

Aluminiumschweissen im Grenzbereich

Leichtbau zeigt eine Perspektive auf, heutige und zukünftige akute Schwierigkeiten wie beispielsweise im Fahrzeugbau der Kraftstoffverbrauch, die begrenzten Ressourcen oder der CO₂-Ausstoss zu lösen. Das Schweißen von Aluminiumlegierungen kann massgeblich und nachhaltig dazu beitragen. Ein hervorragendes Beispiel zeigt der Rohbau des Mercedes-Benz SLS AMG. Er besteht zu 96 % aus Aluminium. Text und Bilder: Gerd Trommer

Bevor aus Aluminiumblechen, -profilen und -gussteilen ein Fahrzeugrohbau entsteht, sind zahlreiche Fügeoperationen mit unterschiedlich hohen Anforderungen zu erfüllen. Die Schweissnähte am Traumauto Mercedes-Benz SLS AMG müssen besondere technische, organisatorische

und wirtschaftliche Bedingungen erfüllen. Deshalb nutzt Magna Steyr dafür weltweit als erstes Unternehmen das Equipment zum manuellen CMT-Schweissen. Der Schwierigkeitsgrad zweier kurzer Nahtpaare übertrifft den der übrigen Nähte von insgesamt 70 m jedoch markant.

«Dies ist die schwierigste Naht meiner 30-jährigen Berufszeit bei Magna Steyr», berichtet Werner Karner, der erfahrene Leiter des Fügezentrum Versuchsbaue. Die Nähte in reproduzierbarer hoher Qualität wirtschaftlich zu fügen, trägt bei zum positiven Beantworten der rhetorischen Mercedes-Benz-Frage: «Ist das noch ein Auto?»

Technologie CMT Advanced

Die Technologie CMT Advanced integriert erstmals die Polarität des Schweisstromes – kombiniert mit der reversierenden Drahtbewegung – in die Prozessregelung. Eine wesentliche Innovation besteht darin, dass der Polaritätswechsel während der Kurzschlussphase erfolgt. Weil im Kurzschluss kein Lichtbogen brennt, treten die sonst negativen Effekte nicht auf. Dies verhindert z. B. Lichtbogenabriss und daraus resultierende Prozessinstabilitäten vollständig. Zusätzlich kann das Messen und Regeln der Lichtbogenlänge «mechanisch» über die Drahtbewegung, d.h. unabhängig von der Lichtbogenlänge, erfolgen. Äussere Störgrößen wie Oberflächenverunreinigungen spielen keine Rolle mehr.

Der Anwender kann sowohl die Zahl der aufeinanderfolgenden positiven oder negativen Stromimpulse bzw. -phasen beliebig einstellen.

Bild 6 zeigt einen Prozessverlauf mit je zwei positiven und negativen CMT-Zyklen. Die positiven Phasen bestimmen in erster Linie den Einbrand und die Reinigungswirkung. Dagegen steigern die negativen Phasen bei gleichem Energieeintrag die Abschmelzleistung erheblich. Deshalb schmilzt bei identischer mittlerer elektrischer Schweissleistung eine minusgepolte Drahtelektrode eine deutlich grössere Drahtmenge als die plusgepolte. Die Polarität wechselt zu Beginn des Kurzschlusses zwischen den beiden Prozessphasen. Zu diesem Zeitpunkt brennt kein Lichtbogen, weil der Zusatzwerkstoff Kontakt mit dem Schmelzbad hat. Die Folge: Zum Zeitpunkt des Polaritätswechsels ist eine extrem hohe Prozessstabilität gewährleistet.

Breites Spaltmass

«Die Karosserie des Fahrzeuges verfügt über eine hohe Steifigkeit und Verformungsreserven, die Kollisionsenergien aufnehmen und somit die Insassen vor Verletzungen schützen können. Der Rohbau besteht aus der nur 241 kg leichten, selbsttragenden Karosserie aus Aluminium. Diese exklusive Konstruktion vereint intelligenten Leichtbau mit sehr hoher Festigkeit – und ermöglicht damit kompromisslose Fahrdynamik», beschreibt Mercedes-Benz sein Spitzenprodukt. Noch vor den mechanischen und chemischen, realisieren in erster Linie metallurgische Verbindungen die geforderte sehr hohe Festigkeit. Exponiert gilt dies für die Fügestelle zwischen der B-Säule (Seitenwand) und dem Dach. Hier treffen zwei parallel verlaufende Bleche auf ein einzelnes; die drei sind aus jeweils 1,1 mm dünnem Aluminium / Mangan.

