

SpeedPulse - Der bessere Impulslichtbogen

B. Jaeschke, Auenwald, Deutschland, 05.08.2014

Die Markteinführung von SpeedPulse mit Vorstellung auf der Messe Euroblech 2008 kennzeichnet einen Meilenstein in der Prozessentwicklung von Lorch. Diese kommentierte Zusammenstellung entspricht inhaltlich dem vielbeachteten Vortrag, welcher im Rahmen des DVS-Forums auf der Messe Schweißen und Schneiden 2009 gehalten wurde.

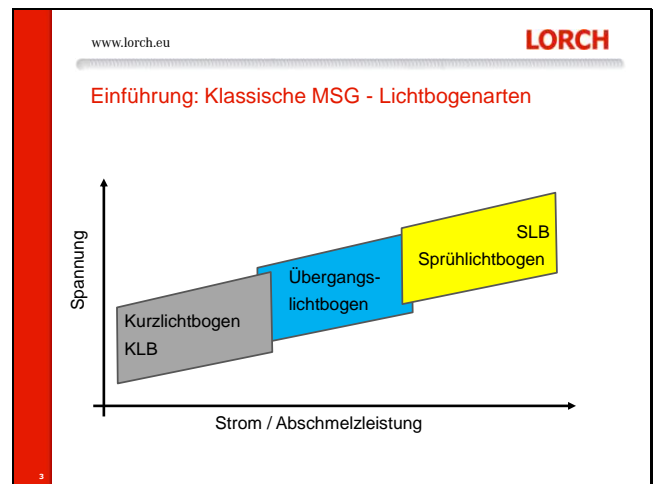
1



Diese Präsentation thematisiert die Weiterentwicklung des Impulslichtbogens zum SpeedPulse. Es wird auf die physikalischen Effekte eingegangen, zu den Eigenschaften und Merkmalen werden Aussagen getroffen und über deren Wirkung werden die Vorteile des Verfahrens SpeedPulse dargestellt.

Abschließend wird auf die Umsetzung und Anwendungen eingegangen.

2



Dies ist die übliche Diagrammdarstellung für argonreiche Mischgase. Je nach Gas, Material, Drahtdurchmesser ergeben sich bestimmte Bereiche, in denen sich verschiedene Lichtbogenarten beim MSG-Schweißen beobachten lassen:

- im unteren Bereich Kurzlichtbogen mit moderater Spritzerbildung
- im oberen Bereich Sprühlichtbogen (SLB)
- dazwischen Übergangslichtbogen (ÜLB) mit größeren Spritzern, Verschlechterung Schweißergebnis

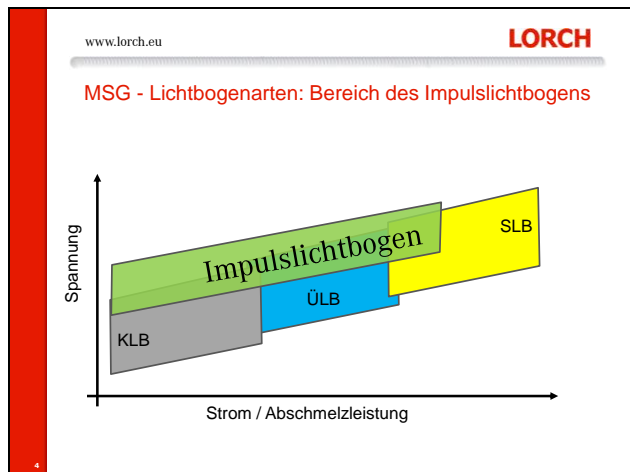
Die verschiedenen Lichtbogenarten werden üblicherweise in einem Diagramm schematisch durch Flächen lokalisiert, bei dem die Ordinate die wirksame Lichtbogenspannung darstellt und bei dem auf der Abszisse der wirksame Schweißstrom bzw. die damit korrelierende Drahtfördergeschwindigkeit der abschmelzenden Elektrode eingetragen sind. In Abhängigkeit von weiteren Parametern, insbesondere vom Drahtelektrodendurchmesser und von der Schutzgaszusammensetzung, ergeben sich grob abgrenzbare Bereiche für verschieden charakterisierbare Lichtbogenarten, die sich beim Schweißen beobachten lassen.

Im Bereich geringer Ströme ergibt sich der bei geringer wirksamer (mittlerer) Spannung existierende Bereich des Kurzlichtbogens und im Bereich höherer Ströme brennt bei höherer Spannung der Sprühlichtbogen (bei argonreichen Mischgasen).

Zwischen dem durch geringen Energieeintrag und durch die regelmäßigen Kurzschlüsse mit moderater Spritzerbildung gekennzeichnete Kurzlichtbogen und dem kurzschlussfreien, heißen, feintropfigen und spritzerarmen Sprühlichtbogen gibt es einen Bereich des Übergangslichtbogens, der bei Mischgasen besonders ausgeprägt ist.

