

Seriell Plasma-MSG-Hybrid-schweißen von Aluminiumwerkstoffen

Die Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Uwe Reisgen

Leiter des Instituts für Schweißtechnik und Fügetechnik (ISF) der RWTH Aachen
reisgen@isf.rwth-aachen.de

<http://www.schweissenundschneiden.de/author/?authorId=663>

Rahul Sharma, M.Sc.

Oberingenieur am Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik (ISF) der RWTH Aachen

sharma@isf.rwth-aachen.de

<http://www.schweissenundschneiden.de/author/?authorId=6290>

Dipl.-Ing. Erik Zokoll

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik (ISF) der RWTH Aachen

zokoll@isf.rwth-aachen.de

<http://www.schweissenundschneiden.de/author/?authorId=8615>

Erick Gonzalez Olivares, M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik (ISF) der RWTH Aachen

gonzalez@isf.rwth-aachen.de

Zusammenfassung:

Im Rahmen dieses Projektes wurde die Anwendung des seriellen Plasma-MSG-Hybridprozesses an Aluminiumwerkstoffen untersucht. Neben unterschiedlichen MSG-Lichtbogenarten, wie dem Kurz-, Puls- und Sprühlichtbogen lag ein Schwerpunkt in dem Zusammenspiel des AC- oder DC-negativen Plasmaprozesses mit dem nachlaufenden MSG-Prozess. Hierfür wurde sowohl ein separater Plasma- und MSG-Brenner als auch das kommerziell erhältliche SuperMIG-System betrachtet. Es konnte gezeigt werden, dass der MSG-Prozess stark das Einbrandverhalten bestimmt und deshalb die Unterschiede zwischen den Brennersystemen gering sind. Zudem kann zugunsten einer höheren Prozessstabilität auf die kathodische Reinigungswirkung aus dem AC-Plasmaprozess verzichtet werden. Unter Berücksichtigung eines Mindestabstandes zwischen beiden Prozessen ist die Verwendung einzelner Brenner ebenfalls möglich und Aluminiumbleche bis 15 mm Dicke konnten mit vereinfachter Nahtvorbereitung einlagig und sicher gefügt werden.

Stichwörter: Plasma, MSG, Hybridverfahren, Aluminium

1 Einleitung

Aluminiumkonstruktionen unterschiedlicher Materialdicken sind in den verschiedensten Branchen, wie z.B. im Luft-, Schiff-, Automobil- und Schienenfahrzeugbau sowie im Rohrleitungs- und Behälterbau anzutreffen [1]. Am häufigsten kommt beim thermischen Fügen von Aluminiumkonstruktionen das Metall-Schutzgas-Schweißprozess (MSG) zum Einsatz [2].

Zur Realisierung größerer Schweißgeschwindigkeiten kommen u.a. Hybridprozesse zum Einsatz, wie das Laser-MSG-Hybridschweißen. Es bietet den Vorteil der Kombination eines tiefen Einbrands durch den Laserstrahl mit der guten Spaltüberbrückbarkeit durch den MSG-Prozess bei gleichzeitig hohen Schweißgeschwindigkeiten [3;4]. Für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) ist dieser Prozess jedoch häufig zu kostenintensiv. Ähnliches gilt für das Rührreibschweißen, das für Aluminiumwerkstoffe zunehmend an Bedeutung gewinnt. Wegen der großen Prozesskräfte ist auch hier eine aufwendige, speziell auf die Bauteilgeometrie angepasste Einspannung notwendig [5;6].

Eine mögliche Alternative bietet der Einsatz des seriellen Plasma-MSG-Hybridschweißverfahrens. Ähnlich wie beim Laser-MSG-Hybridprozess erzielt man mit dem Plasmaverfahren einen tiefen Einbrand. Allerdings ist der Investitionsaufwand um ein vielfaches geringer, da neben dem deutlich niedrigeren Anschaffungspreis keine Einhausung zum Strahlenschutz notwendig ist. Dadurch ist das Verfahren flexibel und auch bei kleinen Stückzahlen interessant.

Die Kombination beider Prozesse erfolgt über die Ausrichtung eines vorlaufenden Plasmastichlochbrenners mit einem nachlaufenden MSG-Brenner in stehender Anordnung. Neben der Möglichkeit zwei Einzelprozesse so anzuordnen, sind auch integrierte Hybridbrenner mit magnetischer Kompensation der Lichtbogeninteraktion durch eingebaute Spulen auf dem Markt verfügbar [7].

Bislang wurde das serielle Plasma-MSG-Schweißen nur an Stahlwerkstoffen untersucht [8;9]. Untersuchungen zum Schweißen von Aluminiumbauteilen mit dieser Prozesskombination existierten bisher nicht. Die Anpassung der elektrischen Polung des Plasmaprozesses auf einen Aluminiumgrundwerkstoff führt jedoch auch zu Änderungen der Wechselwirkungen zwischen den beiden Teilprozessen des Hybridprozesses. Hierin bestand eine wesentliche Fragestellung des hier dargestellten Projektes. Zudem sollte eine Analyse der seriellen Prozesskonfiguration erfolgen, sowie eine Betrachtung marktverfügbarer Brennersysteme. Hierbei wurde berücksichtigt, welche wirtschaftlichen Vorteile aus Anwendersicht mit dieser Verfahrenskombination für Aluminiumbleche möglich sind.

