

HANSER



Leseprobe

zu

„Schweißtechnik“

herausgegeben von Mario Kusch,
Klaus-Jürgen Matthes, Werner Schneider

ISBN (Buch): 978-3-446-46745-3

ISBN (E-Book): 978-3-446-47000-2

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/9783446467453>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort

Die schweißtechnische Ausbildung hat in Chemnitz eine langjährige Tradition. Ab dem Jahr 1922 erfolgte eine theoretische und praktische Ausbildung in den Hörsälen und Laborräumen der damaligen Höheren Technischen Lehranstalt. Es wurden die ersten schweißtechnischen Lehrgänge in Verfahrenstechniken des Gas- und Lichtbogenschweißens durchgeführt und Schweißerprüfungen abgenommen. Dieser Tradition fühlen sich die Herausgeber und Autoren verpflichtet.

Forschung, Entwicklung und Anwendung des Schweißens und verwandter Verfahren haben große volkswirtschaftliche Bedeutung. Geschweißte Bauteile finden wir sowohl im Maschinen-, Apparate- und Stahlbau als auch im Automobil-, Schiff- und Flugzeugbau sowie in vielen weiteren technischen Produkten. Die fortschreitende Automatisierung in der Schweißtechnik ermöglicht u. a. auch eine umfassende fertigungstechnische Nutzung physikalischer und chemischer Effekte zum örtlich begrenzten Energieeintrag (Wärme und/oder Druck). Diese unterschiedlichen physikalischen und chemischen Effekte und ihre Kombinationen bilden die Grundlage für die Gliederung dieses Buches und der Verfahrensbeschreibungen.

Neben den theoretischen Grundlagen werden die Schweißverfahren vorgestellt und ihre Anwendungsgebiete aufgezeigt. Schwerpunkte bei den einzelnen Verfahren sind:

- Wirkprinzipien und gerätetechnische Umsetzung,
- Verfahrensmerkmale und Anwendungen,
- Merkblätter und Fachnormen,
- Verfahrensprinzip und Anlagentechnik,
- Verfahrensvarianten,
- Zusatzwerkstoffe,
- Schweißbeignung,
- Gestaltungs- und Fertigungshinweise,

- Qualitätsmerkmale, Gütesicherung und Prüfverfahren sowie
- Arbeits- und Gesundheitsschutz.

Schweißen dient dazu, eine Schweißverbindung oder eine geschweißte Beschichtung herzustellen. Voraussetzung für eine qualitätsgerechte Ausführung ist die Berücksichtigung der Einflussfaktoren auf die Schweißbarkeit. Diese Einflussfaktoren umfassen sowohl die konstruktive Gestaltung und die stofflichen Gegebenheiten des zu schweißenden Produkts als auch die fertigungstechnischen Bedingungen. Die fachkundige Ausführung des Schweißvorganges kann nur dann zur qualitätsgerechten Verbindungen führen, wenn das Vorbereiten der Fügestelle und das Nachbereiten sowie Kontrollieren der Verbindung mit Sorgfalt und Umsicht ausgeführt werden. Eine komplexe Berücksichtigung der verschiedenen Einflüsse ist im realen Schweißprozess deshalb in jedem Fall unerlässlich.

Das vorgelegte Lehr- und Fachbuch wendet sich vor allem an Studierende des Maschinenbaus, der Produktionstechnik und der Konstruktionstechnik an Universitäten, Fachhochschulen, Berufsakademien und Weiterbildungseinrichtungen. Es soll ihnen die Möglichkeit geben, den Lernstoff aus den Vorlesungen zu vertiefen sowie Seminare und Übungen gezielt und fundiert vorzubereiten. Natürlich bietet es auch Studienbewerbern die Möglichkeit, sich über das Wissensgebiet „Schweißen und verwandte Verfahren“ umfangreich zu informieren. Nicht zuletzt wird es zur Auffrischung und als Nachschlagewerk für in der Praxis tätige Ingenieure und interessierte Leser nutzbar sein.

Das Buch präsentiert den aktuellen Stand des Fachgebietes und der Fachnormen. Die systemati-

sche Gliederung des Buches und die annähernd 800 Begriffe des Sachwortverzeichnisses geben dem Nutzer eine klare Orientierung und ermöglichen ein schnelles Auffinden der gesuchten Texte, Tafeln und Bilder.

Bei der aktualisierten 7. Auflage dieses Buches haben sehr fachkompetente Autoren mitgewirkt. Es wurden neueste technische Entwicklungen auf dem Gebiet der Schweißtechnik aufgenommen und das zitierte Norm- und Regelwerk dem aktuellen Stand angepasst.

Wir wünschen den Lesern, dass sie die Antworten auf ihre Fragen zu den Schweißverfahren finden und dass trotz der Fülle des Stoffs Klarheit und Verständnis dominieren.

Den Autoren und allen, die an der Fertigstellung dieses Fachbuches maßgeblich mitgearbeitet haben, wird für die gute Zusammenarbeit gedankt.

Die Herausgeber

Inhalt

| | | | | |
|--|-----------|------------|---|-----------|
| Vorwort..... | 5 | 3 | Schweißen mit Lichtbogen | 64 |
| 1 Grundlagen | 15 | 3.1 | Grundlagen der Lichtbogentechnik..... | 64 |
| 1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580..... | 15 | 3.1.1 | Physik des Lichtbogens..... | 64 |
| 1.2 Fügen durch Schweißen..... | 17 | 3.1.2 | Zünden des Lichtbogens | 67 |
| 1.3 Wirkprinzipien beim Schweißen..... | 19 | 3.1.3 | Betrieb des Lichtbogens | 69 |
| 2 Schweißbarkeit | 29 | 3.2 | Schweißstromquellen zum Lichtbogen- schweißen..... | 71 |
| 2.1 Grundlagen und Einteilung | 29 | 3.2.1 | Überblick | 71 |
| 2.2 Schweißbeignung von Stählen | 31 | 3.2.2 | Schweißumformer | 71 |
| 2.3 Schweißsicherheit | 36 | 3.2.3 | Schweißtransformatoren..... | 72 |
| 2.3.1 Konstruktive Gestaltung..... | 37 | 3.2.4 | Schweißgleichrichter | 73 |
| 2.3.2 Beanspruchungszustand..... | 40 | 3.2.5 | Schweißumrichter | 75 |
| 2.3.3 Regelwerke zur Auslegung von Schweißkonstruktionen | 40 | 3.2.6 | Statische Kennlinien von Schweißstromquellen | 76 |
| 2.3.4 Anwendung von Finite- Elemente-Methoden zur Bemessung geschweißter Tragwerke..... | 43 | 3.2.7 | Dynamische Eigenschaften von Schweißstromquellen..... | 77 |
| 2.4 Schweißmöglichkeit | 44 | 3.2.8 | Regelungsprinzipien zur Arbeitspunktstabilisierung .. | 78 |
| 2.4.1 Grundlagen..... | 44 | 3.2.9 | Modulationsarten bei Impulsstromquellen | 79 |
| 2.4.2 Vorbereitungen zum Schweißen..... | 45 | 3.2.10 | Angaben auf dem Leistungs- schild | 80 |
| 2.4.3 Durchführung des Schweißens..... | 47 | 3.3 | Schweißbrenner zum Lichtbogen- schweißen..... | 82 |
| 2.4.4 Nacharbeiten beim Schweißen..... | 55 | 3.3.1 | Stabelektrodenhalter | 82 |
| 2.4.5 Anwendung numerischer Simulationen für die Prozessanalyse beim Schweißen..... | 55 | 3.3.2 | Stromkontakteinrichtung zum UP-Schweißen | 83 |
| 2.5 Qualitätssicherung beim Schweißen | 56 | 3.3.3 | Schweißbrenner mit nicht- abschmelzender Elektrode ... | 83 |
| 2.6 Arbeitsschutz beim Schweißen..... | 59 | 3.3.4 | Schweißbrenner mit abschmelzender Elektrode ... | 85 |
| 2.7 Schweißen im Produkt-, Umwelt- und Energiemanagement..... | 60 | 3.3.5 | Bolzenschweißpistolen | 86 |
| | | 3.4 | Drahtvorschubsysteme zum Lichtbogenschweißen..... | 87 |
| | | 3.4.1 | Grundaufbau | 87 |
| | | 3.4.1.1 | Stirnrollenantrieb..... | 88 |
| | | 3.4.1.2 | Planetarantrieb..... | 89 |