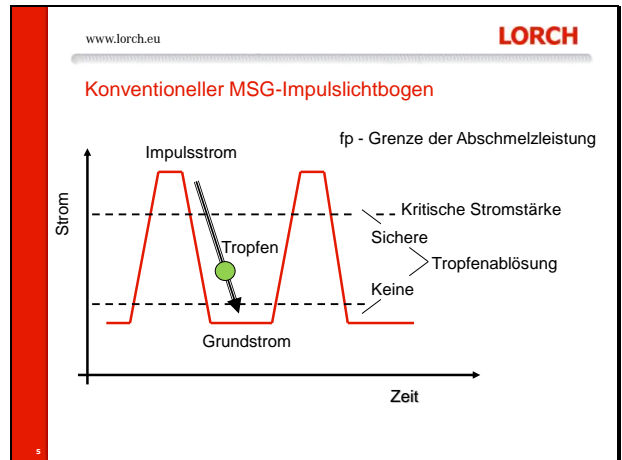
Im Bereich des Übergangslichtbogens treten verstärkt größere Spritzer auf, die das Schweißergebnis verschlechtern.

3



Der gesteuerte Impulslichtbogen wurde seit den 1960er Jahren (1965) immer weiter entwickelt und bietet gerade im mittleren Leistungsbereich große Vorteile. Der Bereich des klassischen Übergangslichtbogens wird vollständig abgedeckt, im unteren „kalten“ Leistungsbereich konkurriert der Impulslichtbogen durch sein fast spritzerfreies Verhalten, flacheren Raupen und tieferem Einbrand mit dem Kurzlichtbogen, im oberen Leistungsbereich erreicht er moderate, für viele Anwendungen ausreichende Abschmelzleistungen, die durch klassische Sprühlichtbogenprozesse jedoch übertroffen werden.

4



Der gesteuerte Impulslichtbogen ist dadurch charakterisiert, dass während der Impulsphase der Lichtbogenstrom die kritische Stromstärke zum Sprühlichtbogen deutlich überschreitet, so dass von der schmelzenden Drahtelektrode eine Tropfenablösung durch den elektromagnetischen Pincheffekt hervorgerufen wird. Allgemeiner Konsens bezüglich des Impulslichtbogens ist die Aussage, dass „ein Tropfen pro Puls“ von der abschmelzenden Drahtelektrode in des Schmelzbad spritzerfrei übergehen soll, wie im oben dargestellten Bild prinzipiell veranschaulicht ist.

Die Grenze der Abschmelzleistung für einen gegebenen Drahtdurchmesser ist beim konventionellen Impulslichtbogen durch eine obere Pulsfrequenz bedingt, bei der die Zeit zwischen den Impulsen nicht mehr richtig ausreicht, um zwischen gesteuerter oder sprühlichtbogenartig ungesteuerter Tropfenablösung durch ein hinreichend tiefes Stromniveau zu unterscheiden. Der Prozess entartet, geht aber nicht in einen sauberen reinen Sprühlichtbogen über.

Es gibt jedoch auch spezielle andere Ausprägungen.

„Mehrere Impulse pro Tropfen“

- treten gegebenenfalls mit der Startphase des (noch) nicht eingeschwungenen Impulslichtbogen-Schweißprozesses auf
- ergeben sich durch Einfügen von „Zwischen-Impulsen“, die keinen Werkstoff von der Elektrode lösen sollen, aber andere spezielle Effekte hervorrufen können (Laborversuche)
- wurden für das Impulsschweißen von Mischgasen mit größer 30% CO₂ pro-

pagiert (statt Sprüh- der Langlichtbogen, in der Praxis zu instabil).

„Mehrere Tropfen pro Puls“

- ergeben sich bei einem intermittierenden Sprühlichtbogen, der so bestimmte vorteilhafte Effekte hervorrufen kann (z.B. Schmelzbadschwingung zur Verbesserung des Ausgasens der Schmelze und zur Beeinflussung der Kristallisation)

Der „ein Tropfen pro Puls“ Impulslichtbogen ist insgesamt

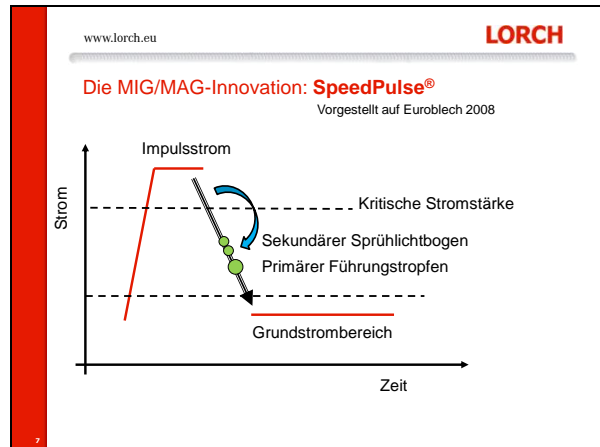
- präzise durch eine Anzahl Pulsparameter determiniert steuerbar, die synergetisch auf Führungsparameter gebündelt werden
- dadurch sehr anpassbar zur Erfüllung diverser Anforderungen (Werkstoffe, Schutzgase, ...)
- immer noch relativ einfach vom Anwender zu verstehen.