2 Methodik und Versuchskonzept

Im Rahmen der Versuche am ISF wurden sowohl die serielle Kombination von Einzelprozessen in verschiedenen Anordnungen als auch ein marktverfügbares Hybridbrennersystem (SuperMIG, Fa. Weldobot) zum Schweißen von Aluminiumwerkstoffen ertüchtigt. Zunächst wurden die Wechselwirkungen bei einer Kopplung von AC-Plasma- und MSG-Prozess an Aluminiumblechen untersucht. Hieraus ergab sich, welche MSG-Lichtbogenarten bei welchen Arbeitsabständen zum

Plasmaprozess sinnvoll eingesetzt werden können. Anschließend wurde das kommerziell erhältliche SuperMIG-Brennersystem für Aluminiumwerkstoffe betrachtet. Da durch den MSG-Prozess und den größeren Lichtbogendruck auch ein Hybridprozess mit DC-negativem Plasmaprozess möglich war, wurde dieser im Anschluss mit einem AC-Plasma-MSG-Hybridprozess auf seine Prozessstabilität und maximal erreichbaren Einbrand verglichen. Um eine Aussage über die Nutzbarkeit des Verfahrens treffen zu können, wurden mithilfe der so gewonnenen optimalen Parameter zudem Verbindungsschweißungen an unterschiedlichen Blechdicken erzeugt und bewertet.

Zu Beginn wurde in Stichversuchen der Einsatz einer gemeinsamen Schutzgasdüse untersucht, auf die im späteren Verlauf zugunsten geschlitzter Düsen an den Einzelprozessen verzichtet wurde. Die MSG-Schweißenergiequelle wurde im Synergiemodus betrieben und die Parametrierung zunächst über Anwahl einer Drahtvorschubgeschwindigkeit vorgenommen. Der Plasmabrenner war dabei stets senkrecht zu Werkstückoberfläche ausgerichtet. Entscheidend für die Wechselwirkung zwischen MSG- und Plasmaprozess war vor allem der Abstand d zwischen Plasmadüse und der MSG-Drahtelektrode. Der Aufbau ist in Abbildung 1 wiedergegeben.

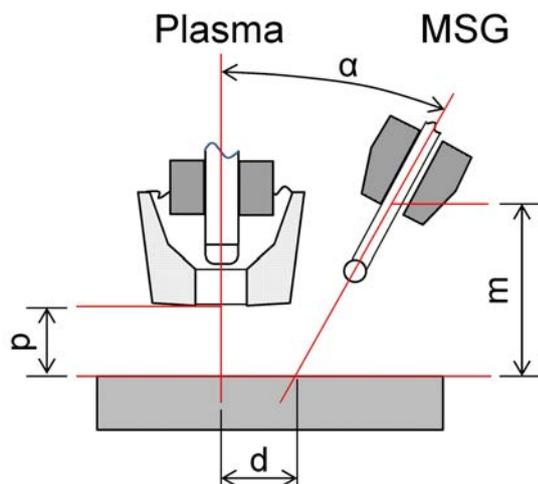
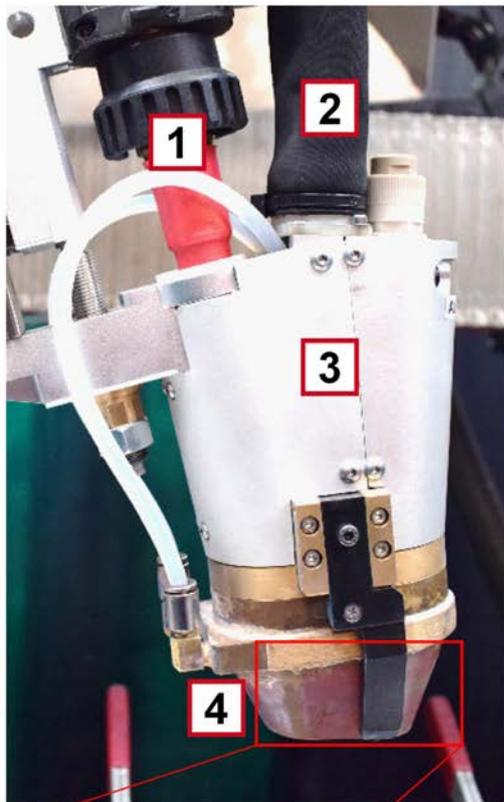


Abbildung 1: Versuchsaufbau für die Untersuchung der seriellen Einzelprozesse, schematisch einschließlich geometrischer Parameter der Anordnung (links) sowie ohne (rechts, oben) und mit (rechts, unten) gemeinsamer Schutzgasdüse

Der in Abbildung 2 dargestellte Hybridbrenner beinhaltet einen Plasmabrenner (2), eine magnetische Kompensationseinheit und ist mit einer Aufnahme für eine MSG-Brennereinheit (1) versehen. Die Plasmaschweißenergiequelle beinhaltet die Prozessablaufsteuerung, über die auch die brennerintegrierte magnetische Kompensation gesteuert wird. Eine MSG-Schweißenergiequelle wird direkt mit dem MSG-Brenner verbunden. Die elektromagnetische Kompensation erfolgt über zwei Polschuhe (6) neben der Plasmadüse (5). Die freie Drahtlänge kann variiert werden (Abbildung 2, roter Pfeil), der Abstand d zwischen MSG-Drahtelektrode und Plasmadüse ist mit 20 mm konstant. Der Winkel zwischen Plasmabrenner und MSG-Brenner ist ebenfalls konstant und beträgt 15° .