| | | | | | |
|---------|--|-----|---------|---|-----|
| 3.4.2 | Bauformen mit potenzial- führender Drahtelektrode..... | 90 | 3.7.3.6 | Schweißparameter..... | 125 |
| 3.4.2.1 | Bauformen mit nicht potenzialführender Draht- elektrode..... | 91 | 3.7.4 | Fehler beim Lichtbogen- handschweißen..... | 126 |
| 3.4.2.2 | Drahtrichteinheiten..... | 91 | 3.7.4.1 | Häufige Ursachen und Fehlerbilder..... | 126 |
| 3.5 | <i>Zusatzwerkstoffe zum Lichtbogen- schweißen.....</i> | 92 | 3.7.4.2 | Poren..... | 128 |
| 3.5.1 | Stabelektroden..... | 92 | 3.7.4.3 | Schlackeeinschlüsse..... | 128 |
| 3.5.2 | Schweißstäbe..... | 96 | 3.7.4.4 | Bindefehler..... | 128 |
| 3.5.3 | Massivdrahtelektroden..... | 97 | 3.7.4.5 | Geometrische Unregel- mäßigkeiten..... | 128 |
| 3.5.4 | Fülldrahtelektroden..... | 99 | 3.7.5 | Gefährdungen für den Schweißer..... | 129 |
| 3.5.5 | Schweißpulver zum UP-Schweißen..... | 103 | 3.8 | <i>Wolfram-Inertgasschweißen (Prozess 141).....</i> | 129 |
| 3.5.6 | Schweißpulver zum Plasma- Pulver-Auftragschweißen (PTA)..... | 105 | 3.8.1 | Verfahrensprinzip und Anlagentechnik..... | 130 |
| 3.5.7 | Schweißbolzen..... | 106 | 3.8.1.1 | Funktionsweise..... | 130 |
| 3.6 | <i>Gase zum Lichtbogenschweißen.....</i> | 108 | 3.8.1.2 | Schutzgase..... | 131 |
| 3.6.1 | Aufgaben von Schutzgasen... | 108 | 3.8.1.3 | Wolframelektroden..... | 133 |
| 3.6.2 | Eigenschaften von Schutzgasen..... | 108 | 3.8.1.4 | Zusatzwerkstoff..... | 135 |
| 3.6.3 | Einteilung und Bezeichnung von Schutzgasen..... | 109 | 3.8.1.5 | Schweißstromquellen und Brenner技术..... | 136 |
| 3.6.4 | Herstellung von Schutzgasen..... | 111 | 3.8.2 | Verfahrensvarianten..... | 137 |
| 3.6.5 | Lieferarten und Entnahme- stellen..... | 111 | 3.8.2.1 | Zünden des Lichtbogens..... | 137 |
| 3.6.6 | Kennzeichnung von Druckgasflaschen..... | 112 | 3.8.2.2 | Stromart und Polarität..... | 138 |
| 3.7 | <i>Lichtbogenhandschweißen (Prozess 111)</i> | 113 | 3.8.2.3 | Mechanisierungsgrad..... | 141 |
| 3.7.1 | Verfahrensprinzip und Anlagentechnik..... | 113 | 3.8.2.4 | WIG-Schweißen mit Zusatzwerkstoff..... | 142 |
| 3.7.1.1 | Funktionsweise..... | 113 | 3.8.3 | Anwendung..... | 143 |
| 3.7.1.2 | Schweißstromquellen..... | 114 | 3.8.3.1 | Verbindungsschweißen..... | 143 |
| 3.7.1.3 | Elektrodenhalter..... | 115 | 3.8.3.2 | Reparaturschweißen..... | 143 |
| 3.7.1.4 | Stabelektroden..... | 115 | 3.8.3.3 | WIG-Orbitalschweißen..... | 143 |
| 3.7.2 | Anwendung..... | 120 | 3.8.3.4 | WIG-Punktschweißen..... | 145 |
| 3.7.2.1 | Allgemeines..... | 120 | 3.8.3.5 | WIG-Engspaltschweißen..... | 145 |
| 3.7.2.2 | Reparaturschweißen..... | 120 | 3.8.3.6 | WIG-Auftragschweißen..... | 146 |
| 3.7.2.3 | Auftragschweißen..... | 120 | 3.8.3.7 | Sonderanwendungen..... | 147 |
| 3.7.2.4 | Verbindungsschweißen..... | 120 | 3.8.4 | Fertigungshinweise..... | 147 |
| 3.7.3 | Fertigungshinweise..... | 120 | 3.8.4.1 | Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung..... | 147 |
| 3.7.3.1 | Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung..... | 120 | 3.8.4.2 | Zündvorgang..... | 148 |
| 3.7.3.4 | Zündvorgang..... | 121 | 3.8.4.3 | Brennerführung..... | 149 |
| 3.7.3.5 | Führen der Elektrode..... | 123 | 3.8.4.4 | Heften..... | 149 |
| | | | 3.8.4.5 | Gasschutz..... | 149 |
| | | | 3.8.4.6 | Richtwerte..... | 151 |
| | | | 3.8.5 | Fehler beim WIG-Schweißen | 151 |
| | | | 3.8.5.1 | Gaseinschlüsse..... | 151 |
| | | | 3.8.5.2 | Bindefehler..... | 153 |

