



HU000034600T2

(19) **HU**(11) Lajstromszám: **E 034 600**(13) **T2****MAGYARORSZÁG**  
Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala**EURÓPAI SZABADALOM**  
**SZÖVEGÉNEK FORDÍTÁSA**

- (21) Magyar ügyszám: **E 15 001164**
- (22) A bejelentés napja: **2015. 04. 21.**
- (96) Az európai bejelentés bejelentési száma:  
**EP 20150001164**
- (97) Az európai bejelentés közzétételi adatai:  
**EP 2995414 A1**                      **2016. 03. 16.**
- (97) Az európai szabadalom megadásának meghirdetési adatai:  
**EP 2995414 B1**                      **2017. 07. 05.**
- (51) Int. Cl.: **B23K 26/323**                      (2006.01)  
**B23K103/12**                      (2006.01)  
**B23K103/10**                      (2006.01)  
**B23K 26/244**                      (2006.01)

- |   |  |
|---|--|
| (30) Elsőbbségi adatok:<br><b>102014110777</b> <b>2014. 07. 30.</b> <b>DE</b>   | (73) Jogosult(ak):<br><b>Karlsruher Institut für Technologie, 76131 Karlsruhe (DE)</b> |
| (72) Feltalálók(k):<br><b>Gietzelt, Thomas, 76137 Karlsruhe (DE)</b><br><b>Eichhorn, Lutz, 76706 Dettenheim (DE)</b><br><b>Wunsch, Torsten, 76356 Weingarten (DE)</b> | (74) Képviselő:<br><b>Advopatent Szabadalmi és Védjegy Iroda, Budapest</b>             |

- (54) **Anyagzáró kötés alumínium és réz között, továbbá eljárás ennek létrehozására**

Az európai szabadalom ellen, megadásának az Európai Szabadalmi Közlönyben való meghirdetésétől számított kilenc hónapon belül, felszólalást lehet benyújtani az Európai Szabadalmi Hivatalnál. (Európai Szabadalmi Egyezmény 99. cikk(1))

A fordítást a szabadalmas az 1995. évi XXXIII. törvény 84/H. §-a szerint nyújtotta be. A fordítás tartalmi helyességét a Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala nem vizsgálta.

## ANYAGZÁRÓ KÖTÉS ALUMÍNIUM ÉS RÉZ KÖZÖTT, TOVÁBBÁ ELJÁRÁS ENNEK LÉTREHOZÁSÁRA

A jelen találmány tárgya az első igénypont szerinti anyagzáró kötés alumínium és réz között, valamint a hatodik igénypont szerinti eljárás ennek létrehozására.

A réz és az alumínium jó villamos vezetők, és ezért villamos vezetékek, valamint villamos összeköttetések létesítése tekintetében különösen érdekesek. A két fém jellemző tulajdonságai, továbbá alkalmazhatóságuk és előnyeik eltérőek. A réz például nehezebb és drágább az alumíniumnál, termikus és vegyi ellenálló-képessége viszont jobb, ezért az olyan alkalmazásoknál, amelyeknél nagyobb mennyiségben kell felhasználni ezeket a fémeket, például az erősáramú alkalmazásoknál, párhuzamosan kerül felhasználásra a két fém.

Az említett fém párosítás egy különleges alkalmazási területét képezik az elektrokémiai tárolórendszerek, különösen a lítium-ion-akkumulátorok. Ezeknél például az egyes lítium-ion cellák alumíniumból készült kivezetéseit rézből készült elvezető sínekhez kell tartós kötéssel csatlakoztatni.

Az alumínium és a réz azonban nem egyesíthető anyagzáró módon minden további nélkül. Gondot okoz mindeneke előtt az alumínium felületén alumíniumoxidból spontán módon kialakuló igen ellenálló és csak nehezen megolvasztható passzív réteg, amely eltávolítás után ismét spontán módon létrejön. Ez a titánnal és a titán-oxiddal ellentétben nem oldható, így egyrészt jó korrózióállóságot biztosít az alumíniumötvözetek számára, másrészt viszont hegesztés alkalmával kötési nehézségeket okoz és átmeneti ellenállást képez.

Ezen túlmenően nagy eltérés mutatkozik a hőtágulási jellemzők és az olvadási hőmérséklet tekintetében, továbbá abban a vonatkozásban, hogy mennyire hajlamosak ezek a fémek szilárd oldatok és fémközi fázisok képződésére réz/alumínium rendszerben, illetőleg eltérő mechanikai, villamos és termikus

jellemzők létrejötte tekintetében, ami jelentős mértékben elősegíti mechanikai feszültségek és helyi villamos ellenállások kialakulását az anyagzáró kötésben.

A szokásos megoldások ezért különösen alakzáró, illetőleg erőzáró kötések, például plasztikus deformáción alapuló kötések, összesajtolásos kötések vagy csavaros kötések alkalmaznak.

Ettől függetlenül léteznek azonban réz és alumínium közötti anyagzáró kötések, valamint eljárások ezek létrehozására. Ezek a megoldási javaslatok általában ultrahang vagy ponthegeesztés segítségével létrehozott kontakt kötések alkalmaznak.

Különösen az alumínium vezetékek összekötése nincs kielégítő módon megoldva. Az ultrahangos hegesztéssel történő összekötés a hegesztés által nem érintett tartományhoz vezető átmenetnél besüléseket és töréseket eredményezhet. A passzív réteg méretétől függően ingadozhat a villamosan vezető kötés minősége.

Az [1] nyomtatvány például eljárást ismertet alumínium-réz kötések lézeres hegesztéssel történő létrehozására. Ennél a megoldásnál hegesztés előtt segédanyagot, előnyösen nikkelt vagy ezüstöt, alternatívaként ónt vagy cinket visznek be az egyesítendő réz vagy alumínium felületek közé, célszerűen fólia vagy bevonóréteg formájában. A segédanyag a hegesztés során dúsított olvadákként működik az összeillesztendő felületek között, és egyrészt mindkét felület irányában megnövelt oldhatóságot biztosít, másrészt megakadályozza a felületek közvetlen érintkezését, ugyanakkor csökkenti a fémközi fázisok képződésének lehetőségét.

