

DIN EN 1011-6

ICS 25.160.10

Ersatz für
DIN EN 1011-6:2006-03

**Schweißen –
Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe –
Teil 6: Laserstrahlschweißen;
Deutsche Fassung EN 1011-6:2018**

Welding –
Recommendation for welding of metallic materials –
Part 6: Laser beam welding;
German version EN 1011-6:2018

Soudage –
Recommendations pour le soudage des matériaux métalliques –
Partie 6: Soudage par faisceau laser;
Version allemande EN 1011-6:2018

Gesamtumfang 47 Seiten

DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 1011-6:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 121 „Schweißen und verwandte Verfahren“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 092-00-21 AA „Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren (DVS AG V 9.2)“ im DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS).

Änderungen

Gegenüber DIN EN 1011-6:2006-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) normative Verweisungen aktualisiert;
- b) Unterabschnitt 12.3 „Montage und Spannvorrichtungen“ überarbeitet;
- c) in Anhang A „Einrichtungen“ Faserlaser aufgenommen;
- d) Literaturhinweise aktualisiert;
- e) Norm redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN EN 1011-6: 2006-03

Deutsche Fassung

Schweißen —
Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe —
Teil 6: Laserstrahlschweißen

Welding —
Recommendation for welding
of metallic materials —
Part 6: Laser beam welding

Soudage —
Recommandations pour le soudage
des matériaux métalliques —
Partie 6: Soudage par faisceau laser

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 29. Juli 2018 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	9
4 Arbeits-, Gesundheits- und Umweltschutz	9
5 Qualitätsanforderungen	9
6 Einrichtungen	10
6.1 Allgemeines	10
6.2 Abnahmeprüfungen	10
6.3 Instandhaltung und Kalibrierung	10
7 Qualifizierung des Bedienpersonals	10
8 Schweißanweisung	10
9 Schweißverfahrensprüfung	10
10 Schweißzusätze	11
10.1 Zusatzwerkstoffe	11
10.2 Gase	11
11 Konstruktion	11
11.1 Allgemeine Hinweise für die Konstruktion oder das Bauteil	11
11.2 Nahtformen	11
11.3 Nahtvorbereitung	12
12 Laserstrahlschweißen	13
12.1 Merkmale	13
12.1.1 Verfahrensvarianten	13
12.1.2 Energieübertragung	13
12.1.3 Strahlpulsschweißen	14
12.1.4 Strahloszillation	14
12.1.5 Rampen	14
12.1.6 Strahlfokussierung	14
12.1.7 Schutzgas	14
12.1.8 Verwendung von Zusatzwerkstoffen	14
12.1.9 Hybridprozesse	15
12.2 Vorteile und Einschränkungen	15
12.3 Montage und Spannvorrichtungen	16
12.4 Prozesssteuerung	16
12.5 Inspektion und Prüfen	16
12.6 Unregelmäßigkeiten	16
Anhang A (informativ) Einrichtungen	17
A.1 Beschreibung des Laserstrahlprozesses	17
A.1.1 Grundlagen	17
A.1.2 Baugruppen	17

