

Ersetzt Ausgabe Februar 1999

Inhalt:

- 1 Geltungsbereich
- 2 Begriffsbestimmung
- 3 Merkmale des Laserstrahl-Auftragschweißens
- 4 Verfahrensprinzip
- 5 Technische Komponenten von Laserstrahl-Auftragschweißanlagen
 - 5.1 Laser und Strahlformung
 - 5.2 Bereitstellung des Zusatzwerkstoffs
- 6 Werkstoffe und Schichtaufbau
- 7 Durchführung des Laserstrahl-Auftragschweißens
 - 7.1 Oberflächenvorbereitung
 - 7.2 Prozessparameter
 - 7.3 Schutzgase
 - 7.4 Richtwerte zur Parameterfestlegung
- 8 Wirtschaftlichkeit
- 9 Arbeitssicherheit
- 10 Schrifttum

1 Geltungsbereich

Das Merkblatt gibt einen Überblick über das Auftragschweißen mit Dauerstrichlasern im kW-Bereich beim Einsatz von CO₂-, Nd:YAG-, Faser-, Scheiben- und Diodenlasern. Auftragschweißen mit gepulsten Nd:YAG-Lasern wird in diesem Merkblatt nicht behandelt. Die Anwendungsbereiche des Verfahrens betreffen verschiedenste Aufgaben der Oberflächenmodifizierung und Reparatur von Bauteilen und Werkzeugen. Das vorliegende Merkblatt enthält Empfehlungen für den fachgerechten Einsatz und Hinweise auf Schichteigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten, ergänzt mit Grunddaten zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit.

2 Begriffsbestimmung

Das Laserstrahl-Auftragschweißen ordnet sich technologisch neben dem Plasma-Pulver- und dem WIG-Auftragschweißen ein. Es ist vom Thermischen Spritzen klar abgegrenzt, da der Zusatzwerkstoff erst in der Wechselwirkungsfäche des Laserstrahls auf der Bauteiloberfläche aufgeschmolzen wird, wobei gleichzeitig der Grundwerkstoff geringfügig anschmilzt. Ein gültiges Synonym ist *Laserstrahlbeschichten*. Im englischsprachigen Raum hat sich die Bezeichnung *laser cladding* durchgesetzt.

3 Merkmale des Laserstrahl-Auftragschweißens

Das Laserstrahl-Auftragschweißen wird für den Oberflächenschutz komplex beanspruchter Bauteile und für Reparaturaufgaben eingesetzt. Der Anwendungsbereich erstreckt sich auf die Bearbeitung von funktionsförmigen an Bauteilen und Werkzeugen, deren Größe nicht verfahrensbedingt begrenzt ist. Insbesondere erfolgreich der Einsatz des Verfahrens bei Beschichtungsaufgaben, die höchste Präzision hinsichtlich der Schichtgeometrie und des Bauteilverhaltens erfordern.

Die mechanischen und thermischen Eigenschaften des Schicht-Substrat-Verbundes können durch die Wahl des Zusatzwerkstoffs und der Prozessparameter in weiten Grenzen gezielt und beanspruchungsgerecht eingestellt werden.

In der Regel ist auch bei Laserstrahl-Auftragschweißungen eine Endbearbeitung erforderlich. Diese kann durch Drehen, Fräsen, Schleifen oder Erodieren erfolgen.

Charakteristische Merkmale des Laserstrahl-Auftragschweißens sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1. Merkmale des Laserstrahl-Auftragschweißens

