ高精度で実現した。図3に本装置外観を示す。



図3 装置外観

Cu、Al部材を投入すると、梱包まで完了した状態で複合電極端子がアウトプットされる設備となっており省人化およびワンストップなライ

ンとなっている。ラインの中には検査工程もあり規格や加工条件等を常時監視しているため、合格品だけが自動梱包される。これら仕様により全自動で無人運転が可能となっている。

接合と成形を同時に行っている設備により、工程数も1工程のみとなっており、設備もCu/Alバスバーやクラッド端子設備と比べると非常にコンパクトなサイズとなっている。

技術上の特徴

図4に本開発技術の概要として、Cu部材とAl部材を低温鍛接法により冶金的に異材接合するための熱間成形技術イメージを示す。

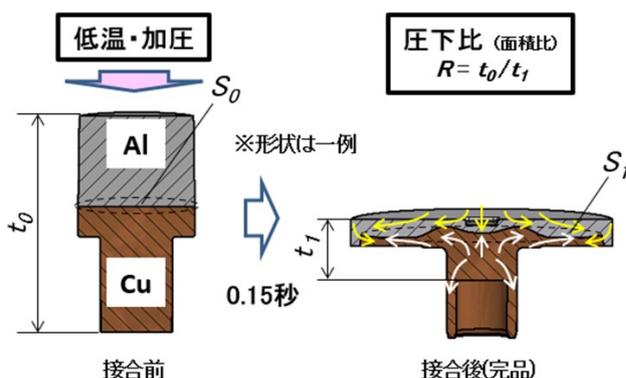


図4 低温鍛接法による熱間成形技術イメージ

接合界面の IMC 厚をナノオーダーに薄くするためには低温での拡散が必要である。しかしながら低温であると通常の金属表面では有効な拡散反応が困難である上、処理時間も非常に長くなる。本開発技術は、加圧前後の接合面の大変形により、拡散の障害となる酸化被膜の影響を限りなく小さくし、低温(約 300°C)かつ短時間(加圧 0.15 秒)でも効率的に拡散反応できるようにした(高 cleanliness 界面の創生)。これにより、IMC 厚みを 1 μm よりも十分に薄く抑え、高速・高強度異材接合を実現している。

Cu と Al の組合せは、熱間での機械的性質の差が大きく、各材の塑性流動のコントロールが難しいが、成形後の製品形状(精度)を考慮した接合前部材の形状設計、複動金型および最適な低温鍛接技術(接合温度および適切な圧下比)を蓄積することで当該技術・製品の開発を実現した。以下に本開発技術により創生された端子の特徴を示す。

開発した複合電極端子の一例について図5に外観およびその断面マクロ写真を示す。高い寸法精度とともに内部にはワレや隙間が無い冶金的一体化を実現した。

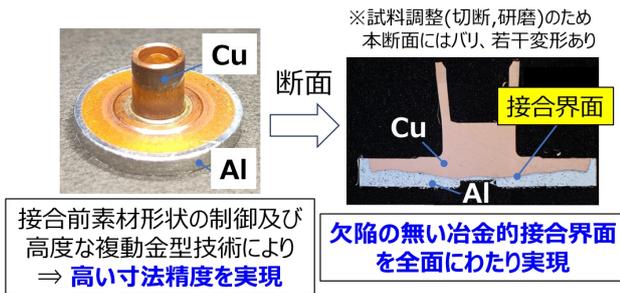


図5 複合電極端子の外観および断面マクロ

図6に左から本接合界面の電子線マイクロアナライザー(EPMA)による化学成分の線分析と面分析結果さらに透過型電子顕微鏡(TEM)を用いた接合界面の高倍率観察像(明視野像)を示す。接合界面の酸素信号強度は EPMA で検出できるレベル以下となっており非常にクリーンな接合界面であることが分かる。また TEM 像より、

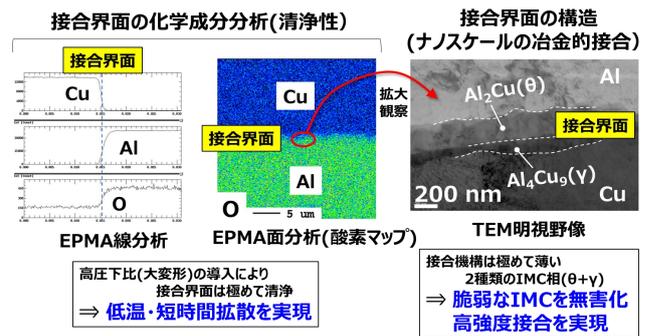


図6 接合界面のEPMA分析およびTEM観察

低温において一瞬で接合された界面には、層状の IMC から成る冶金的接合機構が確認できる(ナノスケールで実質 IMC フリー)。IMC は一般に電気抵抗が悪いと言われる(Cu-Al 系 IMC の抵抗率は Al の 5 ~ 6 倍程度大きいとの論文報告)。当該反応層は非常に薄く、またボイドやワレ等の欠陥も無い。BEV 用には大電流化が求められるため、本接合技術の界面は電気機能部品としても優れたものと理解できる。

