

Effiziente Schweißverfahren und Automation in der modernen Fertigung

Jan P. Pitzer

Zusammenfassung:

Die metallverarbeitende Industrie und das Handwerk gehören zu den wichtigsten produzierenden Wirtschaftszweigen in Deutschland. Aufgrund ihrer hohen internationalen Vernetzung ist die deutsche Wirtschaft zunehmend von der Weltwirtschaft abhängig und steht ständig mit anderen Wirtschaftsationen im Vergleich. Deswegen müssen Unternehmer in diesen Branchen stets die Effizienz ihrer Fertigung im Blick haben und die Trends der Forschung und Entwicklung im Bereich der Produktionstechnik, der Automatisierung und der Digitalisierung verfolgen. Die Schweißtechnik spielt dabei für die metallverarbeitende Industrie eine Schlüsselrolle. So sind Unternehmen aus diesem Gebiet oft Vorreiter bei der Entwicklung und dem Einsatz von neuen Fertigungs- und Fügeverfahren in der Produktion. Während auf Baustellen noch häufig das Elektrode-Handschweißen zum Einsatz kommt, setzen Unternehmen, die ihre Produktion im eigenen Werk durchführen können, zunehmend auf automatisierte Fertigungsanlagen. Hier kommen neben dem konventionellen Metall-Schutzgas-Schweißverfahren (MSG) immer wieder neue, moderne Schweißverfahren zum Einsatz. Mit unserem Beitrag wollen wir auf die wichtigsten dieser neuen Schweißverfahren und -prozesse eingehen und diese vor dem Hintergrund ihrer Wirtschaftlichkeit vorstellen. Hierzu gehören auf konventioneller Basis verschiedene Varianten von MSG-Eindraht-Schweißprozessen auch das MSG-Tandemschweißen mit zwei Schweißelektroden und das Schweißen mit unterschiedlichen Lasern. Doch auch in Sachen Automatisierung bietet das metallverarbeitende Gewerbe große Einsatzgebiete und Entwicklungspotentiale. Roboteranwendungen in Kombination mit Sensortechnik halten immer mehr Einzug in diese, sowohl von Einzel- fertigung als auch von Serienfertigung geprägten, Industrie. Der Beitrag soll einen kleinen Überblick über den Einsatz aktueller Schweißverfahren sowie Beispiele für den Einsatz automatisierter Produktionsanlagen in unterschiedlichen Anwendungen geben.

1. Einleitung:

Für ein außenhandelsorientiertes Land wie Deutschland ist ein leistungsstarkes, international wettbewerbsfähiges, metallverarbeitendes Gewerbe von hoher gesamtwirtschaftlicher Bedeutung. Der Begriff „Made in Germany“ steht noch heute als Qualitätssiegel für in Deutschland produzierte Waren und hebt das produzierende Gewerbe auf einen international hoch anerkannten Sockel. Es ist daher erforderlich, die Effizienz und Produktivität der Unternehmen langfristig auf einem hohen Standard zu halten und zu steigern, um insbesondere mit den globalen Wettbewerbern auf Augenhöhe zu bleiben. Gleichzeitig darf die Wirtschaftlichkeit in der Produktion nicht unter dem enormen Druck leiden, damit auch zukünftig Waren mit dem Siegel „Made in Germany“ die Weltmärkte erreichen.

Da die Schweißtechnik für diese Unternehmen eine Schlüsselrolle spielt, müssen sich Unternehmer stets mit den Entwicklungen und Neuerungen der für sie sinnvollen Technologien beschäftigen. Auf der einen Seite liefern die Hersteller für Schweißtechnik mit kontinuierlichen Innovationen immer wieder Möglichkeiten, die eigene Fertigung zu optimieren. Allerdings ist es

nicht immer einfach, aus der Vielfalt des Angebotes die richtige Lösung für die eigene Herausforderung auszuwählen. Auf der anderen Seite fordern Unternehmen immer wieder neue Lösungen, weil auch sie Vorgaben stellen, die mit aktueller Technik nicht realisierbar sind.