Ez a megoldás nem megbízható olyan esetekben, amikor egy viszonylag masszív, több mm (például 2 - 5 mm) vastagságú rézsín és egy lítium-ion akkumulátor vékony, 0,1 és 0,5 mm közötti vastagságú alumínium kivezetése között kell hegesztett kötést létrehozni. Az alumínium a 660 °C körüli

olvadáspontjával a leghamarabb olvadó fémek közé tartozik, ugyanakkor igen nagy az affinitása az oxigén irányában. Ezért a felületén erősen tapadó passzív  $\text{Al}_2\text{O}_3$  réteg alakul ki, amelynek olvadási hőmérséklete  $T_3 = 2050 \text{ }^\circ\text{C}$ . Amikor lézersugár éri felülről a vékony alumíniumréteget, ez megolvad. Az alumíniumrétegben azonnal lyukak keletkeznek az alumíniumból készült vezető csekély vastagsága, a passzív réteg felületi feszültségei következtében, valamint abból kifolyólag, hogy az alumínium olvadási hőmérséklete lényegesen alacsonyabb a réz olvadási hőmérsékleténél ( $T_3 = 1083 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Ezért a szokványos eljárással nem hozható létre jó minőségű, reprodukálható villamos összeköttetés.

A lézeres hegesztésnek jó villamos és termikus vezetőképességgel rendelkező anyagok hegesztésére történő alkalmazásánál további problémát jelent, hogy - amint azt már az [1] nyomtatvány is leírja - ezek az anyagok, különösen a réz, a lézersugár-források infravörös tartományba eső hullámhosszainál nagy mértékben reflektálnak, és csak kis mértékben abszorbeálnak. Következésképpen a hegesztésnél nagy lézere energiát kell bevinni, ami a felületi inhomogenitások és a hegesztendő felületek ebből eredő eltérő abszorpciós viszonyai miatt igen hamar helyi túlmelegedésekhez vezet. A réz esetében azzal a különlegességgel is számolni kell, hogy az abszorpcióképesség hőmérsékletfüggő, illetőleg az olvadékba való átmenetnél igen erősen emelkedik.

Lítium-ion akkumulátorok alumíniumból készült kivezetéseinek csatlakoztatásánál az energiabevitel mértékét erősen korlátozni kell, mivel ezek a kivezetések csak néhány centiméterre állnak ki a lítium-ion akkumulátorból. A cellába való átmenetnél a lítium-ion cella belső terét a környezet felé leárnyékoló és oxidáció ellen védő vákuum-tömör lezárás polimer anyagból készült varrata található. Ez a lezárási hely legfeljebb  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékletet visel el, és azt is csak rövid ideig, hogy megmaradjon a vákuumtömörtség.

A JP-A-2010075967 jelű nyomtatvány Cu-Al-nemesfém rétegezett kötést ismertet. Az EP-A-1779962 jelű nyomtatvány lézeres ponthegeesztéssel létrehozott Cu-Al rétegezett kötést mutat be. A WO-A-2005/082569 jelű nyomtatvány lézeres ponthegeesztéssel létrehozott Cu-Ni-Al rétegezett kötést ismertet. Ezekből kiindulva a jelen találmány feladata erős (anyagzáró) és repedésmentes kötés létrehozása különböző kivezetésanyagok között, különösen Li-ion akkumulátor-rendszerek alumíniumból készült kivezetései és rézből készült áramvezető sínjei között.

A találmány feladata továbbá olyan eljárás biztosítása az említett kötés létrehozására, amely igen nagy sebességű hegesztést tesz lehetővé, ugyanakkor a különféle alkalmazásoknál szükséges hegesztési keresztmetszetek és a hőmérsékletre érzékeny tartományoktól való távolság tekintetében nagy szabadságot biztosít. A feladat megoldását egyrészt az 1. igénypont jellemzői által meghatározott, alumínium és réz között létrehozott anyagzáró kötés, másrészt a 6. igénypont jellemzői által meghatározott eljárás képezi. Az aligénypontok előnyös megvalósítási módokat határoznak meg.

A feladat megoldásaképpen olyan anyagzáró kötést javasolunk alumínium és réz között, amely rézelemből, alumíniumrétegből - előnyösen alumíniumlemezből - továbbá egy erre felfekvő rézrétegből - előnyösen az alumíniumrétegre felvitt fóliából vagy bevonórétegből (pl. részecskeszórásból) áll.

Az említett felfekvő rézréteg egy lehetséges megvalósítási mód esetében nikkelezve van. A rézrétegnek nikkellel való bevonása - előnyösen 1-30  $\mu\text{m}$  közötti rétegvastagság mellett - arra szolgál, hogy az olvadákfürdő ötvözet-összetételét egy ternár ötvözet képzésével befolyásoljuk, ahol a nikkellel részaránya az említett rétegvastagsággal szabályozható. A nikkellel bevont réz az ilyen bevonat nélküli réz esetéhez képest jelentős mértékben javítja a szilárdtest-

lézersugárzás becsatolását és ezáltal az abszorpciós-reflexiós viszonyokat.

A kitűzött feladat megoldására szolgál továbbá egy eljárás az említett anyagzáró kötés létrehozására alumínium és réz között. Ezen eljárás keretében előkészítjük a hegesztendő komponenseket, például egy rézből készült elemet, egy alumíniumréteget és egy rézréteget, amelyekből az említett sorrendben összetett rakatot képezünk. Ezt a rézelem, az alumíniumréteg és rézréteg hőforrás hatása alatt történő lokális összehegesztése követi, a rézrétegen és az alumíniumrétegen át a rézelemig terjedő hegesztési varrat kialakításával, ahol a hőforrás a rézrétegre hat. A hőforrás behatása és a hegesztési folyamat előnyösen védőgáz-atmoszféra célszerűen argongáz vagy nitrogéngáz alatt megy végbe.

