

Castma- Joining of cast and extruded light weight alloys

Publik rapport



Författare: Kjell-Arne Persson
Datum: 20171217
Projekt inom FFI, Hållbar produktion, D-nr: 2013-05623

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English.....	3
3 Bakgrund.....	5
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	6
5 Mål	6
6 Resultat och måluppfyllelse	7
7 Spridning och publicering	8
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	8
7.2 Publikationer.....	8
8 Slutsatser och fortsatt forskning	9
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	9

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & Miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Syftet med projektet har varit att visa att pressgjutna lättmetaller går att svetsa. Därigenom kan större komplexa komponenter tillverkas genom att kombinera delkomponenter (som kan vara pressgjutna eller extruderade och med olika egenskaper). De sammansatta komponenterna kan genom detta konstrueras för viktoptimering eller för att få multistrukturella egenskaper.

Pressgjutna aluminium- och magnesiumlegeringar anses dock i allmänhet svårsvetsade på grund av processinstabilitet, kraftig porbildning, varierande inträngning, sprickbildning, deformationer, mm.

Projektet har visat att ansamlingar och förhållandevis stora gasfyllda mikroporer under högt tryck i pressgjutgodset är den enskilt största faktorn för låg svetsbarhet. De leder till instabilitet och stora inneslutna och ibland ytbrytande porer både vid laser- och MIG svetsning. När gjutgodset smälter frigörs det höga trycket i mikroporerna med motsvarande tillväxt i volym. Eftersom trycket vid pressgjutning kan vara i storleksordning 500 bar kommer volymen i gasfyllda porer att expandera och resultera i processinstabilitet och svetsar med oacceptabla mängder stora porer.

Det går dock att minimera mängd och storlek på gasfyllda mikroporer genom att optimera fyllningsförloppet vid pressgjutningen. Detta kan göras genom att minska risken för gasinneslutningar genom att undvika turbulens vid fyllningen av gjutformen, genom att ha ett bra vakuumsystem och minimera användandet av ämnen som kan förgasas i formen. Det sistnämnda kan vara kylning av formen med vattenånga och mängd och typ av släppmedel. Simulering av fyllningsprocessen är ett viktigt hjälpmedel för att optimera fyllningsprocessen.

De tester som gjorts visar tydliga tendenser till försämrad svetsbarhet i områden där fyllningen vid pressgjutningen varit turbulent. Där fyllningsförloppet varit lugnt och fritt från turbulens har godtagbara svetsar kunnat erhållas. Detta gäller framförallt för detaljer i pressgjuten aluminiumlegering. Svetsarna har fortfarande innehållit porer men i godtagbar mängd. För svetsar i den pressgjutna magnesiumlegeringen har det varit betydligt svårare att få ner mängden porer vid MIG svetsning. Det svetsade pressgjutna material var dock inte optimerat för svetsning utan taget ur normal produktion.

Svetstekniskt ger en ökad mängd smält pressgjutet material ökad risk för porbildning. Svetsar med full genombränning möjliggör avgasning både från toppsida och rotsida och ger i allmänhet mindre mängd porer.

Typiska mekaniska egenskaper hos svetsade förband där pressgjuten aluminium- eller magnesiumlegering ingår ger en sträckgräns i nivå med det pressgjutna grundmaterialet, lägre brottgräns i storleksordning 10-20% och en kraftigare minskning i brottförlängning. Val av svetsmetod, värmeförsel, typ av tillsatsmaterial mm kommer givetvis att påverka förväntade egenskaper.

2 Executive summary in English

The purpose with this project has been to show that it is possible to weld high pressure die casted light weight alloys. Large complex components can then be manufactured by combining part components (that can be high pressure die casted or extruded components and with different properties) to achieve a design for reducing weight or for multi-structural properties.

The materials included in the project was high pressure die cast Aluminium alloy of type Al + 9%Si with and without Cu (AC43400 and AC46000), high pressure die casted magnesium alloy of type Mg+5%Al (AM50) and extruded AlSi1MgMn (AW6082,T6). Welding processes were MIG- and laser welding.

High pressure die casted Aluminium- and Magnesium alloys are in general considered difficult to weld due to unstable process, pore formation, varying penetration depth, hot cracking, distortion etc.

