

Autor:

Gerd Trommer
rgt redaktionsbüro gerd trommer
Bahnhofstr. 1, 64579 Gernsheim
Tel. 06258/9320-30, Fax: -32

Zahl der Zeichen:

Manuskript (ohne Bildlegenden) ca.: 14.400

Hochleistungs-Schweißen: Ein Schlagwort und vier Alternativen

Was bringen die Verfahren dem Anwender?

Das Fügen zählt generell zu den Wachstumsbranchen. Höchste Zuwachsraten erwarten die Branchenkenner vom Laserschweißen. Doch auch die Lichtbogen-MSG(Metallschutzgas)-Schweißverfahren haben bei Herstellern und Forschungsinstituten noch Wachstumspotenziale. Einig sind sich die Hersteller bei der Bedeutung von Hybridverfahren. „Laser-Hybrid-schweißen bezeichnen 65% als zukünftig dominante Verfahrenskombination, wobei vor allem dem Laser-MIG-Prozess das größte Potential eingeräumt wird.“¹⁾

Kürzere Taktzeiten und höhere Produktivität lauten zentrale Forderungen an die Produktion im industriell globalen Wettbewerb. Dem entsprechen in der Praxis zwei Trends: 1. höhere Produktionsleistungen, 2. zunehmende Großserienproduktion. In der Schweißtechnologie lösen Hochleistungs-Verfahren zunehmend diese Aufgaben. Einerseits steigen die Fügegeschwindigkeiten, andererseits die Abschmelzleistungen. Das gilt primär bei hohen Stückzahlen, z.B. in der Automobil- und Zulieferindustrie, aber auch beim Fügen großvolumiger Bauteile mit großen Verbindungsquerschnitten oder beim Auftragsschweißen großer Flächen. Je nach Rahmenbedingungen der Anwendung und des Anwenders stehen inzwischen unterschiedliche Lösungen zur Verfügung.

Stand der Technik: hohes Niveau erreicht

Ein teilweise „turbulenter“ Entwicklungsprozess mit deutlichen Innovationsschüben kennzeichnet sowohl die vergangenen Jahre der schweißtechnologischer Entwicklung generell als auch die des Hochleistungsschweißens (s. Bild 1). Die drei Hauptforderungen des Anwenders lauten heute: Stromquellen hoher Leistung, einfache Bedienung und höchste Verfügbarkeit der Schweißsysteme. Im Bereich des Lichtbogenschweißens bietet Fronius z.B. das Tandem-Verfahren und zwei Varianten von Eindraht-Verfahren mit großen Drahtquerschnitten an. Das Spektrum rundet das LaserHybrid-Verfahren (Kombination von Laser- und MSG-Schweißen) als viertes und eigenständiges Verfahren ab.

Gemeinsam ist allen Hochleistungsschweißverfahren, dass sie zumindest mechanisiert sind, meist jedoch automatisiert und zunehmend roboterunterstützt.

Voll digitalisierte Stromquellen: flexibel und schnelle Prozessregelung

Die vier Verfahren zeichnet eine Gemeinsamkeit aus: Die Digitalisierung von Hard- und Software. Ohne die digital gesteuerten Schweißströme, die digitale Prozessregelung und das digitalisierte Schweiß-Know-how wären die heutigen Leistungen der Geräte, die Ergebnisse der Prozesse und die Qualität der Verbindungen nicht denkbar.

Daten und Werte sagen viel, aber ...

... zum Definieren der Leistung sind eindeutige Daten erwünscht. Vor allem der Anwender sucht solche Daten als Entscheidungshilfe. Im Vordergrund stehen hier die Abschmelzleistung und/oder die

Schweißgeschwindigkeit. Die konkreten Schweißparameter hängen aber von zahlreichen Randbedingungen ab. Die Grafik (Bild 2) zeigt daher nur die prinzipiellen Zusammenhänge und Tendenzen von Schweißgeschwindigkeit und Abschmelzleistung. Beispielhafte Daten zu erreichten Maximalwerten enthält die tabellarische Übersicht „Hochleistungs-Lichtbogenschweißverfahren im Überblick“.

Die Referenzbeispiele enthalten Werte aus konkreten Anwendungsfällen. Diese Beispiele sollen den Anwender unterstützen, sich ein Bild über Stand, Perspektiven und Eignung des Hochleistungsschweißens für die eigenen Aufgaben zu bilden.