| | | | | | |
|---------|---|-----|-----------|---|-----|
| 3.8.5.3 | Wolframeinschlüsse..... | 153 | 3.10 | <i>Metall-Schutzgasschweißen (Prozess 13)</i> | 191 |
| 3.8.5.4 | Oxideinschlüsse | 153 | 3.10.1 | Verfahrensprinzip und Anlagentechnik..... | 192 |
| 3.8.5.5 | Häufige Fehlerbilder und Ursachen..... | 153 | 3.10.1.1 | Funktionsweise..... | 192 |
| 3.8.6 | Gefährdungen für den Schweißer | 156 | 3.10.1.2 | Schutzgase..... | 192 |
| 3.9 | <i>Plasmaschweißen (Prozess 15)</i> | 157 | 3.10.1.3 | Zusatzwerkstoff | 196 |
| 3.9.1 | Verfahrensprinzip und Anlagentechnik..... | 158 | 3.10.1.4 | Schweißstromquellen und Brennertechnik..... | 197 |
| 3.9.1.1 | Funktionsweise..... | 158 | 3.10.2 | Lichtbogenarten..... | 199 |
| 3.9.1.2 | Prozess- und Schutzgase..... | 161 | 3.10.2.1 | Allgemein | 199 |
| 3.9.1.3 | Wolframelektroden | 164 | 3.10.2.2 | Kurzlichtbogen | 200 |
| 3.9.1.4 | Zusatzwerkstoff | 165 | 3.10.2.3 | Übergangslichtbogen..... | 200 |
| 3.9.1.5 | Schweißstromquellen und Brennertechnik..... | 166 | 3.10.2.4 | Sprühlichtbogen | 200 |
| 3.9.2 | Verfahrensvarianten..... | 169 | 3.10.2.5 | Impulslichtbogen..... | 200 |
| 3.9.2.1 | Zünden des Lichtbogens | 169 | 3.10.2.6 | Hochleistungs-Kurz- lichtbogen | 201 |
| 3.9.2.2 | Stromart und Polarität..... | 170 | 3.10.2.7 | Instabiler Lichtbogen..... | 201 |
| 3.9.2.3 | Mechanisierungsgrad..... | 174 | 3.10.2.8 | Rotierender Lichtbogen | 201 |
| 3.9.2.4 | Plasmaschweißen mit Zusatzwerkstoff | 174 | 3.10.2.9 | Hochleistungs-Sprüh- lichtbogen | 202 |
| 3.9.2.5 | Schmelzbadausbildung | 176 | 3.10.2.10 | Kräfte beim Werkstoff- übergang..... | 202 |
| 3.9.3 | Anwendung | 177 | 3.10.3 | Verfahrensvarianten..... | 204 |
| 3.9.3.1 | Verbindungsschweißen | 177 | 3.10.3.1 | Hochleistungsschweißen..... | 204 |
| 3.9.3.2 | Plasma-Punktschweißen | 178 | 3.10.3.2 | Energiereduzierte MSG- Prozesse | 208 |
| 3.9.3.3 | Plasma-Auftragschweißen | 178 | 3.10.3.3 | Modifizierte MSG- Impulsprozesse..... | 210 |
| 3.9.3.4 | Mikroplasmaschweißen | 179 | 3.10.3.4 | MSG-Hybridprozesse | 212 |
| 3.9.3.5 | Additive Fertigung | 181 | 3.10.3.5 | Zünden des Lichtbogens | 214 |
| 3.9.4 | Fertigungshinweise..... | 182 | 3.10.3.6 | Mechanisierungsgrad..... | 214 |
| 3.9.4.1 | Allgemeines..... | 182 | 3.10.4 | Anwendung | 214 |
| 3.9.4.2 | Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung | 183 | 3.10.4.1 | Verbindungsschweißen | 214 |
| 3.9.4.3 | Zündvorgang..... | 183 | 3.10.4.2 | MSG-Engspaltschweißen..... | 215 |
| 3.9.4.4 | Brennerführung | 184 | 3.10.4.3 | MSG-Auftragschweißen..... | 216 |
| 3.9.4.5 | Heften..... | 185 | 3.10.4.4 | Additive Fertigung | 217 |
| 3.9.4.6 | Gasschutz | 185 | 3.10.4.5 | Sonderanwendungen | 218 |
| 3.9.4.7 | Richtwerte | 187 | 3.10.5 | Fertigungshinweise..... | 219 |
| 3.9.5 | Fehler beim Plasma- schweißen..... | 188 | 3.10.5.1 | Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung | 219 |
| 3.9.5.1 | Gaseinschlüsse | 188 | 3.10.5.2 | Zündvorgang..... | 220 |
| 3.9.5.2 | Nahtunterwölbung..... | 189 | 3.10.5.3 | Brennerführung | 220 |
| 3.9.5.3 | Einbrandkerben..... | 189 | 3.10.5.4 | Heften..... | 222 |
| 3.9.5.4 | Oxideinschlüsse | 189 | 3.10.5.5 | Gasschutz | 222 |
| 3.9.5.5 | Häufige Fehlerbilder und Ursachen..... | 190 | 3.10.5.6 | Richtwerte | 223 |
| 3.9.6 | Gefährdungen für den Schweißer | 190 | 3.10.6 | Fehler beim MSG- Schweißen..... | 224 |