So kommen zum Beispiel immer häufiger neben normalen Baustahl (S235 oder S355), auch hochfeste Feinkornbaustähle (S690 und höher) und nichtrostende Chrom-Nickel-Stähle zum Einsatz. In Bereichen, in denen Leichtbau eine wesentliche Rolle spielt, werden Aluminiumwerkstoffe und Leichtbaukonstruktionen zunehmend interessant.

Auch was die Materialdicken betrifft bietet das metallverarbeitende Gewerbe eine große Vielfalt. Während für einige Branchen ein Blech mit 2 mm Wanddicke schon als Dickblech eingestuft wird, werden in anderen Branchen 10 mm allenfalls für die Typenschilder verwendet.

Somit bietet das metallverarbeitende Gewerbe zahlreiche Einsatzmöglichkeiten und ein hohes Entwicklungspotential für fertigungstechnische Entwicklungen im Allgemeinen und in der Füge- technik im Besonderen.

Im Folgenden soll erstens auf vorherrschend eingesetzte Schweißverfahren eingegangen werden. Zweitens werden die Schweißverfahren

betrachtet, die sich aufgrund technologischer Vorteile zunehmender Beliebtheit erfreuen, jedoch noch nicht so verbreitet sind. Darüber hinaus werden einzelne Beispiele für den automatisierten Einsatz von Robotern mit Sensoreinsatz vorgestellt.

2. Metallschutzgasschweißen (MSG)

Die wohl meist verbreiteten Schweißverfahren im metallverarbeitenden Gewerbe sind die Metallschutzgasschweiß-(MSG)-Verfahren. Hierbei wird in erster Linie zwischen den klassischen Lichtbogenarten „Kurzlichtbogen“, „Übergangslichtbogen“ oder „Sprühlichtbogen“ und diversen „Pulslichtbögen“ unterschieden. Während die klassischen Lichtbogenarten auch mit einfachen Stufenschaltergeräten erzeugt werden können, sind für moderne Lichtbögen vorrangig digitale, geregelte Stromquellen erforderlich. Die Vorteile dieser Lichtbögen sind eine besser kontrollierbare Wärmesteuerung sowie eine sichere und kontrollierte Tropfenablösung am Ende der Pulsphase des Schweißstromes. Dadurch wird sichergestellt, dass sich der Tropfen vom Drahtende ablöst, bevor das Drahtende in die flüssige Schmelze eintauchen kann. Dies würde zu Kurzschlüssen und somit zu starker Spritzerbildung führen. Der Impulslichtbogen ist für viele Schweißaufgaben gut geeignet, da er sehr stabil läuft und einen tiefen, sicheren Einbrand gewährleistet. Er wird sowohl manuell als auch mechanisiert eingesetzt. Die meisten Stromquellenhersteller bauen bei der Pulsregelung auf eine I/I-Regelung auf, bei der sowohl die Pulsphase, als auch die Grundstromphase stromgeregelt wird. Einige Hersteller bieten zusätzlich eine U/I-Regelung ihrer Impulslichtbögen an, bei denen die Pulsphase spannungsgeregelt und die Grundstromphase stromgeregelt wird. Die Abbildung zeigt den stilisierten Stromverlauf eines Pulsprozesses mit den dazugehörigen Aufnahmen aus einer Highspeed-Kamera. Die durch den Stromfluss erzeugten magnetischen Kräfte trennen den Tropfen in der höchsten Phase des Pulses ab, bevor das Drahtende in die Schmelze eintaucht. So wird der Kurzschluss vermieden.