1	Anschluss MSG-Brenner
2	Anschluss Plasma-Brenner
3	Gehäuse mit Magnetspulen
4	Gemeinsame Schutzgasdüse
5	Plasmadüse
6	Magnetpole
7	MSG-Kontaktrohr mit keramischem Isolator

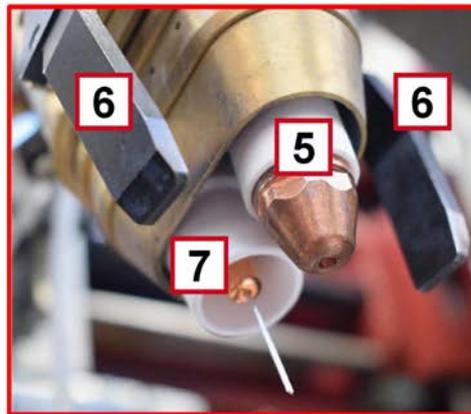
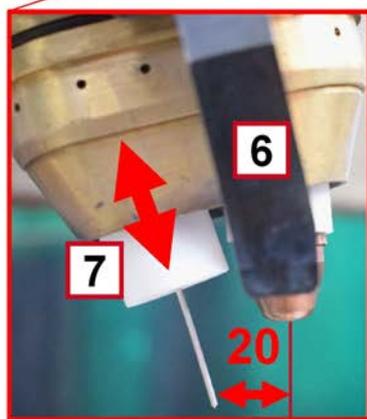


Abbildung 2: Aufbau des SuperMIG-Brenners

Als Versuchswerkstoffe wurden gewalzte Belche aus EN AW 5754 in 5 mm Blechdicke und Flacherzeugnisse aus EN AW 6060 (T66) in unterschiedlichen Blechdicken von 5 mm bis 15 mm untersucht. Als Schweißzusatz wurde S Al 4043 vorwiegend mit einem Drahtdurchmesser von 1,2 mm verwendet. Drahtelektroden mit 1,6 mm Drahtstärke für höhere Ströme bei geringeren Drahtvorschubgeschwindigkeiten wurden ebenfalls untersucht.

Neben Makroschliffen und Härteprüfungen wurden an Verbindungsschweißungen Querkzugproben und Längszugproben aus dem Schweißgut entnommen.

3 Wechselwirkungen zwischen Plasma- und MSG-Lichtbogen bei unterschiedlichen Arbeitsabständen

Zur Sicherstellung der Praxisnähe wurden die Randbedingungen höchstmöglicher Produktivität gewählt. Hierzu wurde eine Einschaltdauer von 100 % der Anlagen

betrachtet. Für die Beobachtung der Wechselwirkungen wurden Blindraupen an Blechen mit 15 mm Dicke aus EN AW 6060 hergestellt. Für die Untersuchung der Auswirkungen des Plasma-AC-Prozesses wurde ein stabiler spannungsgeführter MSG-Sprühlichtbogen mit 12 m/min Drahtvorschubgeschwindigkeit verwendet. Dies entsprach im Synergiebetrieb einer mittleren Spannung von 27,5 V und einem mittleren Strom von 270 A ohne Hybridprozess. Der stromgeführte AC-Plasmaprozess hat einen mittleren Strom von 150 A. Alle konstanten Schweißparameter sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Schweißparameter für die Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen MSG- und Plasmalichtbogen

	Schweißgeschw. [cm/min]	Balance [%]	f [Hz]	Drahtvorschub [m/min]	I [A] (Sollwert)	d [mm]	p [mm]	m [mm]	α [°]
Plasma	50	70 neg / 30 pos	50	-	150 AC	10-50	5	-	20
MSG		-	-	12	var.		-	14	

Bei einem spannungsgeführten MSG-Prozess änderte sich die mittlere MSG-Spannung nicht signifikant, der mittlere MSG-Strom zeigte hingegen eine Abhängigkeit und bei einem Abstand d kleiner als 20 mm war dieser um mehr als 10 A größer. Dies entspricht dem bekannten Verhalten eines spannungsgeführten MSG-Lichtbogens bei dem ein innerer Selbstaussgleich stattfindet. Das durch den nahen Plasmaprozess heißere Argon-Metaldampfgemisch schien einen höheren Ionisationsgrad aufzuweisen, mit der Folge eines höheren Stromes. Da der AC-Plasmaprozess ein stromgeführter Prozess ist, zeigte der MSG-Prozess folglich keinen nennenswerten Einfluss auf den Plasmastrom, jedoch durch geometrische Effekte auf die Plasmaspannung. Mit einem Abstand d kleiner als 20 mm sank die Plasmaspannung um von -24 V auf -18 V in der negativen Plasmaphase, in der positiven Phase blieb diese weitestgehend gleich bei 34 V. Die sich daraus ergebende Abnahme der Plasmaleistung bei gleichzeitiger Zunahme der MSG-Leistung beziehungsweise deren Streckenenergien lag summiert weitestgehend gleich, bei 13,7 kJ/cm. Somit wurde die dem Werkstoff durch beide Prozesse zugeführte elektrische Energie nicht durch Prozessinstabilitäten und das Regelungsverhalten der Schweißenergiequellen beeinflusst.

Mit Abstand von weniger als 20 mm zwischen beiden Prozessen war in positiver und negativer Phase ein Querlichtbogen sichtbar, der vom MSG-Lichtbogen zur Plasmadüse brannte. Zudem wurde der MSG-Lichtbogen in der positiven Phase zum Plasmaprozess hin ausgelenkt. Wie in Abbildung 3 dargestellt ist, wurde mit geringerem Abstand auch der Tropfenübergang in die Schmelze gestört, was zu Prozessinstabilitäten wie Spritzerbildung und Anhaftungen an der Plasmadüse führte.