| | | | | | |
|----------|---|-----|----------|--|-----|
| 3.10.6.1 | Gaseinschlüsse | 224 | 3.11.5.1 | Häufige Fehlerbilder und Ursachen..... | 269 |
| 3.10.6.2 | Bindefehler | 224 | 3.11.5.2 | Durchschweißfehler..... | 269 |
| 3.10.6.3 | Häufige Fehlerbilder und Ursachen..... | 227 | 3.11.5.3 | Nahtüberhöhung | 269 |
| 3.10.7 | Gefährdungen für den Schweißer | 227 | 3.11.5.4 | Risse | 270 |
| 3.11 | <i>Unterpulverschweißen (Prozess 12)</i> | 227 | 3.11.5.5 | Lunker..... | 271 |
| 3.11.1 | Verfahrensprinzip und Anlagentechnik..... | 228 | 3.11.5.6 | Schlackeeinschlüsse | 271 |
| 3.11.1.1 | Funktionsweise..... | 228 | 3.11.6 | Gefährdungen für den Schweißer | 271 |
| 3.11.1.2 | Schweißpulver | 229 | 3.12 | <i>Lichtbogenschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen</i> | 271 |
| 3.11.1.3 | Elektroden | 244 | 3.12.1 | Grundlagen..... | 272 |
| 3.11.1.4 | Stromquellen und Brennertechnik | 246 | 3.12.2 | Pressstumpfschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (Prozess 185)..... | 272 |
| 3.11.1.5 | Mechanisierungseinrichtungen | 248 | 3.12.2.1 | Verfahrensprinzip | 272 |
| 3.11.2 | Verfahrensvarianten des Unterpulverschweißens | 249 | 3.12.2.2 | Anwendungsbereiche | 272 |
| 3.11.2.1 | Überblick | 249 | 3.12.2.3 | Ausrüstungen..... | 273 |
| 3.11.2.2 | UP-Eindrahtschweißen | 249 | 3.12.2.4 | Zusatzstoffe | 273 |
| 3.11.2.3 | UP-Doppeldrahtschweißen ... | 249 | 3.12.2.5 | Konstruktive Gestaltung und Festigkeit | 273 |
| 3.11.2.4 | UP-Tandemschweißen | 252 | 3.12.2.6 | Fertigungshinweise..... | 273 |
| 3.11.2.5 | UP-Mehrdrahtschweißen | 252 | 3.12.3 | Schmelzschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (MBS-Schweißen) | 274 |
| 3.11.2.6 | UP-Bandschweißen | 253 | 3.12.3.1 | Verfahrensprinzip | 274 |
| 3.11.2.7 | UP-Kaltdrahtschweißen..... | 254 | 3.12.3.2 | Anwendungsbereiche | 274 |
| 3.11.2.8 | UP-Heißdrahtschweißen..... | 254 | 3.12.3.3 | Zusatzstoffe | 274 |
| 3.11.2.9 | UP-Schweißen mit Metallpulverzugabe..... | 254 | 3.12.3.4 | Konstruktive Gestaltung und Festigkeit | 274 |
| 3.11.3 | Anwendung des UP-Verfahrens..... | 255 | 3.12.3.5 | Fertigungshinweise..... | 275 |
| 3.11.3.1 | Überblick | 255 | 3.13 | <i>Lichtbogenbolzenschweißen</i> | 275 |
| 3.11.3.2 | Verbindungsschweißen | 255 | 3.13.1 | Grundlagen..... | 276 |
| 3.11.3.3 | UP-Auftragschweißen | 255 | 3.13.2 | Verfahrensprinzip | 276 |
| 3.11.3.4 | UP-Engspaltschweißen | 256 | 3.13.2.1 | Kondensatorentladungs-Bolzenschweißen mit Hubzündung (Prozess 785) .. | 276 |
| 3.11.3.5 | UP-Quernahtschweißen..... | 257 | 3.13.2.2 | Lichtbogenbolzenschweißen mit Spitzenzündung (Prozess 786) | 276 |
| 3.11.3.6 | Verfahrensvergleich..... | 258 | 3.13.2.3 | Hubzündungs-Bolzenschweißen mit Keramikring oder Schutzgas (Prozess 783) | 276 |
| 3.11.4 | Fertigungshinweise..... | 258 | 3.13.3 | Anwendungsbereiche | 277 |
| 3.11.4.1 | Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung | 258 | 3.13.4 | Zusatzstoffe | 278 |
| 3.11.4.2 | Schmelzbadabsicherung | 261 | | | |
| 3.11.4.3 | Heften..... | 262 | | | |
| 3.11.4.4 | An- und Auslaufbleche..... | 262 | | | |
| 3.11.4.5 | Werkstückneigung..... | 263 | | | |
| 3.11.4.6 | Zünden des Lichtbogens | 263 | | | |
| 3.11.4.7 | Nahtformung..... | 264 | | | |
| 3.11.4.8 | Richtwerte | 266 | | | |
| 3.11.5 | Fehler beim UP-Schweißen... .. | 269 | | | |

| | | | | | |
|---------|--|------------|---------|---|------------|
| 3.13.5 | Fertigungshinweise..... | 279 | 4.1.5.3 | Gasschläuche | 312 |
| 3.13.6 | Ausrüstungen..... | 279 | 4.1.5.4 | Sicherheitseinrichtungen | 314 |
| 3.14 | <i>Sensorik beim Lichtbogenschweißen.....</i> | 281 | 4.2 | <i>Einteilung der Verfahren der Autogentechnik nach DIN 8522.....</i> | 316 |
| 3.14.1 | Überblick | 281 | 4.3 | <i>Gasschmelzschweißen (Prozess 31)</i> | 317 |
| 3.14.2 | Taktile Sensoren..... | 282 | 4.3.1 | Grundlagen..... | 318 |
| 3.14.3 | Elektromagnetische Sensoren | 283 | 4.3.2 | Anwendung | 319 |
| 3.14.4 | Lasersensoren..... | 284 | 4.3.2.1 | Allgemeines..... | 319 |
| 3.14.5 | Lichtbogensensoren..... | 285 | 4.3.2.2 | Fugenformen..... | 320 |
| 3.15 | <i>Gefährdungen beim Lichtbogenschweißen.....</i> | 287 | 4.3.2.3 | Schweißpositionen | 320 |
| 3.15.1 | Elektrischer Strom | 287 | 4.3.2.4 | Werkstückdicken..... | 320 |
| 3.15.2 | Elektromagnetische Strahlung | 288 | 4.3.3 | Ausrüstung..... | 320 |
| 3.15.3 | Rauch, Stäube und Gase..... | 289 | 4.3.4 | Zusatzwerkstoffe und Hilfsstoffe..... | 322 |
| 3.15.4 | Sauerstoffmangel..... | 290 | 4.3.5 | Technologische Merkmale ... | 325 |
| 3.15.5 | Spritzer und Schlacke..... | 290 | 4.3.5.1 | Nachrechtsschweißen (NR)... | 325 |
| 3.15.6 | Druckgasflaschen..... | 290 | 4.3.5.2 | Nachlinksschweißen (NL)..... | 327 |
| 4 | Schweißen mit Brenngas-Sauerstoff-Flamme | 291 | 4.4 | <i>Gaspressschweißen (Prozess 47).....</i> | 327 |
| 4.1 | <i>Grundlagen der Autogentechnik.....</i> | 291 | 4.4.1 | Verfahrensprinzip..... | 327 |
| 4.1.1 | Autogenflamme..... | 291 | 4.4.2 | Anwendungsbereiche | 328 |
| 4.1.1.1 | Allgemeines..... | 291 | 4.4.3 | Zusatzstoffe | 328 |
| 4.1.1.2 | Verbrennung..... | 291 | 4.4.4 | Fertigungshinweise..... | 328 |
| 4.1.1.3 | Flammeneinstellung..... | 293 | 4.4.5 | Ausrüstungen..... | 329 |
| 4.1.2 | Autogenbrenner..... | 295 | 5 | Schweißen mit Widerstandserwärmung | 330 |
| 4.1.2.1 | Allgemeines..... | 295 | 5.1 | <i>Einteilung der Widerstandsschweißverfahren</i> | 330 |
| 4.1.2.2 | Brennerarten..... | 295 | 5.2 | <i>Konduktives Widerstandspressschweißen</i> | 331 |
| 4.1.2.3 | Betreiben der Autogenbrenner | 297 | 5.2.1 | Widerstandserwärmung durch konduktive Stromübertragung | 331 |
| 4.1.2.4 | Flammenstörungen..... | 299 | 5.2.2 | Ausrüstungen zum konduktiven Widerstandspressschweißen | 332 |
| 4.1.3 | Betriebsmittel der Autogentechnik | 299 | 5.2.2.1 | Aufbau einer konduktiven Widerstandsschweißmaschine | 332 |
| 4.1.3.1 | Allgemeines..... | 299 | 5.2.2.2 | Schweißstromquellen zum konduktiven Widerstandspressschweißen | 333 |
| 4.1.3.2 | Sauerstoff..... | 299 | 5.2.2.3 | Mechanischer Teil der Schweißeinrichtungen..... | 338 |
| 4.1.3.3 | Brenngase..... | 301 | 5.2.3 | Widerstandspunktschweißen (Prozess 21)..... | 339 |
| 4.1.3.4 | Gegenüberstellung von Gasen der Autogentechnik | 309 | 5.2.3.1 | Verfahrensmerkmale..... | 339 |
| 4.1.4 | Sicherheitshinweise und -vorschriften für den Umgang mit Sauerstoff und Brenngasen | 310 | | | |
| 4.1.5 | Armaturen und Zubehör..... | 311 | | | |
| 4.1.5.1 | Allgemeines..... | 311 | | | |
| 4.1.5.2 | Druckminderer | 311 | | | |