5



Bilder des Werkstoffübergangs: Links SpeedPulse, rechts konventioneller Puls

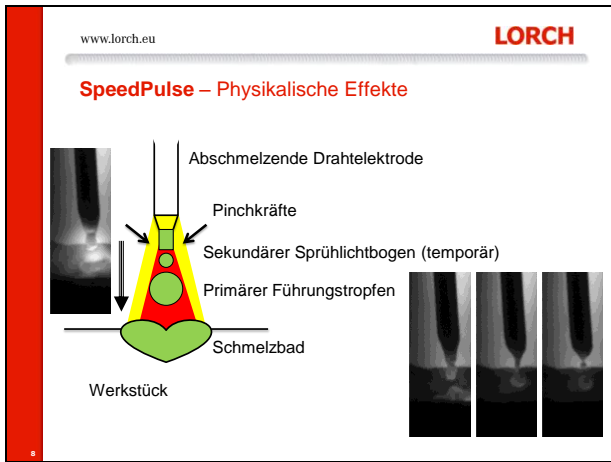
6



Die Grenze der Abschmelzleistung für das Impulsschweißen wurde inzwischen nach oben verschoben. Die Weiterentwicklung des Impulslichtbogens von Lorch wurde erstmals auf der Messe „Euroblech 2008“ unter dem Namen „SpeedPulse“ der Öffentlichkeit vorgestellt.

Physikalischer Grundgedanke ist, dass zunächst ein hoher Stromimpuls einen primären Tropfen, einen Führungstropfen, von der Drahtelektrode ablöst. Durch den Ablöseprozess des Führungstropfens wird von der Drahtelektrode schmelzflüssiger Werkstoff entfernt. Damit liegt vom Ansatz her erst einmal ein normaler Impulslichtbogen vor. Der primäre Führungstropfen löst im Gegensatz zum klassischen Impulslichtbogen jedoch einen weitergehenden sekundären Werkstoffübergang aus, der anschließend gesteuert beendet wird, um die Charakteristik des Impulslichtbogens im wesentlichen zu belassen. Der gesamte Vorgang lässt sich anschaulich am besten damit beschreiben, dass weiterer Werkstoff scheinbar durch den Puls „hinterhergezogen“ wird.

7

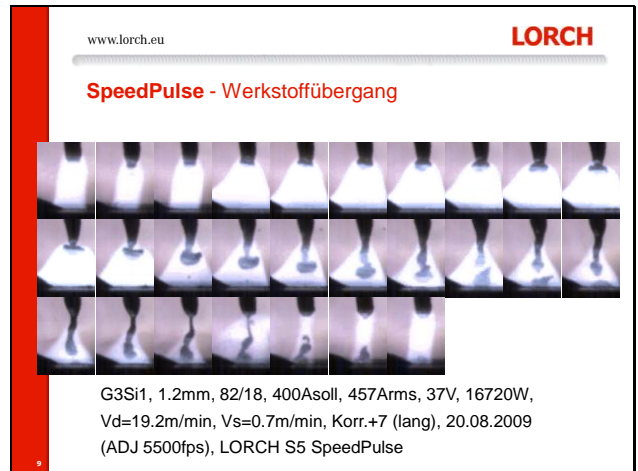


Folgende physikalischen Effekte werden beim SpeedPulse ausgenutzt:

- Im Moment der Ablösung des primären Führungstropfens befindet sich die Restmaterialbrücke zur Drahtelektrode auf Grund des nun verringerten Durchmessers kurzzeitig im Sprühlichtbogenbereich; die Pinchkraft(*) kann weiteres schmelzflüssiges Material ablösen
- Das schmelzflüssige Restmaterial wird durch die Bewegung des primären Führungstropfens in Richtung Schmelzbad mitgezogen und besitzt eine gewisse träge Masse; dies unterstützt die sekundäre Ablösung.
- Unmittelbar nach erfolgter Unterbrechung der Brücke zwischen Drahtelektrode und primären Führungstropfen hat die Oberflächenspannung den schmelzflüssigen Werkstoff noch nicht zu Kugelsegmenten zusammengezogen, diese Bereiche können ebenfalls kurz im Sprühlichtbogenbereich zur weiteren sekundären Materialablösung verbleiben

(*) Die Pinchkraft entsteht durch die Wechselwirkung des Eigenmagnetfeldes eines stromdurchflossenen Leiters mit den sich darin bewegenden Ladungsträgern. Bei genügender Größe und Einwirkungszeit führt sie zu einem Transport von schmelzflüssigen Metall von der Drahtelektrode fort in Richtung des sich weitenden Lichtbogens. Die Pinchkraft steigt etwa quadratisch proportional zum Strom an und sinkt proportional mit steigendem Querschnitt des Leiters.