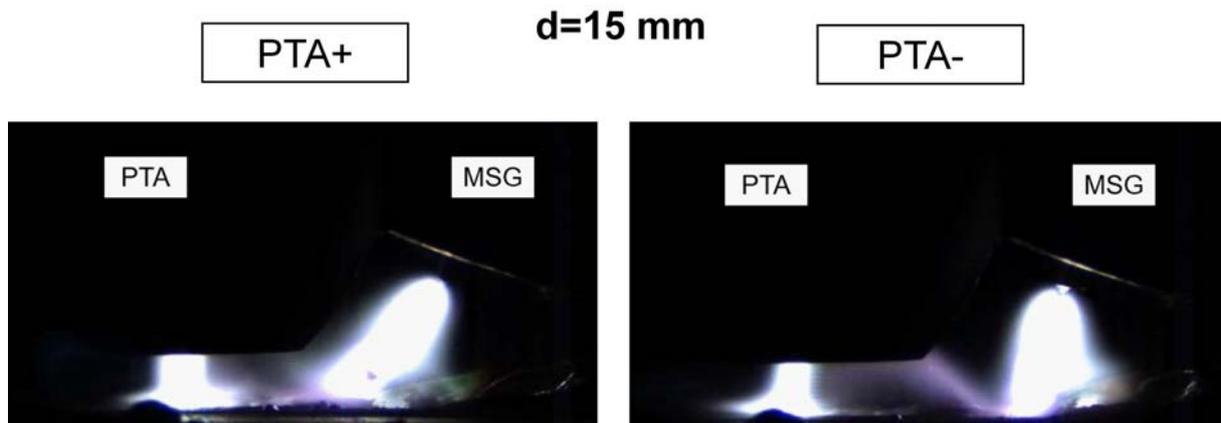


Abbildung 3: Analyse des zeitlichen MSG-Strom- und Spannungsverlaufs bei unterschiedlichen Abständen d im AC-Plasmaprozess. Effektivwerte

Die starken beobachteten Prozessinstabilitäten führten zu Spritzern, Poren, Auswürfen und Einbrandkerben sowie fehlendem Einbrand durch den AC-Plasmaprozess, weshalb zusammenfassend ein Arbeitsabstand d größer als 15 mm empfohlen wird.

In den Hochgeschwindigkeitsaufnahmen wurde deutlich, dass die positive Plasmaphase durch die Auslenkung des MSG-Lichtbogens und der Tropfenablösung den MSG-Prozess destabilisierte, obwohl die Wechselwirkungen in dem elektrischen Signalverlauf eigentlich in der negativen Plasmaphase beobachtet wurden. Der Impulslichtbogen war in den Versuchen durch seinen erzwungenen Tropfenübergang in den Hochgeschwindigkeitsaufnahmen im allgemeinen stabiler, das Einbrandverhalten war jedoch bei Sprüh- und Impulslichtbogen erst bei Abständen d von mindestens 20 mm regelmäßig und für praxisrelevante Schweißungen geeignet. Schweißen auf Aluminium mit vorausgehendem DC-negativen Plasmaprozess war zudem möglich, auch wenn zu geringeren Leistungen hin kein gemeinsames Schmelzbad mit dem MSG-Prozess mehr vorlag.

4 Untersuchungen zur magnetischen Kompensation der Lorentzkräfte mithilfe des SuperMIG-Systems

Eine wichtige Frage bei der Betrachtung des SuperMIG-Brenners war neben der Funktion der magnetischen Kompensation zwischen dem MSG- und dem Plasmaprozess, ob sich hierdurch auch beim Schweißen von Aluminiumwerkstoffen bessere Schweißergebnisse erzielen lassen. Die mit dem Super-MIG-System erreichten Schweißverbindungen wurden mit Schweißungen, die mithilfe der seriellen Einzelprozesse erzeugt wurden, verglichen. Bei den Versuchen zur Untersuchung der magnetischen Kompensation wurden mithilfe der Herstellerempfehlungen die in Tabelle 2 aufgeführten Schweißparameter ermittelt. Diese wurden auch für die vergleichenden Versuche mit den seriellen Einzelprozessen verwendet.

Tabelle 2: Konstante Schweißparameter zur Untersuchung der magnetischen Kompensation am SuperMIG-System für den AC (oben) beziehungsweise DC neg. (unten) Plasmaprozess

	Schweißgeschw. [cm/min]	Stromsignal	Balance [%]	f [Hz]	Plasma-gas [l/min]	Schutz-gas [l/min]	Durchm. Plasma-düse [mm]
Plasma	50	AC	80 neg / 20 pos	180	3,2	20	3,2
MSG		DC	-	-	-	25	-
Plasma	50	DC neg	-	-	3,2	20	3,2
MSG		DC	-	-	-	25	-

Zur Messung der Spannung an der Magnetspule wurde in der SuperMIG-Prozesssteuerung die Spannung abgegriffen. Der Strom wurde indirekt über den Spannungsabfall an einem 1 Ω-Messwiderstand im Spulenstromkreis gemessen. Die gemessenen Mittelwerte waren Effektivwerte.

Wie in Abbildung 4 links erkennbar ist, zeigte der mittlere Spulenstrom und die mittlere Spulenspannung bei dem niedrigsten Korrekturwert von 5 % und dem höchsten einstellbaren Wert von 70 % für einen AC- und DC-Plasmaprozess nur geringe Unterschiede. Die daraus ermittelte größte, an der Spule umgesetzte Leistung betrug lediglich 1,6 W. Auch eine Fourieranalyse des Frequenzgangs von Spulenstrom und Spulenspannung bei minimalem und maximalem Magnetfaktor zeigte auch bei unterschiedlichen Plasmafrequenzen keine nennenswerten Veränderungen.