LE SOUDAGE DANS LA CONSTRUCTION LÉGÈRE

Soudage périphérique de l'aluminium

Les constructions légères présentent une solution potentielle à certains problèmes dans la construction automobile comme la consommation de carburant, les ressources limitées ou les émissions de CO₂. Le soudage d'alliages d'aluminium peut y contribuer de façon déterminante et durable, à l'instar du châssis de la Mercedes-Benz SLS AMG, constitué à 96 % d'aluminium.

Avant que des tôles, profilés et pièces en fonte d'aluminium deviennent des châssis de véhicules, de nombreuses opérations d'assemblage s'avèrent nécessaires. Les cordons de soudure de la Mercedes-Benz SLS AMG doivent remplir des conditions techniques et économiques particulières. Magna Steyr est

ainsi la seule entreprise au monde à utiliser l'équipement de soudage CMT manuel. Le niveau de difficulté de 2 paires de cordons courts dépasse toutefois largement celui des autres cordons, qui représentent 70 m en tout. «C'est le cordon le plus complexe rencontré en 30 ans de carrière chez Magna Steyr», déclare

Werner Karner, responsable expérimenté du centre d'assemblage de prototypes. Assembler les cordons de façon rentable tout en conservant une qualité élevée contribue à répondre positivement à la question de Mercedes-Benz : « Est-ce encore une voiture ? »

Un écartement important

« La carrosserie du véhicule, extrêmement rigide, résiste à la déformation en absorbant les collisions, protégeant ainsi les passagers contre d'éventuelles blessures. Le châssis se compose d'une carrosserie autoportante en aluminium qui ne pèse que 241 kg. Cette construction légère très



Werner Karner überzeugt sich von der einwandfreien Qualität der «schwierigsten Naht seit 30 Jahren Berufserfahrung» an der Karosserie des SLS AMG.

Werner Karner constate la qualité irréprochable du « cordon le plus complexe en 30 ans de carrière » au niveau de la carrosserie de la SLS AMG.



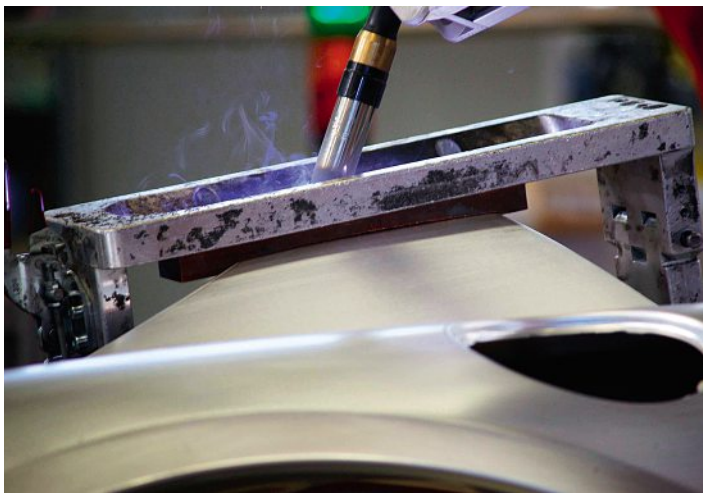
Die Vorrichtung hält die Aluminiumkarosse in der günstigsten Schweissposition, während der Roboter den CMT Advanced-Brenner führt.

Le mécanisme maintient le châssis en aluminium dans la position de soudage optimale tandis que le robot guide le chalumeau CMT Advanced.

Die jeweils auf der linken und rechten Seite des Fahrzeuges 150 mm kurze Naht muss mehrere extreme Anforderungen erfüllen: Das Spaltmass zwischen den zu fügenden Blechen schwankt und kann in Folge der Summe von Bauteiltoleranzen mehrere Millimeter betragen; die von der Karosseriekonstruktion geforderte Festigkeit muss die Naht komplett erfüllen; der Nahtquerschnitt und die Nahtkontur müssen so gestaltet sein, dass ein Übermass zum mechanischen Nachbearbeiten entsteht, denn das Spachteln zum Ausgleich von Unebenheiten ist bei PKW dieser Kategorie ein absolutes Tabu; der Verzug muss so gering sein, dass maximal 0,2 mm mechanische Nachbearbeitung zum Ausgleich genügen; die Oberfläche muss riss- und porenfrei sein und selbstverständlich muss das endgültige Verfahren in der gegebenen Taktzeit auch wirtschaftlich darstellbar sein. Schon einzelne dieser Forderungen stellen sowohl Fügeexperten wie Schweisstechnologien vor kaum lösbare Aufgaben. Dies gilt aber vor allem in Kombination und mit entsprechender Totalität.