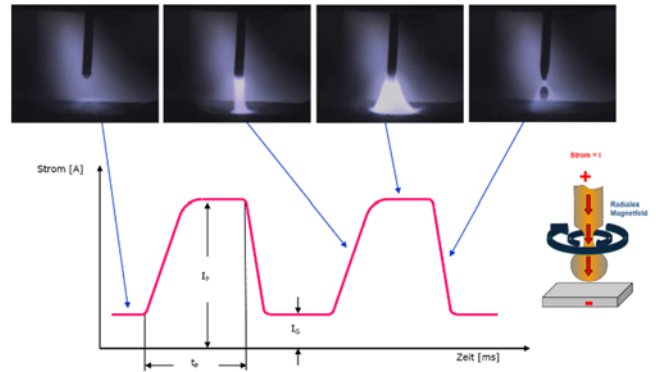


Bild 1: Stromverlauf beim Pulsschweißen

Diese Lichtbögen sind noch stabiler und erzeugen einen tieferen Einbrand, sodass die Schweißgeschwindigkeit in vielen Anwendungen noch gesteigert werden kann oder – vor allem bei manuellen Anwendungen – ein gegen Abstandsänderungen unempfindlicherer Lichtbogen eingesetzt werden kann.

Moderne Stromquellen erlauben eine Vielzahl an Prozessregelvarianten. Der Deutsche Verband für Schweißen und verwandte Verfahren hat hierzu das Merkblatt 0973 herausgebracht, in dem die vielen verschiedenen Prozesse aufgeführt werden. Ein viel diskutierter Prozess ist der modifizierte Sprühlichtbogen. Bei diesem Prozess erzeugt die Regelung der Stromquelle einen scharfen, kurzen Sprühlichtbogen mit besonders hohem Lichtbogendruck. Diese Eigenschaften eröffnen neue Einsatzmöglichkeiten. Ein hoher Lichtbogendruck führt zu einem erhöhten Einbrand und erlaubt darüber hinaus das Schweißen mit längerem Stickout. Dieser Effekt eröffnet die Möglichkeit, bei dickeren Blechen den Öffnungswinkel von zum Beispiel 45° auf 40° (oder gar 35°) zu reduzieren. Darin steckt erhebliches Einsparpotential im Bereich der Lagenanzahl je Schweißung. Alles in allem wird neben dem erforderlichen Zusatzwerkstoff vor allem die Energie, die für die Schweißung erforderlich ist, merklich verringert. Allerdings gibt es hier physikalische Grenzen, die zu Fehlern in der Naht führen können, wenn das Schmelzgut zu schmal wird.



Bild 2: Makroschliff eines einseitig von rechts geschweißten T-Stoßes mit Öffnungswinkel von 30°.

Der hohe Lichtbogendruck kann unter anderem dazu genutzt werden, bei 6 mm dicken Blechen einen einseitigen Vollanschlusse ohne HV-Vorbereitung zu schweißen. Vor allem aus Korrosionsaspekten kann dies relevant sein, da auf der Rückseite der Naht kein Spalt verbleibt, der einen Angriffspunkt für Spaltkorrosion bieten würde.

Spalte spielen beim Schweißen immer wieder eine Schlüsselrolle. Daher existieren auf dem Markt zahlreiche Schweißprozesse, die speziell auf die Anforderungen bei der Spaltsicherheit entwickelt wurden. In diesen Anwendungen greifen die Schweißer gern auf den Kurzlichtbogen zurück. Hier wird wenig Energie in das Bauteil eingebracht und die Schmelze kann gut beherrscht werden. Allerdings führt der Kurzlichtbogen naturgemäß zu einem größeren Spritzer auswurf, als ein Sprüh- oder Pulslichtbogen. Spritzer sind aus vielen Gründen unerwünscht und bedeuten für den Schweißer Mehrarbeit und somit Mehrkosten. Die neuen geregelten Kurzlichtbögen sind auf diese Anforderungen spezialisiert. Die Stromquellen greifen regelnd in die Kurzschlussauflösung ein und reduzieren das Spritzer-aufkommen. Die Regelungen haben zudem Einfluss auf die Stabilität des Lichtbogens. Insbesondere bei anspruchsvollen Aufgaben, wie zum Beispiel im Rohrleitungsbau, werden hohe Anforderungen an die Naht und den Schweißer gestellt. Mit den modernen geregelten Lichtbögen können die Schmelze besser beherrscht werden und Fehler in der Naht vermie-

den werden. Diese Stabilität darf auch bei wechselnden Gegebenheiten an der Nahtvorbereitung nicht verloren gehen.

