

Inhalt:

- 1 Zweck
- 2 Definition
- 3 Verfahrensvarianten
- 4 Parameter des Laserstrahl-Lichtbogen-Hybridschweiß-
prozesses
- 5 Technologiepotenziale der Laserstrahl-Lichtbogen-Hybrid-
schweißverfahren
- 6 Besonderheiten einzelner Laserstrahl-Lichtbogen-Hybrid-
schweißverfahren
- 6.1 Laserstrahl-MSG-Hybridschweißverfahren
- 6.2 Laserstrahl-WIG-Hybridschweißverfahren
- 6.3 Laserstrahl-Plasma-Hybridschweißverfahren
- 7 Schrifttum

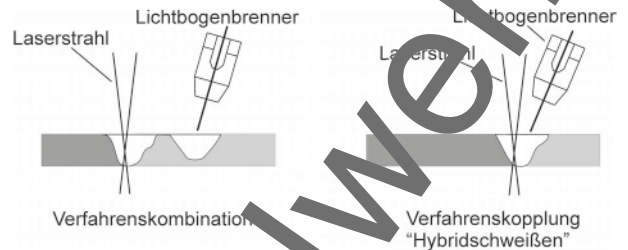


Bild 1. Abgrenzung zwischen Verfahrenskombination und -kopplung.

Als

- Laserstrahl-Lichtbogen-Hybridschweißverfahren (LLH-Verfahren) bzw.
- Laserstrahl-Lichtbogen-Hybridschweißprozesse

werden die Schweißverfahren bzw. -prozesse definiert, bei denen ein Laserstrahl mit mindestens einem Lichtbogen gekoppelt ist. Hervorzuheben ist, dass „Prozess“ und „Verfahren“ nicht synonym zu verwenden sind. „Prozess“ bezieht sich in diesem Zusammenhang auf den Verlauf der physikalischen und metallurgischen Vorgänge in Verbindung mit der Energieeinbringung in die Fügezone, wohingegen mit „Verfahren“ die Gesamtheit der Maßnahmen bezeichnet wird, die zur technischen Lösung der Fügeaufgabe eingesetzt werden.

Zur sprachlichen Verkürzung und verbesserten Lesbarkeit eines Textes sollen folgende Formen zulässig sein:

- Laserstrahl-Lichtbogen-Hybridschweißprozess, -schweißverfahren, -schweißen;
- Hybridschweißprozess, -schweißverfahren;
- Hybridschweißen;
- hybridgeschweißte Naht.

3 Verfahrensvarianten

Entsprechend den verfügbaren Strahlquellen und den etablierten Lichtbogenschweißverfahren gibt es zur Zeit verschiedene hybride Verfahrensvarianten (Tabelle 1).

1 Zweck

Die Qualifizierung der Laserstrahl-Schweißverfahren und wissenschaftlich-technischen Entwicklungen hinsichtlich einer Ausschöpfung ihrer Technologiepotenziale durch den Einsatz zusammen mit einer oder mehreren weiteren Energiequellen schreitet stetig voran. Dies macht eine Sprachregelung für einen ungehinderten Wissenstransfer und Informationsaustausch notwendig.

Zweck des Merkblattes ist es, die im Weiteren als Laserstrahl-Lichtbogen-Hybridschweißverfahren (abgekürzt LLH) bezeichneten Fügeverfahren zu definieren und besonders praxisrelevante Merkmale wichtiger, bisher bekannt gewordener Verfahrensvarianten zu beschreiben.

2 Definition

Als „hybride“ Schmelzschweißverfahren werden diejenigen bezeichnet, bei denen eine Kopplung in Form einer gemeinsamen Schmelzbades und einer damit definierten deutlichen gemeinsamen Prozesszone gegeben ist. Dadurch unterscheiden sie sich von Verfahrenskombinationen, bei denen in den Erstarrungsphasen mindestens zwei durch eine feste Komponente vollständig getrennte Schmelzbäder existieren. Bild 1 zeigt das am Beispiel des Einsatzes eines Laserstrahls und der zusätzlichen Energiequelle eines Lichtbogens.

Tabelle 1. Übersicht über hybride Verfahrensvarianten.