A.2	Laserstrahlquellen.....	18
A.2.1	CO ₂ -Laser	18
A.2.2	Lampengepumpte Nd:YAG-Laser.....	19
A.2.3	Diodengepumpte Nd:YAG-Laser.....	19
A.2.4	Diodengepumpte Yb:YAG-Laser (Scheibenlaser)	20
A.2.5	Hochleistungs-Array-Diodenlaser	20
A.2.6	Faserlaser.....	21
A.2.7	Andere Lasertypen.....	21
A.3	Strahlführung, -formung und -fokussierung	21
A.3.1	Strahlführung.....	21
A.3.2	Strahlformung (Fokusoptik)	22
A.4	Einrichtungen zum Bewegen des Laserstrahls und des Werkstückes.....	25
A.5	Vorrichtungen zum Spannen der Werkstücke	26
A.6	Kühlsysteme.....	26
A.7	Steuerungssysteme.....	27
Anhang B (informativ) Laserstrahleigenschaften.....		28
Anhang C (informativ) Informationen über die Schweißeignung metallischer Werkstoffe		30
C.1	Allgemeines	30
C.2	Stahl und Eisenlegierungen	30
C.2.1	Allgemeines	30
C.2.2	C-Mn-Stähle und Baustähle.....	31
C.2.3	Legierte Stähle	31
C.2.4	Nichtrostende Stähle	31
C.2.5	Gusseisen.....	31
C.2.6	Weicheisen.....	32
C.3	Nickellegierungen	32
C.4	Aluminium- und Magnesiumlegierungen.....	32
C.5	Kupfer und Kupferlegierungen	32
C.6	Hochschmelzende und reaktive Metalle.....	32
C.7	Titan und Titanlegierungen.....	33
C.8	Metallische Mischverbindungen.....	33
C.9	Nichtmetalle	33
Anhang D (informativ) Informationen über Ursachen von Schweißnahtunregelmäßigkeiten und Gegenmaßnahmen		34
Anhang E (informativ) Strahlsteuerung und -überwachung.....		37
E.1	Allgemeines	37
E.2	Fokuspunkt.....	37
E.3	Justierung von Leistungs- und Pilotlaserstrahl.....	37
E.4	Strahlleistung.....	38
E.5	Leistungsdichteverteilung	38
E.6	Düsenjustierung.....	38
E.7	Strahlpulsen	39
E.8	Handhabungsmittel, Führungen usw.....	39
Anhang F (informativ) Laserstrahlverfahren		40
F.1	Laserstrahlschneiden	40
F.1.1	Merkmale	40
F.2	Laserstrahlbohren	42
F.2.1	Merkmale	42
F.2.2	Vorteile und Einschränkungen.....	42
F.2.3	Oberflächenbehandlung	42
F.3	Laserstrahl-Randschichtbehandlung.....	42
F.3.1	Merkmale	42
F.3.2	Vorteile und Einschränkungen.....	43

F.3.3	Oberflächenbehandlung	43
F.4	Besonderheiten des Laserstrahlplattierens	43
F.4.1	Verfahrensvarianten	43
F.4.2	Vorteile und Einschränkungen	43
F.4.3	Oberflächenbehandlung	43
F.5	Laserstrahlmarkieren und -gravieren	44
F.5.1	Merkmale	44
F.5.2	Vorteile und Einschränkungen	44
F.5.3	Oberflächenbehandlung	44
	Literaturhinweise	45

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 1011-6:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 121 „Schweißen und verwandte Verfahren“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juni 2019, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juni 2019 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN 1011-6:2005.

Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind folgende:

- a) die normativen Verweisungen und Literaturhinweise wurden aktualisiert
- b) Unterabschnitt 12.3 (Montage und Spannvorrichtungen) wurde überarbeitet;
- c) in Anhang A (Einrichtungen) wurden Faserlaser aufgenommen.

EN 1011 besteht unter dem allgemeinen Titel *Schweißen — Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe* aus den folgenden Teilen:

- *Teil 1: Allgemeine Anleitungen für Lichtbogenschweißen;*
- *Teil 2: Lichtbogenschweißen von ferritischen Stählen;*
- *Teil 3: Lichtbogenschweißen von nichtrostenden Stählen;*
- *Teil 4: Lichtbogenschweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen;*
- *Teil 5: Schweißen von plattierten Stählen;*
- *Teil 6: Laserstrahlschweißen;*
- *Teil 7: Elektronenstrahlschweißen;*
- *Teil 8: Schweißen von Gusseisen.*

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Einleitung

Dieses Dokument ist in mehreren Teilen erstellt worden, um die verschiedenen Arten schweißgeeigneter metallischer Werkstoffe erfassen zu können, die nach Europäischen Normen erzeugt werden.

Wenn dieses Dokument zu Vertragszwecken herangezogen wird, sollten die Bestell- oder Vertragspartner die notwendige Übereinstimmung mit dem entsprechenden Teil oder Anhang dieses Dokuments vereinbaren.

Dieses Dokument gibt allgemeine Anleitungen für eine zufriedenstellende Fertigung und Überwachung von Schweißungen und verwandter Prozesse. Es beschreibt einige mögliche nachteilige Auswirkungen, die auftreten können, und gibt Hinweise, wie sie vermieden werden können. Es ist allgemein anwendbar für das Laserstrahlschweißen von metallischen Werkstoffen und vereinzelt auch für nichtmetallische Werkstoffe. Es kann ungeachtet der Fertigungsart angewendet werden, entsprechende Anwendernormen, Berechnungsregeln und Konstruktionsrichtlinien können jedoch zusätzliche Anforderungen enthalten. Angaben über zulässige Konstruktionsbeanspruchungen, Prüfverfahren und Bewertungsgruppen sind von den Betriebsbedingungen in der Fertigung abhängig und sind nicht enthalten. Derartige Einzelheiten sollten den entsprechenden Anwendernormen entnommen oder zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden.