Für weitere Versuche wurde die Spule elektrisch von der Prozesssteuerung getrennt. Die so in Abbildung 4, rechts gemessene induzierte Spulenspannung und der Spulenstrom nahmen immer dann zu, wenn der Plasmastrom zunahm. Bei der zur Verfügung stehenden Versuchsanlage zeigten die Elektromagneten somit weder eine Funktion noch einen Einfluss auf das Schweißergebnis. Eine Veränderung des Lichtbogenverhaltens war auch in Hochgeschwindigkeitsaufnahmen nicht erkennbar.

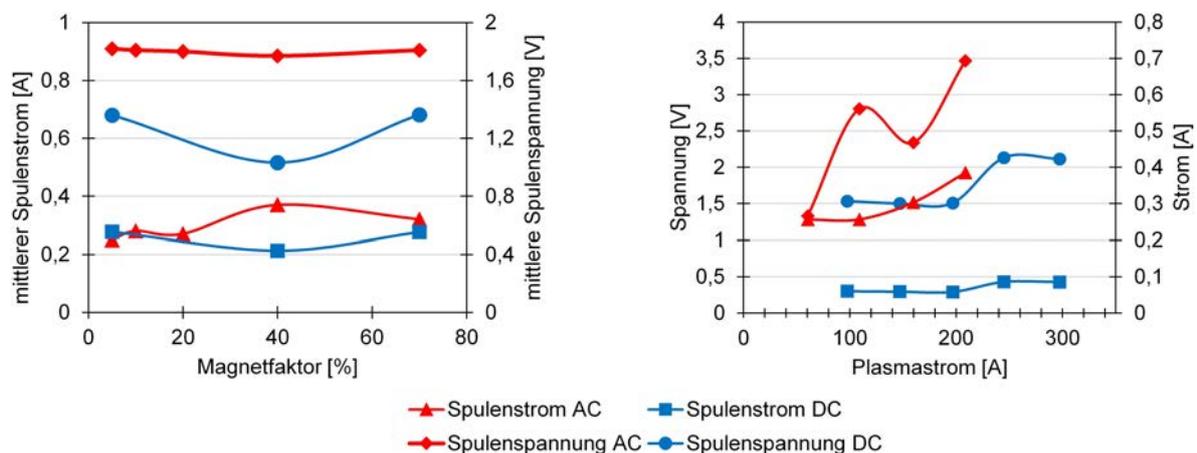


Abbildung 4: Mittlerer Spulenstrom und mittlere Spulenspannung in Abhängigkeit des Magnetfaktors

5 Einfluss des AC- und DC-negativen Plasmaprozesses auf das Schweißergebnis

Es konnte gezeigt werden, dass auch mit einem DC-negativen Plasmaprozess das Schweißen von Aluminiumwerkstoffen möglich war. Gleichzeitig zeigte der MSG-Impulslichtbogen eine größere Prozessstabilität als der MSG-Sprühlichtbogen. Die Betrachtung von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen möglicher Prozesskombinationen aus Plasma- und MSG-Processen zeigten, dass der MSG-Sprühlichtbogen, wie in Abbildung 5, oben durch seine größere Lichtbogenlänge leichter durch den AC-Plasmaprozess gestört wurde.

Neben dem Lichtbogen wurde zudem auch der Tropfenübergang ausgelenkt. Bei dem in Abbildung 5, mittig dargestellten DC-negativen Plasmaprozess war der Tropfenübergang im Sprühlichtbogen gleichmäßiger. Der in Abbildung 5, unten dargestellte Impulslichtbogen wies einen kürzeren Lichtbogen auf. Dadurch war trotz deutlich sichtbarer Nebenlichtbögen der Tropfenübergang und die Auslenkung des Lichtbogens geringer.