Zusätzlich zu den Möglichkeiten der Regelung durch die Stromquelle setzen die Prozessentwickler auf weitere Freiheitsgrade. Durch die Möglichkeit, die Drahtelektrode zu fördern, eröffnen sich völlig neue Möglichkeiten. Hierbei wird der Kurzschluss zwischen Drahtelektrode und Schmelze nicht durch die Erhöhung der Leistung explosionsartig aufgebrochen, sondern durch das Rückwärtsziehen aus der Schmelze aufgelöst. Auf diese Weise kann zum einen die Gesamtenergie im Prozess erheblich minimiert werden. Zum anderen entstehen nahezu keine Spritzer durch die Kurzschlussauflösung mehr. Vor allem bei der Verarbeitung von sehr dünnen Blechen (0,5-3 mm) oder von wärmeempfindlichem Material treten hier erhebliche Vorteile auf, weil deutlich weniger Verzug auftritt, als beim konventionellen Kurzlichtbogen. Allerdings sind für diese mechanisch unterstützten Prozesse zusätzliche Komponenten erforderlich, die in die Drahtförderstrecke integriert werden müssen. Zudem ist der Anwendungsbereich im Wesentlichen auf die oben genannten Blechdicken beschränkt, sodass sie am häufigsten im Karosseriebau eingesetzt werden.

Für Anwendungen mit höheren Blechdicken oder mit besonders hohen Anforderungen an die Porensicherheit wird nach wie vor auf das Unterpulver-Schweißen gesetzt. Hat man einmal die richtigen Parameter ermittelt, bietet das UP-Schweißen eine sichere Schweißverbindung und aufgrund seiner hohen Abschmelzleistung wirtschaftliche und hochwertige Schweißergebnisse. Dank der Möglichkeit mit besonders dicken Drähten und mehreren Drähten zu schweißen, kann hier die Abschmelzleistung jenseits von 30 kg/Stunde erreicht werden. Diese lässt sich bei geeigneten Bauteilen unmittelbar in Schweißgeschwindigkeit umsetzen. Es ist leicht nachvollziehbar, dass eine hohe Schweißgeschwindigkeit die Produktivität steigert, da in kurzer Zeit mehr Material verarbeitet werden kann. Ein zusätzlicher Effekt der hohen Schweißgeschwindigkeit ist die damit einhergehende Reduzierung der eingebrachten Wärme. Diese führt zu besseren Materialeigenschaften und zur Reduktion des Verzuges, was wiederum den Aufwand für nachträgliches Richten der Bauteile verringert. Zu den Nachteilen des UP-Schweißens zählen je-

doch der vergleichsweise aufwendige Anlagenbau, die Pulverversorgung und -entsorgung sowie dass der Schweißer den Lichtbogen während der Fertigung nicht sehen kann und somit erst am Ergebnis der Schweißung eine Beurteilung auf Unregelmäßigkeiten in der Naht durchführen kann.

Eine Alternative zum UP Schweißen bietet gegebenenfalls das Tandemschweißen. Auch hier kann – diesmal über zwei abschmelzende Drahtelektroden – eine passable Abschmelzleistung bis zu 25 kg/Stunde erzielt werden. Diese kann dann auf der einen Seite in Schweißgeschwindigkeit umgesetzt werden. Dies reduziert ebenfalls die eingebrachte Wärme und führt zu dem gewünschten geringen Verzug bei der Schweißung. Mit aktueller Tandemtechnologie können im Blechdickenbereich von 3,5 bis 4 mm Schweißgeschwindigkeiten jenseits der 4500 mm/min erreicht werden. Dies entspricht ungefähr einer Streckenenergie unterhalb von 1,7 kJ/cm.

