

KOMPOSITLEDARE SAMT METOD FÖR TILLVERKNING AV KOMPOSITLEDARE

TEKNISKT OMRÅDE

- 5 Föreliggande uppfinning hänför sig till en tillverkningsmetod för en kompositledare, till en kompositledare tillverkad enligt denna metod, samt till elkontakter och till kopplingsdon tillverkade av kompositmaterialet. Uppfinningen hänför sig också till elektriska och värmerelaterade anordningar som innehåller rankor i kompositmaterialet.

10 BAKGRUND

- Det finns många industriapplikationer där det är nödvändigt att sammanfoga koppar med aluminium. Vid elöverföring i elektrisk utrustning, till exempel, där aluminiumledare ansluts till kopparledare, används ofta kopplingsdon som har en kopparlegering på den ena sidan och en aluminiumlegering på den andra. I sådana kopplingsdon är kopplingsdonets kopparsida
- 15 ansluten till eller sammanfogad med kopparledaren och kopplingsdonets aluminiumsida med aluminiumledaren. Kopplingsdonets koppar- och aluminiumdelar är normalt sammanfogade genom svetsning i fast tillstånd, exempelvis friktionssvetsning eller varmtryckssvetsning, se t ex CA 1016255 (A1) och GB 1331468. Andra fastfasssvetsningsmetoder, exempelvis explosionssvetsning eller varmpressformning, ger också bra fogar mellan aluminium och
- 20 koppar. Vid elkraftsöverföring används stora kopplingsdon vilket betyder att den relativa kostnaden för svetsningmaterialen inte har så stor betydelse. Men att ersätta kopparledare med aluminiumledare är ett allmänt önskemål, både vid elkraftsöverföring och i andra applikationer, exempelvis inom bilindustrin. Där erfordras ett stort antal aluminium-till-kopparkopplingsdon. Även i Li-ion-batterier, som består av flera separata battericeller,
- 25 erfordras elanslutningar mellan koppar- och aluminiumplåtar. Dessa batterier är intressanta särskilt för eldrivna fordon. Elektriska kopplingsdon som består av två olika metaller tillverkas normalt genom att man sammanfogar små bitar av olika metalliska material. Vid friktionssvetsning, som är den vanligaste metoden för elektriska kopplingsdon i aluminium/koppar, erfordras en separat svetsprocess för varje kopplingsdon.
- 30 Även för värmeöverföringsapplikationer är anordningar där koppar och aluminium kombineras intressanta och har föreslagits i TW 429191, där en kopparplatta fästs vid en extruderad kylkropp i aluminium genom friktionssvetsning, för att få ett material med största möjliga värmeledningsförmåga alldeles intill det område som ska kylas eller värmas.

Vid ovannämnda svetsmetoder, friktions- och explosionssvetsning, måste de delar som ska svetsas samman förflyttas, vilket är besvärligt och kostsamt, och om det rör sig om större delar kan det helt enkelt vara omöjligt. Varmpresssvetsning och diffusionssvetsning har liknande nackdelar, eftersom de delar som ska sammanfogas måste upphettas.

5

Varmpresssvetsning eller diffusionssvetsning vid förhöjda temperaturer samt smältsvetsmetoder är inte lämpliga för sammanfogning av aluminium och koppar eftersom stora mängder spröda intermetalliska faser bildas i fogen och försämrar dess mekaniska egenskaper.

10

Olikartade metaller som koppar och aluminium kan också sammanfogas med friktionssvetsning, se exempelvis EP0615480.

Men sådana friktionssvetsar är inte bra eftersom de ofta innehåller defekter, exempelvis
15 håligheter, samt dessutom alltid små mängder intermetalliska faser; två faktorer som kan reducera fogens statiska mekaniska hållfasthet. Såväl defekter som intermetalliska faser reducerar dessutom normalt utmattningshållfastheten betydligt, eftersom de fungerar stresshöjande, vilket har till följd att utmattningssprickor bildas snabbare. Ytterligare en aspekt
20 är att svetsverktyg för friktionssvetsning av aluminium till koppar i nuläget har kort livslängd pga kontamineringen av verktyget.

SAMMANFATTNING AV UPPFINNINGEN

Föreliggande uppfinning har till syfte att tillhandahålla en metod för tillverkning av en
25 kompositledare, där olägenheterna i känd teknik bemästrats, och som kan användas för att till en låg kostnad framställa ledare avsedda för el- eller värmeöverföring. Detta är möjligt med metoden enligt föreliggande uppfinning, vilken erbjuder såväl en metod som ger kompositmaterial med förbättrad fogkvalitet som effektiv framställning av högkvalitativa kompositledare.