Schweißen mit großen Drahtquerschnitten

Das Erhöhen der Abschmelzleistung ist prinzipiell über größere Drahtfördergeschwindigkeiten möglich. Eine Grenze setzt der Schneideffekt. Er tritt besonders bei Aluminium auf; als Grenzwerte gelten für \varnothing 1,2 mm Draht ca. 18 m/min und für \varnothing 1,6 mm etwa 11 m/min. Weitere Leistungssteigerungen sind deshalb mit größeren Drahtdurchmessern bzw. -querschnitten erreichbar. Dies realisieren das Runddrahtschweißen mit Drähten zwischen \varnothing 2,0 mm und \varnothing 3,2 mm und das Flachdrahtschweißen mit z.B. 4,0 x 0,5 mm Querschnitt.

Gemeinsam ist beiden Verfahren der geringe Einbrand und die verbesserte Spaltüberbrückbarkeit. Von der Anlagenseite her arbeiten beide soweit erforderlich mit einer Hochleistungs-Stromquelle. Um die gewünschte Stromstärke und/oder Einschaltdauer zu erreichen besteht sie aus zwei im „Power-Sharing“ arbeitenden Einzel-Stromquellen. So liefern z.B. zwei TPS(TransPulsSynergic) 5000 gemeinsam als TPS 9000 einen Schweißstrom von 900 A bei 60% Einschaltdauer und 40°C Umgebungstemperatur.

Flacher Draht bringt viele Vorteile

Ein flacher Draht lässt sich bei gleichem Querschnitt unter bestimmten Umständen besser fördern als ein runder. Dies gilt, wenn die Auslenkungen über die breite Seite erfolgen. Im Vergleich dazu sind runde Stahldrähte relativ steif; besonders gilt dies für hochlegierte Stähle. Aluminiumdrähte gleichen Durchmessers haben dagegen eine geringere Stabilität, neigen zum Ausknicken und lassen sich deshalb schlecht fördern. Der Handel liefert z.B. Flachdrähte in Stahl mit 4,5 x 0,5 mm und in Aluminium mit 4,0 x 0,6 mm Querschnitt. Sie sind in allen üblichen Werkstoffarten und -qualitäten lieferbar.

Beim Flachdraht ist das Verhältnis von schmaler zu breiter Seite wichtig; es bestimmt die Steifigkeit und damit die Förderbarkeit. Außerdem entstehen unterschiedliche Schweißergebnisse je nachdem ob der Flachdraht längs oder quer zur Schweißrichtung geführt wird (Bild 3). Beim Flachdraht ergibt das einen wesentlichen verfahrenstechnischen Vorteil gegenüber dem Runddraht. Dem breiteren Lichtbogen entsprechen ein niedrigerer Lichtbogendruck und daraus resultierend ein geringerer Einbrand. Dies wirkt sich beispielsweise beim Auftragsschweißen besonders günstig aus.

Als maximale Abschmelzleistungen gelten bei Stahl 11 kg/h und bei Aluminium 4 kg/h. Für höhere Leistungen ist das Runddrahtschweißen prädestiniert.

Der runde Draht bietet höhere Leistung

Diese Aussage bezieht sich primär auf die Abschmelzleistung. So hat Fronius in seinem Technologie Center in Anwendungsreihen für Kunden aus der Schwermaschinen- und Baumaschinenindustrie Abschmelzleistungen bei Stahl von 25 kg/h realisiert. Beim Schweißen von Aluminium erzielte das Unternehmen bis zu 5 kg/h. Lieferbar sind Runddrähte bis \varnothing 3,2 mm. Der Markt für solche dicken Runddrähte entwickelt sich zur Zeit.

Bevorzugte Anwendungen ergeben sich bei größeren Nahtquerschnitten, für die konventionell zwei oder mehr Lagen erforderlich sind. Zusätzliche metallurgisch und verfahrenstechnisch interessante Aspekte bieten Fülldrähte. In ihre Pulverfüllung lassen sich Legierungselemente einbringen, die der reine Metalldraht nicht enthält. Dies kann die metallurgischen Eigenschaften der Naht im gewünschten

Sinne beeinflussen. Verfahrenstechnisch können die Pulverbestandteile die Lichtbogenstabilität und damit ebenfalls die Nahtqualität erhöhen.

Tandem: Zwei Drähte leisten „mehr“ als einer

Das gleichzeitige Schweißen mit zwei Drähten in einem Schmelzbad hat verschiedene Ansätze und Lösungen. Sowohl konstruktiv als auch verfahrenstechnisch sind das „Doppeldraht“- und das „Tandemschweißen“ zu unterscheiden.

Das „Doppeldrahtschweißen“ ist dadurch gekennzeichnet, dass ein gemeinsames Kontaktrohr beide Drahtelektroden führt und sie ständig gleiches elektrisches Potenzial haben. Beim „Tandemschweißen“ nimmt jeweils ein separates Kontaktrohr jede Elektrode auf. Die beiden Kontaktrohre sind elektrisch von einander isoliert. So können die beiden Elektroden unterschiedliche elektrische Potenziale haben. Bild 4 zeigt das Prinzip der beiden Verfahren.