A lokális összehegesztés a hőforrás behatási tartományára terjed ki a rézrétegen és az alatt. Ponthegesztés esetében pontszerű behatás és összehegesztés megy végbe. A lokális összehegesztés előnyösen a hőforrásnak a rézrétegre egy hegesztési vonal (hegesztési irány) mentén gyakorolt sorozatos behatása útján valósul meg, ahol az összetett rakaton átmenő hegesztési varrat ezen hegesztési vonal mentén alakul ki. Továbbá előnyösen bekövetkezik a hegesztési varrat megvastagodása azáltal, hogy a hőforrás a rézréteghez képest nem csak egy vonal mentén lesz mozgatva és/vagy sorosan pozicionálva, hanem a hőforrás kitérítésével a hegesztési irányra merőlegesen is végbemegy a mozgatás. A hegesztési vonal előnyösen ciklikusan (célszerűen szinuszgörbe szerint vagy cikk-cakkban) lesz kitérítve egy középvonalhoz képest. Az említett kitérítés frekvenciája változtatható, ami viszont a hőforrás behatásának időtartama és a hegesztési varrat mélysége közötti összefüggés kihasználásával a hegesztési varrat hegesztési mélységének megválasztására használható ki. Az említett kitérítés amplitúdója továbbá meghatározza a

hegesztési varrat oldalirányú kiterjedését a rézrétegen és a rétegezett szerkezetben.

A felfekvő rézréteg, illetőleg a fólia előnyösen 0,1 és 5 mm közötti, még előnyösebben 0,2 és 1,0 mm közötti vastagságú. Az alacsony hőmérsékleten megolvadó alumíniumréteget mindkét oldalról egy lényegesen magasabb hőmérsékleten megolvadó rézréteg határolja. Ez egyrészt lehetővé teszi a jobb hőeloszlást és hőelterelést különösen a felső rézréteg esetében, és ezáltal csökkenti az alumíniumréteg anyagi kórtást kiváltó szelektív túlmelegedésének valószínűségét, ugyanakkor a lezáró rézréteg gázzáró közegként megakadályozza az oxigén vagy egyéb gázok beáramlását, és ezáltal az alumíniumréteg oxidálódását vagy más módon bekövetkező minőségromlását. Következésképpen különösen az alumíniumban hatékonyan csökkentjük a lokális túlmelegedésből, oxidációból vagy egyéb károsodásból eredő lyukképződés veszélyét, ugyanakkor erős anyagzáró kórtást hozunk létre a rézből, illetőleg alumíniumból készült elemek között.

Az anyagzáró kórtás létrehozás előnyösen hegesztési eljárás, még előnyösebben érintkezés nélküli lézeres hegesztési eljárás alkalmazásával történik. Előnyösen 1 kW-nál nagyobb teljesítményű kör- vagy sugárlézert alkalmazunk.

Ismert, hogy a pl. 1,06  $\mu\text{m}$  hullámhosszal jellemzett szilárdtestlézerek lézersugarai szobahőmérsékleten 95 %-ban visszaverődnek a rézről. A rézről való visszaverődés emellett erősen hőmérsékletfüggő. Magas hőmérsékleten és rézolvadékban a szilárdtestlézer energiájának becsatolása drámai mértékben felerősödik. Ezért a lézersugárral közvetlenül besugárzott rézréteget előnyösen nikkellel vagy krómmal vonjuk be, ami mérsékeli a becsatolási problémákat.

A lézersugárnak közvetlenül kitett rézrétegre vagyis az alumíniumrétegtől távolabbi felületre felvitt, előnyösen nikkellel vagy adott esetben krómból, ezüstből vagy aranyból kialakított réteg a hőbecsatolás szempontjából kedvező

abszorpciós rész javára csökkenti a reflexiós részt. Ez a kiegészítőleges réteg előnyösen anyagzáró réteget alkot a rézrétegen (előnyösen oldatból történő galvanikus vagy árammentes leválasztás, továbbá rápárolgztatás vagy más alkalmas módszer, adott esetben vastagfilm-technika alkalmazásával), ami azt eredményezi, hogy az abszorbeált lézersugárzás hő formájában közvetlenül továbbvezetődik a rézrétegbe. Egy alternatív változat esetében a kiegészítőleges réteget fólia formájában visszük fel (azaz nincs vagy csak közvetett anyagzáró kötés van, amely például kötőanyagokon, például forraszanyagon vagy tapadásközvetítő rétegen, adott esetben szerves anyagú rétegeken keresztül, például ragasztóanyagok útján van megvalósítva), ami ugyan megnöveli a lézersugárzás abszorpciós hányadát és ezáltal a hőképződést a rétegezett szerkezetben, viszont csökkenti azaz rontja az említett hőnek sugárzott hő formájában történő továbbvezetését és/vagy a hőnek a közvetlen felfekvési felületekre történő átadását.

A kiegészítőleges réteg arra szolgál, hogy a beeső lézersugárzásnak a rétegfelületre merőleges irányhoz viszonyítva előnyösen  $2$  és  $10^\circ$ , különösen előnyösen  $3$  és  $5^\circ$  közötti hajlásszöge mellett elkerüljük a lézersugárzás visszaverődését és ezáltal például a fényvezető szálak, különösen a szilárdtest lézerek fényvezető szálainak károsodását.

A hegesztés folyamatos hegesztés esetében előnyösen  $0,1$  és  $10$  m/s, különösen előnyösen  $1$  és  $5$  m/s hegesztési előtolási sebesség mellett megy végbe, a lézersugárnak a hegesztési irányra merőleges kitérítése előnyösen  $20$  és  $1000$  Hz közötti, különösen előnyösen  $100$  és  $500$  Hz közötti frekvenciával történik. A lézersugárnak a hegesztési vonal mentén történő vezetése, továbbá ennek a középvonalhoz képest történő kitérítése kiegészítőleges berendezések segítségével történik,

például a szkennerek tükörrendszereihez hasonló megoldások alkalmazásával.