Tillverkningsmetoden för kompositledare enligt föreliggande uppfinning innefattar stegen att framställa minst två ämnen av metalliska material, där nämnda ämnen olika, och där nämnda ämnen placeras kant mot kant med varandra eller delvis överlappande och sedan sammanfogas med en fastfassvetsmetod, valsning eller svetsning, till en komposit, där kompositen sedan valsas i fogens riktning över kompositens hela bredd för att reducera dess tjocklek och därefter kapas tvärs över fogen för att framställa minst två kompositledare, båda med metalliskt material ur nämnda minst två ämnen och en fog mellan de nämnda minst två olika metalliska materialen. Metoden möjliggör sammanfogning av ämnen av metalliska material som visat tendens att bilda spröda föreningar vid sammanfogning vid förhöjda temperaturer. Av särskilt stort intresse är det fall då de minst två ämnena består av koppar eller en kopparlegering respektive aluminium eller en aluminiumlegering och företrädesvis sammanfogas med friktionssvetsning före valsning. Båda ämnena kan förses med en utlöpare i längsgående riktning och utlöparna bör då vara tunnare än själva ämnet; ämnena placeras överlappande så att en överlappningsfog bildas.

Metoden kan inkludera framställningen av en första komposit och en andra komposit, där nämnda andra komposit placeras ovanpå nämnda första komposit; nämnda första och andra kompositer valsas sedan för tjockleksreducering. Kompositerna bör placeras överlappande så att fogarna är förskjutna i förhållande till varandra. Kompositen kan också sammanfogas med en platta eller ett ämne i en metall eller metallegering före valsningen. Valsningssteget kan innefatta antingen varmvalsning följt av kallvalsning, eller kallvalsning i två steg med glödgning mellan de båda kallvalsningarna.

Uppfinningen hänför sig också till kompositledare innehållande en första del bestående av ett första metalliskt material och en andra del bestående av ett andra metalliskt material, där dessa två material är olika varandra, och där komponenten framställs enligt ovanstående metod. De två delarna kan bestå av metalliska material som uppvisar en stark tendens att bilda spröda sammansättningar när de sammanfogas vid förhöjda temperaturer; så till exempel kan minst en del vara tillverkad av koppar eller en kopparlegering, och minst en del av aluminium eller en aluminiumlegering.

Uppfinningen hänför sig också till ett elektriskt kopplingsdon innefattande ovan beskrivna kompositledare, till en elektrisk ledare innefattande kompositledaren, samt till en värmeledningskomponent innefattande kompositledaren.

KORT BESKRIVNING AV FIGURERNA

Figur 1 visar en plåt med två olikartade material som svetsats samman efter valsning tvärs över fogen.

- 5 Figur 2 visar en kompositledare framställd med metoden enligt uppfinningen och bestående av två olikartade metalliska material.

Figur 3 visar ett kompositmaterial före valsning, där två kompositer placerats ovanpå varandra med en inbördes förskjutning av fogarna.

- 10 Figur 4 visar två ämnen med utlöpare förberedda för att bilda en överlappningsfog som placerats överlappande.

Figur 5 visar två ämnen med utlöpare förberedda för att bilda en överlappningsfog, som placerats överlappande, och där utlöparna har en form som gör att de griper tag i varandra. Figur 6 visar en bild tagen i ljusoptiskt mikroskop som visar en friktionssvetsad fog mellan aluminium- och kopparplattor, efter svetsning men före valsning.

- 15 Figur 7 visar en bild tagen i ett ljusoptiskt mikroskop som visar fogen i figur 6, efter kallvalsningen.

DETALJERAD BESKRIVNING AV UPPFINNINGEN

- 20 Föreliggande uppfinning erbjuder en metod för framställning av kompositledare genom sammanfogning av minst två ämnen av olikartade metalliska material. Föreliggande uppfinning erbjuder också ett kompositmaterial framställt enligt ovannämnda metod, samt en elledare, ett elektriskt kopplingsdon, och en värmeledningskomponent innefattande en kompositledare framställda enligt metoden i föreliggande uppfinning.

Metoden innefattar stegen att:

- 25 a) framställa minst två ämnen av metalliskt material, där ämnena består av olikartade metalliska material,
 b) placera ämnena kant vid kant eller delvis överlappande varandra,
 c) i fast stillstånd sammanfoga ämnena genom valsning eller svetsning, så att en komposit bildas,
 30 d) valsa kompositen längs med fogen över kompositens hela bredd för att reducera dess tjocklek,

e) kapa den valsade kompositen tvärs genom fogen så att minst två kompositkomponenter produceras, var och en med metalliskt material från ovan nämnda minst två ämnen samt med en fog bestående av minst två olika metalliska material mellan dessa minst två olika metalliska material.