本開発法による複合電極端子の疲労強度特性を図7に示す。小さな端子のため、治具との接続をアクリル系接着剤等で行ったが、いずれの負荷でも Cu と Al の接合部で破壊は生じなかった。本製品形状のメーカー静的強度規格(一発破壊強度)は 0.4kN であるが、その 2 倍の負荷を 1,000 万

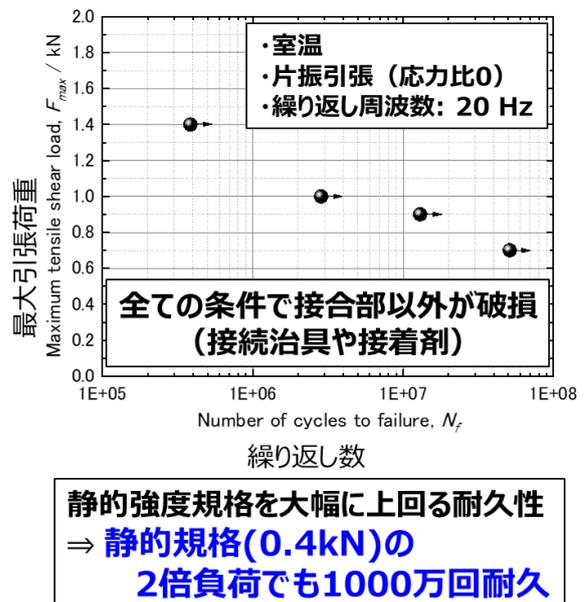


図7 複合電極端子の疲労強度特性

回繰り返しかけても接合部は破壊しない。本製品は優れた接合界面により、疲労においても極めて高強度であることが証明できている。

実用上の効果

本開発技術(製品)は、従来品(クラッド+熱処理+プレス加工)の多工程製造方法と異なり、接合と成形をプレス加工1回、一瞬で完品にするため省エネかつ低コストである(図8)。本開発技術(製品)の概算単価は、クラッドバスバーに対して約1/10、クラッド端子に対して約1/2であり、性能面のみならず価格競争力においても破壊的に優れている。またCuとAl素材形状も切削では無く冷間圧造で成形するため、材料を100%使い切り、捨てる場所が無い(従来品はプレス加工で打ち抜いているため無駄が生じる)。モビリティ1台当たりでみても当該電極端子が数十個から100個程度用いられるため、全世界的な需要においては環境負荷の高い従来品に対してSDGsへの貢献も大きくなる。

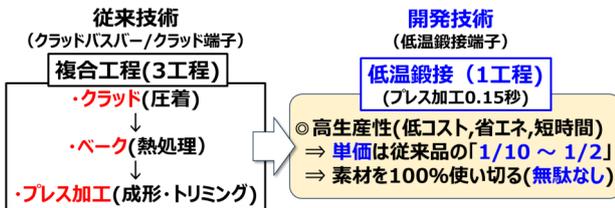


図8 本開発技術の経済性・環境配慮性における利点

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

① 日本国特許第7114029号

名称: 金属接合方法

概要: 異種金属を高速で高強度に固相接合可能とする低温鍛接法の基本特許

② 日本国特許第7526404号

名称: 金属材料の接合方法

概要: 異種金属を高速で高強度に固相接合可能とする低温鍛接法のスポット版(スポット鍛接)の基本特許

③ 米国特許 12,226,848

名称: Method for joining metal materials and controlling bonding quality thereof

概要: スポット鍛接法の米国特許

④ 日本国特許第7759064号

名称: 複合電極端子の製造方法

概要: 低温鍛接法を用いた銅とアルミニウムから成る異材電極端子の製造方法および製品特許

むすび

従来製品を凌駕する高品質かつ高生産性なりチウムイオンバッテリー負極用の複合電極端子を開発した。「低温鍛接法」を用いた世界初の革新的なマルチマテリアル製品である。圧造製品で蓄積してきた高精度複動金型技術により量産化技術・自動化ラインを確立、プレス加工による革新的複合化技術として新たな基盤技術分野を拓くことができた。

今後も様々な分野・用途で生産性の高い高機能マルチマテリアル製品を次々と創出し、社会課題の解決に貢献していきたい。