Die individuelle Lösung mit TimeTwin Digital

TimeTwin Digital ist ein spezielles von Fronius entwickeltes Schweißsystem für das Tandemverfahren. Sowohl die Leistung der Lichtbögen beider Elektroden wie auch weitere Parameter lassen sich hier individuell regeln. Dazu gehören als wichtigste die Lichtbogenlänge und –art. Über die Lichtbogenlänge erzeugt die Regelung einen stabilen Lichtbogen, der für eine perfekte Tropfenablösung und damit Spritzerarmut sorgt. Als Lichtbogenart sind sowohl der Standard- als auch der Impulslichtbogen wählbar. Wechselweise kombiniert ergibt das vier Varianten von denen in der Praxis drei besonders interessant sind.

- Die häufigste Anwendung bietet der Impulslichtbogen für beide Elektroden. Dabei sind die Werkstoffübergänge meist um 180° phasenverschoben; d.h. während an einer Elektrode der Grundstrom anliegt, befindet sich die zweite in der Impulsstromphase und umgekehrt (Bild 5).
- Liegt der Fokus auf maximaler Schweißgeschwindigkeit und Spaltüberbrückbarkeit, schweißt die führende Elektrode mit dem Impuls- und die folgende mit dem Standardlichtbogen.
- Für tiefen Einbrand empfehlen sich der Standardlichtbogen für die führende und der Impulslichtbogen für die folgende Elektrode.

Die Kombination von Tandemverfahren und voller Digitalisierung ergibt bei TimeTwin Digital für den Anwender einen weiteren Nutzen. Jede der Elektroden kann wahlweise die Funktion „Leading“ oder „Trailing“ übernehmen. Bei Mehrlagenschweißen entfällt damit die sonst erforderliche Umorientierung am Nahtende. Dies reduziert die Taktzeiten deutlich und verbessert die Zugänglichkeit. Besonders schätzen wird der Anwender einen anderen Aspekt der Digitalisierung: Für die Schweißpraxis bietet Fronius bereits 60 Programme für unterschiedliche Grund- und Zusatzwerkstoffe. Sie entsprechen einem Schweiß-Know-how von sechs Jahren.

Die maximalen Schweißgeschwindigkeiten liegen bei TimeTwin Digital gegenüber MSG-Eindrahtverfahren um das Zwei- bis Dreifache und gegenüber dem T.I.M.E.-Verfahren noch um das Zweifache höher. Werte bis zu 7 m/min gelten bei Stahl als realistisch. Dabei kann die Abschmelzleistung bis zu 30 kg/h betragen.

Nachteile eliminieren + Vorteile addieren = LaserHybrid?

Statt Konkurrenz kann Kooperation einen Königsweg aufzeigen. Sowohl das Laser- als auch das MSG-Schweißen haben ihre Vor- und Nachteile. Das Laser-Schweißen kennzeichnen ein kleiner Fokusbereich und eine sehr schmale wärmebeeinflusste Zone mit einem großen Verhältnis von Einschweißtiefe zu Nahtbreite. Hohen erreichbaren Schweißgeschwindigkeiten steht eine geringe Spaltüberbrückbarkeit gegenüber. Die Energiedichte des Lichtbogen-Verfahrens ist dagegen wesentlich geringer, das Schmelzbad auf dem Material deutlich größer und die Spaltüberbrückbarkeit erheblich besser. Das besondere in der Synergie beider Verfahren ist, dass jeweilige Nachteile weitgehend verschwinden und sich die Vorteile ergänzen bzw. addieren. Charakteristisch ist weiter, dass beide Verfahren gleichzeitig in derselben Prozesszone wirken. Obwohl das Vereinigen beider Prozesse seit den 70ern des vergangenen Jahrhunderts bekannt ist, entwickelten Institute und

Hersteller erst Anfang dieses Jahrhunderts industrietaugliche Verfahren. Fronius hat den Anspruch, das erste im industriellen Produktionsprozess erfolgreich schweißende System, „LaserHybrid“, entwickelt und im Markt eingeführt zu haben. Dabei kommt dem LaserHybrid-Schweißkopf eine besondere Bedeutung zu.

Einen wichtigen Aspekt zeigt die Nahtgeometrie. Bei gleicher Einbrandtiefe und Schweißgeschwindigkeit weist die Lichtbogen-naht beim MSG-Schweißen eine starke Überhöhung und eine größere Breite gegenüber dem konkaven Abschluss der Lasernaht auf (Bild 6). Um mit dem LaserHybrid-Verfahren den gleichen Einbrand zu erzielen, reicht die halbe Drahtfördergeschwindigkeit aus. Als Nahtabschluss zeigt sich dabei eine gewünschte leicht konvexe Wölbung.