Nagy áramterhelésű villamos érintkezési helyeknél, például Li-ion akkumulátorok áramvezető hegesztett összeköttetéseinél megfelelő csatlakozási keresztmetszetek biztosíthatók, ha a lézersugarat a hegesztési irányra merőlegesen kitérítjük, miáltal széles hegesztési varrat jön létre.

Ha túl nagy kitérítési frekvenciát és túl nagy hegesztési sebességet alkalmazunk, csökken az anyagrétegek lokálisan behatárolt megolvasztásának feltételét képező hegesztéshez szükséges hőbevitel mennyisége.

A felhevitési hőmérséklet és a bevitt hőmennyiség aránya különösen magas, ha a hőbevitelt nagy energiasűrűséggel de csak rövid ideig és helyileg erősen behatárolt módon hajtjuk végre. Itt azt az összefüggést használjuk ki, hogy a rétegezett szerkezetnek az olvadási hőmérséklet fölé történő gyors felhevitése esetén a besugárzott tartomány még azt megelőzően megolvad, hogy hőelvezetés lépne fel a környezet irányában. Ha a rövid ideig tartó hőbevitel mellett a megolvadást követően azonnali lehűtést alkalmazunk, a bevitt hőmennyiséget a hegesztési varrat megszilárdulásakor fellépő fázisátmenet veszi fel. Ez alapvetően csökkenti a hegesztés környezetének termikus terhelését. Ennek az a feltétele, hogy 10 és 200  $\mu\text{m}$  közötti, tipikusan 100 vagy 50  $\mu\text{m}$  alatti vagy még kisebb átmérőjű vékony fényvezető szálakat alkalmazzunk a sugárlézereknél. A fényvezető szálak átmérőjének kisebbnek kell lennie az elérendő hegesztési mélységnél, hogy a varrat tartományának termikus terhelését alacsony értéken tudjuk tartani, és a hegesztési mélységet csekély vastagságú rétegezett szerkezet esetében egzakt módon szabályozni tudjuk. Igen vékony, több rétegből felépített hegesztési varratok esetében tehát 100  $\mu\text{m}$  alatti átmérőjű fényvezető szálak alkalmazása ajánlott.

Ily módon a hegesztési varratok előnyösen közelebb kerülhetnek a hőmérsékletre érzékeny alkatrészekhez, például a polimer anyagú vákuumtömör lezárással ellátott akkumulátorcellák, különösen Li-ion akkumulátorok esetében.

Egy lehetséges megvalósítási mód esetében az említett kitérítési frekvenciák és hegesztési sebességek mellett impulzusszerűen alkalmazzuk a lézersugárzást, éspedig vagy impulzusszerűen működtetett lézer segítségével vagy eltérítő és/vagy leárnyékoló eszközök, például tükrök és/vagy fényrekeszek igénybevételével. Ezzel a pulzálással különösen a ponthegesztés optimalizálható az említett módon, éspedig a hevítési hőmérséklet és a bevitt hőmennyiség említett arányának megnövelésével. Az ilyen, nagy energiával történő rövid idejű besugárzással a szövetszerkezet, különösen az ötvözetképződés és általában a szövetszerkezet felépítése és speciálisan a szemcsenagyság is optimalizálható.

A lézeres hegesztés erős kötés létrehozását teszi lehetővé a legkülönfélébb fémkombinációk esetében anélkül, hogy alakzáró kötést, például csavarozást kellene alkalmazni. A mindenkori anyagkombinációtól, olvadási hőmérséklettől és hővezető-képességtől függően eltérő lehet a hegesztési pontra fókuszált lézersugarak, előnyösen az egyetlen lézersugár energiasűrűsége.

Az itt ismertetett találmány megoldást kínál a vékony, elsősorban az alumíniumból készült, például a Li-ion akkumulátoroknál alkalmazott kivezetőelemek rézből készült masszív áramvezető sinekkel történő összekötésénél felmerülő problémákra azokban az esetekben, amikor nagy feszültséget vagy áramerősséget biztosító Li-ion akkumulátor-rendszereket kell kialakítani. A vezető összeköttetések az elvből adódóan az említett két különböző anyag (alumínium és réz) között jönnek létre, és az utóbbi előnyösen nikkelezve van. A Li-ion cellák ezen kötések segítségével történő összekapcsolása azt célozza, hogy a szokásos mechanikus csavarozás vagy

ultrahangos hegesztés alkalmazása nélkül lehessen összekapcsolni az egyes cellákat. Mechanikus összekötés esetében ugyanis öregedési jelenségekkel és az átmeneti ellenállás megnövekedésével kell számolni, különösen az alumínium esetében, mivel megvastagodik a passzív réteg, és plasztikus folyás is fellép. Ultrahangos hegesztés esetében az előírt keresztmetszetben kielégítő anyagzáró és repedésmentes kötést kell biztosítani. Különösen vékony elvezetések esetében azonban az alkalmazott ultrahangbéllyeg és a felfekvési lemezfelület közötti átmenetnél fokozott repedésképződés-veszély áll fenn, ami megakadályozza, hogy a például a járműipar területén elengedhetetlenül szükséges tartós, rezgéseknek ellenálló kötés jöjjön létre.

Li-ion celláknál való alkalmazás esetében a rézből készült áramvezető sínek (rézelemek) előnyös anyagvastagsága 2 és 5 mm között, a rézelemhez illeszkedő alumínium- és rézréteg (pl. fólia) előnyös anyagvastagsága pedig 0,1 és 0,5 mm között van.

Az alumíniumréteg, például egy alumíniumból készült kivezetés jól hegeszthető anyaggal, pl. nikkelezett rézzel történő lefedése megakadályozza azt a pórusképződést, amely a az alumíniumból készült kivezetéseknek a rézelemre szokásos eljárással önmagában történő ráhegesztésénél fellép. Például a lézersugár-kitérítés szélességének és a rézelemig terjedő hegesztési mélységnek megfelelően az olvadék átkeveredése, valamint gyors megdermedése miatt lézeres hegesztésnél, különösen kb. 2 m/s fölötti hegesztési sebességek esetén rézből, alumíniumból és nikkeltől álló ternár ötvözet jön létre. Ez a nikkelt tartalmazó ötvözet az alumíniumból és rézből álló binár ötvözet esetéhez képest csökkenti a repedésképződés-veszélyt a hegesztési varratban, és különösen a Li-ion akkumulátoroknál elősegíti a megbízható anyagzáró kötés kialakulását az alumíniumból készült kivezetések és a rézből készült áramvezető sínek között.