The main tasks in the project were:

- What mechanism is the main cause for reduced weldability in high pressure die cast lightweight materials?
- Could a modified welding technique be used to weld these cast materials despite low weldability?
- Could the casting process be modified to improve weldability?
- Is there a simple method to test weldability of the high pressure die cast material?

The project included:

- In depth literature study
- Test welding mainly with MIG- and laser welding using different actions for reducing pore formation
- Tests with modified molten cast material mainly for reducing the hydrogen content
- Simulation of the filling process in high pressure die casting

It has been demonstrated that micro-pore clusters and large micro-pores filled with gas under high pressure in the high pressure die cast material is the single most important factor for reduced weldability. It results in process instability and large pores, sometimes surface breaking, both in MIG- and in laser welding. The high pressure in the micro-pores is released when the cast material melts and results in a corresponding increase in volume. Since the pressure in high pressure die casting can be in the order of 500 bar, the volume of the gas filled micro-pores will expand with disturbances of the welding process and unacceptable levels of porosity in the weld metal.

It is however possible to reduce the amount and size of the gas filled micro-pores by optimizing the filling process in the high pressure die casting. This can be done by reducing the risk for gas inclusions by avoiding turbulence in the filling of the mould, by using a good vacuum system and minimize the use of substances that can evaporate in the mould. This could be cooling of the mould with water vapor between the shots and amount and type of release agent. Simulation of the filling process is an important and helpful tool to optimize the filling process.

The tests made in the project show clearly a reduced weldability of the cast material in areas where filling was turbulent. In areas where the filling was smooth without turbulence, acceptable welds were achieved. This is valid in particular for welding of high pressure die cast aluminium alloys. The weld still contained some porosity but in acceptable amounts. For MIG welded high pressure die cast magnesium alloy large pores were not possible to avoid. It should be noted though that all high pressure die cast material was taken out of normal production and not optimized for weldability.

From the welding point of view, increased molten high pressure die cast aluminium- or magnesium alloy increase the risk for pore formation. Welds with full penetration makes degassing from both the top side and the root side possible and results in general in less porosity.

Typical mechanical properties of the joint including high pressure die cast aluminium- or magnesium alloy are a yield strength in level with the high pressure die cast base material, a

reduction of the ultimate tensile strength in the order of 10-20% and a strong reduction in elongation at fracture. Expected properties will of course be influenced by selection of welding process, heat input, selection of filler metal and so on.

3 Bakgrund

Med en anpassad svetsprocess skulle dagens design och konstruktion av fordonskomponenter kunna bytas ut mot en kostnadseffektiv lättviktsdesign. Idag sker produktion av komponenter i lättviktsmaterial som aluminium och magnesium huvudsakligen genom pressgjutning. För gjutning av mer komplicerade konstruktioner krävs dock stora insatser, och därför ses istället sammanfogning av olika gjutna delkomponenter som en alternativ metod. Traditionell mekanisk fogning medför dock nackdelar, som krav på förborrade hål, designrestriktioner i form av krav på dubbelsidig åtkomst, låg produktivitet och en ökad vikt från fästelementen. Istället har högproduktiv svetsning identifierats som en lovande och kostnadseffektiv metod för framställande av komplicerade slutstrukturer. Sammansvetsning av gjutna och extruderade delkomponenter skulle möjliggöra såväl en viktreduktion som nya flexibla designmöjligheter, kortade produktionstider och förbättrad produktivitet och ekonomi. De gjutna materialen innehåller dock flera olika defekttyper som är viktiga att motverka under svetsprocessen för att er hålla godkänd svetskvalitet.

Behovet av lättviktskonstruktioner inom fordonsindustrin har ökat intresset för användning av både aluminium- och magnesium-legeringar som konstruktionsmaterial. Eftersom aluminium- och magnesiumlegeringar är attraktiva i fordonapplikationer samt innehar fördelaktiga fysiska och mekaniska egenskaper, är en identifiering av lämpliga och möjliga svetsprocesser en nödvändighet för att realisera optimerad vikt, multi-komponent- och miljöeffektiva lösningar.