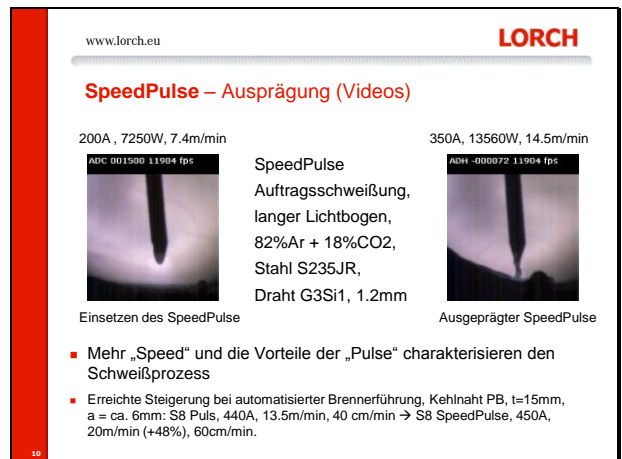
8



Obige Bildersequenz zeigt an einem absichtlich sehr lang eingestellten Lichtbogen den prinzipiellen Werkstoffübergang des SpeedPulse.

In der ersten Bilderzeile wird der primäre Führungstropfen gebildet und durch die Pinchkraft eingeschnürt. Die zweite Bilderzeile zeigt die Ablösung des primären Führungstropfens und das „Nachziehen“ von zusätzlichem Werkstoffes, welcher am Ende von Bilderzeile 3 kurz vor dem nächsten Impulsbeginn aufgelöst wird.

9



Der SpeedPulse-Lichtbogen wurde in verschiedenen Leistungsbereichen zuerst für unlegierten Stahl untersucht. Vom mittleren zum oberen Leistungsbereich können die Effekte des kontrollierten zusätzlichen sekundären Werkstoffübergangs immer mehr gesteigert werden, so dass die zunächst als Basis dienende Drahtvorschubgeschwindigkeit des klassischen Impuls-Lichtbogenprozesses und damit

die Schweißgeschwindigkeit weiter erhöht werden konnte, ohne die Pulsfrequenz zu steigern zu müssen.

Im Rahmen der Versuche war es möglich, für G3Si1, 1.2mm, 82%Ar+18%Co2 die Drahtvorschubgeschwindigkeit in der waagerechten Kehlnaht von 13.5m/min auf 20m/min zu steigern, wobei die charakteristischen positiven Eigenschaften des Impulslichtbogens erhalten blieben (+48%, S8, Automatisierte Brennerführung, Kehlnaht PB, t=15mm, a=6mm: Lorch S8, Puls 13.5m/min → SpeedPulse 20m/min).

10



Vorteilhafte Einstellung eines tiefen Lichtbogens (das Schmelzbad ist tief im Grundmaterial)

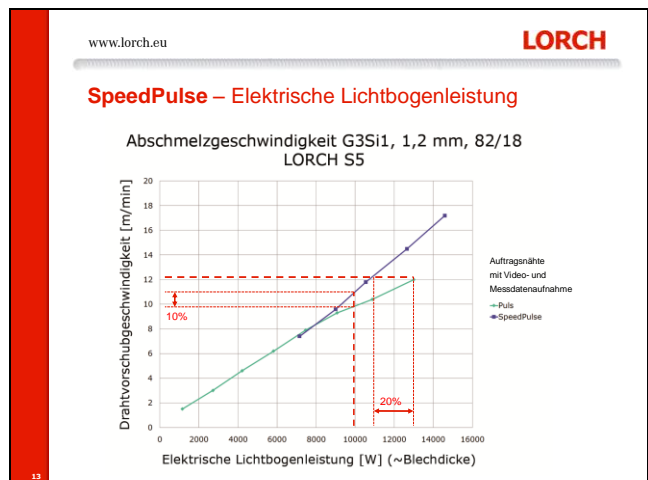
Die obige Bildsequenz zeigt Hochgeschwindigkeitsaufnahmen des SpeedPulse. In der ersten Bilderzeile ist der Bereich des fast kontinuierlichen scheinenden Werkstofftransfers zwischen den Hochstromimpulsen (Bilderzeile 2 und 4-5) zu erkennen, der den SpeedPulse im oberen Leistungsbereich charakterisiert. Der Einbrand im ebenen Blech ist so tief, dass das Schmelzbad nicht sichtbar ist und die primären Führungstropfen durch den Werkstückkörper verdeckt ins Schmelzbad übergehen.