| | | | | | |
|----------|--|-----|---------|--|-----|
| 5.2.3.2 | Verfahrensprinzip/ -beschreibung | 340 | 5.2.6.2 | Verfahrensprinzip/ -beschreibung | 387 |
| 5.2.3.3 | Schweißanlagenaufbau..... | 342 | 5.2.6.3 | Schweißanlagenaufbau..... | 387 |
| 5.2.3.4 | Elektroden zum Wider- standspunktschweißen..... | 343 | 5.2.6.4 | Schweißbeignung | 389 |
| 5.2.3.5 | Schweißbeignung | 346 | 5.2.6.5 | Konstruktive Gestaltung | 389 |
| 5.2.3.6 | Konstruktive Gestaltung | 350 | 5.2.6.6 | Fertigungshinweise..... | 390 |
| 5.2.3.7 | Fertigungshinweise..... | 352 | 5.2.6.7 | Qualitätssicherung..... | 392 |
| 5.2.3.9 | Prüfen der Schweiß- verbindung | 359 | 5.2.6.8 | Prüfen der Schweiß- verbindung | 393 |
| 5.2.3.10 | Verfahrensvarianten..... | 361 | 5.2.7 | Pressstumpfschweißen (Prozess 25)..... | 393 |
| 5.2.3.11 | Arbeits- und Gesundheits- schutz | 362 | 5.2.7.1 | Verfahrensmerkmale | 393 |
| 5.2.4 | Rollennahtschweißen (Prozess 22)..... | 363 | 5.2.7.2 | Verfahrensprinzip/ -beschreibung | 394 |
| 5.2.4.1 | Verfahrensmerkmale | 363 | 5.2.7.3 | Schweißanlagenaufbau..... | 395 |
| 5.2.4.2 | Verfahrensprinzip/ -beschreibung | 363 | 5.2.7.4 | Schweißbeignung | 396 |
| 5.2.4.3 | Schweißanlagenaufbau..... | 364 | 5.2.7.5 | Konstruktive Gestaltung | 396 |
| 5.2.4.4 | Elektroden zum Rollennaht- schweißen | 366 | 5.2.7.6 | Fertigungshinweise..... | 397 |
| 5.2.4.5 | Schweißbeignung | 367 | 5.2.7.7 | Qualitätssicherung..... | 398 |
| 5.2.4.6 | Konstruktive Gestaltung | 368 | 5.2.7.8 | Prüfen der Schweiß- verbindung | 398 |
| 5.2.4.7 | Fertigungshinweise..... | 369 | 5.2.7.9 | Verfahrensvariante Kammerschweißen..... | 398 |
| 5.2.4.8 | Qualitätssicherung..... | 371 | 5.3 | <i>Induktives Widerstandspressschweißen..</i> | 399 |
| 5.2.4.9 | Prüfen der Schweiß- verbindung | 373 | 5.3.1 | Widerstandserwärmung durch induktive Strom- übertragung | 399 |
| 5.2.4.10 | Verfahrensvarianten..... | 373 | 5.3.2 | Ausrüstungen zum induktiven Widerstands- pressschweißen | 400 |
| 5.2.5 | Buckelschweißen (Prozess 23)..... | 376 | 5.3.2.1 | Aufbau einer induktiven Widerstandsschweiß- maschine..... | 400 |
| 5.2.5.1 | Verfahrensmerkmale | 376 | 5.3.2.2 | Schweißstromquellen zum induktiven Widerstands- pressschweißen | 401 |
| 5.2.5.2 | Verfahrensprinzip/ -beschreibung | 377 | 5.3.2.3 | Mechanischer Teil der Schweißeinrichtungen..... | 401 |
| 5.2.5.3 | Schweißanlagenaufbau..... | 377 | 5.3.3 | Induktives Hochfrequenz- schweißen (Prozess 743)..... | 402 |
| 5.2.5.4 | Elektroden zum Buckel- schweißen | 378 | 5.3.3.1 | Verfahrensmerkmale | 402 |
| 5.2.5.5 | Schweißbeignung | 379 | 5.3.3.2 | Verfahrensprinzip/ -beschreibung | 402 |
| 5.2.5.6 | Konstruktive Gestaltung | 380 | 5.3.3.3 | Schweißbeignung | 404 |
| 5.2.5.7 | Fertigungshinweise..... | 382 | 5.3.3.4 | Fertigungshinweise..... | 405 |
| 5.2.5.8 | Qualitätssicherung..... | 383 | 5.3.4 | Induktives Stumpfschweißen (Prozess 741) | 405 |
| 5.2.5.9 | Prüfen der Schweiß- verbindung | 385 | | | |
| 5.2.5.10 | Verfahrensvarianten..... | 385 | | | |
| 5.2.6 | Abtrennstumpfschweißen (Prozess 24)..... | 386 | | | |
| 5.2.6.1 | Verfahrensmerkmale | 386 | | | |