Einige markante Vorteile der Verfahrenskombination sind:

- konzentrierter Wärmeeintrag mit hoher Schweißtiefe bzw. –geschwindigkeit
- hohe Spaltüberbrückbarkeit
- höhere Prozessstabilität
- besseres Ausfließen der Nahtflanken
- große Nahttiefe/Tiefschweißeffekt
- großes Nahtvolumen
- bessere metallurgische Eigenschaften
- hohe Nahtfestigkeit und –zähigkeit
- geringere Fertigungszeiten und –kosten
- größeres Anwendungsspektrum bis hin (im Bedarfsfall) zum jeweils „reinen“ Lichtbogen- oder Laser-Schweißprozess mit derselben Anlage.

Der LaserHybrid-Schweißkopf ist bei 100% Einschaltdauer für Strombelastungen bis 250A und 4 kW Laserleistung ausgelegt. Er hat sich inzwischen im zweijährigen Industrieinsatz bewährt. Beim Schweißen von Aluminium-Baugruppen betragen die maximalen Geschwindigkeiten 9 m/min; bei Stahl 4 m/min.

Resümee und Perspektiven

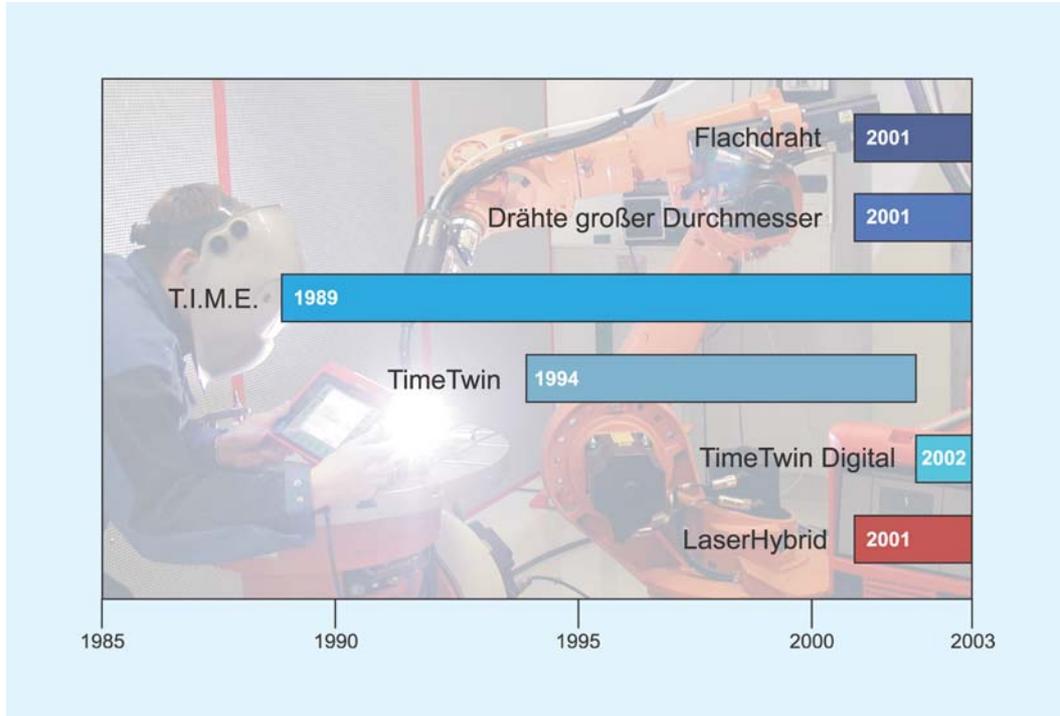
Hochleistungs-Schweißprozesse haben in relativ kurzer Zeit wichtige Positionen besetzt. Weil höhere Produktivität einen entscheidenden Erfolgsfaktor im globalen Wettbewerb darstellt, wird sie auch beim Schweißen weiter Antrieb zu höheren Leistungen, flexiblen und innovativen Lösungen sein. Hier sind verschiedene Ziele erkennbar.

Von seiten der Roboter- und Handlingsysteme bedeuten höhere Geschwindigkeiten ein besseres Ausnutzen der bereits in der Schweißtechnologie vorhandenen Ressourcen. Für alle aktuellen Hochleistungs-Schweißverfahren gilt das Ziel der höheren Abschmelzleistung. Doch auch das Feld des Handschweißens ist beachtenswert. Besonders erstrebenswert sind hier manuell benutzbare Systeme beim LaserHybrid-Verfahren. Die Komponente Laser lässt ebenfalls noch Weiterentwicklungen zu. Größere Leistungen bei gleichzeitig niedrigeren spezifischen Investitionskosten sowie technische Fortschritte beim Festkörperlaser zeichnen sich ab.