11



Videsequenz. Vorteilhafte Einstellung eines tiefen Lichtbogens (das Schmelzbad ist tief im Grundmaterial)

12



Zur Untersuchung des Zusammenhanges von Abschmelzleistung und eingebrachter elektrischer Leistung wurden genaue Messungen vorgenommen, bei denen die in den Lichtbogen eingebrachte elektrische Leistung durch eine echte Leistungsmessung (als unmittelbare Multiplikation des gemessenen Lichtbogenstromes mit der gemessenen Lichtbogenleistung in sehr kleinen Zeitabständen) sehr genau bestimmt wurde.

Auf Grund der Dynamik von Strom und Spannung würde nämlich eine Berechnung der Leistung aus den Ergebnissen einer normaler Mittelwert- oder Effektivwertmessung von Strom

und Spannung zu fehlerhaften Leistungswerten führen. Die Mittelwertmessung liefert zu kleine, die Effektivwertmessung zu große Leistungswerte, besonders im unteren Bereich. Die Ergebnisse der Messungen sind in obigen Diagramm (12) dargestellt.

Die Steigerung der Abschmelzleistung mit SpeedPulse gegenüber dem klassischen Impulsschweißen setzt ungefähr in der oberen Hälfte des nutzbaren Leistungsbereiches für den 1,2mm SG2-Draht und 82%Ar+18%CO₂ an und wird mit zunehmender eingebrachter elektrische Lichtbogenleistung immer deutlicher.

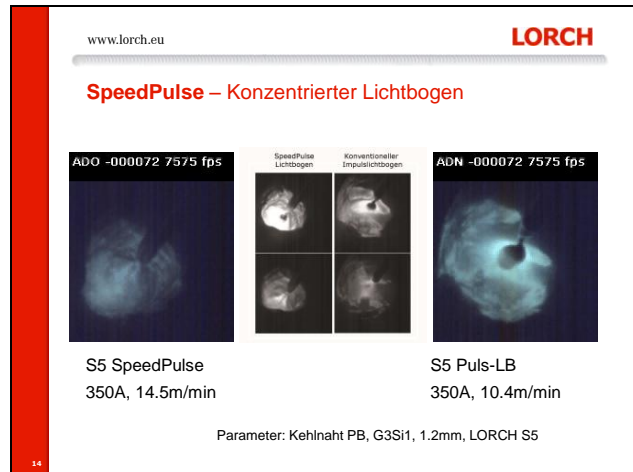
Zum Teil erfolgt die Steigerung durch eine bessere Ausnutzung der eingebrachten elektrischen Energie zum Abschmelzen der Drahtelektrode. Es ist erkennbar, dass bei einer (von der Schweißstromquelle eingebrachten) elektrischen Leistung von ca. 10kW der klassische Impulslichtbogen etwa 10m/min Draht abschmilzt, der SpeedPulse hingegen bereits 11m/min, also immerhin 10% mehr.

Umgekehrt kann man schlussfolgern, dass für eine geforderte Abschmelzgeschwindigkeit von 12m/min der klassische Impulslichtbogen 13kW benötigt, der SpeedPulse-Lichtbogen hingegen mit 10,5kW auskommt, also auch wiederum mit ca. 20% weniger elektrischer Leistung.

Zum einen bedeutet dies eine vorteilhafte Verringerung der eingebrachten Streckenenergie beim Schweißen, zum anderen sind die Stromverbrauchskosten etwas geringer.

Diese Aussage wird auch durch praktische Erkenntnisse gestützt, wo nach Umstellung des Schweißprozesses vom klassischen Impulsschweißen auf SpeedPulse teilweise deutlich erkennbar geringere Anlauffarben bei Schweißen von Edelstahl entstanden, aber auch dass weniger Verzug von Werkstücken auftrat.