	CO ₂ -Laser	Nd:YAG-Laser	Dioden-Laser
MSG	CO ₂ -Laserstrahl-MSG-Hybridschweißverfahren	Nd:YAG-Laserstrahl-MSG-Hybridschweißverfahren	
WIG	CO ₂ -Laserstrahl-WIG-Hybridschweißverfahren	Nd:YAG-Laserstrahl-WIG-Hybridschweißverfahren	Dioden-Laserstrahl-Lichtbogen-Hybridschweißverfahren
Plasma	CO ₂ -Laserstrahl-Plasma-Hybridschweißverfahren	Nd:YAG-Laserstrahl-Plasma-Hybridschweißverfahren	

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

DVS, Ausschuss für Technik, Arbeitsgruppe „Strahlschweißen“

Nachdruck und Kopie, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers

Hybride Kopplungen mit Dioden-Lasern qualifizieren sich in dem Maße, wie die Entwicklung bezüglich Leistung und Strahlqualität der Dioden-Laser voranschreitet.

Im praktischen Einsatz sind besonders serielle Kopplungen verbreitet, bei denen Laserstrahl und Elektrode gereiht angeordnet sind. Daneben sind koaxiale Anordnungen verfügbar. Der Laserstrahl wird nach Möglichkeit senkrecht zur Werkstückoberfläche geführt.

Die Achse der Elektrode kann bei serieller Kopplung sowohl stehend (in der Regel in Schweißrichtung hinter dem Laserstrahl) als auch schleppend (in der Regel vor dem Laserstrahl) angeordnet sein. Die Arbeitspositionen der LLH-Verfahren werden wie bei den Einzelverfahren nach DIN EN ISO 6947 angegeben. Neben der Anordnung von Laserstrahl und Elektrode auf der gleichen Werkstückseite gibt es auch Varianten, bei denen die Anordnung der Elektrode auf der dem Laser gegenüber gelegenen Werkstückseite in der Nähe der Keyholeöffnung erfolgt. In diesen bzw. ähnlichen Fällen ist die Arbeitsposition auf eine hervorzuhebende Komponente des Verfahrens zu beziehen.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Einsatz eines CO₂-Lasers ($\lambda = 10,6 \mu\text{m}$) und dem eines Nd:YAG- ($\lambda = 1,06 \mu\text{m}$) bzw. Dioden-Lasers ($\lambda = 0,94 \mu\text{m}$) bei LLH-Prozessen besteht darin, dass durch einen CO₂-Laserstrahl bei Leistungsdichten oberhalb der Plasmaschwelle mit dem Metaldampf bzw. mit einem Prozessgas ein Plasma gebildet wird, wohingegen Nd:YAG- und Dioden-Laser nur einen heißen, leuchtenden Dampf erzeugen. Die Strahlung eines CO₂-Lasers wird von einem Plasma um Größenordnungen stärker absorbiert bzw. abgelenkt als die eines Festkörperlaser. Daraus resultieren für beide Lasertypen unterschiedliche Wechselwirkungen in der gemeinsamen Prozesszone des jeweiligen Hybridschweißprozesses.

Zum Schutz der optischen Elemente im Strahlengang des Lasers vor Schweißrauch und -spritzern können wie beim Laserstrahl-schweißen Querstrom-Luftdüsen (Cross-Jets) eingesetzt werden.

Die Verfahrenskopplungen werden überwiegend zum Schweißen eingesetzt, aber auch das Schneiden, Bohren und Bearbeiten von Oberflächen ist möglich.

4 Parameter des Laserstrahl-Lichtbogen-Hybridschweißprozesses

Die hybride Prozesskopplung bietet neben den im Zusammenhang mit den Einzelprozessen eingeführten Parametern, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, zusätzliche Möglichkeiten der Prozessoptimierung für einen wirtschaftlich und technologisch sinnvollen Einsatz der Hybridschweißverfahren. Die relative Positionierung zusätzlicher Energiequellen um des Laserstrahles zueinander ist eine der wichtigsten Kenngrößen der LLH-Prozesse (Bild 2). Durch die Werkstückoberfläche bzw. eine Tangentialebene (x, y) zu dieser und einer Senkrechten (z) dazu wird ein gegebenensfalls mit der Schweißgeschwindigkeit mitbewegtes kartesisches xyz-Koordinatensystem festgelegt. Der Koordinatenursprung wird in den Auftreffpunkt der Laserstrahlachse auf der Werkstückoberfläche gesetzt, und z in Richtung Werkstück wird negativ gewählt. Bei Geometrien mit bezüglich dieser Definition nicht einseitigen Werkstückoberflächen (z. B. T-Stoß) muss eine Definitionsebene (xy) gewählt werden.