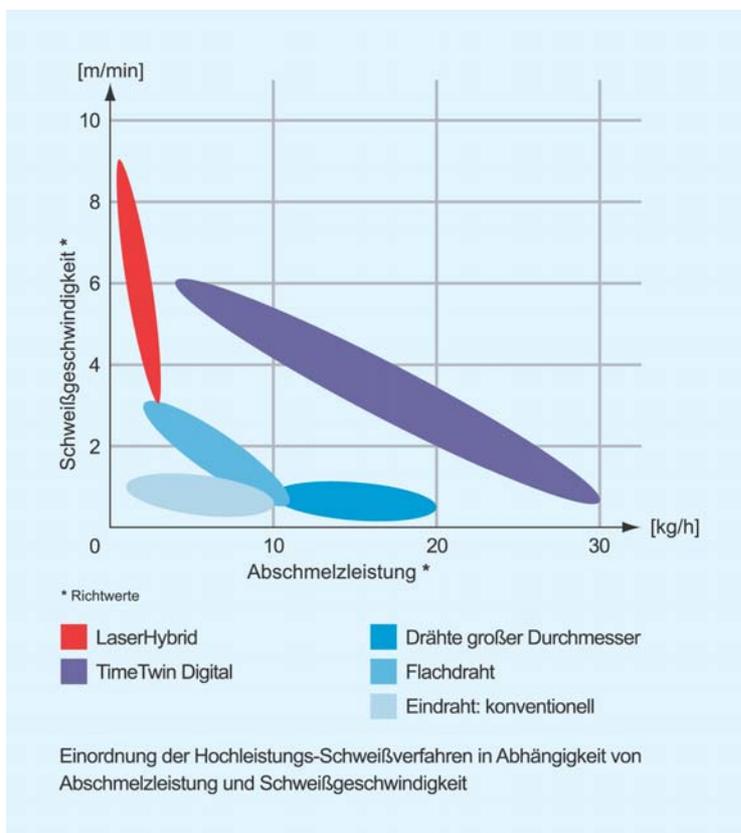
Prinzipiell bieten ganzheitliches Betrachten und Vorgehen starke Chancen. Konkret liegen sie in der rechtzeitigen Zusammenarbeit aller beteiligten Partner. Sie wirkt sich über das Einbringen des unterschiedlichen Know-hows der Partner auf die optimale Werkstoffauswahl, das schweißgerechte Konstruieren, Abstimmen der Verfahrensparameter, die Anlagentechnik inklusive Spann- und Robotersystemen und in Folge auf das Schweißergebnis aus. Dies gilt sowohl quantitativ, qualitativ als auch wirtschaftlich. So kann die Lösung im Einzelfall dem Optimum von Spaltbreite Null und maximaler Schweißgeschwindigkeit nahe kommen.

1) Studie „Gerätetechnischer Forschungsbedarf in der Fügetechnik aus Sicht mittelständischer Anlagenhersteller oder Systemanbieter“; Institut für Fertigungstechnik/Schweißtechnik Technische Universität Chemnitz, im Auftrag der Forschungsvereinigung des deutschen Verbandes für Schweißen und verwandte Verfahren e.V., Chemnitz und Düsseldorf im März 2003.