Für Bereiche mit größeren Materialdicken kann das Tandemverfahren zu Steigerung der α -Maße je Lage und somit zur Reduzierung von Lagen je Schweißung eingesetzt werden, was wiederum zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit genutzt werden kann.

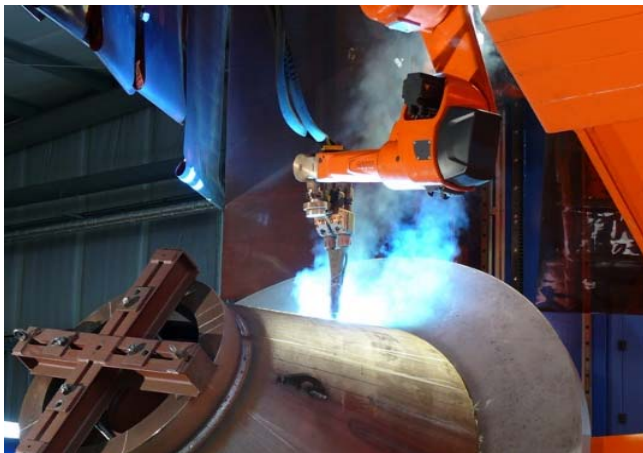


Bild 3: Tandem-Roboter-Kompaktanlage zur Fertigung von Kegelträgern für Schiffsantriebe

Werden Materialdicken größer als 35 mm miteinander verschweißt, zum Beispiel bei der Verbindung von Tripod-Segmenten oder bei großen Kraftwerkskomponenten, kann der Einsatz der Engspalttechnik zu enormen wirtschaftlichen Verbesserungen führen. Bei der Engspalttechnik wird der Öffnungswinkel der Nahtvorbereitung auf ca. 1° reduziert, was das zu füllende Nahtvolumen erheblich verringert. Somit sind nicht nur deutlich weniger Lagen erforderlich, sondern es wird auch weniger Schweißgut erzeugt. Dies resultiert in einem geringeren Wärmeeintrag in

das Bauteil, was den Verzug aufgrund der Nahtschrumpfung minimiert.

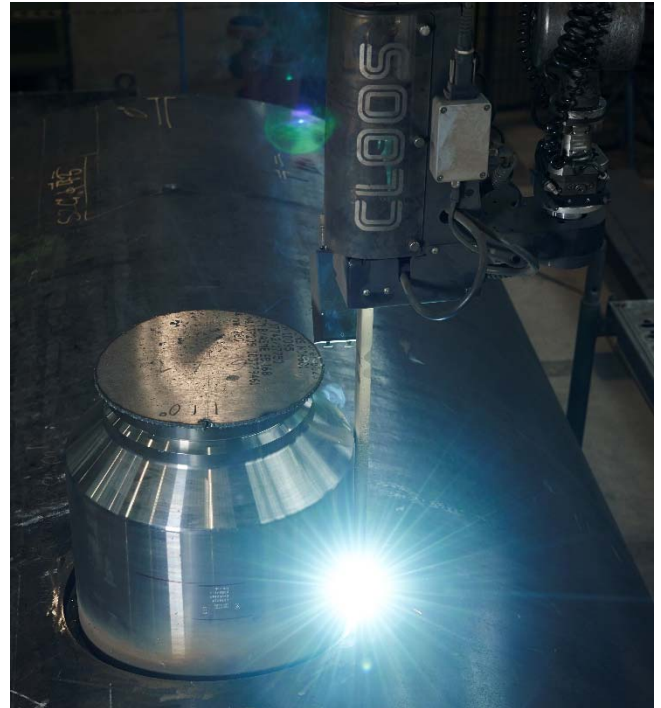


Bild 4: Makroschliff einer Engspaltschweißung zur Reduzierung des Öffnungswinkels

Die drastische Verringerung des zu schweißenden Materials wirkt sich zudem auch auf die Energieeffizienz beim Schweißen aus. Die Einsparungen kommen auch bei anderen Prozessen mit reduziertem Öffnungswinkel zum Tragen, jedoch ist dieser Effekt aus nachvollziehbaren Gründen beim Engspaltschweißen am größten.