A kitűzött feladat megoldását, valamint ennek megvalósítási módjait a rajzokon vázolt kiviteli példák kapcsán ismertetjük. Az

1. ábra nikkelléteggel ellátott rézrétegből, továbbá alumínium-rétegből és rézelemből álló rétegezett szerkezetet, valamint az összes elemén átmenő hegesztési varratot szemléltet vázlatos metszetben; a
2. ábra binér Al-Cu állapotábrát; a
3. ábra pedig ternér Al-Cu-Ni állapotábrát mutat.

A javasolt, 1 alumíniumlemezként kivitelezett alumíniumrétegből, 2 rézlemezként kivitelezett rézelemből, valamint az alumíniumlemezhez 3 rézlemez formájában hozzáillesztett rézrétegből álló rétegezett szerkezet 1. ábrán bemutatott metszetén a szerkezet valamennyi elemén átmenő 4 hegesztési varrat látható. Fel van tüntetve továbbá a rézrétegnek az alumíniumrétegtől távolabbi oldalára felvitt 5 nikkelbevonat, amely a korábban ismertetett módon segíti 6 lézersugár elnyelődését.

A bemutatott rétegezett szerkezet gépjárműnél alkalmazott lítium-ion akkumulátorhoz tartozó, alumíniumból készült kivezetés, valamint rézből készült áramvezető sín közötti kötést szemléltet példaképpen. Ennél a szerkezetnél az alumíniumlemez és a rézlemez anyagvastagsága például 0,2 mm lehet, míg a rézelemé 2 és 4 mm közötti, a rézlemezre felvitt nikkelléteggé pedig 1 és 50  $\mu\text{m}$  közötti, előnyösen 5 és 20  $\mu\text{m}$  közötti. A fenti, három rétegből álló anyagszerkezet összehegesztésénél alkalmazott lézersugár lézeres hegesztési paraméterei a következők:

- lézerteljesítmény:  $P = 1,5$  és  $3$  kW között
- hegesztési sebesség:  $v = 1,5$  és  $4$  m/perc között
- fókuszhelyzet =  $-1$  mm
- pásztázás szélessége:  $2$  és  $4$  mm között

- a lézersugár oldalirányú kitérésének frekvenciája 200 és 350 Hz között

A nikkelbevonat alkalmazásának mellékhatásaként a 2. ábra szerinti binér Al-Cu állapotábrán szemléltetett binér ötvözet helyett (lásd [2]) Al, Cu, Ni fémekből álló ternér ötvözet jön létre, amelynek összetétele az említett anyagvastagságoktól függ. Az Al-Cu-Ni rendszer állapotábráját a 3. ábra mutatja [3]. A ternér ötvözet összetételét a rézelemig történő áthegeztés mélységének, a nikkelbevonat vastagságának, valamint az alumíniumlemez és a rézelem átfedési vastagságának változtatásával változtathatjuk oly módon, hogy elkerüljük rideg fázisok létrejöttét, illetőleg a hegesztés dinamikája által alkalmas, igen vékony (előnyösen 5  $\mu\text{m}$  alatti vastagságú) rideg fázist tartalmazó morfológiát tudunk létrehozni, amelynél a repedezettség kialakulásának veszélye lényegesen lecsökken.

Különleges feladatot jelent a megfelelő keresztmetszetű, árammal jól terhelhető kötések létrehozása a 2. ábra állapotábrája szerinti binér Al, Cu rendszerek esetében létrejövő rideg fémközi fázisok kialakulásának messzemenő elkerülésével. Annak érdekében, hogy 2 kHz fölötti kitérésési frekvenciák esetében megfelelő mennyiségben olvadjanak meg jó hővezető-képességű fémek, és mélységben mindhárom fémréteget átfogó olvadékfürdő jöjjön létre, a hegesztési irány szerinti hegesztési sebességet igen alacsonyra, előnyösen 0,5 és 2 m/perc közötti értékre kell megválasztani. Ez ugyanakkor kedvezően befolyásolja a szilárd állapotban végbemenő diffúziót és a rideg fémközi fázisok létrejöttét az Al-Cu rendszerben. Az alábbi befolyásoló tényezőket kell tehát helyesen megválasztani:

- energiasűrűség (amelyet a lézerteljesítmény, a fényvezető kábel átmérője és a felülethez viszonyított fókuszhelyzet határoz meg)

- a sugárnak a hegesztési irányra merőleges kitérítése kellően hosszú tartózkodási idő mellett ahhoz, hogy megfelelően nagy és minden réteget átfogó olvadékfürdő jöhessen létre,
- olyan hegesztési sebesség, amely mellett a szilárd állapotban bekövetkező diffúziót olyan alacsony értéken tartja, hogy ne képződhessenek fémközi fázisokból álló széles szegélyek.

Ismert, hogy binér Al-Cu állapotdiagramban számtalan rideg fémközi fázis mutatkozik. A hegesztési sebesség, illetőleg az az idő, amíg az anyag megömlesztett állapotban van, jelentős mértékben befolyásolja a képződő fémközi fázisok mennyiségét, eloszlását és morfológiáját. Ha túl sokáig tart a megolvasztott állapot és jelentős az átkeveredés, a keletkező fázisok a binér állapotdiagram termodinamikusan egyensúlyi állapotához tartozókhöz hasonlóakká válnak. Az esetleges nagy hegesztési sebesség következtében kialakuló és „befagyó” kiegyenlítetlen állapotok egyre inkább eltűnnek.