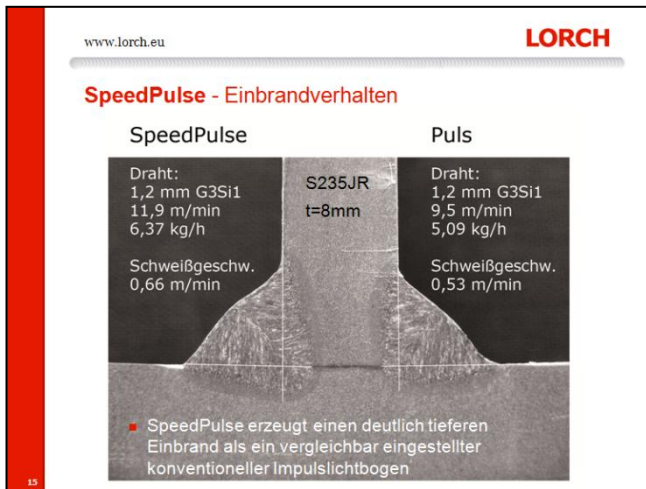
13



Die obigen mit einer Hochgeschwindigkeitskamera aufgenommenen Bilder zeigen zeitlich untereinander links die Tropfenablösung des SpeedPulse, rechts des klassischen Impulsschweißens in der Kehlnaht, aufgenommen aus der Perspektive des Schweißers.

Für den Schweißer wird mit zunehmender Leistung optisch der SpeedPulse-Lichtbogen immer spitzer und konzentrierter. Die höhere Drahtvorschub- und Schweißgeschwindigkeit bleibt dadurch auch beim handgeführten Schweißen für den Schweißer noch gut beherrschbar. Zitat eines Schweißers: „Man schweißt automatisch schneller, weil es einfach gut läuft“. Diese Aussage lässt sich am überzeugendsten durch die Teilnahme an einer Schweißvorführung des SpeedPulse-Lichtbogens prüfen.

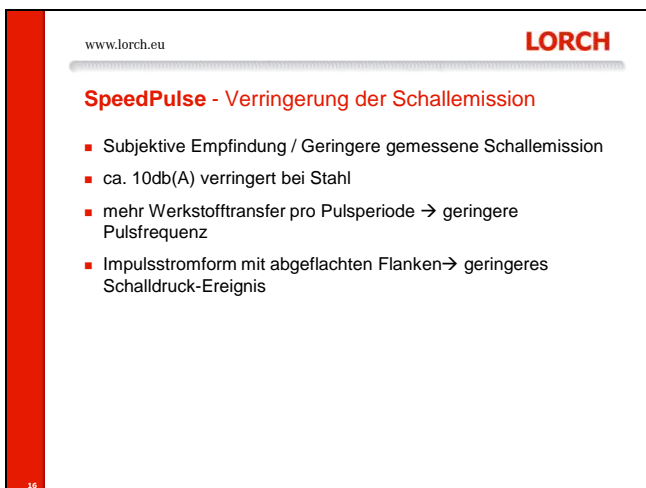
14



Vergleich unter weitestgehend gleichen Randbedingungen

Es ist erkennbar, dass SpeedPulse im Vergleich zum klassischen Impulsschweißen (hier bei Stahl) bei gleicher Brennerstellung (stehend ca. 15°, Einfluss auf Einbrand) und optischer (spiegelbildlicher) Schweißrichtung einen tieferen, qualitativ guten Einbrand erzeugt. Im obigen Bild wurde die Puls-Naht zuerst geschweißt. Sichtbar: Aufschmelzzone, Wärmeinflusszone.

15



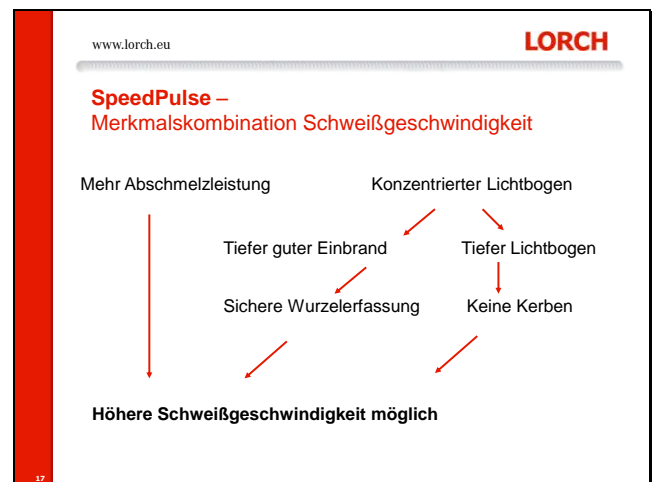
Nach subjektiven Aussagen von Schweißern, der SpeedPulse-Lichtbogen würde insbesondere für Stahl durchaus angenehmer klingen, als der klassische Impulslichtbogen, wurden eine vergleichende Schallmessung durchgeführt. Es konnte unter Laborbedingungen nachgewiesen

werden, dass die Schallemission des SpeedPulse-Lichtbogens insbesondere bei Stahl um ca. 10db(A) geringer ist, als beim klassischen Impulslichtbogen.