3. Laser- und Laser-MSG-Hybrid-Technologie

Zu den effizienten Schweißverfahren zählen auch die unterschiedlichen Laserverfahren. Grundsätzlich kann der Anwender beim Verbindungsschweißen zwischen den beiden Verfahrensvarianten Wärmeleitschweißen und Tiefschweißen wählen.

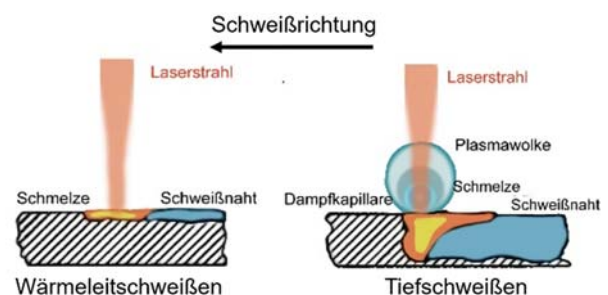


Bild 5: Schema des Laser-Wärmeleitschweißens und des Laser-Tiefschweißens

In der Regel hängt die Auswahl der richtigen Technologie von der Materialdicke, dem Grundwerkstoff oder der Schweißleistung ab. Das Wärmeleitschweißen ist dabei gut mit dem Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG-Schweißen) vergleichbar und eignet sich daher für vergleichbare Anwendungen. Der Lichtbogen schmilzt das Material lokal auf und die Kanten verbinden sich in der Schmelze zu einer sauberen, nahezu spritzerfreien Schweißnaht. Im Vergleich zu einer WIG-Schweißnaht ist zum einen die Wärmeinflusszone deutlich schmaler. Zum anderen sind erheblich höhere Schweißgeschwindigkeiten möglich. Dadurch kann die eingebrachte Wärme, also die Streckenenergie, deutlich reduziert werden. Dies ist insbesondere bei sensiblen Werkstoffen oder in Bezug auf thermische Verformung ein bedeutender Vorteil. Wahlweise kann dieses Verfahren mit oder ohne Zusatzwerkstoff eingesetzt werden. Je nach Material ist es empfehlenswert, wie beim WIG-Schweißen mit zusätzlichem Schutzgas oder Wurzelschutz zu arbeiten.

Für größere Materialdicken ist das Tiefschweißen eine effiziente Alternative. Bei dieser Variante des Laser-schweißens trifft der Laserstrahl mit hoher Energiedichte auf die Werkstückoberfläche. Der Werkstoff wird lokal aufgeschmolzen und verdampft teilweise. Dadurch bildet sich in der flüssigen Schmelze eine Dampfkapillare, das sogenannte Keyhole, welches durch den entstehenden Metallplasmadruck aufrecht gehalten wird. Im Inneren dieses Keyholes wird das Licht des Lasers mehrfach reflektiert und teilweise absorbiert, wodurch das Keyhole tiefer in das Material eindringt. Durch die Vorschubgeschwindigkeit des Laserstrahls wird das Keyhole durch das Material getrieben. Hinter dem Keyhole verschmelzen die beiden Kanten und es entsteht eine schmale Schweißnaht.

Das Verfahren ist gut mit einem Standard-MSG-Prozess kombinierbar. Diese Verfahrenskombination ist das Laserstrahl-MSG-Hybrid-Verfahren. Abhängig vom eingesetzten Laser, der eingebrachten Laserleistung und dem Werkstoff können Blechdicken bis zu 20 mm in einer Lage geschweißt werden. Als Faustformel für einen Standardbaustahl kann angenommen werden, dass für jeden Millimeter Einschweißtiefe eine Laserleistung von ca. 1 kW benötigt wird.