MIG-Schweissung generiert zu viel Verzug

Rund eineinhalb Jahre betrug der Zeitraum vom Projektstart bis zur Serienfertigung des Fahrzeuges im Januar 2010. Diese Phase nutzen die Grazer Automobilbauer hinsichtlich der Aluminiumkarosserie für intensive Verfahrenstests. Das MIG(Metall-Inertgas)-Schweissen entfiel von vornherein als Alternative. Denn wegen der hohen Temperatur verziehen sich die dünnen Aluminiumbleche. Zu geringe Nahterhöhung, Spritzerbildung und mangelhafte Optik bilden weitere Ausschlussgründe. Beim «langsamen» WIG(Wolfram-Inertgas)-Schweissen ist der Wärmeeintrag zu hoch. Er führt zuerst zum Ausdehnen der Bauteile und lässt sie beim anschließenden Abkühlen stark schrumpfen. An dieser im Blick des Betrachters exponierten Nahtposition ist Verzug jedoch absolut unzulässig. Aus wirtschaftlicher Sicht ist die lange Abkühlzeit und damit eine zu lange Taktzeit nicht >



Mit geringem Wärmeeintrag und spritzerfrei verbindet das CMT Advanced-System selbst grosse Spalten zwischen den dünnen Aluminiumblechen.

Avec un apport de chaleur minime et sans projections, le système CMT Advanced assemble même un interstice important entre les fines tôles d'aluminium.



Nach dem mechanischen Bearbeiten der Nahtüberhöhung «glänzt» eine einwandfreie Fläche ohne sichtbare Nahtstellen oder Poren.

Après l'usinage mécanique de la surépaisseur de soudure, une surface irréprochable « brille » sans points de jonction ou porosités visibles.



Das Schliffbild zeigt, auch im Inneren ist die Verbindung von höchster metallurgischer Qualität.

L'image micrographique montre aussi à l'intérieur un assemblage métallurgique de qualité élevée.

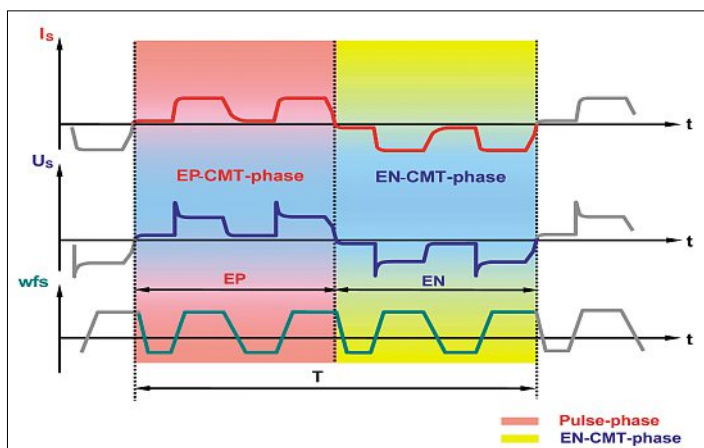


Bild 6: Prozessverlauf mit je zwei positiven (EP) und negativen (EN) CMT Advanced-Zyklen.

L'ill. 6 : Procédé avec deux cycles CMT Advanced positifs (EP) et négatifs (EN).

LE SOUDAGE DANS LA CONSTRUCTION LÉGÈRE

solide garantit une dynamique de conduite sans compromis », explique Mercedes-Benz au sujet de son produit phare. Avant l'assemblage mécanique et chimique, les assemblages métallurgiques assurent tout d'abord la solidité requise au niveau du point d'assemblage entre la colonne B (panneau latéral) et le toit, où 2 tôles parallèles en rejoignent une autre ; les trois sont respectivement composées de fines couches d'aluminium/manganèse de 1,1 mm.