Erklärbar ist dies damit, dass ein SpeedPulse-Stromimpuls im oberen Leistungsbereich durch die sekundäre temporäre Sprühlichtbogenphase mehr Werkstoff von der Drahtelektrode ablöst, daher ist für eine gegebene Abschmelzmenge die Pulsfrequenz selbst geringer. Hinzu kommt, dass die Stromimpulse des SpeedPulse etwas weicher und damit akustisch angenehmer gestaltet werden können.

Auch wenn in der Praxis stark unterschiedliche Bedingungen für die Schallerzeugung des Lichtbogens, die Schallausbreitung am Arbeitsplatz und die Exposition des Menschen gegeben sind, so kann dieses Merkmal des SpeedPulse als ein Pluspunkt gewertet werden.

16



Der SpeedPulse-Lichtbogen erlaubt also zunächst grundsätzlich eine höhere Drahtvorschubgeschwindigkeit und damit eine höhere Abschmelzleistung. Aber ist dieses Merkmal auch in den Vorteil einer höheren Schweißgeschwindigkeit umsetzbar?

Da beim SpeedPulse auch ein besonders konzentrierter Lichtbogen vorliegt, der einen tieferen guten Einbrand erzeugt, ist eine sichere Wurzelerfassung auch bei höheren Schweißgeschwindigkeiten möglich.

Weiterhin kann beim SpeedPulse der Lichtbogen sehr tief gehalten werden, so dass die Gefahr von Einbrandkerben vermindert ist.

Somit stellt diese Kombination der positiven Merkmale des SpeedPulse sicher, dass in der

Praxis wirklich ein schnelleres Schweißen bei hoher Qualität möglich ist.

17

LORCH

www.lorch.eu

Umsetzung: LORCH S „SpeedPulse“



- Synergetischer SpeedPulse
- 1.0mm - 1.6mm Draht-Ø
- Stahl S235JR; 82/18, 92/8 (Ar/CO2)
- CrNi ER308/ER316; 98/2 (Ar/CO2)
- Al-Mg4.5/Mg5/Si5; Argon

- vollwertige und bewährte Impulsschweißstromquelle
- zusätzlich wählbare synergetische SpeedPulse-Prozessführung

18

Der SpeedPulse ist lieferbar in Form der Lorch S „SpeedPulse“. Es handelt sich um eine vollwertige und bewährte Impulsschweißstromquelle mit zusätzlich wählbarer synergetischer SpeedPulse-Prozessführung für Stahl (Baustähle S235 bis S355), rostfreiem Stahl (CrNi) und Aluminium (AlMg, AlSi).

18

LORCH

www.lorch.eu

SpeedPulse – größte Vorteile bei Stahl



- Herstellung von Großkranen: Terrex Cranes in Zweibrücken
- SpeedPulse ersetzt konventionelles MSG- und Pulsschweißen
- Nutzung der Vorteile seit Anfang 2009: höhere Schweißgeschwindigkeit, Vermeidung von Spritzern und Einbrandkerben, Minderung der Wärmeinbringung (positiv bezüglich vorgegebener Abkühlgeschwindigkeiten bei hochfesten Feinkornbaustählen), geringere Lärmbelastung
- 100% Schweißnahtprüfung (ISO5817)

19

Bei Stahl kommen die Merkmale des SpeedPulse besonders vorteilhaft zur Geltung. Schneller, sicherer, einfach besser wirkt der SpeedPulse, dabei bleiben alle bisherigen Vorteile des Impulslichtbogens erhalten. Im Vergleich zu dem klassischen MIG/MAG-Schweißen mit Kurzlichtbogenbereich, Übergangslichtbo-

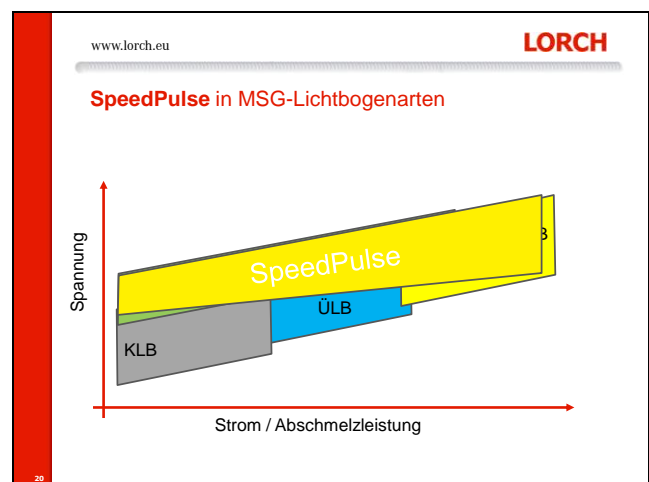
genbereich und Sprühlichtbogenbereich überstreicht jetzt der SpeedPulse-Lichtbogen einen noch größeren Bereich nach oben, als der klassische Impulslichtbogen.