A hegesztési varratokat különféle paraméter-variációkhoz tartozó csiszolati képek alapján fénymikroszkópos módszerrel vizsgáltuk. Az alaposabb vizsgálatához a mintákat políroztuk és savastuk.

$P = 2$  kW lézerteljesítmény, 1 mm anyagbeli fókusztávolság,  $v = 3$  m/perc hegesztési sebesség, továbbá 250 Hz kitérítési frekvencia, valamint 2,5 mm pásztázási szélesség mellett nem értünk el kielégítő, a rézelemig tartó hegesztési mélységet. Mivel a nikkelt nem keveredett bele kellőképpen az olvadékba, olyan összetételű ötvözet jött létre, amelyben repedések alakultak ki. Hasonló eredményt kaptunk, de fokozott repedésképződéssel, amikor  $P = 1,5$  kW lézerteljesítményt, 1 mm anyagbeli fókusztávolságot,  $v = 3$  m/perc értékű hegesztési sebességet, 200 Hz kitérítési frekvenciát és 3,0 mm pásztázási szélességet alkalmaztunk.

Az említett lézerteljesítmények és anyagbeli fókuszhelyzetek mellett jó, gyakorlatilag repedésmentes hegesztési varratot és megfelelő hegesztési mélységet értünk el, amikor a hegesztési sebességet  $v = 1,5$  m/perc értékre csökkentettük, a kitérítési frekvenciát viszont 300 Hz értékre növeltük, a pásztázási szélességet pedig 2 mm értékre csökkentettük. Ezen paraméterek esetében  $P = 2,5$  kW lézerteljesítmény mellett is repedésmentes hegesztési varratot és megfelelő hegesztési mélységet tudunk elérni.

$P = 3$  kW lézerteljesítmény, 1 mm anyagbeli fókuszhelyzet,  $v = 4$  m/perc hegesztési sebesség, 200 Hz kitérítési frekvencia és 4,0 mm pásztázási szélesség mellett a nagyobb teljesítmény ellenére az előző beállításhoz képest csökkentett hegesztési mélységet értünk el a nagyobb pásztázási szélesség és hegesztési sebesség miatt. Az olvadék ötvözet-összetételének következtében erőteljes repedésképződést tapasztaltunk.

A hegesztési varrat csiszolata minden kísérletnél arany színű elszíneződést mutat, és lényegesen eltér a vöröses réztől és az ezüstös alumíniumtól, ami azt jelzi, hogy az ötvözetképződésnél kielégítő az elkeveredés.

A legtöbb repedést abban az esetben tapasztaltuk, amikor a hegesztési varrat mélysége nem volt megfelelő, vagyis a hegesztési varrat nem érte el a 2 rézelemet (1. ábra). Az említett méretek esetében akkor tudunk kellő mélységű hegesztési varratot elérni, ha a hegesztési varrat 0,3 és 0,4 mm közötti mértékben, vagyis az alumíniumréteg vastagsága másfél-kétszeresének megfelelő mértékben nyúlik be az alsó rézelembe. Ekkor kielégítően nagy réztartalmú ötvözetek jönnek létre. Ezek a varratok a hegesztési varrat említett mélységértékeitől kezdve repedezésmentesek.

A hegesztési mélység a hegesztési sebességtől, a kitérítési frekvenciától, a pásztázási szélességtől és a lézerteljesítménytől függ. Az említett kísérleteknél konkrétan kevésbé repedezett vagy repedezésmentes hegesztési varratokat

értünk el előnyösen 300 Hz-ig megnövelt kitérítési frekvenciák, csökkentett (max. 2 mm értékű) pásztázási szélességek, valamint csökkentett (max. 1,5 m/perc értékű) hegesztési sebességek mellett, míg a lézerteljesítménynek a  $P = 1,5$  és  $2,5$  kW közötti tartományban történő változtatása gyakorlatilag nem befolyásolta a repedezettséget és a hegesztési mélységet. A keletkező olvadék alumíniumtartalmát a pásztázási szélesség és a hegesztési mélység is befolyásolja.

Az alsó rézelemig történő áthegeztés jelentős mértékben befolyásolja a képződő olvadék réztartalmát. Repedések különösen a rézben szegényebb tartományokban mutatkoznak.

Az említett 3 m/perc értékű hegesztési sebesség mellett durva fémközi fázisok és repedések képződnek a hegesztési zónában. A 2 kW értékű lézersugár-teljesítmény nyilvánvalóan nem elégséges az anyag megfelelő mélységű megolvasztásához, illetőleg ahhoz, hogy elég magas legyen az olvadék réztartalma. Az alumínium-mátrixba való átmenet a nagyobb hegesztési sebesség következtében egy finomszemcsés de keskeny diffúziós zónában végződik.

Ha a hegesztési sebességet a felére (1,5 mm/perc értékre) csökkentjük, a fajlagos szakaszteljesítmény megkétszereződik, és ily módon a réz lényegesen nagyobb mélységben tud bediffundálni az alumíniumba. Míg a hegesztési olvadéktól kiinduló átmenetnél dendrites növekedési struktúrák mutatkoznak, az alumíniumhoz való átmenetnél hálózatos szerkezet alakul ki. A morfológiai- és anyagvizsgálatokat raszter-elektronmikroszkóppal (REM, JEOL 6300) és energiadisziperzív röntgenmikroszkóppal (EDX, SUTW-detektor Fa. EDAX, gerjesztési feszültség: 20 keV, munkatávolság: 17 mm, mérési idő: 1 perc) végeztük el. Ezek a struktúrák a fénymikroszkópban abban különböznek egymástól, hogy a maratott csiszolat képen különféle szürkeségi értékek észlelhetők. Annak feltételezése mellett, hogy a hegesztési folyamat során különböző (fémközi) fázisok képződnek, az alumínium-mátrixban

kialakuló kisebb nagyságrendű finom elágazások jó beágyazódást biztosítanak a duktilis alumínium-mátrixba, ami csökkenti a repedezések kialakulásának veszélyét.