Bei der Erstellung der Norm wurde vorausgesetzt, dass die Ausführung der enthaltenen Vorschriften entsprechend qualifiziertem, erfahrenem und geschultem Personal übertragen wird.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument enthält allgemeine Anleitungen für das Laserstrahlschweißen und verwandte Prozesse zum Fügen metallischer Werkstoffe für alle Erzeugnisformen (z. B. gegossen, gewalzt, stranggepresst, geschmiedet).

ANMERKUNG Einige Anleitungen zum Laserstrahlschneiden, -bohren, -randschichtbehandeln und -plattieren werden in Anhang F beschrieben.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 14717, *Schweißen und verwandte Prozesse — Umweltcheckliste*

EN ISO 636, *Schweißzusätze — Stäbe, Drähte und Schweißgut zum Wolfram-Inertgasschweißen von unlegierten Stählen und Feinkornstählen — Einteilung (ISO 636)*

EN ISO 3834-2, *Qualitätsanforderungen für das Schmelzschweißen von metallischen Werkstoffen — Teil 2: Umfassende Qualitätsanforderungen (ISO 3834-2)*

EN ISO 3834-5, *Qualitätsanforderungen für das Schmelzschweißen von metallischen Werkstoffen — Teil 5: Dokumente, deren Anforderungen erfüllt werden müssen, um die Übereinstimmung mit den Anforderungen nach ISO 3834-2, ISO 3834-3 oder ISO 3834-4 nachzuweisen (ISO 3834-5)*

EN ISO 6520-1, *Schweißen und verwandte Prozesse — Einteilung von geometrischen Unregelmäßigkeiten an metallischen Werkstoffen — Teil 1: Schmelzschweißen (ISO 6520-1)*

EN ISO 9013, *Thermisches Schneiden — Einteilung thermischer Schnitte — Geometrische Produktspezifikation und Qualität (ISO 9013)*

EN ISO 11145:2016, *Optik und Photonik — Laser und Laseranlagen — Begriffe und Formelzeichen (ISO 11145)*

EN ISO 13919-1, *Schweißen — Elektronen- und Laserstrahl-Schweißverbindungen — Leitfaden für Bewertungsgruppen für Unregelmäßigkeiten — Teil 1: Stahl (ISO 13919-1)*

EN ISO 13919-2, *Schweißen — Elektronenstrahl- und Laserstrahl-Schweißverbindungen — Richtlinie für Bewertungsgruppen für Unregelmäßigkeiten — Teil 2: Aluminium und seine schweißgeeigneten Legierungen (ISO 13919-2)*

EN ISO 13920, *Schweißen — Allgmeintoleranzen für Schweißkonstruktionen — Längen- und Winkelmaße — Form und Lage (ISO 13920)*

EN ISO 14175, *Schweißzusätze — Gase und Mischgase für das Lichtbogenschweißen und verwandte Prozesse (ISO 14175)*

EN ISO 14232-1, *Thermisches Spritzen — Pulver — Teil 1: Zusammensetzung und technische Lieferbedingungen (ISO 14232-1)*

EN ISO 14341, *Schweißzusätze — Drahtelektroden und Schweißgut zum Metall-Schutzgasschweißen von unlegierten Stählen und Feinkornstählen — Einteilung (ISO 14341)*

EN ISO 14343, *Schweißzusätze — Drahtelektroden, Bandelektroden, Drähte und Stäbe zum Lichtbogenschweißen von nichtrostenden und hitzebeständigen Stählen — Einteilung (ISO 14343)*

EN ISO 14732, *Schweißpersonal — Prüfung von Bedienern und Einrichtern zum mechanischen und automatischen Schweißen von metallischen Werkstoffen (ISO 14732)*

EN ISO 14919, *Thermisches Spritzen — Drähte, Stäbe und Schnüre zum Flamspritzen und Lichtbogenspritzen — Einteilung — Technische Lieferbedingungen (ISO 14919)*