Svetsmetoder såsom Friction Stir Welding, TIG-svetsning, lasersvetsning etc. har med varierande framgång alla använts för att foga samman en rad olika aluminiumlegeringar och komponenter. Vissa legeringssammansättningar/kombinationer har hög känslighet för stelningsdefekter som porositet, varmsprickor i svetszonen samt svaga zoner vid korngränserna i närheten av svetszonen. Därmed resulterar dessa i låg hållfasthet hos både svetsförbandet och basmaterialen. För att optimera fogkvalitet och förhållandet mellan hållfasthet för svets och basmaterial, vilket kan variera mellan 40-90 %, måste även svetsprocessens parametrar optimeras. För smidda aluminiumlegeringar är det möjligt att producera "felfria" svetsar, men för gjutna legeringar finns defekter kvar från tillverkningsprocess och mer insatser måste sättas in för att förverkliga hög och jämn svetskvalitet. I en omvärldsanalys har det visat sig att ökad kunskap efterfrågas inom fordonsindustrin för att tillfullo våga utnyttja lättviktsmaterialens fördelar. På flera internationella bilkonferenser, t.ex. Global Automotive Lightweight Materials (senast i London april 2012 och i Detroit i augusti 2013) och Euro LightMAT i Bremen (i september 2013), diskuteras nya användningsmöjligheter med lättviktsmaterial som aluminium, magnesium, titan och fiberförstärkta plaster. Aspekter som högvolymproduktion, tillverkning, fogning, egenskaper och kostnader utgör stående teman.

Man har även identifierat ett antal olika komponenter i bilar där pressgjutna legeringar av magnesium och aluminium ger goda viktbesparingar. Några exempel som nämns i Materials for Automotive Bodies (2012) är väggen mellan bränsletank och bagageutrymme på SLK modellen av Mercedes Benz, instrumentpanelbalk på Rolls-Royce Phantom. Andra exempel rör delar till styrning (t.ex. på WV Lupo men även olika modeller från BMW och Toyota) och delar till säten (Jaguar X-type, Alfa Romeo 156, Daimler-Crysler). Ingen av dessa komponenter är dock svetsade.

Kunskap om hur svetsprocessen interagerar med gjutna och extruderade material är en nyckelkompetens för att framgångsrikt kunna utnyttja lättviktsmaterialen, och därmed viktig för att

bibehålla svensk konkurrenskraft. Dagens utmaning är att utveckla metoder för att förstå materialens fysikaliska och kemiska egenskaper, för att därmed kunna undvika bildningen av porer och spröda intermetalliska föreningar. Genom ett ökat processkunnande, ökad kunskap om materialbeteende, samt styrning av svetsprocessen för att sammanfoga högkvalitativa gjutna och extruderade aluminium- och magnesiumkomponenter kommer höghållfasta, kostnadseffektiva och miljövänliga sammanfogade lättviktsapplikationer att kunna erbjudas den svenska lättmetall- och fordonsindustrin.

Att kunna svetsa gjutna legeringar - såväl i en artlik fog som mot ett extruderat material är kritiskt för att vidare kunna konstruera med lätta material. Det finns ett brådskande behov av att utveckla robusta och effektiva svetsprocesser för massproduktion av högkvalitativa och optimerade multi-material strukturkomponenter. Projektet kommer att öka industrins och institutens konkurrenskraft genom en integrerad insats för att förbättra nästa generations gjutna och extruderade material och produkter, samt en utökning av dess applikationsområden. Detta medför en ökad konkurrenskraft för slutanvändarna och producenterna, samt ger högre förädlade produkter som snabbare via design och strukturoptimering kan få oss att möta förändrade krav.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Syftet med projektet har varit att visa att pressgjutna lättmetaller går att svetsa. Därigenom möjliggörs att större komplexa komponenter kan tillverkas genom att kombinera delkomponenter (som kan vara pressgjutna eller extruderade och med olika egenskaper). Dessa komplexa komponenter kan genom detta få multistrukturella egenskaper.

Vanliga problem vid svetsning av pressgjutna lättmetaller är processinstabilitet, kraftig porbildning, varierande inträngning, sprickbildning, deformationer, mm.