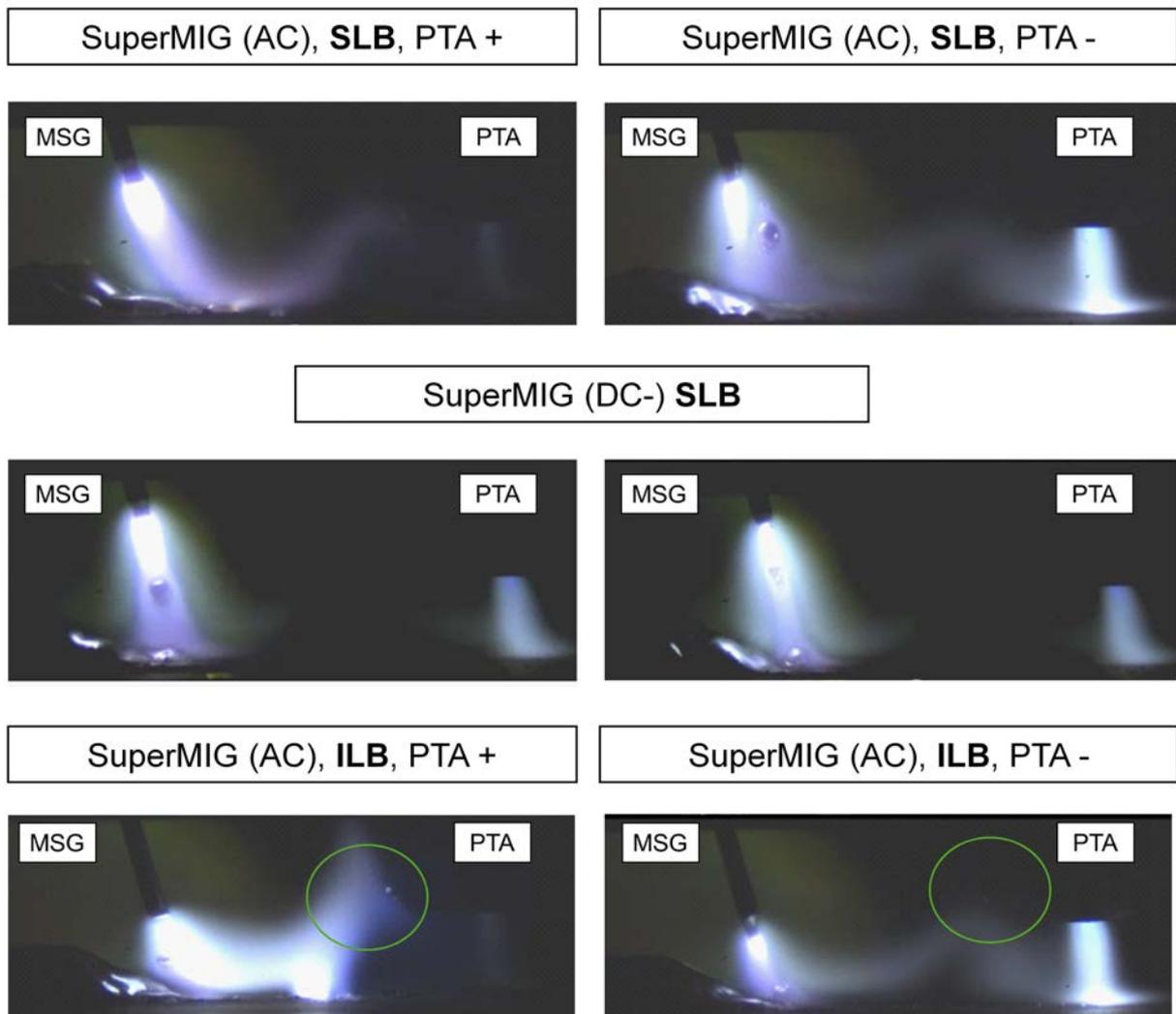


Abbildung 5: Vergleich des Prozessverhaltens anhand von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen. Oben: Auslenkung der Tropfenablösung und des MSG-Lichtbogens durch AC-Plasmaprozess. mittig: gleichmäßiger Lichtbogen ohne Auslenkung der Topfenablösung beim DC-negativen-Plasmaprozess. MSG-Sprühlichtbogen, $v_D = 8$ m/min, $I_{\text{Plasma}} = 100$ A, unten: Vergleich AC-Plasma mit MSG-Impulslichtbogen. Nebenlichtbogen grün markiert, $v_D = 8$ m/min

Es ist somit sowohl möglich, durch einen DC-negativen Plasmaprozess die Störung des MSG-Lichtbogens zu minimieren, als auch durch einen MSG-Impulsprozess stabiler mit dem AC-Plasmaprozess zu schweißen. Mithilfe des Impulslichtbogens ist bei gleichem mittlerem Schweißstrom wie beim Sprühlichtbogen von ca. 360 A die Plasmaspannung auch bei 250 A Plasmastrom noch stabil. Bei Verwendung des Sprühlichtbogens sind bei 250 A Plasmastrom messbare Einbrüche der Plasmaspannung bei einem instabileren Prozess beobachtbar und es kommt zu einem erhöhten Verschleiß an MSG-Kontaktrohren. Beim Sprühlichtbogen kam es nicht nur zu größeren Schwankungen in der Plasmaspannung, sondern auch der Einbrand war ungleichmäßiger. Beim Vergleich mit einem reinen MSG-Prozess ist zudem erkennbar, dass der tatsächliche Einbrand vorwiegend aus dem MSG-Prozess resultiert.

Die in Abbildung 6 dargestellten Einbrandverhältnisse an Schweißraupen mit konstanten MSG-Parametern an 15 mm Blechen verdeutlichen, dass weniger der Plasmastrom als die Polung des Plasmaprozesses für den Einbrand maßgeblich ist. Der AC-Plasma-Hybridprozess erreicht selbst mit über 200 A nicht den Einbrand eines DC-negativen Hybridprozesses mit 50 A. Aber auch beim DC-negativen Plasmaprozess ist der Einfluss des Plasmaprozesses auf den Einbrand gering.