EN ISO 15609-4, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißanweisung — Teil 4: Laserstrahlschweißen (ISO 15609-4)*

EN ISO 15614-11, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 11: Elektronen- und Laserstrahlschweißen (ISO 15614-11)*

EN ISO 15616-1, *Abnahmeprüfungen für CO₂-Laserstrahlanlagen zum Qualitätsschweißen und -schneiden — Teil 1: Grundlagen, Abnahmebedingungen (ISO 15616-1)*

EN ISO 15616-2, *Abnahmeprüfungen für CO₂-Laserstrahlanlagen zum Qualitätsschweißen und -schneiden — Teil 2: Messen der statischen und dynamischen Genauigkeit (ISO 15616-2)*

EN ISO 15616-3, *Abnahmeprüfungen für CO₂-Laserstrahlanlagen zum Qualitätsschweißen und -schneiden — Teil 3: Kalibrieren von Instrumenten zum Messen des Gasdurchflusses und -drucks (ISO 15616-3)*

EN ISO 16834, *Schweißzusätze — Drahtelektroden, Drähte, Stäbe und Schweißgut zum Schutzgasschweißen von hochfesten Stählen — Einteilung (ISO 16834)*

EN ISO 17632, *Schweißzusätze — Fülldrahtelektroden zum Metall-Lichtbogenschweißen mit und ohne Schutzgas von unlegierten Stählen und Feinkornstählen — Einteilung (ISO 17632)*

EN ISO 17633, *Schweißzusätze — Fülldrahtelektroden und Füllstäbe zum Metall-Lichtbogenschweißen mit und ohne Gasschutz von nichtrostenden und hitzebeständigen Stählen — Einteilung (ISO 17633)*

EN ISO 17634, *Schweißzusätze — Fülldrahtelektroden zum Metall-Schutzgasschweißen von warmfesten Stählen — Einteilung (ISO 17634)*

EN ISO 17662, *Schweißen — Kalibrierung, Verifizierung und Validierung von Einrichtungen einschließlich ergänzender Tätigkeiten, die beim Schweißen verwendet werden (ISO 17662)*

EN ISO 18273, *Schweißzusätze — Massivdrähte und -stäbe zum Schmelzschweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen — Einteilung (ISO 18273)*

EN ISO 18274, *Schweißzusätze — Draht- und Bandelektroden, Massivdrähte und -stäbe zum Schmelzschweißen von Nickel und Nickellegierungen — Einteilung (ISO 18274)*

EN ISO 18276, *Schweißzusätze — Fülldrahtelektroden zum Metall-Lichtbogenschweißen mit und ohne Schutzgas von hochfesten Stählen — Einteilung (ISO 18276)*

EN ISO 21952, *Schweißzusätze — Drahtelektroden, Drähte, Stäbe und Schweißgut zum Schutzgasschweißen von warmfesten Stählen — Einteilung (ISO 21952)*

EN ISO 22827-1, *Abnahmeprüfungen für Nd:YAG-Laserstrahlschweißmaschinen — Maschinen mit Versorgung durch Lichtleitfaser — Teil 1: Lasereinrichtung (ISO 22827-1)*

EN ISO 22827-2, *Abnahmeprüfungen für Nd:YAG-Laserstrahlschweißmaschinen — Maschinen mit Versorgung durch Lichtleitfaser — Teil 2: Mechanische Bewegungseinrichtung (ISO 22827-2)*

EN ISO 24373, *Schweißzusätze — Massivdrähte und -stäbe zum Schmelzschweißen von Kupfer und Kupferlegierungen — Einteilung (ISO 24373)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN ISO 11145:2016.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

4 Arbeits-, Gesundheits- und Umweltschutz

EN 14717 enthält eine allgemeine Umweltcheckliste, die auch für das Laserstrahlschweißen gilt.

Gegenüber dem Lichtbogenschweißen treten beim Laserstrahlschweißen zusätzliche Gefahren auf. Fachkundiger Rat sollte eingeholt werden, siehe z. B. EN 60825-1 und EN ISO 11553-1.

Hinweise auf die Sicherheit von Industrierobotern, die zum Schweißen Fokuseinrichtungen und/oder Schweißbauteile bewegen, sind in EN ISO 10218-1 und EN ISO 10218-2 enthalten.