- 5 Figur 1 visar en kopparplåt 1 som svetsats mot aluminium 2 och som sedan valsats tvärs över fogen. Pilen visar var plåten kapats för att forma ett kopparaluminiumkompositband. Figur 2 visar en kompositledare enligt uppfinningen som består av två olikartade metalliska material.

- Ämnena är placerade invid varandra så att de kan sammanfogas kant mot kant med en
 10 stumfog; de kan också placeras delvis överlappande så att en överlappningsfog bildas. För att forma en överlappningsfog bör båda ämnena ha en utlöpare i längsgående riktning, som är tunnare än själva ämnet, och dessa ämnen placeras sedan överlappande i steg b), se Figur 4 och 5. Genom att utlöparna är spegelvända i förhållande till varandra bildas en enda jämn överlappningsfog, vilket är en fördel när ämnena sammanfogas vid valsningen. De två
 15 utlöparna kan ha samma eller olika tjocklek. Med utlöpare som utformats så att de griper tag i varandra, till exempel på det sätt som visas i Figur 5, kan ämnena sammanfogas provisoriskt, vilket underlättar valsningen eller svetsningen av fogen.

- Ovanstående metod är särskilt lämpad för sammanfogning av ämnen av olikartade metalliska
 20 material som uppvisar en tendens att bilda spröda föreningar när de sammanfogas vid förhöjda temperaturer, som till exempel när koppar eller kopparlegeringar sammanfogas med aluminium eller aluminiumlegeringar. Dessa ämnen kan bestå av göt eller plåtar eller band. I vissa applikationer kan ämnet valsas före sammanfogningen. När tjocka ämnen används blir fogens längd före valsning relativt kort. Detta kan vara fördelaktigt ur ekonomisk synpunkt,
 25 särskilt om ämnena svetsas samman, eftersom svetsning är en relativt dyr process. Ämnena valsas sedan till sin slutgiltiga tjocklek vilket medför att fogen förlängs. Valsning av en svetsfog har visat sig resultera i en mera hållfast fog. Dessutom, när ämnena valsas samman utan svetsning så medför sammanfogningen genom valsning av ämnen i form av göt eller tjocka plåtar en betydande reducering av tjockleken, vilket resulterar i en bättre fog än om redan
 30 valsade ämnen sammanfogas genom ytterligare valsning.

Om kompositen formas genom valsning i steg c) kan valsningsstegen c) och d) utföras antingen direkt efter varandra eller i ett enda moment.

Om man sammanfogar ämnena med en fastfasssvetsningsmetod samt kallvalsar över den bildade kompositens hela bredd får man en högre fogkvalitet även i de fall då de olikartade metallerna tenderar att bilda spröda sammansättningar vid sammanfogning vid temperaturer som är så höga att materialen delvis smälter (vilket kan vara fallet om smältsvetsmetoder används) eller vid temperaturer som ligger så nära deras respektive smälttemperaturer att diffusionen över gränsytan mellan de olikartade metallerna ökas starkt. Genom att använda metoden enligt uppfinningen får man gränssnitt av mycket hög kvalitet mellan olikartade metaller; gränssnittet innehåller i stort sett inga porer och eventuella intermetalliska faser blir små och spridda, vilket medför att svetsfogen uppvisar såväl hög statisk mekanisk hållfasthet som hög utmattningshållfasthet. Förutom den förbättrade fogkvaliteten får man också en betydligt lägre produktionskostnad än vid de metoder som är tillgängliga idag.

För att erhålla en fog med hög kvalitet bör ämnena sammanfogas med en svetsmetod som ger en svets som är så smidig att den tillåter valsning över svetsfogen. I föreliggande uppfinning föredras friktionssvetsning för sammansvetsning av plåtar i olikartade material. En friktionssvetsad fog är betydligt starkare än fogar som erhålls genom smältsvetsningsmetoder mellan metaller där spröda intermetalliska faser bildas vid höga temperaturer, som till exempel i fogar mellan koppar eller en kopparlegering och aluminium eller en aluminiumlegering. Men även den friktionssvetsade fogen kan innehålla defekter och är mekaniskt svagare än utgångsmaterialen. En metod för friktionssvetsning av metalliska material beskrivs i exempelvis EP0615480. Man har funnit att hållfastheten och smidigheten hos en friktionssvetsad fog möjliggör stora kallvalsningsreduktioner utan brott på fogen. Om koppar sammanfogas med en aluminiumlegering med friktionssvetsning och den framställda kompositen sedan kallvalsas så blir fogen faktiskt smidigare än något av ursprungsmaterialen. Under valsningen elimineras i stort sett alla porer i den friktionssvetsade fogen och eventuella intermetalliska faser blir små och spridda, vilket resulterar i en betydlig förbättring av fogens kvalitet.