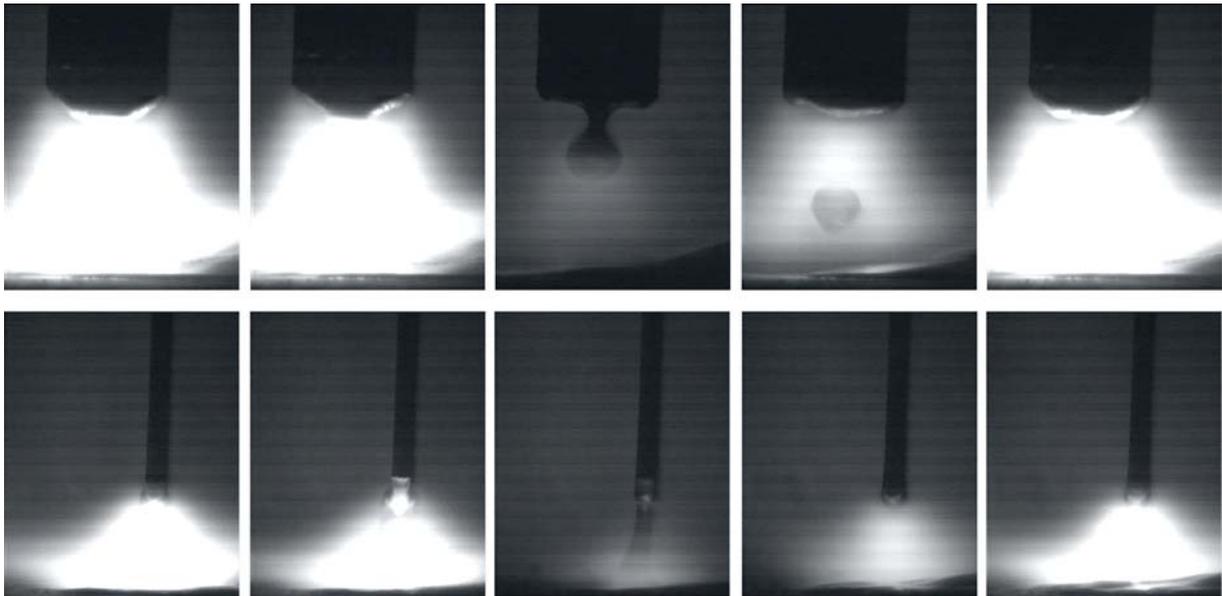
Bilder



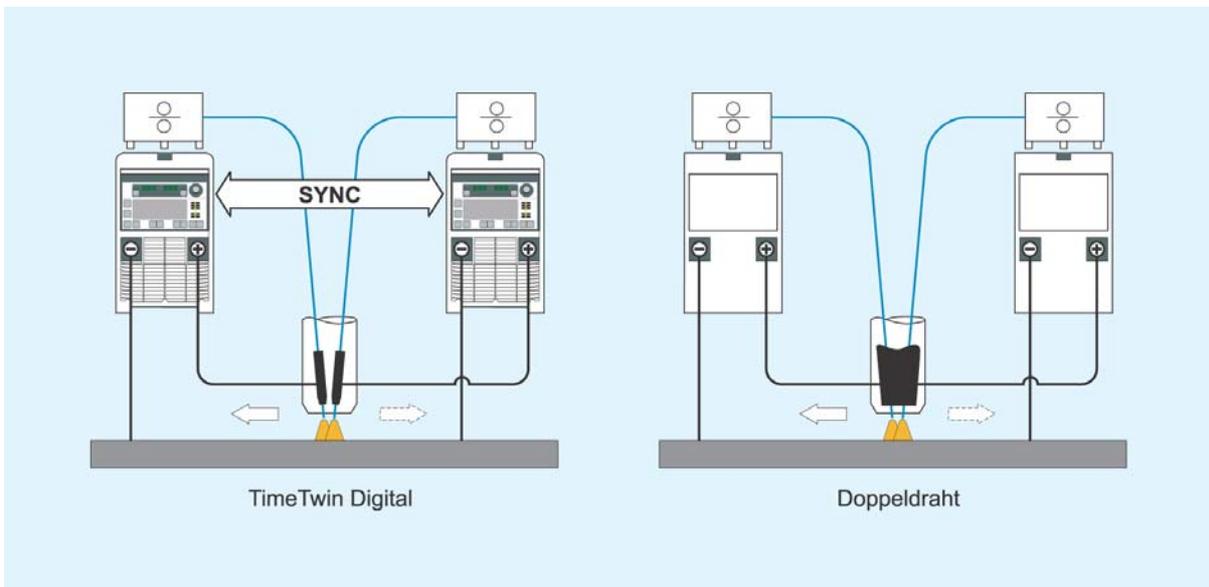
1: Chronologische Entwicklung des Hochleistungsschweißens.