5 Qualitätsanforderungen

Das Laserstrahlschweißen ist ein komplexer Prozess und erfordert besondere Steuerungen. Alle Prozessvorgänge sind numerisch steuerbar und erfordern das Programmieren jedes einzelnen Arbeitsschrittes. Die Maßnahmen müssen in Übereinstimmung mit EN ISO 3834-2 und EN ISO 3834-5 überwacht werden.

Damit ist keine Verpflichtung zur Zertifizierung verbunden, jedoch sollte der Einsatz der Prozesssteuerungen in Übereinstimmung mit EN ISO 3834-2 und EN ISO 3834-5 erfolgen.

Voraussetzung für eine erfolgreiche Prozesssteuerung sind Qualitätsanforderungen an die Nahtfugengeometrie und andere entsprechende Anforderungen, die vor Beginn der Fertigung festzulegen sind. Auf folgende Europäische Normen, die Nahtgeometrie und Qualitätskriterien spezifizieren, kann verwiesen werden.

Tabelle 1 — Qualitätskriterien

Anforderungen und Toleranzen	Nummer der Norm
Qualitätsanforderungen an Strahlschweißnähte	EN ISO 13919-1 EN ISO 13919-2
Qualitätsanforderungen an Schnittoberflächen	EN ISO 9013
Allgemeine Toleranzen	EN ISO 13920
Allgemeine Anforderungen	EN ISO 3834-2 und EN ISO 3834-5 enthalten Angaben und Hinweise, die vor Beginn einer Fertigung zu berücksichtigen sind. Anstelle von EN ISO 3834-2 und EN ISO 3834-5 kann EN 1011-1:2009, Anhang A, als Richtlinie genutzt werden.

6 Einrichtungen

6.1 Allgemeines

Informationen über die einzelnen Einrichtungen zum Bearbeiten mit Laserstrahlschweißen müssen den Unterlagen des Anlagenherstellers entnommen werden. Einige Fachbücher und eine große Zahl von Fachaufsätzen stehen für Grundlageninformationen zur Verfügung. Anhang A enthält sehr allgemeine Informationen über das Verfahrensprinzip und die Verfahrenstechnik. Anhang B enthält allgemeine Informationen über die Eigenschaften von Laserstrahlen.

6.2 Abnahmeprüfungen

Abnahmeprüfungen von CO₂- und Nd:YAG-Laserstrahlanlagen können den in Tabelle 2 aufgelisteten Normen entnommen werden. Bislang existieren keine EN- oder ISO-Normen, in denen die Abnahmeprüfungen für andere Typen von Laserstrahlanlagen behandelt werden.

Tabelle 2 — Abnahmeprüfungen

Anlagentyp	Nummer der Norm
CO ₂ -Laserstrahlanlage	EN ISO 15616-1, EN ISO 15616-2 und/oder EN ISO 15616-3
Nd:YAG-Laserstrahlanlage	EN ISO 22827-1, EN ISO 22827-2

6.3 Instandhaltung und Kalibrierung

Maßnahmen zur Instandhaltung sind nicht genormt. Hinweise müssen den Angaben des Anlagenherstellers entnommen werden. Die Grundlagen der Kalibrierung, Verifizierung und Validierung sowie Mindestanforderungen sind in EN ISO 17662 enthalten.

7 Qualifizierung des Bedienpersonals

Die Anforderungen an die Qualifizierung des Bedienpersonals für vollmechanische und automatische Schweißeinrichtungen sind in EN ISO 14732 festgelegt. Von den in dieser Europäischen Norm aufgeführten verschiedenen Prozessen eignet sich besonders die Funktionsprüfung als Grundlage für die Qualifizierung des Personals, das für das Bedienen und Einrichten von Laserstrahlanlagen verantwortlich ist. Bei einer Funktionsprüfung demonstriert der Bediener oder Einrichter seine Kenntnisse über das Arbeiten mit Schweißanweisungen und über das Einstellen, Überwachen und Kontrollieren der Laserstrahlanlage.

8 Schweißanweisung

Alle Einzelheiten für das Laserstrahlschweißen von Bauteilen müssen in einer Schweißanweisung (WPS, engl. welding procedure specification) nach EN ISO 15609-4 festgehalten werden. Fertigungsanweisungen für das Schneiden, Bohren, Randschichtbehandeln und Plattieren sind nicht genormt. Falls erforderlich, können Hinweise aus der EN ISO 15609-4 entnommen werden.