| | | | | | |
|---------|---|------------|---------|---|------------|
| 5.4 | <i>Elektroschlackeschweißen (Prozess 72) ..</i> | 406 | 6.3.3 | Weitere Verfahren der Elektronenstrahlmaterialbearbeitung | 439 |
| 5.4.1 | Grundlagen zum Elektroschlackeschweißen..... | 406 | 6.3.4 | Strahlenschutz..... | 440 |
| 5.4.2 | Elektroschlacke-Verbindungsschweißen | 407 | 6.4 | <i>Laserstrahlschweißen (Prozess 52).....</i> | 441 |
| 5.4.2.1 | Verfahrensprinzip/-beschreibung | 407 | 6.4.1 | Grundlagen des Laserstrahlschweißens | 443 |
| 5.4.2.2 | Schweißanlagenaufbau..... | 408 | 6.4.1.1 | Entstehung und Besonderheiten von Laserlicht | 443 |
| 5.4.2.3 | Schweißpulver | 409 | 6.4.1.2 | Eigenschaften des Laserlichts | 445 |
| 5.4.2.4 | Zusatzwerkstoff | 410 | 6.4.2 | Laseranlagen..... | 445 |
| 5.4.2.5 | Schweißbeignung | 410 | 6.4.2.1 | Laserstrahlquellen | 445 |
| 5.4.2.6 | Fertigungshinweise..... | 410 | 6.4.2.2 | Laserstrahlführung | 452 |
| 5.4.2.7 | Verfahrensvarianten..... | 412 | 6.4.2.3 | Fokussierende Optiken..... | 453 |
| 5.4.3 | Elektroschlacke-Auftragsschweißen..... | 413 | 6.4.2.4 | Bewegungseinrichtungen | 454 |
| 5.4.3.1 | Verfahrensprinzip/-beschreibung | 413 | 6.4.2.5 | Steuerung und Bedienung.... | 454 |
| 5.4.3.2 | Schweißanlagenaufbau..... | 414 | 6.4.3 | Anwendung des Laserstrahlschweißens | 455 |
| 5.4.3.3 | Schweißpulver | 415 | 6.4.3.1 | Tiefschweißeffekt | 455 |
| 5.4.3.4 | Zusatzwerkstoff | 415 | 6.4.3.2 | Vorbereitung der Werkstücke | 456 |
| 5.4.3.5 | Fertigungshinweise..... | 415 | 6.4.3.3 | Schweißparameter und Hinweise für die Schweißpraxis | 456 |
| 6 | Schweißen mit Strahlen..... | 417 | 6.4.3.4 | Schweißbeignung metallischer Werkstoffe | 462 |
| 6.1 | <i>Grundlagen der Strahltechnik</i> | 417 | 6.4.3.5 | Industrielle Anwendung | 464 |
| 6.2 | <i>Lichtstrahlschweißen – Schweißen mit inkohärentem Licht (Prozess 75)</i> | 418 | 6.4.4 | Weitere Verfahren der Lasermaterialbearbeitung | 465 |
| 6.3 | <i>Elektronenstrahlschweißen (Prozess 51).....</i> | 419 | 6.4.4.1 | Überblick | 465 |
| 6.3.1 | Grundlagen des Elektronenstrahlschweißens..... | 420 | 6.4.4.2 | Laserstrahlschneiden | 466 |
| 6.3.1.1 | Entstehung und Besonderheiten des Elektronenstrahls..... | 420 | 6.4.4.3 | Additive Fertigung mit dem Laserstrahl..... | 468 |
| 6.3.1.2 | Elektronenstrahlerzeugung.. | 421 | 6.4.5 | Strahlenschutz..... | 473 |
| 6.3.1.3 | Elektronenstrahlführung | 422 | 6.4.6 | Gegenüberstellung Elektronenstrahlschweißen – Laserstrahlschweißen..... | 474 |
| 6.3.1.4 | Elektronenstrahlschweißanlagen..... | 423 | 7 | Schweißen durch Bewegungsenergie | 478 |
| 6.3.2 | Anwendung des Elektronenstrahlschweißens..... | 427 | 7.1 | <i>Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung kinetischer Energie.....</i> | 478 |
| 6.3.2.1 | Tiefschweißeffekt | 427 | 7.2 | <i>Reibschweißen.....</i> | 478 |
| 6.3.2.2 | Vorbereitung der Werkstücke | 429 | 7.2.1 | Rotationsreibschweißen (Prozess 42)..... | 478 |
| 6.3.2.3 | Schweißparameter und Hinweise für die Schweißpraxis | 431 | 7.2.1.1 | Verfahrensprinzip..... | 479 |
| 6.3.2.4 | Schweißbeignung metallischer Werkstoffe | 435 | | | |
| 6.3.2.5 | Industrielle Anwendung | 438 | | | |

| | | | | | |
|---------|---|-----|----------------------------------|--|------------|
| 7.2.1.2 | Ausrüstungen..... | 479 | 8 | Schweißen durch festen Körper..... | 509 |
| 7.2.1.3 | Anwendungsbereich | 482 | 8.1 | <i>Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung von Heizelementen</i> | 509 |
| 7.2.1.4 | Konstruktive Gestaltung und Festigkeit | 483 | 8.2 | <i>Heizelementschweißen.....</i> | 509 |
| 7.2.1.5 | Fertigungshinweise..... | 484 | 8.2.1 | Verfahrensprinzip | 509 |
| 7.2.1.6 | Richtwerte | 487 | 8.2.2 | Anwendungsbereich, Ausrüstungen | 510 |
| 7.2.2 | Linearreibschweißen | 487 | 8.2.3 | Konstruktive Gestaltung und Festigkeit | 511 |
| 7.3 | <i>Rührreibschweißen (Prozess 43).....</i> | 489 | 8.2.4 | Fertigungshinweise..... | 511 |
| 7.3.1 | Verfahrensprinzip..... | 489 | 9 | Schweißen mit Metallschmelzen | 512 |
| 7.3.2 | Ausrüstungen..... | 490 | 9.1 | <i>Grundlagen der schweißtechnischen Nutzung von Metallschmelzen</i> | 512 |
| 7.3.3 | Anwendungsbereiche | 491 | 9.2 | <i>Gießschweißen (Thermitschweißen).....</i> | 512 |
| 7.3.4 | Konstruktive Gestaltung und Festigkeit | 492 | 9.2.1 | Aluminothermisches Schmelzschweißen (Prozess 71)..... | 512 |
| 7.3.5 | Fertigungshinweise..... | 493 | 9.2.1.1 | Verfahrensprinzip | 512 |
| 7.3.6 | Punktreibschweißen | 493 | 9.2.1.2 | Anwendungsbereich | 513 |
| 7.3.6.1 | Verfahrensprinzip..... | 493 | 9.2.1.3 | Ausrüstungen..... | 514 |
| 7.3.6.2 | Anwendungsbereiche | 494 | 9.2.1.4 | Fertigungshinweise..... | 514 |
| 7.4 | <i>Ultraschallschweißen (Prozess 41)</i> | 495 | 9.2.2 | Aluminothermisches Pressschweißen | 515 |
| 7.4.1 | Verfahrensprinzip..... | 495 | 9.2.2.1 | Verfahrensprinzip | 515 |
| 7.4.2 | Ausrüstungen..... | 496 | 9.2.2.2 | Anwendungsbereich | 515 |
| 7.4.3 | Anwendungsbereiche | 497 | 9.2.2.3 | Fertigungshinweise..... | 515 |
| 7.4.4 | Konstruktive Gestaltung und Festigkeit | 498 | 9.3 | <i>Besondere Gefährdungen.....</i> | 516 |
| 7.4.5 | Fertigungshinweise..... | 498 | 10 | Schweißen durch Diffusion..... | 517 |
| 7.5 | <i>Kaltpressschweißen (Prozess 48)</i> | 498 | 10.1 | <i>Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung der Diffusion</i> | 517 |
| 7.5.1 | Verfahrensprinzip..... | 500 | 10.2 | <i>Diffusionsschweißen (Prozess 45).....</i> | 517 |
| 7.5.2 | Anwendungsbereich..... | 501 | 10.2.1 | Verfahrensprinzip | 518 |
| 7.5.3 | Konstruktive Gestaltung..... | 502 | 10.2.2 | Anwendungsbereich | 519 |
| 7.5.4 | Fertigungshinweise | 503 | 10.2.3 | Konstruktive Gestaltung | 520 |
| 7.6 | <i>Sprengschweißen (Prozess 441).....</i> | 503 | 10.2.4 | Fertigungshinweise..... | 520 |
| 7.6.1 | Verfahrensprinzip..... | 504 | Literaturverzeichnis..... | 523 | |
| 7.6.2 | Anwendungsbereich | 505 | Sachwortverzeichnis | 541 | |
| 7.6.3 | Konstruktive Gestaltung und Festigkeit | 505 | | | |
| 7.6.4 | Fertigungshinweise..... | 506 | | | |
| 7.6.5 | Spezielle Gefährdungen | 506 | | | |
| 7.7 | <i>Magnetpulsschweißen (Prozess 442)</i> | 506 | | | |
| 7.7.1 | Verfahrensprinzip..... | 507 | | | |
| 7.7.2 | Anwendungsbereich | 507 | | | |
| 7.7.3 | Spezielle Gefährdungen | 508 | | | |