Ha 1,5 kW értékre csökkentjük a lézersugár teljesítményét, a 2 mm-rel kisebb pásztázási szélesség és a felére (1,5 m/perc értékre) csökkentett hegesztési sebesség több mint kiegyenlített lesz. Következésképpen lényegesen megnő a rézelembe történő áthegeztés mélysége, és rézben gazdagabb lesz az olvadék összetétele.

A hegesztési varrat és az alumíniumréteg közötti átmeneti tartományban mintegy 80 at% Cu-t és 16,9 at% Al-t tartalmazó összetételt mutattunk ki. Ez a 2. ábra szerinti állapotdiagramban a Cu-gazdag vegyeskristály-tartomány határán van, vagyis nincs jelen fokozott ridegségű fémközi fázis. A nikkeltartalom emellett elhanyagolható (lásd a 3. ábrát).

A rézben gazdag olvadékfürdő és az alumíniumréteg közötti dendrites zóna összetétele EDX mérések tanúsága szerint 22 at% alumínium és 44 at% réz, tehát az arány 1:2, ami rideg fémközi  $\theta$ -fázisra utal (lásd a 2. ábrát). A 33 at% oxigéntartalom mindenesetre igen magas. Feltételezve, hogy a hegesztésnél megfelelő védőgáz-atmoszféra állt rendelkezésre, az oxigéntartalomnak az Al- és Cu-anyagok passzív rétegeiből kell származnia. Az Ni-tartalom ezen a helyen elhanyagolható (lásd a 3. ábrát).

Az alumíniumrétegbe történő áthegeztés peremzónájában 11 at% alumínium és 52 at% réz mennyiséget, tehát 1:5 atomarányt mértünk, ami megközelítőleg eutektikus összetételre utal (2. ábra). Az oxigéntartalom ebben a tartományban is igen magas, a nikkeltartalom pedig elhanyagolható (3. ábra).

A hegesztési varrat belsejében a rézben gazdag tartomány irányában az alumínium és a réz atomaránya 40:57, ami fémközi  $\zeta_2$  és  $\eta_2$  fázisokra utal (2. ábra). Egy rézben még gazdagabb belső tartományban 11:84 Al:Cu atomarányt mértünk, ami  $\alpha_2$  fázisra utal (2. ábra). Ezek a tartományok oxigénmentesek vagy

oxigénszegények, a nikkeltartalom pedig elhanyagolható (3. ábra).

Irodalom:

[1] DE 10 2004 009 651 B4

[2] binaries Phasendiagram Al-Cu:

<http://antipasto.union.edu/engineering/Archives/SeniorProjects/2006/ME.2006/acostina/photos%20from%20project/photopages/photo01.htm> (Stand 28.07.2014)

[3] Landolt-Börnstein, New Series IV/11A2:

<http://beta.springermaterials.com/docs/pdf/109159677.html?queryterme=%2al-cu-ni%22> (Stand: 28.07.2014)

Hivatkozási jelek jegyzéke:

- 1 alumíniumlemez
- 2 rézelem
- 3 rézlemez
- 4 hegesztési varrat
- 5 nikkalbevonat
- 6 lézersugár

## Szabadalmi igénypontok

1. Anyagzáró kötés alumínium és réz között, amely rendre rézelemből (2), alumíniumrétegből (1) és ezen felfekvő rézrétegből (3) álló rétegezett szerkezetet foglal magában, azzal **jellemezve**, hogy a szerkezet legalább egy, a rézréteghez kapcsolódó hegesztési varratot (4) tartalmaz, és a hegesztési varrat a rézrétegen és az alumíniumrétegen át a rézelemig terjed.

2. Az 1. igénypont szerinti anyagzáró kötés, azzal **jellemezve**, hogy az alumíniumréteget (1) alumíniumlemez képezi és/vagy a rézréteget (3) az alumíniumrétegre felvitt fólia vagy bevonat alkotja.

3. Az 1. vagy 2. igénypont szerinti anyagzáró kötés, amely a rézrétegnek (3) az alumíniumrétegtől távolabbi oldalán nikkeltől kialakított további réteget (5) foglal magában.

4. Az előző igénypontok valamelyike szerinti anyagzáró kötés, azzal **jellemezve**, hogy a hegesztési varrat (4) a rézrétegen (3) hegesztési vonalat követően van létrehozva.

5. A 4. igénypont szerinti anyagzáró kötés, azzal **jellemezve**, hogy a hegesztési vonal egy középvonalat követő ciklikus vonal mentén van létrehozva.

6. Eljárás anyagzáró kötés létrehozására alumínium és réz között, amelynek során a következő eljárási lépéseket hajtjuk végre:

a) rézelemet (2), alumíniumréteget (1) és rézréteget (3) készítünk elő,



b) az alumíniumréteget ráhelyezzük a rézelemre, a rézréteget pedig ráhelyezzük az alumíniumrétegre, és ily módon rétegezett szerkezetet hozunk létre, azzal **jellemezve**, hogy

c) a rézelemet, az alumíniumréteget és a rézréteget a rézrétegre ható hőforrás (6) alkalmazásával lokálisan összehegesztjük, éspedig a rézrétegen és az alumíniumrétegen át a rézelemig terjedő hegesztési varrat (4) létrehozásával

7. A 6. igénypont szerinti eljárás, azzal **jellemezve**, hogy a hőforrásként lézersugarat (6) alkalmazunk.

8. A 6. vagy 7. igénypont szerinti eljárás, azzal **jellemezve**, hogy a lokális összehegesztés a hőforrásnak a rézrétegen egy hegesztési vonal mentén alkalmazott sorozatos behatása útján történik, és a hegesztési varrat a hegesztési vonalat követi.

9. A 6. igénypont szerinti eljárás, azzal **jellemezve**, hogy a hőforrást a rézréteg egy középvonala mentén 150 és 500 Hz közötti kitérítési frekvenciával ciklikusan oszcilláltatjuk, és ily módon periodikusan hullámzó hegesztési vonalat képezünk.