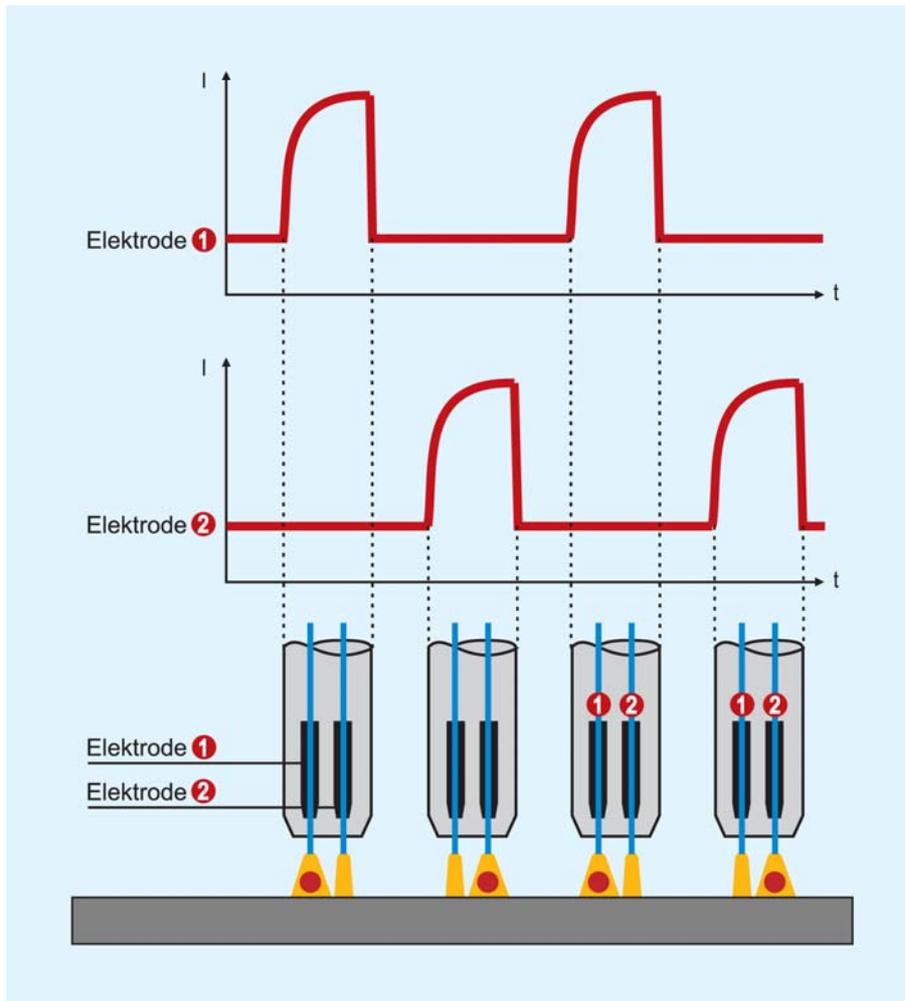
2: Hochleistungs-Schweißverfahren mit Bezug zur Abschmelzleistung und Schweißgeschwindigkeit.



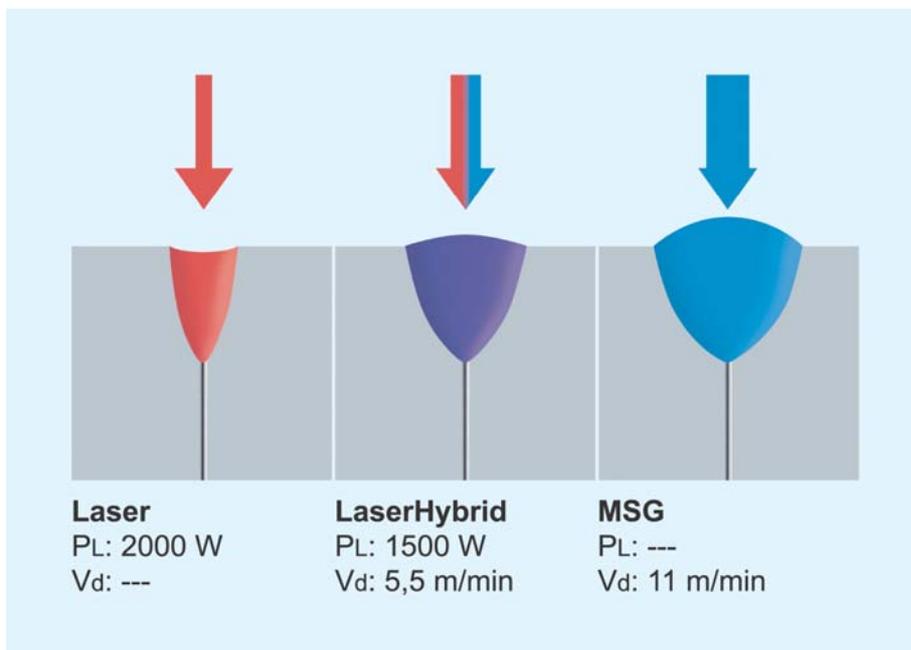
3: Den Werkstoffübergang des A1Si5-Flachdrahtes im Impulslichtbogen (Drahtfördergeschwindigkeit 5 m/min) zeigt die Hochgeschwindigkeits-Videokamera in der Längs- und Queransicht.



4: Das Doppeldraht- und TimeTwin Digital-Verfahren unterscheiden sich deutlich.



5: Die um 180° phasenverschobenen Impulslichtbögen erreichen einen optimalen Werkstoffübergang.



6: Die halbe Drahtfördergeschwindigkeit reicht beim LaserHybrid aus, um den gewünschten Nahtabschluss zu erzielen.



7: Besonders zum Fügen von großen, mit Handlingsystemen bewegbaren Werkstücken, eignet sich das Flachdrahtschweißen.