1

Grundlagen

1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580

Produktion (lat.: producere = hervor führen) ist der Prozess der Transformation von Ausgangsstoffen (Rohstoffen) in fertige bzw. weiter zu verarbeitende Produkte bzw. (Wirtschafts-)Güter. Dies erfolgt unter Einsatz von Energie sowie mithilfe spezifischer Produktionsmittel – sogenannter **Produktionstechnik** – nach festgelegtem Schema, d. h. auf der Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse in Verfahren und Prozessen, die vom Menschen technologisch beherrscht werden. Die für die Produktion von Gütern mit geometrisch bestimmter Form aus festen Stoffen erforderlichen Bearbeitungsvorgänge werden als **Fertigungsverfahren** bezeichnet. Fertigungsverfahren können durch die Arbeitskraft des Menschen manuell vollzogen werden oder mechanisiert bzw. automatisiert erfolgen. Der Fortschritt in der

industriellen Produktionstechnik wird maßgeblich durch Mechanisierung bzw. Automatisierung des **Fertigungsprozesses** sowie der Optimierung seiner Elemente (Arbeitsgegenstand – Arbeitsmittel – Arbeitskraft) zueinander und zur Fertigungsorganisation bestimmt.

Die Vielzahl der Fertigungsverfahren zwingt zur Einordnung in ein überschaubares System, in dem sowohl die bislang bekannten, aber auch die in der Zukunft neu entwickelten Verfahren Platz finden. Die Einteilung der Fertigungsverfahren erfolgt entsprechend DIN 8580 in sechs Hauptgruppen: Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten und Stoffeigenschaft ändern (Bild 1.1).

Die Fertigungsverfahren lassen sich u. a. nach der Art ihrer Wirkungsweise auf den zu bearbeitenden Werkstoff unterscheiden. Dabei bestehen wechselseitige Anforderungen zwischen dem Fertigungsverfahren und dem Werkstoff. So sind einerseits nicht alle Verfahren auf jeden Werkstoff anwendbar und andererseits lässt sich nicht jeder Werkstoff mit jedem

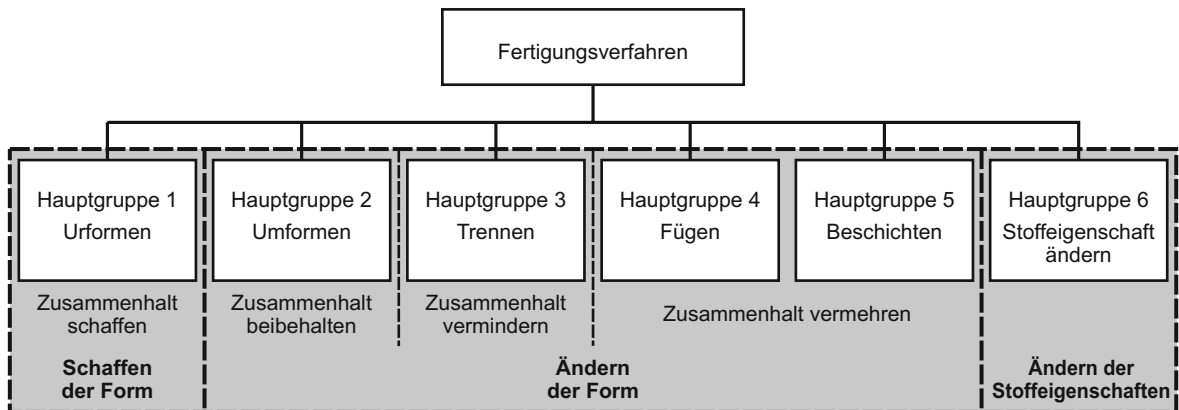


Bild 1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren nach Art des Zusammenhalts und deren Wirkungsweise nach DIN 8580

Sachwortverzeichnis

Symbole

4-Niveau-Laser 444

A

Abbrennstumpfschweißen 386
– Längenverlust 389
Ablängen 58
Ablenkfiguren 433
Absaugung 474
Abschmelzleistung 204
Absorption 443
Aceton 305
Acetylenentwickler 304
Acetylen-Luft-Gemisch 301
Acetylenzerfall 301
Additive Fertigung
– mittels Elektronenstrahl 440
– mittels Laser 468
– mittels MSG-Schweißen 217
– mittels PTA-Schweißen 181
Aluminothermisches
Schmelzschweißen 514
Arbeitsgase 460
Arbeitskammer 423
Arbeitspunkt 78
Armaturen 311
Aspektverhältnis 456
Aufheizgeschwindigkeit 521
Auftragschweißen 19, 255
Aufweitung 459
Ausbringung 94, 100, 118
Äußere Regelung, delta U-Regelung
78
Austenitbildner 35
Autogenbrenner 295

B

Balance 75, 139
Bandelektroden 97
– zum Elektroschlacke-
Auftragschweißen 415
– zum UP-Schweißen 244
Basizitätsgrad 103, 235
Beanspruchungszustand 37
Beschichten 19
Beschleunigungsspannung 421
Besetzungsinversion 444
Betriebsmittel 299
Beugungsmaßzahl 458
BG-Regeln 59
Blaswirkung 67
Bolzenschweißen 275
Bolzenschweißen mit Spitzenzündung
276
Bolzenschweißpistole 86
Brennerhaltungen 327
Brennweite 458
Buckelschweißen 376
– einseitig 385