Forskningsfrågor har varit:

- varför och vilka mekanismer som är huvudorsaker till problem vid svetsning av pressgjutna lättmetaller
- går det att modifiera svetstekniken för att ändå kunna svetsa dessa gjutgods
- går det att modifiera gjutprocessen eller påverka kvaliteten på gjutsmälta
- finns det möjlighet att enkelt testa om gjutgodset är svetsbart

I projektet har ingått:

- fördjupad litteraturstudie
- provsvetsning med framförallt MIG och lasersvetsning där olika aktiviteter testats för att minimera porbildning
- prov med modifiera gjutsmälta framförallt för att minimera vätehalt i smältan
- simulering av fyllningsförloppet vid pressgjutning

5 Mål

De överordnade målen var:

- **Minskad vikt och CO₂ utsläpp:** Introduktion av mer avancerade svetsade gjutna och extruderade lättmetallkomponenter inom svensk fordonsindustri och dess underleverantörer.
- **Högre produktivitet i produktionsprocesserna:** Effektivare tillverkning av avancerade gjutna och extruderade komponenter genom sammansvetsning av enklare delkomponenter.
- **Ökad konkurrenskraft:** Viktreduktion och ökad designfrihet genom svetsning som sammansättningsmetod.

Mer nedbrutna mål för projektet var:

- Vilka egenskaper krävs av de gjutna lättmetallgodsen för att nå god svetsbarhet.
- Går det att, på ett enkelt sätt, visa att det gjutna lättmetallgodset är svetsbart.
- Vilka svetsmetoder är lämpliga och hur bör svetsningen utföras.
- Visa att det går att svetsa gjuten lättmetall mot sig själv och mot motsvarande extruderad lättmetall.
- Demonstrera processen på fullskaliga komponenter.
- Visa förväntade mekaniska egenskaper hos förbanden.
- Ta fram guidelines

Vissa mål har förändrats under projektets gång. Det rör speciellt fullskaliga demonstratorer. De demonstratorer med modifierad design som diskuterades under projektansökan löste dåvarande Finnveden (som numer ingår i Shiloh) på annat sätt. Shiloh har därför behövt revidera sin insats i projektet. Som demonstratorer har istället gjutna komponenter ur befintlig produktion använts. Dessa komponenter var dock inte designade för svetsning.

6 Resultat och måluppfyllelse

I projektet har vissa avgränsningar gjorts. Gjuten aluminiumlegering har varit av typ Al9Si med vissa variationer, t ex med och utan Cu. Gjuten magnesiumlegering var av typ Mg5Al. Gjutmetod har varit högtryckspressgjutning (HPDC, High Pressure Die Casting) med vakuum stöd. Svetsmetoder var MIG- och laser svetsning.

Den största skillnaden mellan pressgjuten lättmetall och extruderad lättmetall är ökad risk för gasfyllda mikroporer i gjutgodset. Under svetsning expanderar dessa kraftigt och ger instabil svetsprocess och stora porer i svetsgodset. Andra typiska risker vid svetsning av aluminium- och magnesiumlegeringar som varmsprickrisk, deformationer mm. finns vid både svetsning av gjutna såväl som extruderade legeringar. Dessa risker kan dock oftast hanteras med hjälp av rätt val av tillsatsmaterial och värmetillförsel. Projektet har därför fokuserat på porbildning som viktigaste faktor för svetsbarhet av pressgjutna aluminium- och magnesiumlegeringar.

- Projektet har kunnat visa att pressgjutna lättmetaller är svetsbara under förutsättning att mängden gasfyllda mikroporer är låg. Tyvärr har det inte gått att kvantifiera mängd mikroporer kopplat till fogens slutliga egenskaper.
- Projektet har vidare kunnat identifiera de viktigaste faktorerna i gjutprocessen och vilka åtgärder som kan göras för att minimera mängden mikroporer och därmed åstadkomma svetsbart gjutgod.
- Typiska mekaniska egenskaper i förbanden har tagits fram.

CT scanning (Computed Tomography) var tänkt att kunna användas för att kunna bedöma pressgjutgodsets svetsbarhet genom att mäta mängd och storlek på mikroporer. Ett tydligt samband mellan porhalt/storlek och svetskvalité återfanns vid de tidiga svetsförsöken. Ett försök att mera i detalj finna sambandet mellan svets- och godskvalitet lyckades dock inte. Sannolikt beroende på att provdetaljer inte innehöll tillräcklig med porositet för att ge varierande utslag på svetskvaliteten. Eftersom porerna är små är resultaten för CT scanning svårtolkade och mer resurser och utvecklingsarbete behövs för att kunna göra denna bedömning.