Le cordon court de 150 mm de chaque côté du véhicule répond à plusieurs exigences rigoureuses : l'écartement entre les tôles à assembler varie et peut, en fonction de la somme des tolérances des composants, s'élever à plusieurs millimètres ; le cordon doit impérativement assurer la solidité requise pour la carrosserie ; la section et

le contour du cordon doivent être agencés de manière à assurer une surcote par rapport au réusinage mécanique, les coups de spatule pour compenser les inégalités étant inadmissibles pour les voitures de cette catégorie ; la déformation doit être assez minime pour qu'un réusinage mécanique max. de 0,2 mm suffise pour les compenser ; la surface doit être exempte de fissures et de porosités et le procédé global doit bien entendu pouvoir être exécuté de façon rentable dans les délais impartis. Certaines de ces exigences sont déjà difficilement surmontables pour les experts en assemblage et en technologies de soudage.

Le soudage MIG entraîne une déformation excessive

Environ un an et demi s'est écoulé entre le début du projet et la fabrica-

tion en série du véhicule en janvier 2010. Les constructeurs automobiles de Graz utilisent cette phase pour effectuer des essais de procédés intensifs au niveau de la carrosserie en aluminium. Le soudage MIG (gaz inerte/métal) s'est avéré tout d'abord être une alternative. Mais en raison de la température élevée, les fines tôles d'aluminium se déforment. Autres motifs d'exclusion : surépaisseur trop faible du cordon, projections et manque d'esthétisme. Pour le soudage « lent » TIG (tungstène et gaz inerte), l'apport de chaleur trop élevé entraîne une dilatation des composants, puis leur rétrécissement lors du refroidissement. À cet endroit visible, toute déformation du cordon est cependant inadmissible. D'un point de vue économique, le temps de refroidissement prolongé et une cadence de production trop longue

ne sont pas acceptables. Les motifs d'exclusion du soudage TIG s'appliquent aussi au soudage au plasma. Le développement et les résultats obtenus avec le processus CMT manuel se sont avérés principalement positifs. Beaucoup d'idées et de travail ont notamment été consacrés aux cordons visibles entre la colonne B et le toit. Des retouches relativement importantes se sont toutefois avérées nécessaires au niveau de ces cordons souvent larges et relativement épais. Les experts en finition voulaient un cordon toujours plus surhaussé. Des propositions suggérant de souder plusieurs couches ont été à nouveau rejetées, car cela entraîne l'apparition de grains grossiers au niveau de l'aluminium, diminue la résistance et accentue la déformation. L'idée d'utiliser des mouvements alternés robotisés, une solu-

> akzeptabel. Ähnliche Ausschlussgründe wie die gegen das WIG-Schweissen gelten gegen das Plasma-Schweissen. Prinzipiell positiv verliefen die Entwicklung und die Ergebnisse mit dem Prozess CMT manuell. Speziell in die exponierten Nähte zwischen B-Säule und Dach investierten sie sehr viele Ideen und Arbeit. Allerdings fiel bei diesen häufig breiten und dazu erforderlich relativ dicken Nähten ein verhältnismässig hoher Nacharbeitsaufwand an. Die Finish-Experten wünschten immer wieder eine stärker überhöhte Naht. Vorschläge, mehrere Lagen zu schweissen, wurden wieder verworfen, weil damit bei Aluminium Grobkorn entsteht, die Festigkeit leidet und der Verzug zunimmt. Die Idee, das in der Stahlblechverarbeitung bewährte Pendeln per Roboter zu nutzen, wurde schnell verworfen. Denn dank des langsamen Hin- und Herbewegens steigt der Wärmeeintrag und hebt so den Hauptvorteil des «kalten» CMT-Schweissens auf.