9 Schweißverfahrensprüfung

Eine formale Qualifikation der Laserstrahlverfahren wird für alle Anwendungen empfohlen und für viele Anwendungen vorgeschrieben. Die Qualifizierung von Laserstrahlschweißverfahren kann, falls erforderlich, mittels Verfahrensprüfung durchgeführt werden, siehe EN ISO 15614-11. Es können jedoch auch Verfahrensprüfungen vor Fertigungsbeginn notwendig sein, siehe EN ISO 15613. Qualifikationsprüfungen vor Fertigungsbeginn sind im Allgemeinen beim Schneiden, Bohren und Randschichtbehandeln üblich. EN ISO 15613 gibt dazu einige Hinweise.

Die Qualifizierung von Verfahren für das Laserstrahl-Schweißplattieren kann, falls erforderlich, mittels Verfahrensprüfung durchgeführt werden, siehe EN ISO 15614-7. Es können jedoch auch Verfahrensprüfungen vor Fertigungsbeginn notwendig sein, siehe EN ISO 15613.

10 Schweißzusätze

10.1 Zusatzwerkstoffe

Zusatzwerkstoffe werden für das Laserstrahlplattieren und gelegentlich für das Laserstrahlschweißen eingesetzt. Das Hauptproblem ist, dass die für Laserstrahlanwendungen geeigneten Zusatzwerkstoffe kaum im Handel angeboten werden und dass auch keine entsprechenden Normen vorhanden sind. Die üblichen Lieferformen sind massive Runddrähte, es können jedoch, besonders zum Schweißplattieren, auch Pulver verwendet werden. Es kommen folgende Bezugsmöglichkeiten in Betracht:

- handelsübliche Zusatzwerkstoffe für Metallschutzgas- und Wolfram-Inertgasschweißen. Es sollte beachtet werden, dass auch Fülldrähte geeignet sind. Geringe (Versuchs-)Fertigungen für Fülldrähte sind für besondere Anwendungen möglich. Entsprechende Normen sind: EN ISO 14341, EN ISO 17632, EN ISO 636, EN ISO 21952, EN ISO 17634, EN ISO 14343, EN ISO 17633, EN ISO 16834, EN ISO 18276, EN ISO 24373, EN ISO 18273, EN ISO 18274;
- handelsübliche Zusatzwerkstoffe für das thermische Spritzen. Die üblichen Lieferformen sind Massivdrähte nach EN ISO 14919;
- Pulver für thermisches Spritzen nach EN ISO 14232-1;
- Pulver für metallurgische Anwendungen.

10.2 Gase

Gase werden beim Laserstrahlschweißen zum Abschirmen und zum Unterdrücken des Plasmas verwendet. Sie unterstützen das Laserstrahlschneiden und sind beim Laserstrahlplattieren, -bohren und -markieren als Schutzgase erforderlich. Für CO₂-Laser ist eine kontinuierliche Gasversorgung mitunter unerlässlich.

Die einzige dafür maßgebende Norm ist EN ISO 14175. Diese Norm ist jedoch nicht für alle Gase geeignet, die für den Laserstrahlprozess verwendet werden. Im Bedarfsfall sind Zusammensetzung, Toleranzen usw. aller nicht genormten Gase gesondert zu spezifizieren.

11 Konstruktion

11.1 Allgemeine Hinweise für die Konstruktion oder das Bauteil

In erster Linie ist auf die Zugänglichkeit aller Nähte zu achten. Der Abstand zwischen Fokussierungseinrichtung und Nahtoberfläche kann dabei ein gewisser Vorteil sein. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Düsen für das Schutz- und Plasmagas in unmittelbare Nähe der Oberfläche positioniert werden müssen. Darüber hinaus können Sensoren die Zugänglichkeit zusätzlich erschweren.

11.2 Nahtformen

Die Nahtform ist für das Laserstrahlschweißen von Bedeutung. Die normale I-Naht ist die übliche Form einer Verbindungsnaht. T-Stöße werden ähnlich geschweißt, eine vollständige Durchschweißung ist jedoch nicht erforderlich. Überlappstöße werden für das Punktschweißen verwendet.