Wie wurde bisher der Endkrater nach dem Schweißen mit einem Sprühlichtbogen höherer Leistung gefüllt: in dem durch den Übergangslichtbogen mit Spritzern bis in den Kurzlichtbogen die Leistung verringert wurde? Dies geht mit dem SpeedPulse jetzt ohne Spritzer, weil die Impulslichtbogeneigenschaften des SpeedPulse den vollen hierfür nötigen Leistungsbereich ohne Spritzer durchfahren.

Oder reichte die Leistung des klassischen Impulslichtbogens einfach nicht aus, so dass ein Sprühlichtbogen genutzt werden musste, obwohl manchmal leider auch im Übergangslichtbogenbereich gearbeitet werden musste, weil der Drahtdurchmesser nicht angepasst werden konnte? Auch hier überstreicht der SpeedPulse jetzt den erforderlichen Bereich nach oben und bleibt fast spritzerfrei.

Lässt sich der tiefe Einbrand des SpeedPulse vielleicht für weitere Steigerungen der Schweißgeschwindigkeit oder zur Verringerung des Aufwandes zur Nahtvorbereitung ausnutzen?

19



SpeedPulse überstreicht durchgängig (ohne Übergangslichtbogen) den Abschmelzleistungsbereich des klassischen MSG-Schweißens vom Kurzlichtbogen bis zum Sprühlichtbogen. Hinzu kommen Vorteile des spritzerarmen und genau

steuerbaren Impulslichtbogens, so dass insgesamt von einer deutlichen Verbesserung des MSG-Schweißens gesprochen werden kann.

20

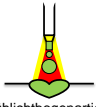
LORCH
SpeedPulse

www.lorch.eu

Was bleibt vom konventionellen Impulslichtbogen?

- Alles: bewährt, akzeptiert, breite Anwendung, vielfältige synergetische Kennlinien und Einstellparameter für diverse Werkstoffe und Werkstoffkombinationen.
- Der **SpeedPulse**-Lichtbogen erweitert und verbessert das Impulsschweißen als neue Verfahrensvariante mit spezifischen Vorteilen:
 - Abschmelzleistung
 - Einbrand
 - Wärmeeintrag
- Das prozesstechnische Prinzip des **SpeedPulse**
 - das Nachziehen eines zusätzlichen sekundären sprühlichtbogenartigen Werkstoffübergangs nach einem gepulsten primären Führungstropfen

bietet noch genug Raum für weitere Untersuchungen und für das Erkennen und Optimieren sich jeweils eröffnender Vorteile für den Anwender.



Was bleibt vom konventionellen Impulslichtbogen?

Der Impulslichtbogenprozess ist bewährt, akzeptiert und hat eine breite Anwendung gefunden. Es gibt zu den Schweißstromquellen vielfältige synergetische Kennlinien und Einstellparameter für diverse Werkstoffe und Werkstoffkombinationen.

Zusammenfassung:

Der SpeedPulse-Lichtbogen erweitert und verbessert das Impulsschweißen als neue Verfahrensvariante mit spezifischen Vorteilen. Das prozesstechnische Prinzip des SpeedPulse – das Nachziehen eines zusätzlichen sekundären sprühlichtbogenartigen Werkstoffübergangs nach einem gepulsten primären Führungstropfen – bietet noch genug Raum für weitere Untersuchungen und für das Erkennen und Optimieren sich jeweils eröffnender Vorteile für den Anwender.

21

LORCH
SpeedPulse

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Halle 3, Stand 341 – sehen Sie auch **SpeedArc** und **SpeedUp**
Fachzeitschrift „Schweißen und Schneiden“, aktuelles Heft 9/2009, S. 548 ff.



SpeedPulse Lichtbogen Konventioneller Impulslichtbogen



SpeedPulse



Abschmelzgeschwindigkeit G3Si1, 1.2 mm, 82/18 LORCH 55

Lorch Schweißtechnik GmbH | www.lorch.eu

Literatur

Jaeschke, B., u.a.: SpeedPulse – eine produktivitäts- und effizienzsteigernde Weiterentwicklung des MSG-Impulsschweißens. Fachzeitschrift „Schweißen und Schneiden“ 61 (2009), Heft 9, S. 548ff. DVSVerlag, Düsseldorf 2009.

Jaeschke, B: Der wirtschaftliche MSG-Lichtbogen-schweißprozess durch moderne Schweißgerätetechnologien. DVS-Berichte Band 267, DVS Congress 2010, S. 328 ff. DVS Media, Düsseldorf 2010.

Jaeschke, B: Zusammenhänge bei der Messung, Steuerung und Regelung moderner MSG-Lichtbogenschweißprozesse und deren Verständnis. DVS-Berichte Band 275, DVS Congress 2011, S. 250 ff. DVS Media, Düsseldorf 2011.