10. A 6-9. igénypontok valamelyike szerinti eljárás, azzal **jellemezve**, hogy a hőforrást pulzálnak haddatjuk a rézrétegre.

A meghatalmazott:


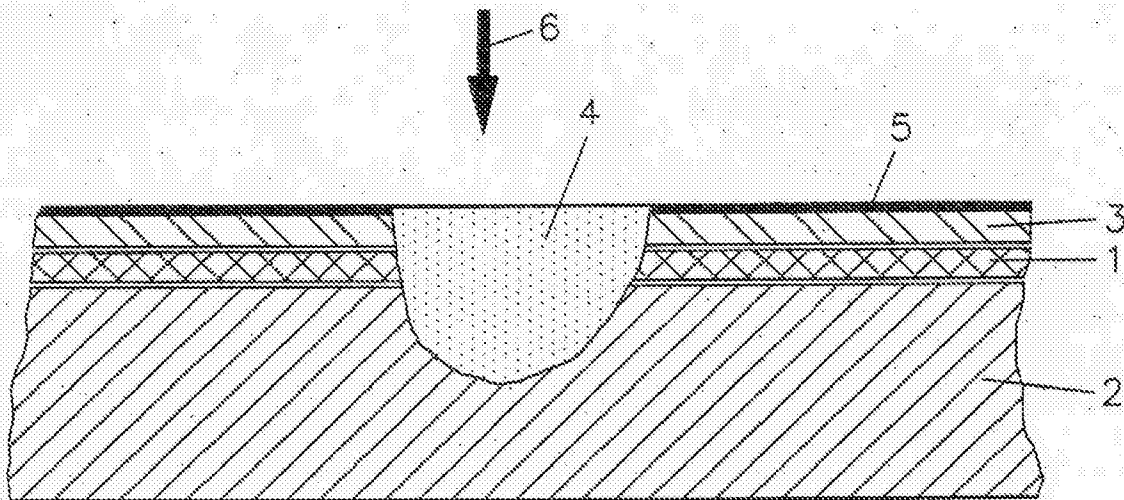
  
SZABADALMI ÉS VÉDIEGYIRODA  
VARANNAI CSABA  
szabadalmi ügyvivő



Fig. 1



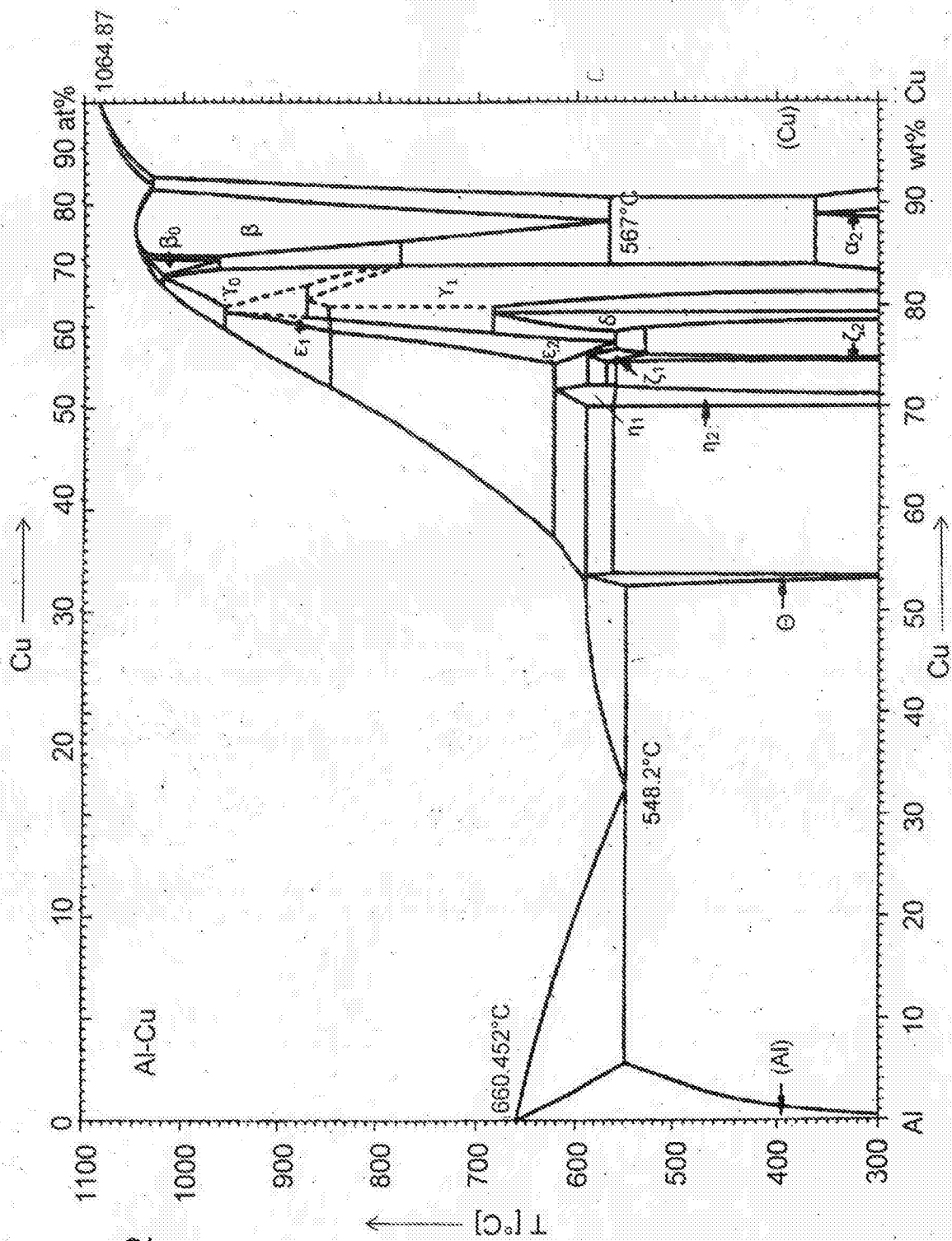


Fig. 2

Fig. 3