Durch Laserstrahlschweißen können Bauteilkomponenten mit engen Maßtoleranzen gefügt werden. Bedingung ist, dass die Komponenten von einer Spannvorrichtung fixiert werden oder die Nahtfugen „selbstpositionierend“ sind.

Eine Schweißbadsicherung eignet sich als Spritzerschutz und unterdrückt die Bildung von Spiking und Einbrandkerben.

Für Axialrundnähte an Bauteilen mit engen Maßtoleranzen werden Presspassungen der Paarung H7/r6 bis H7/n6 (EN ISO 286-2) empfohlen. Axialrundnähte mit Spielpassung sind unbedingt zu heften.

11.3 Nahtvorbereitung

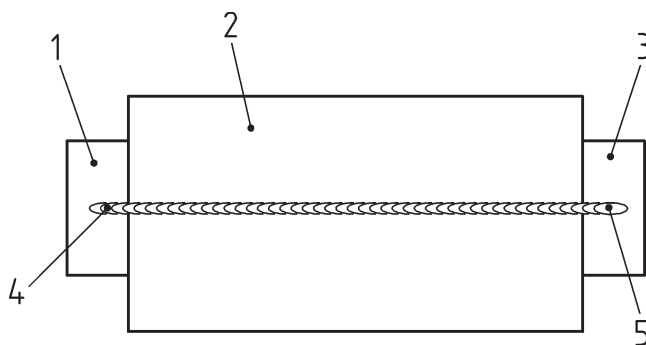
Die Qualität des Laserstrahlschweißens hängt von der Genauigkeit und Sauberkeit der Nahtvorbereitung ab. Die Nahtfugen können durch mechanisches Bearbeiten oder Schneiden vorbereitet werden. Dabei sollte die Oberflächenbeschaffenheit beachtet werden. Nahtfugen sollten gereinigt werden, falls sie durch Oxide, Öl, Fett, Kühlmittel und Farbe verschmutzt sind.

Das spezielle Reinigungsverfahren ist abhängig vom Werkstoff, von der Bauteilgröße und den Qualitätsanforderungen sowie von den Betriebsbedingungen. Folgende Behandlungen können ausgeführt werden:

- manuelles Entfetten mit einem Lösungsmittel;
- Reinigen in einer geschlossenen Einrichtung unter Lösungsmitteldampf oder in einem Ultraschallbad;
- Vorbehandlung durch Dampfreinigen mit einem leicht alkalischen Zusatz, anschließend Trocknen;
- Neutralisieren durch Beizen, Waschen in destilliertem Wasser, Trocknen, kurzzeitiges Lagern;
- mechanisches Bearbeiten durch Schleifen, Bürsten usw.;
- Primer und ähnliche Schichten auf Stahl können mit einem defokussierten Laserstrahl durch Auftragen entlang der Naht vor dem Schweißen entfernt werden. Für diese Behandlung können besonders hohe Geschwindigkeiten von mehr als 100 mm/s eingesetzt werden.

Werkstoffrandschichten, die durch Aufkohlen, Anodisieren, Cadmieren, Nitrieren, Phosphatieren, Galvanisieren usw. entstanden sind, müssen in der Regel, möglichst durch mechanisches Bearbeiten der Nahtfuge und der angrenzenden Bereiche, entfernt werden.

Kann das Bauteil am Nahtanfangs- und -endbereich nicht bearbeitet werden, um den Endkrater zu entfernen, sollten Anlauf- bzw. Auslaufstücke verwendet werden, siehe Bild 1. Diese Maßnahme eignet sich auch, um beim Schweißen den Wärmestau an den Werkstückenden zu unterdrücken. Die An-/Auslaufstücke sollten dazu durch Spannen oder Schweißen angebracht werden, damit ein thermisch ausreichender Kontakt mit dem Werkstück sichergestellt ist. Die Stücke sind anschließend zu entfernen.



Legende

- | | | | |
|---|--------------|---|-------------------|
| 1 | Anlaufstück | 4 | Schweißnahtanfang |
| 2 | Werkstück | 5 | Schweißnahtende |
| 3 | Auslaufstück | | |

Bild 1 — Werkstück mit An- und Auslaufstück zum Trennen des Schweißnahtanfangs und -endes

12 Laserstrahlschweißen

12.1 Merkmale

12.1.1 Verfahrensvarianten

Das Laserstrahlschweißen ist ein Schmelzschweißverfahren. Die Naht ist durch eine Schmelzzone und durch Wärmeeinflusszonen gekennzeichnet.