Die Geometrie von Laserstrahl (Index L) und Lichtbogenbrenner (Index B) wird durch den Anstellwinkel β (in der Ebene: „Schweißrichtung, z und der Neigungswinkel γ (in einer dazu senkrechten, die z -Achse enthaltenden Ebene) sowie entweder den Ort der Elektrodenansätze bzw. des Kontaktröhres ($\Delta x_B, \Delta y_B, \Delta z_B$) oder den Ort des Auftreffpunktes der Elektrodenachse auf dem Werkstück und den Kontaktröhre- bzw. Elektrodenabstand (a_n, a_t, l_k) beschrieben.

Diese Größen werden in einer zur Schweißgeschwindigkeit normalen Ebene (Index n) und in einer zur Schweißgeschwindigkeit tangentialen Ebene (Index t) in Bezug auf die Werkstückoberfläche bzw. deren Normale gemessen.

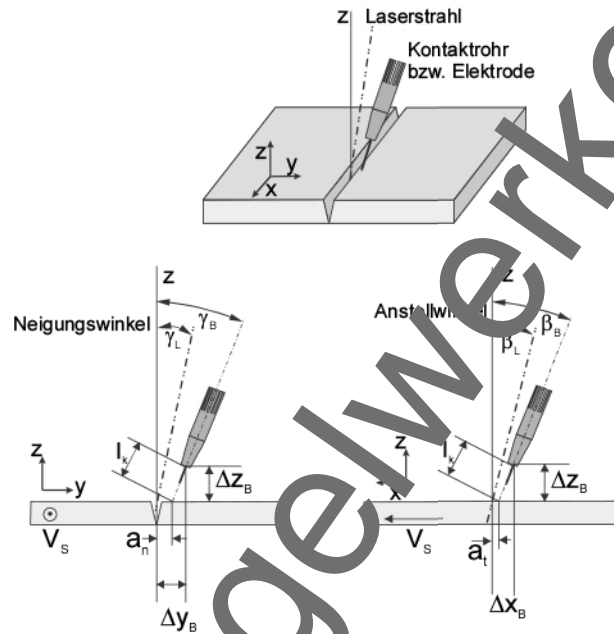


Bild 2. Geometrische Parameter für den Laserstrahl-Lichtbogen-Hybridschweißprozess.

Die Verhältnisse an den beiden Schnittebenen sind in Bild 2 schematisch dargestellt. Wird x in Schweißrichtung positiv gewählt, sollen positive bzw. negative Anstellwinkel β zwischen 0° und 90° stehend und schließende bzw. schleppend vorlaufende Anordnungen beschreiben.

Andere Brennerpositionierungen bedürfen einer Vorzeichendefinition der Abstände a bzw. Δx und Δy . Die Fokusslage des Laserstrahles wird, wie in der Lasermaterialbearbeitung üblich, mit Δz charakterisiert, wobei – wenn notwendig – anzugeben ist, ob entlang der z -Achse oder entlang der Laserstrahlachse gemessen wird. Sind in speziellen Fällen Winkel oder Abstände gleich null, kann deren Angabe entfallen. Ebenso kann die Indexierung von a entfallen, wenn $a_n = 0$. Das gilt auch für die Indexierung von β und γ , wenn β_L und γ_L gleich null sind.

Wenn in Abhängigkeit von der jeweiligen Geometrie bzw. technischen Realisierung des LLH-Verfahrens zusätzlich zu den hier definierten geometrischen Freiheitsgraden und den Parametern der Einzelverfahren das Schweißergebnis über weitere oder andere Größen beeinflusst wird, müssen diese Größen und deren Messvorschriften definiert werden.

5 Technologiepotenziale des Laserstrahl-Lichtbogen-Hybridschweißverfahrens

Das Technologiepotenzial des LLH-Verfahrens resultiert zum einen aus den hochentwickelten Technologien der Einzelverfahren und zum anderen besonders aus den Synergieeffekten einer Kopplung, durch die gegebenenfalls verfahrensimmanente Hemmnisse für den isolierten Einsatz sowohl des Laserstrahl- als auch des Lichtbogenschweißens für eine große Anzahl von Fügeaufgaben äußerst vorteilhaft überwunden werden.

Die traditionellen Vorteile des Lichtbogen-Schweißverfahrens sind:

- preiswerte, konventionelle Energiequelle;
- gezielte Beeinflussung der Wärmeführung;
- gute Möglichkeiten der Zugabe von Zusatzwerkstoff
 - zur Spaltüberbrückung
 - und/oder einer metallurgischen Beeinflussung der Erstarrungsmorphologien.

Sie gehen ohne Einschränkungen als vorteilhafte Faktoren in das Technologiepotenzial des LLH-Verfahrens ein.