Vid kombinationer med olikartade metalliska material med en stark tendens att bilda spröda intermetalliska sammansättningar vid förhöjda temperaturer, som exempelvis koppar eller en kopparlegering och aluminium eller en aluminiumlegering, erfordras en svetsmetod som ger en fog som inte är sprödare än resten av kompositmaterialet eftersom det medför en risk för att fogen spricker vid valsning. Det finns så gott som ingen annan svetsmetod som ger fogar som är starka och smidiga nog att tillåta valsning tvärs över fogen för att reducera tjockleken så att ett tunt band formas.

Under kallvalsning förstärks fogen genom deformationshärdning, de porer som finns efter friktionssvetsningen sluts och eventuella tunna skikt med intermetalliska faser bryts ner och upplöses. Tack vare deformationshärdningen under kallvalsningen kan brottgränsen hos kompositledaren efter valsningen vara mycket högre än brottgränsen hos de två separata materialen före friktionssvetsningen och kallvalsningen.

Produktionskostnaden domineras i många fall av kostnaden för att skapa fogen mellan två olikartade metaller, särskilt som livslängden för friktionssvetsningsverktyget är mycket kort. Genom kallvalsning efter friktionssvetsningen kan fogens längd ökas med faktor 10 eller mera, vilket betyder att förslitningen av friktionssvetsningsverktyget per meter producerad fog reduceras, och det i sin tur betyder en betydligt reducerad produktionskostnad för band i kompositmaterial.

Längdökningen, som erhålls vid reduceringen av materialets tjocklek efter sammanfogning i fast tillstånd i steg c), kan ökas ytterligare om kallvalsningen föregås av varmvalsning vid måttliga temperaturer, helst under 350°C, när det rör sig om koppar och kopparlegeringar samt aluminium och aluminiumlegeringar, eller om materialet glödgas mellan kallvalsstegen. Mellanglödning mellan kallvalsningar vid måttlig temperatur, helst under 350°C för koppar och kopparlegeringar samt aluminium och aluminiumlegeringar, mellan valsstegen kan återge materialet dess smidighet så att valsningsdeformationen kan ökas.

Efter valsning till önskad slutlig tjocklek kapas den valsade kompositen tvärs över fogen för att forma kompositledare med såväl olikartade metalliska material som en fog mellan dessa material. Snittet kan placeras antingen vertikalt mot den valsade kompositens fog, eller i valfri vinkel mot den.

Ibland erfordras ett kompositmaterial med två eller flera skikt av metalliska material placerade ovanpå varandra. Tillverkningsmetoden för kompositledare kan således inkludera framställningen av en första komposit enligt steg a) till c) ovan, framställningen av en andra komposit enligt steg a) till c) ovan, samt placeringen av nämnda andra komposit ovanpå nämnda första komposit; därefter valsas nämnda första och andra kompositer i enlighet med steg d) för tjockleksreducering. Figur 3 visar ett kompositmaterial före valsning, där två kompositer placerats ovanpå varandra med inbördes förskjutning av fogarna. I Figur 3 visas stumfogar, men överlappande fogar kan naturligtvis också placeras på det här viset.

Att stapla kompositer kan vara en fördel i fall då det för den önskade slutliga tjockleken
erfordras ett utgångsmaterial som är alltför tjockt för att kunna friktionssvetsas. Då kan två eller
flera svetsade kompositer sammanfogas genom att man exempelvis staplar dem före
valsningssteget. Förutsatt att gränssnitten är rena kommer de staplade plåtarna att förenas
5 under valsningen. Rengöring av kompositytorna kan om nödvändigt inkluderas som ett
separat steg. Om kompositerna placeras så att fogarna mellan de olikartade metalliska
materialen är förskjutna i förhållande till varandra erhålls ett starkare material efter valsning.

Att före valsning stapla plåtar eller kompositer, av vilka minst en plåt innefattar en
10 friktionssvets, kan också vara fördelaktigt, eftersom det möjliggör framställning av nya
kompositmaterial.