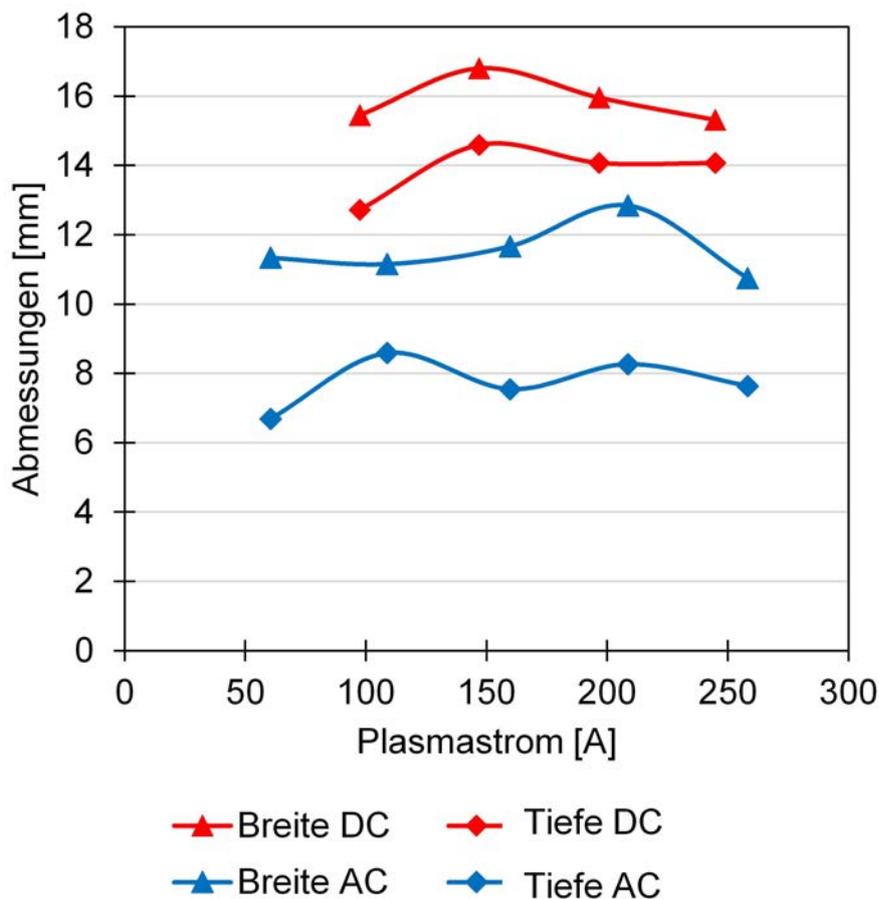


Abbildung 6: Einfluss des Plasmastroms und der Polung auf das Einbrandgeometrie an Schweißraupen mit einem MSG-Sprühlichtbogenprozess mit einer konstanten Abschmelzleistung von $v_D = 16$ m/min, Blechdicke: 15 mm Mittlerer MSG-Strom: ca. 360 A

6 Erreichte Verbindungsschweißungen an Aluminiumblechen

Eine große Herausforderung bei der Steigerung der Schweißgeschwindigkeit bei Aluminiumwerkstoffen stellt das Auftreten von Poren dar. Das Schmelzbad von Aluminiumwerkstoffen benötigt eine Entgasungszeit, in der Poren aus der Schmelze entweichen können. An Verbindungsschweißungen im I-Stoß aus dem Aluminiumwerkstoff EN AW 5754 mit 5 mm Dicke wurde beobachtet, dass zwar bis zu einer Schweißgeschwindigkeit von 230 cm/min der Plasma-MSG-Prozess stabil ist, Poren jedoch bereits ab einer Schweißgeschwindigkeit von 190 cm/min auftreten. Für Stumpfstöße mit 15 mm Blechdicke wurde der Aluminiumwerkstoff EN AW 6060 mit Drahtelektroden mit 1,2 mm sowie 1,6 mm Durchmesser untersucht. Das Ziel war es durch größere Drahtelektrodenhöhen höhere Ströme zu ermöglichen und die Einbrandtiefe bei geringeren Drahtvorschubgeschwindigkeiten zu steigern. Während der Voruntersuchungen wurde festgestellt, dass zwar mit größerem Drahtelektrodenhöhen auch ein höherer Plasmastrom von 300 A stabil erzielt werden konnte, dessen Einfluss auf den Einbrand jedoch gering war. Mit 1,2 mm Drahtelektrodenhöhen konnte beim Y-Stoß lediglich mithilfe eines Spalts eine sichere Verbindung erzeugt werden. Allerdings ließ sich so auch mit einem reinen MSG-Prozess ein zufriedenstellendes Schweißergebnis erzeugen. Erst mithilfe eines größeren Drahtelektrodenhöhen von 1,6 mm war es, wie in Abbildung 7 dargestellt, möglich, entweder auf den Spalt zu verzichten oder mit Spalt einen einfacheren I-Stoß zu verwenden. Nennenswerte Unterschiede im Festigkeitsverhalten sowie den Härteverläufen zwischen den einzelnen Verfahrenskombinationen und den Einzelverfahren konnten nicht festgestellt werden.

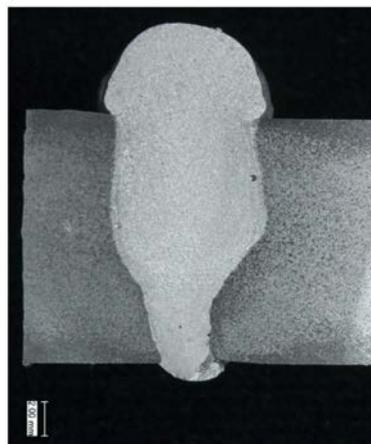
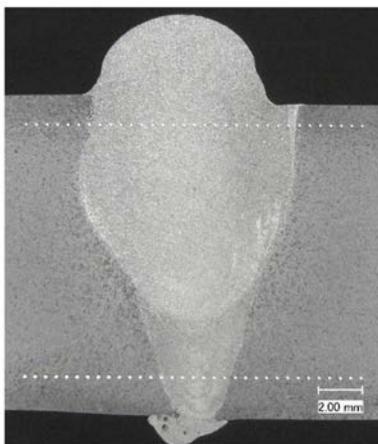


Abbildung 7: Optimierte Parameter von Verbindungsschweißungen an EN AW 6060, Blechdicke: 15 mm für 1,2 mm Drahtelektrodenhöhen. Mittlerer MSG-Strom: 392 A (Y-Stoß, links) bzw. 398 A (I-Stoß, rechts)