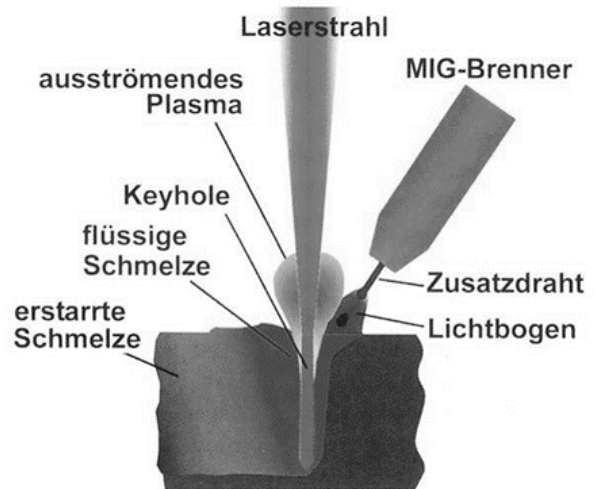


Bild 6: Schema des Laser-MSG-Hybrid-Schweißens

Dadurch entfällt die bei konventionellen Schweißverfahren erforderliche Nahtvorbereitung in V-Fugenform. Dies resultiert in einer erheblichen Einsparung bei der Nahtvorbereitung, der Anzahl der zu schweißenden Lagen, des eingebrachten Zusatzwerkstoffes und der erforderlichen Schweißzeit. Hinzu kommt die deutlich höhere Schweißgeschwindigkeit, die beim Laser-schweißen durchaus bis zu fünfmal höher sein kann, als bei vergleichbaren MSG-Schweißungen. Die hohe Schweißgeschwindigkeit hat zudem auch hier den Vorteil, dass weniger Wärme in das Bauteil eingebracht wird. Zusammen mit deutlich kleineren Nahtvolumen aufgrund der schmalen Nahtvorbereitung entsteht deutlich weniger Verzug als bei vergleichbaren MSG-Schweißungen. Dadurch ist der Aufwand für Nacharbeit an laser- und laser-MSG-Hybrid-geschweißten Bauteilen deutlich geringer.

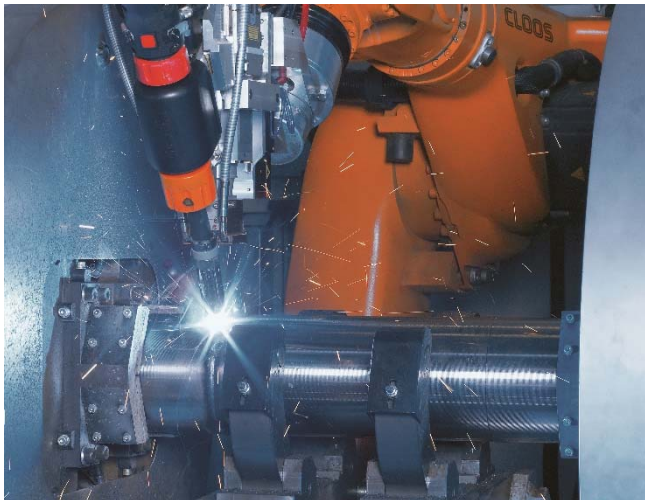


Bild 7: Laserstrahl-MIG-Hybrid-Kopf zum Schweißen von Rundnähten

Zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens können zudem weitere Verfahren miteinander kombiniert werden. Denkbar ist zum Beispiel die Kombination des Laser-MIG-Hybrid-Verfahrens mit einem zusätzlich Tandembrenner. Hierbei erzeugt der Laser-Hybrid-Kopf den nötigen tiefen Einbrand und der Tandembrenner füllt mit hoher Abschmelzleistung die Fuge vollständig auf.