Merkmal	Grenzen/Bewertung	Bemerkungen
Lasertypen	CO ₂ , Nd:YAG, Faser, Scheibe, Diode	i. d. R. mindestens 1000 W (cw)
Leistungsdichte	5.000 bis 1.000.000 W/cm ²	CO ₂ -Laser wegen geringerer Absorption mit Leistungsdichten im Bereich von 1.000.000 W/cm ²
Einwirkzeit	0,01 bis Sekunden	Einzelraupe
Spurgeometrie – Spurbreite – Einzelraupenhöhe – typische Schichtdicken	0,2 bis 9 mm 0,1 bis 2 mm 0,3 bis 3 mm	größere Schichtdicken durch Mehrlagenteknik, 3D-Konturbeschichtungen möglich
Lokalisierbarkeit	sehr gut	
Endkonturnähe	mittel bis hoch	Endbearbeitung meistens erforderlich
Flächenleistung/Auftragrat	100 bis 1.200 mm ² /min / (0,1 bis 2 kg/h*)	abhängig von Laserleistung, Werkstoff und Bauteilgeometrie
Wärmeeintritt in das Bauteil	gering bis mittel	

*) 6000 W

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 „Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren“

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

zurückgezogen

Merkmal	Grenzen/Bewertung	Bemerkungen
Verzug, Formabweichungen	gering bis mittel	
Schichtgefüge	dicht, homogen	
Haftfestigkeit	schmelzmetallurgische Bindung	Haftfestigkeit in der Größenordnung der Schichtzugfestigkeit
Aufmischung der Schicht mit Grundwerkstoff	2 bis 5%	
Umgebungsbedingungen	meist unter normalen Atmosphärenbedingungen	zusätzliche Schutzgasabschirmung möglich, typischerweise N ₂ , Ar oder He
Bauteilgröße	unbegrenzt	abhängig von der verfügbaren Laseranlage
Oberflächengeometrie	kleinere und/oder komplexe Funktionsflächen	großflächige Beschichtungen vor allem aus wirtschaftlicher Sicht ungünstig
Bearbeitungsaufgaben	<ul style="list-style-type: none"> - Oberflächenschutz - Reparaturbeschichtungen - Präzisionsbearbeitung 	

4 Verfahrensprinzip

Beim Laserstrahl-Auftragschweißen wird prinzipiell zwischen dem einstufigen und dem zweistufigen Verfahren unterschieden. Während im zweistufigen Verfahren der vordeponierte Zusatzwerkstoff durch den Laserstrahl aufgeschmolzen wird, erfolgt die Zuführung des Zusatzwerkstoffs beim einstufigen Verfahren simultan mit dem Laserstrahl.

Beim einstufigen Verfahren bestimmen – neben den Laserparametern – im Wesentlichen die Art und Ausführung des Förder-systems, dessen Orientierung zum Strahlwirkungsbereich, die Förder-rate des Zusatzwerkstoffs sowie die Schutzgasführung das Ergebnis. Als Zusatzwerkstoffe kommen beim einstufigen Ver-fahren Pulver, Drähte und selten auch Pasten zum Einsatz.

Das Einschmelzen des Zusatzwerkstoffs beim zweistufigen Ver-fahren erfolgt von der Schichtoberfläche aus. Der Energietrans- port zum Grundwerkstoff basiert überwiegend auf Wärmeleitung. Daraus resultiert eine höhere Empfindlichkeit gegen Überhit-zung, und die in einer Lage erreichbaren Schichtdicken sind mit ca. 0,3 bis 0,8 mm deutlich geringer.

Das von der Art des Zusatzwerkstoffs unabhängige Grundprinzip des einstufigen Verfahrens ist am Beispiel des Laser-Pulver-Auf-tragschweißens in Bild 1 dargestellt.

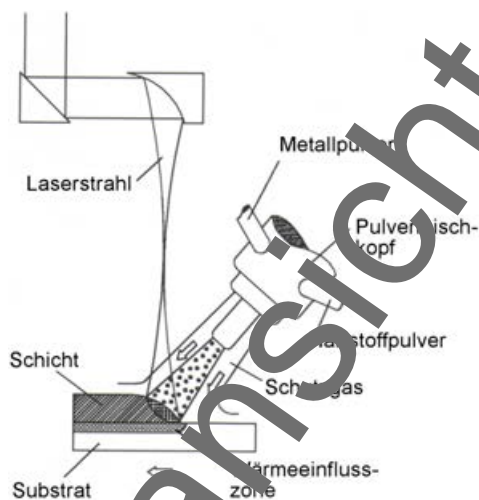


Bild 1. Prinzipdarstellung des Laserstrahl-Auftragschweißens mit Pulvern.