Das Laserstrahlschweißen wird oft als Stichlochschiweißung ausgeführt. Zum Stichlochschiweißung ist ein Strahl hoher Leistungsdichte erforderlich, der den Werkstoff an der Strahlaufftreffstelle verdampft. Der Strahl ist auf diese Weise (durch den Dampfdruck) in der Lage, einen tiefen zylinderähnlichen Kanal zu erzeugen. Die Kanalwände sind mit geschmolzenem Werkstoff überzogen. Bei entsprechender Prozesssteuerung bewegt sich der Kanal entlang der Nahtfuge. Die Wärme- und Materialausbreitung verläuft überwiegend zweidimensional. Der Werkstoff schmilzt an der Vorderseite des Kanals und bewegt sich zur Rückseite, wo er zum Schmelzgut erstarrt. Eine geringe Werkstoffmenge verdampft oder wird als Spritzer in Richtung Strahlachse herausgeschleudert. Dieser Werkstoffteil wird entlang der Achse des Strahls transportiert. Das Stichlochschiweißung ist die übliche Verfahrensvariante zum vollständigen und teilweisen Durchschweißen dicker Werkstücke.

Eine andere Variante ist das Wärmeleitungsschiweißung. Dabei wird die Leistungsdichte im Strahl soweit verringert, dass kein Stichloch entsteht und die Wärme sich ähnlich wie beim Lichtbogenschweißen ausbreitet. Zum Wärmeleitungsschiweißung wird der Strahl (mit geringer Leistung) defokussiert oder oszilliert. Beim Wärmeleitungsschiweißung kann sich die Wärme dreidimensional ausbreiten, die im Schweißquerschnitt etwa kreisförmig erscheint, mit einer Breite an der Oberfläche, die ungefähr das Doppelte der Schmelzzonentiefe beträgt. Dadurch kann die Wärmeeinbringung über einen weiten Bereich verteilt werden, der zweimal breiter als die Schmelzzonentiefe ist. Eine ähnliche Technik wird beim Laserstrahl-Plattierungsschiweißung verwendet, das in der Regel eine geringe Aufschmelzung verlangt.

Beim Punktschiweißung bewegt sich der Arbeitskopf gegenüber dem Werkstück nicht. Die Schweißzeit je Punkt kann in Millisekunden gemessen werden. Für das Punktschiweißung kommen üblicherweise gepulste Laser zur Anwendung. Die sich ergebende Schweißverbindung ist eine Kombination aus Wärmeleitungs- und Stichlochschiweißtechnik.

12.1.2 Energieübertragung

Die Energie wird vom Laserstrahl in den Werkstoff übertragen, wobei der Werkstoff schmilzt und (bei der Stichlochschiweißtechnik) ein Dampfkanal entsteht. Die Energieübertragung wird in erster Linie von den folgenden Faktoren beeinflusst:

- (partielle) Reflexion der Strahlenergie an der Oberfläche des Werkstückes und der Schmelze;
- Entstehen von verdampfenden Elementen und/oder einer Plasmawolke (CO₂-Laser);
- der Wellenlänge des verwendeten Laserstrahls.

Laserstrahlen werden an der Werkstückoberfläche reflektiert. Die Höhe der reflektierten Energie hängt von der Oberflächenbeschaffenheit (im mikroskopischen Bereich), z. B. von der Oberflächenrauheit und Oberflächentemperatur, ab. Der Reflexionsanteil kann sehr hoch sein, bis zu 90 % bei polierten Werkstücken, bei Raumtemperatur und einer Wellenlänge von 1 µm. Der Anteil sinkt unter 50 % bei geringeren Wellenlängen und weniger reflektierenden Oberflächen. Ist der Strahl bei entsprechender Leistung allerdings in der Lage einen Tiefschweißeffekt zu erzielen, so spielt die Reflexion nur eine untergeordnete Rolle. Der Einfluss der Reflexion durch das Werkstück verliert bei größeren Leistungen und höherer Qualität des Laserstrahles an Bedeutung. Wird ein prozentual hoher Anteil der Strahlleistung reflektiert, so kann der Prozess destabilisiert und der Tiefschweißeffekt örtlich beeinträchtigt werden.