4. Sensoren unterstützen Robotereinsatz und Automatisierung

Die meisten modernen Schweißverfahren können sowohl manuell, als auch mechanisiert eingesetzt werden. Die Hochleistungsverfahren jedoch sind oft nur mechanisiert einsetzbar. Unabhängig davon können die Verfahren erst mechanisiert ihre vollen Stärken ausreizen. Die hohen Drahtvorschub- und Schweißgeschwindigkeiten können von einem Handschweißer nicht mehr erreicht werden. Aufgrund der hohen Flexibilität der modernen Robotertechnik können Robotersysteme auch für kleinere Betriebe interessant sein.

Vor allem mit Hilfe von Sensortechnik lassen sich die Fertigungsverfahren gut automatisieren. Dabei kommen unterschiedliche Sensorverfahren in Frage. Angefangen vom einfachen Lichtbogensensor, der über die Spannungsänderungen im Lichtbogen die Mitte der Fuge finden kann und somit eine Nahtverfolgung ermöglicht, über taktile Systeme, die das Bauteil berühren und somit z.B. die Lage des Bauteils erkennen, bis hin zu Lasersensoren. Bei Lasersensoren unterscheidet man zwischen Offline-Sensoren, die die Naht vor dem Schweißen finden, vermessen und die programmierte Roboterbahn entsprechend korrigieren. Den Offline-Sensoren gegenüber stehen die Online-Sensoren, die dem Schweißbrenner unmittelbar vorlaufen und die

Fuge abtasten. Sie können so nicht nur die genaue Position der Fuge ermitteln und so wie die Offline-Sensoren die Roboterbahn korrigieren. Online-Sensoren sind auch in der Lage, die Fugegeometrie zu vermessen und dafür zu sorgen, dass die Schweißparameter während dem Schweißen an die sich ändernde Geometrien der Fuge angepasst wird. Zieht sich zum Beispiel eine Fuge im Verlauf der Schweißung immer weiter zu, können die Schweißgeschwindigkeit oder Leistung verändert werden, um eine unzulässige Nahtüberhöhung zu vermeiden.

5. Zusammenfassung

Die Produktionstechnik in Deutschland gehört heute zu den leistungsfähigsten im internationalen Wettbewerb. Dennoch setzen die weltweiten Überkapazitäten die deutsche Industrie unter Kosten- und Zeitdruck.

Deswegen ist die Kenntnis der unterschiedlichen Verfahren und deren Entwicklungsfortschritt für eine sinnvolle Auswahl des richtigen Schweißprozesses unerlässlich. Vor allem Hochleistungsprozesse und neue Verfahrenskombinationen eröffnen neue Dimensionen in der Fertigung, deren Potential sich auf eine gesamte Fertigungsumgebung auswirken kann. Dabei ist es wichtig zu erkennen, dass das Bauteil und die Anwendung in vielen Fällen den Rahmen für das geeignetste Schweißverfahren vorgibt.

Flexible Fertigungslösungen gewährleisten sowohl großen Unternehmen, als auch den kleinen und mittelständischen Unternehmen die Wirtschaftlichkeit. Von einfachen Mechanisierungslösungen bis hin zu komplexen Roboterlösungen: flexible Fertigungssysteme und intelligent ausgewählte Schweißverfahren verkürzen die Durchlaufzeit zu schweißender Produkte. Zudem können ganzheitliche Lösungen zur Mechanisierung und Automatisierung sowie modulare Automatisierungslösungen mit Anpassungsfähigkeiten an wechselnde Aufgaben erhebliche Kosten sparen und die Fertigungsqualität verbessern. Kostenintensive Nacharbeiten oder Reklamationen werden auf diese Weise vermieden.

Doch am Ende muss der Anwender beurteilen, welche Verfahren und Prozesse für die Fertigung sinnvoll sind und sich in der Praxis bewähren. Hierfür muss stets der gesamte Fertigungsprozess berücksichtigt werden.