Der Schweissexperte Werner Karner erinnert sich: «In einem Erfahrungsaustausch mit Fronius berichteten sie von einem neuen CMT-Prozess. CMT Advanced, ein Wechselstromprozess, sollten wir statt CMT manuell testen. Wir erhofften uns, damit gelegentlich auftretende Probleme mit Poren an Gussverbindungen zu vermeiden.» Dort brachte es keine Verbesserung, «jedoch weil gerade wieder vom Finish der Wunsch nach mehr Potenzial zum Materialabtragen geäussert wurde, kam mir die Idee, CMT Advanced robotergeführt zu testen.» Zuerst probierten die Grazer Schweissexperten dies an einem Musterteil. «Unser Finish-Mitarbeiter war begeistert. Und der Werkstoff-Techniker war so zufrieden, wie mit den anderen CMT manuell-geschweissten Werkstücken», ergänzt Karner. Er erhielt sofort die Genehmigung, mit dem neuen Verfahren die exponierte Naht an einem Vorserien-Fahrzeug zu schweissen. Das Ergebnis überzeugte sowohl den Leiter des Versuchsbaus, Manfred Kolar, als auch den Programmmanager Karl Hartl so eindeutig, dass sie CMT Advanced (siehe Kasten) sofort in die Vorserienfertigung übernahmen.

Die maximale Stromstärke von nur 90 A ergibt sich aus der Kennlinie. Dies sorgt für den geringen Wärmeeintrag. Fronius arbeitete innerhalb der 14-Tage-Einführungsphase für die Schweissnähte des Fahrzeuges eine spezifische Kennlinie aus. Sie berücksichtigt auch die bei Magna Steyr benutzten Schweisszusatzwerkstoffe sowie Gase. ■

tion éprouvée dans l'usinage des tôles d'acier, a vite été rejetée, les avantages lents augmentant l'apport de chaleur, annulant ainsi le principal avantage du soudage CMT « à froid ».

L'expert en soudage Werner Karner se rappelle : « Lors d'un échange d'expériences avec Fronius, ils ont évoqué un nouveau procédé à courant alternatif baptisé CMT Advanced que nous devrions tester au lieu du CMT manuel. Nous espérions ainsi éviter les problèmes occasionnels de porosités au niveau des assemblages coulés ». Cela n'a apporté aucune amélioration, « néanmoins, le souhait d'un taux d'enlèvement accru ayant été exprimé pour la finition, j'ai voulu tester la technique CMT Advanced robotisée ». Les experts en soudage de Graz l'ont tout d'abord testée au niveau d'un modèle. « Notre expert en finition était enthousiaste et le

responsable des matériaux était aussi satisfait qu'avec les autres pièces soudées manuellement selon la technique CMT », ajoute Karner. Il a immédiatement obtenu l'autorisation de souder le cordon visible à un véhicule de présérie avec le nouveau procédé. Le résultat a convaincu à la fois Manfred Kolar, responsable des prototypes, et Karl Hartl, directeur du programme, au point d'intégrer immédiatement CMT Advanced (voir encadré) dans la production de préséries.

L'intensité maximale du courant est de seulement 90 A, garantissant ainsi un faible apport de chaleur. Au cours de la phase initiale de 14 jours, Fronius a élaboré pour les cordons de soudure du véhicule une caractéristique spécifique tenant aussi compte des métaux d'apport et des gaz utilisés chez Magna Steyr. ■

Technologie CMT Advanced

La technologie CMT Advanced intègre pour la première fois dans le procédé la polarité du courant de soudage combinée à l'inversion du mouvement de fil. Une innovation majeure réside dans le fait que l'inversion de polarité survient pendant la phase de court-circuit. Aucun arc ne brûlant lors du court-circuit, les effets négatifs sont exclus. Cela empêche par ex. les interruptions d'arc ainsi que les instabilités qui en découlent. Par ailleurs, le dimensionnement et le réglage des longueurs d'arc peuvent être effectués « mécaniquement » par le mouvement du fil, c.-à-d. indépendamment de la tension de l'arc. Les perturbations extérieures telles que les impuretés de surface n'ont plus aucune incidence.

L'utilisateur peut régler à volonté le nombre d'impulsions de courant ou de phases positives ou négatives successives.

L'ill. 6 montre un procédé avec deux cycles CMT positifs et négatifs. Les phases positives déterminent tout d'abord la pénétration et l'efficacité de la rectification. Pour un apport de chaleur équivalent, les phases négatives quant à elles augmentent sensiblement la vitesse de dépôt. A vitesse de dépôt moyenne identique, un fil-électrode à polarité négative fond donc davantage qu'un fil à polarité positive. La polarité change au début du court-circuit entre les deux phases. A ce stade, aucun arc ne brûle parce que le métal d'apport est en contact avec le bain de fusion. Conséquence : stabilité opérationnelle optimale au moment de l'inversion de polarité.