Kompositen kan också före valsningen sammanfogas med en platta i en metall eller
metallegering som placeras på eller under kompositen som framställts enligt ovanstående
15 metod, så att den sammanfogas med kompositen genom valsningen. Flera kompositer
och/eller metallplåtar kan också staplas, helst med fogarna förskjutna i förhållande till varandra
så att svetslinjerna inte överlappar varandra, detta för att få ett starkare material efter
valsningen.

20 Valssteg d) enligt metoden kan alternativt innefatta varmvalsning följt av kallvalsning eller
kallvalsning i två steg med glödning mellan de två kallvalsningarna. Därigenom ökas den
totalt möjliga reduktionen av tjockleken, eftersom formbarheten är högre vid varmvalsning än
vid kallvalsning. Mellanglödning återställer formbarheten så att ytterligare valsning kan
utföras.

25 Efter sammanfogning och valsning kapas den valsade kompositen tvärs över fogen för att
framställa minst två kompositkomponenter, var och en innefattande de metalliska materialen i
de minst två ämnena samt en fog bestående av minst två metalliska material mellan nämnda
minst två olika metalliska material. Kompositkomponenterna kan exempelvis kapas ur den
valsade kompositen i form av band med samma bredd som av den tänkta slutgiltiga
30 komponenten, eller stansas ur den valsade kompositen eller ur mindre delar av denna. Genom
att sammanfoga och valsa ämnena av olikartade metaller och sedan kapa den valsade
kompositen erhålls således en förbättrad tillverkningsmetod för ledande kompositkomponenter,
komponenter som dessutom har en fog med förbättrad kvalitet mellan de olika materialen.

De framställda kompositledarna kan användas som kopplingsdon eller ledare i elapparater eller inom bilindustrin, till exempel som elanslutningar i kablar eller magnetspoler, eller i battericeller för elbilar.

- 5 I synnerhet när det gäller kopplingsdon måste ibland en tunn beläggning av ett annat material appliceras på hela eller delar av kompositledaren, exempelvis tenn, silver, eller något annat material som förbättrar kontaktmotståndet och reducerar risken för kontaktfel genom exempelvis nötning. Detta är vanligt vid framställning av elektriska kopplingsdon och görs företrädesvis efter valsning enligt punkt d).

10

De framställda kompositledarna kan också användas för anordningar baserade på värmeöverföring, exempelvis system för kylning av kraftelektronikkomponenter.

- 15 Vid kylning av elektronik inom exempelvis bilindustrin, t ex vid kylning av enstaka integrerade kretsar med hög effekt som är monterade på elektroniska kretskort inuti pressgjutna aluminiumhöljen, kan aluminiumkopparkompositmaterial i form av band eller plåt appliceras. Kopparen är då i kontakt med den integrerade kretsen och aluminiumet fogas samman med höljet.

Andra användningsområden kan också tänkas.

20 Exempel

Plattor av Aluminium AA6063-T6 och fosfor-deoxiderad koppar (hög kvarvarande fosforhalt) sammanfogades med friktionssvetsning. Figur 6 visar den friktionssvetsade svetsfogen mellan aluminium- och kopparplåtarna. Trots att fogen var av god kvalitet innehöll den fortfarande porer, se Figur 6 vid pilen.

25

Man utgick från 3 mm tjocka Al-Cu-kompositplåtar och valsade dessa ner till 0,3 mm tjocklek. Figur 7 visar svetsfogen i Figur 6 efter kallvalsning. Porerna var helt slutna, se Figur 7, och gränsarean mellan Al-Cu var mycket bred i förhållande till plåtens tjocklek, vilket skapar en stark fog.

- 30 Samtidigt var svetsfogens ytfinish utmärkt, med en tydlig lineär övergång från aluminium till koppar.

Kompositmaterialets brottgräns översteg värdena för de två utgångsmaterialen före friktionssvetsning och kallvalsning, se tabellen nedan.

Material	Brottgräns
Aluminium AA6063-T6, före friktionssvetsning	245 MPa
Fosfor-deoxiderad koppar, före friktionssvetsning	235 MPa
Aluminium-koppar kompositmaterial, efter friktionssvetsning av de två ovanstående materialen (stumfog, inga överlappande delar) och kallvalsning från 3 mm till 0,3 mm	335 MPa

Efter kallvalsning med 90% reduktion av tjockleken mjuknar båda materialen vid 300°C, vilket möjliggör mellanglödning utan alltför stor tillväxt av spröda intermetalliska partiklar.