SuperMIG

1,6 mm Drahtdurchmesser

Plasmastrom:	100 A	Plasmastrom:	200 A
Plasmagasmenge:	2,5 l/min	Plasmagasmenge:	2,5 l/min
Plasma-Stromart:	DC neg.	Plasma-Stromart:	DC neg.
Drahtvorschubgeschw.:	11 m/min	Drahtvorschubgeschw.:	12 m/min
Schweißgeschwindigkeit:	40 cm/min	Schweißgeschwindigkeit:	40 cm/min
Nahtvorbereitung:	Y-Stoß ohne Spalt	Nahtvorbereitung:	I-Stoß, 2 mm Spalt
Plasmaschutzgas:	70% Ar 30% He	Plasmaschutzgas:	70% Ar 30% He
MSG Schutzgas:	Argon	MSG Schutzgas:	Argon
MSG-Lichtbogenart:	Impulslichtbogen	MSG-Lichtbogenart:	Impulslichtbogen

7 Zusammenfassung und Ausblick

Bei der seriellen Kopplung von Plasma- und MSG-Prozessen treten Wechselwirkungen auf, deren Einflüsse auf das Schweißergebnis sich jedoch kontrollieren lassen. Konkret wird ein minimaler Arbeitsabstand zwischen beiden Prozessen von 20 mm empfohlen. Bei der Einstellung des MSG-Prozesses erwies sich die erzwungene Tropfenablösung des MSG-Impulsprozesses bei kürzerem Lichtbogen als geeignet. Der Plasmaprozess zeigte bei Wechselstromprozessen in der positiv gepolten Phase zwar weniger Veränderungen im elektrischen Signalverlauf, doch das Lichtbogenverhalten in Hochgeschwindigkeitsaufnahmen und erwies sich als instabiler. Schweißen mit einem vorlaufenden DC-negativen Plasmalichtbogen war auch an Aluminiumwerkstoffen möglich und führte zu größerer Einbrandtiefe bei höherer Prozesstabilität.

Das SuperMIG-Brennersystem erscheint als marktverfügbares System zum Schweißen von Aluminiumverbindungen als geeignet. Eine Funktion der magnetischen Kompensation konnte jedoch im Gegensatz zu den Versuchen an Stahlwerkstoffen von [8,9] nicht festgestellt werden. Es konnten mit hohen Schweißgeschwindigkeiten von 190 cm/min Bleche mit 5 mm Dicke, sowie mit 15 mm Dicke und vereinfachter Nahtvorbereitung einlagig erfolgreich verschweißt werden.

Die Vereinfachung der Nahtvorbereitung kann größere wirtschaftliche Vorteile ermöglichen als lediglich eine höhere Schweißgeschwindigkeit. Insgesamt war der serielle Plasma-MSG-Hybridprozess bei Aluminiumwerkstoffen stark vom MSG-Prozess dominiert, weshalb hier möglicherweise weitere Hochleistungs-MSG-Prozessvarianten oder Mehrdrahtverfahren untersucht werden sollten. Auch eine Kombination mit einem Hochleistungs-WIG-Verfahren mit DC-negativ gepulsten Lichtbogen kann möglicherweise vorteilhaft sein um die Kombination aus Einbrand und Spaltüberbrückbarkeit mit geringeren Nahtüberhöhungen zu ermöglichen.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben Nummer 19.203 N/DVS-Nummer 03.116 der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, Aachener Str. 172, 40223 Düsseldorf, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ein besonderer Dank gilt neben dem Fördermittelgeber allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die gute Zusammenarbeit sowie die fachliche und technische Unterstützung.

Literatur

- [1] N.N.: „Auswahl von Werkstoffen für die schweißtechnische Anwendung im Schienenfahrzeugbau“, DVS Merkblatt 1616, Verlag für Schweißen und verwandte Verfahren DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1998
- [2] N.N.: „Was bringen MSG-Hochleistungsverfahren beim Aluminiumschweißen?“ Der Praktiker 1/2004, S. 26-28, 2004

- [3] Reisgen, U.; Olschok, S.; Mavany, M.; Jakobs, S.: „Potenziale der hybriden Laser-Lichtbogen-Verfahren für den Bereich der Dickblechanwendungen“, DVS-Berichte, Band 267, pp. 181-187, 2010
- [4] Dilthey, U.; Keller, H.: „Pilotstudie zum Einsatz eines Laser-MSG-Hybridprozesses zum Hochleistungsschweißen von Stahl“, Forschungsprojekt P 426/A 139, ISF der RWTH Aachen University, Aachen, 2000
- [5] Dilthey, U.: "Schweißtechnische Fertigungsverfahren 1 Schweiß- und Schneidtechnologien" 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 2006
- [6] Reisgen, U.; Schleser, M.; Harms, A.; Schiebahn, A.: „Konduktiv unterstütztes Rührreibschweißen an Stahl- und Aluminiumwerkstoffen“, Schweißen und Schneiden 63, Düsseldorf, 2011
- [7] Dykhno, I.; Davis, R.: "Joining GMAW and GTAW - Hybrid welding takes on a whole new meaning with new technology developments", The Fabricator, 2006
- [8] Huber, M.; Miller, M.; Cramer, H.: „Serielle Kopplung des Plasma- und MSG-Prozesses zur Erhöhung von Wirtschaftlichkeit und Prozesssicherheit beim Schweißen im Anlagen- und Behälterbau“, Schweißen und Schneiden, 66, 5, S. 257-261, 2014
- [9] N.N.: Entwicklung einer seriellen Kopplung des Plasma- und MSG-Prozesses zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und Prozesssicherheit beim Schweißen im Anlagen- und Behälterbau, Schlussbericht zu dem Forschungsvorhaben Nr. 5158, 2012 StMWVT-0811-0002, SLV München, München, 2013