Durch den Laserstrahl wird ein streng lokalisiertes Schmelzbad auf der Werkstückoberfläche erzeugt. Das zugeführte Pulver oder Pulvergemisch wird beim Durchgang durch den Laserstrahl erwärmt, schmilzt aber erst im Schmelzbad auf.

Das zum Erzielen einer metallurgischen Bindung erforderliche geringfügige Anschmelzen des Grundwerkstoffs erfolgt im Wesentlichen über Wärmeleitung. Durch Wärmeableitung in das kalte Substrat erstarrt der schmelzflüssige Zusatzwerkstoff sehr schnell und es entstehen raupenförmige Auftragspuren.

Die Art des Zusatzwerkstoffs wird in Abhängigkeit von der Bean-spruchung des Bauteils und von der Geometrie der Bearbei-tungsstelle ausgewählt. Die größte Flexibilität haben dabei pul- verförmige Werkstoffe. Die Hauptvorteile bestehen in der varia- beln die Lasereinwirkzone anpassbaren Pulverstrahlform und dem großen Spektrum verfügbarer Metalle, Legierungen und Hart- stoffe. Neben der dargestellten Variante der seitlichen Pulver- zufuhr können auch Bearbeitungsköpfe mit einem coaxial zum Laserstrahl angeordneten Pulverstrom oder quasicoaxial ange- ordneten Pulverströmen (Mehrstrahldüsen) verwendet werden. Die Besonderheit besteht hier darin, dass die Pulvereinbringung un- abhängig von der Vorschubrichtung erfolgt und somit beliebige zweidimensionale Konturen geschweißt werden können. Den Vor- teilen des Pulvers stehen die nicht vollständige Pulverausnut- zung (Overspray) und die Gefährdung des Bedienpersonals durch atembare Pulverteilchen gegenüber. Neben Pulvern haben vor allem bei Reparaturschweißungen an Werkzeugen sowie an Bauteilen der Luft- und Raumfahrt Drähte an Bedeutung erlangt. Zum Erzeugen relativ breiter Auftragsraupen, die einen rechtecki- gen Querschnitt haben sollen, können auch metallische Bänder verwendet werden.

Vorzugsweise wird das Laserstrahl-Auftragschweißen ohne Vor- wärmung ausgeführt. Für bestimmte, risseempfindliche Kombi- nationen von Schicht- und Zusatzwerkstoff kann dennoch ein Vor- wärmen oder das Schweißen einer Pufferlage (z. B. aus Nickel) notwendig sein.

Ebenso kann eine Kühlung des Werkstücks erforderlich werden, wenn ein ungünstiges Verhältnis von Schichtdicke und Grund- werkstoffwanddicke vorliegt.

Bei stark differierenden Ausdehnungskoeffizienten von Grund- und Zusatzwerkstoff sowie der Neigung zur Bildung spröder Pha- sen im Aufmischungsbereich kann eine metallurgisch geeignete Zwischenschicht aufgeschweißt werden bevor der eigentliche, funktionsbestimmende Zusatzwerkstoff aufgebracht wird.

5 Technische Komponenten von Laserstrahl-Auftrag- schweißanlagen

Grundsätzliche Voraussetzung zur Nutzung des Lasers für die Werkstoffbearbeitung ist die Integration des Lasers in ein funk- tionsfähiges System. Ein solches System lässt sich unabhängig von der Art der Anwendung in die vier Subsysteme Laser, Strahl- führung und -formung, Werkstückhandhabung sowie Steuerung und Überwachung untergliedern. Die besonders relevanten Kom- ponenten sind hervorgehoben (Bild 2).