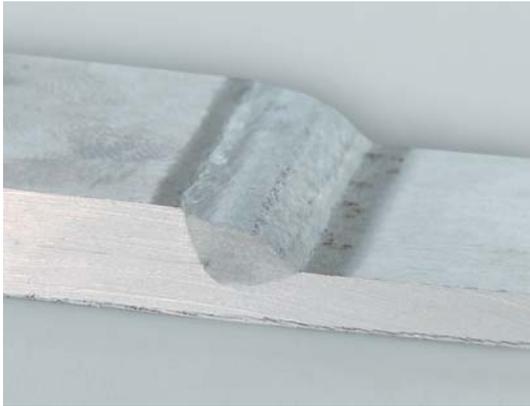


8: Von vier Stunden auf nur noch 20 Minuten pro Stoss reduziert das System TimeTwin Digital die Schweißzeit im Gaspipelinebau.



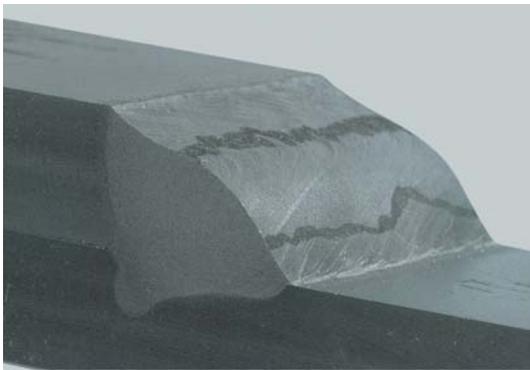
9: Der LaserHybrid-Schweißkopf von Fronius gewährleistet die gute Positionierbarkeit von Laserstrahl und Lichtbogen zueinander sowie zum Werkstück.

C: Referenzbeispiele und wichtige Daten



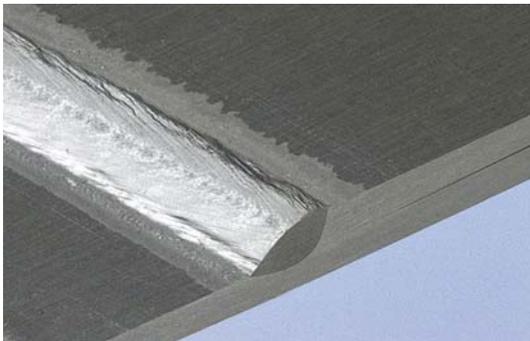
C.01: Schliffbild Flachdraht

Schweißverfahren	Flachdraht
Nahtgeometrie	Überlappnaht
Grundmaterial	AlMg3
Dicke	3 mm
Zusatzwerkstoff	AlSi5
Durchmesser	4,0 x 0,6 mm
Drahtfördergeschwindigkeit	6,1 m/min
Abschmelzleistung	2,4 kg/h



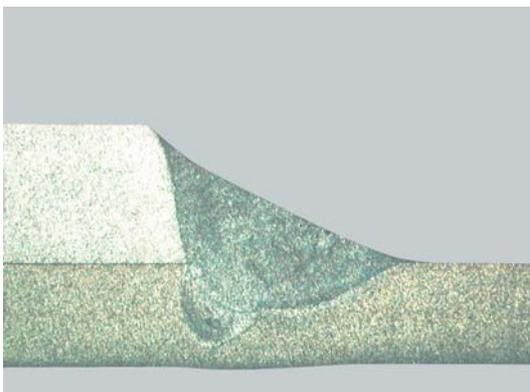
C.02: Schliffbild Runddraht

Schweißverfahren	Runddraht
Nahtgeometrie	Überlappnaht
Grundmaterial	AlMg3
Dicke	8 mm
Zusatzwerkstoff	AlMg4,5Mn
Durchmesser	2,4 mm
Drahtfördergeschwindigkeit	7,5 m/min
Abschmelzleistung	5,2 kg/h



C.03: Schliffbild TimeTwin Digital

Schweißverfahren	TimeTwin Digital
Nahtgeometrie	Überlappnaht
Grundmaterial	AlMg3
Dicke	2 mm
Zusatzwerkstoff	AlMg4,5Mn
Durchmesser	1,2 mm
Drahtfördergeschwindigkeit	19 m/min
Abschmelzleistung	3,3 kg/h



C.04: Schliffbild LaserHybrid

Schweißverfahren	LaserHybrid
Nahtgeometrie	Überlappnaht
Grundmaterial	AlMgSi1
Dicke	2 und 1,5 mm
Zusatzwerkstoff	AlSi5
Durchmesser	1,6 mm
Drahtfördergeschwindigkeit	5,5 m/min
Abschmelzleistung	1,7 kg/h

(A) Hochleistungs-Lichtbogenschweißverfahren im Überblick

(B) Branchen und Einsatzfelder von Hochleistungs-Schweißverfahren