De uppställda projektmålen har i huvudsak nåtts (efter revidering av projektplan), att visa att pressgjutna lättmetaller är svetsbara, vilka krav som ställs på gjutgodsen, hur kraven kan nås och hur svetsningen ska utföras.

Projektresultaten bidrar till de övergripande målen (minskade CO₂ utsläpp, minskad vikt, ökad produktivitet, ökad flexibilitet och ökad konkurrenskraft) genom att visa att det är möjligt att foga samman pressgjutna delkomponenter med andra pressgjutna eller extruderade komponenter.

Resultaten har åstadkommit följande:

- Med kunskap hos pressgjutare om hur man kan optimera gjutprocessen för att få svetsbart gjutgods har fogning både av pressgjuten lättmetall mot sig själv och mot extruderad lättmetall möjliggjorts.
- Kunskap har byggts hos svetsande företag om hur svetsning kan utföras och vilka krav som måste ställas på framförallt de pressgjutna material, samt vilka egenskaper som kan förväntas av det svetsade förbandet. Detta gör fogningen möjlig.
- Komplexa komponenter kan tillverkas genom att foga gjutna och/eller extruderade delkomponenter och därmed få multistrukturella egenskaper.

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Det gäller både inom pressgjuterier, svetsande företag och hos konstruktörer
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	-	Planer finns på uppföljningsprojekt men det finns inga färdiga projektansökningar
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	-	
Introduceras på marknaden	X	Kunskaper om tekniker och egenskaper finns framtagna och kan redan nu användas
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut	-	

7.2 Publikationer

Inga publikationer har ännu gjorts inom ramen för projektet. Det har dock presenterats resultat på pressgjuteridagarna 7-8 december 2017 och på FFI konferenser. En videofilm har också tagits fram där projektet och resultaten visas. En guideline håller på att tas fram med tips för gjuterier om hur svetsbar pressgjuten lättmetall kan produceras, inklusive tips om hur dessa material kan svetsas och de egenskaper som kan förväntas i svetsade förband. Ett uppdaterat avsnitt i gjuterihandboken är planerat.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

De viktigaste slutsatserna är:

- Det är fullt möjligt att svetsa pressgjutna lättmetaller. Det gäller framförallt pressgjuten aluminiumlegering. Pressgjutna magnesiumlegeringar kan dock kräva mer utvecklingsarbete för att nå god svetsbarhet.
- Egenskaper i svetsade förband ligger i allmänhet lägre än grundmaterialets. Typiskt kan sträckgränser ligga nästan i nivå med den pressgjutna lättmetallen, brottgränsen sjunker storleksordning 10-20% medan brottförlängningen får en betydande sänkning (ofta mer än hälften). Dessa typiska egenskapsförändringar beror givetvis på typ av material, svetsmetod och värmeförsel vid svetsningen, mm.
- Svetsning kan utföras på ett sätt som liknar svetsning av smidda aluminium- och magnesiumlegeringar. Krav på renhet, rätt värmeförsel, osv, föreligger.
- Pressgjutning för att minimera mikroporer kan göras genom att optimera användande av släppmedel, ha ett bra vakuumsystem och undvika turbulens vid fyllning i gjutform. Simulering rekommenderas för att förstå hur fyllningen ska optimeras.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

swerea | KIMAB

lundbergs
PRESSGJUTERI



 SHILOH.
Lightweighting without compromise.™


JÖNKÖPING UNIVERSITY
School of Engineering

swerea | SWECAST

Lundbergs Pressgjuteri: Cajsa Lundberg cajsa@lpw.se
Shiloh: Kristian Hermansson Kristian.hermansson@shiloh.com
Sapa Technology: Lina Nyblom Lina.Nyblom@hydro.com
Volvo Cars: Paul Jonason paul.jonason@volvocars.com
Jönköpings Universitet: Anders Jarfors Anders.jarfors@ju.se
Swerea SWECAST: Markus Börrißon markus.borrißon@swerea.se
Swerea KIMAB: Kjell-Arne Persson kjell-arne.persson@swerea.se