C

Calciumcarbid 302
CO₂-Gaslaser 448
CO₂-Slab-Laser 449
Crossjet 454

D

Dampfkanal 429
Deflagration 314
Demontage 61
Detonation 314
Diffusionsschweißen 517
Dimethylformamid 305
Diodenlaser 450

Dissousgasflaschen 305
Divergenz 445
Divergenzwinkel 458
Doppelpulsen 212
Drahtpulsen 212
Draht-Pulver-Kombination 243
Drahttrichtwerk 91
Drahtvorschubsystem 87
Druckminderer 112, 311
Durchtrittstrommessung 432

E

Edelmetalle
– Ultraschallschweißen 495
Edelstähle 33
Eigenspannungen 56
Einschaltdauer 81
Einteilung der Fertigungsverfahren
nach DIN 8580 15
Elektroden zum Buckelschweißen
378
Elektroden zum Rollennahtschweißen
366
Elektrogasschweißen 218
Elektromagnetische Sensoren
283
Elektronengas 19
Elektronenstrahl 421
Elektronenstrahlbohren 440
Elektronenstrahlgenerator 421
Elektronenstrahlhärten 439
Elektronenstrahlschweißen 421
Elektronenstrahlschweißverbindungen
430
Elektronenstrahlumschmelzen 440
Elektroschlacke-Auftragschweißen
413
Elektroschlacke-Mehrlagenschweißen
413

Elektroschlackeschweißen 406
 – mit abschmelzender Drahtzuführung 412
 – mit Metallpulverzugabe 413
 Erdgas 308
 Erschmelzungsart 32
 Excimerlaser 451

F

Farbkennzeichnung 320
 Faserlaser 447
 FEM 43
 Fensterwirkung 353
 Ferritbildner 35
 Fertigungsprozess 15
 Fertigungsverfahren 15
 Festkörperlaser 443
 Filter 474
 Flachdrahtelektrode
 – zum MSG-Schweißen 206
 Flammdurchschlag 314
 Flamme 291
 Flammeneinstellungen 293
 Flammenstörungen 299
 Flüssiggas 306
 Fokusedurchmesser 458
 Fokusposition 433
 Fokussierzahl 459
 Folien-Stumpfnahschweißen 375
 Folien-Überlappnahschweißen 375
 Fördergas 175
 Formiergas 131, 151, 161, 187
 Freies Drahtelektrodenende 205, 221, 286
 Fügbarkeit 29
 Fuge 320
 Fügen durch Schweißen 17
 Fugenform 46
 Fügeprozess 17
 Fügestelle 17
 Fügevorgang 17
 Fülldrahtelektrode 244
 Fülldrahtelektroden 99, 197

G

Gas 310
 Gaslaser 443
 Gaslinse 150
 Gasrücktritt 314

Gasschläuche 312
 Gasschmelzschweißen 318
 Gasschweißen 318
 Gasverbrauch 320
 Gebrauchsstellenvorlage 315
 Gefährdungen beim Sprengschweißen 506
 Gefährdungsklassen 473
 Gefügeumwandlungen 34, 56
 Geprägte Buckel 380
 Gesteuerter Kurzlichtbogen 209
 Gleichdruckbrenner 297
 Grobkornzone 35
 Güte einer Schweißverbindung 56

H

Hauptgruppen der Fertigungsverfahren 316
 Heißdraht-Drahtvorschubeinheit 91
 Hilfsstromquelle 167
 Hochdruckbrenner 297
 Hochleistungs-Kurzlichtbogen 201
 Hochleistungs-Sprühlichtbogen 202
 Hochspannungsschweißanlagen 431
 Hochspannungszündung 68
 Hochvakuumerschweißanlagen 424
 Hubzündungs-Bolzenschweißen 276

I

I-Entwickler 304
 IG-IP-Modulation 79
 IG-UP-Modulation 79
 Impulslichtbogen 200
 Induktives Hochfrequenzschweißen 402
 – mit stabförmigem Induktor 404
 – mit umschließendem Induktor 403
 Induktives Stumpfschweißen 405
 Induktiv unterstütztes
 Laserstrahlschweißen 462
 Injektorbrenner 295
 Innere Regelung, delta I-Regelung 79
 Ionisation 64

K

Kaltdraht-Vorschubeinheiten 91
 Kammerschweißen 398
 Kathodischer Reinigungseffekt 141

Kaverne 228
 Kerbspannungskonzept 44
 Kohlenstoffäquivalent 33
 Kondensatorentladungs-
 Bolzenschweißen 276
 Kontaktzündung 67
 Kurzlichtbogen 200

L

LASER 443
 Laser-Abstandssensor 284
 Laserarbeitsplätze 473
 Laserbohren 467
 Lasereffekt 444
 Laserhärten 467
 Laserklassen 474
 Laser-MSG-Schweißen 212
 Laserscanner 285
 Laserschutzwand 474
 Laserstrahlschneiden 466
 Laserstrahlschweißen 441
 Laserumschmelzen 467
 L-Entwickler 304
 Lichtbogen 64
 Lichtbogenhandschweißen 113
 Lichtbogenkennlinie 69
 Lichtbogensensor 285
 Lichtleitfasern 453
 Lichtquant 443
 Lichtquellen 444
 Lichtschnittsensor 285
 Lichtstrahlschweißen 419

M

MAGC-Schweißen 193
 MAGM-Schweißen 193
 Magnetische Fokussierlinse 422
 Maschinenbrenner 297
 Massivbuckel 381
 Massivdrahtelektrode 97, 244
 M-Entwickler 304
 Metall-Aktivgasschweißen (MAG-Schweißen) 192
 Metaldampf 456
 Metall-Inertgasschweißen (MIG-Schweißen) 192
 Metall-Schutzgasschweißen 191
 MIG-AC-Schweißen 211
 MIG-Löten 210

Mikroplasmenschweißen 179
 Mitteldruckentwickler 304
 Monochromasie 445
 MSG-Absaugbrenner 198
 MSG-Auftragschweißen 216
 MSG-Dickdrahtschweißen 205
 MSG-Doppeldrahtschweißen 206
 MSG-Engspaltschweißen 215
 MSG-Flachdrahtschweißen 206
 MSG-Schweißbrenner 86
 MSG-Tandemschweißen 207

N

Nachlinksschweißen 325
 Nachrichtsschweißen 325
 Nachsetzeinheiten 383
 Nachweiskonzepte 43
 Natürliche Buckel 382
 Nd:YAG-Festkörperlaser 445, 447
 Nebenschluss 353, 383, 392, 397
 Nennspannungskonzept 43
 Niederdruckentwickler 304
 Nonvacuum-
 Elektronenstrahlschweißen 425

O

Offline-Programmierung 455
 Ökobilanzen 62
 Ordnungsnummer 21

P

Phasenanschnittsteuerung 74
 Photon 444
 Pilotlichtbogen 169
 Pilotlichtbogen-Zündung 68
 Pincheffekt 66
 Pinch-Effekt 203
 Planetarantrieb 89
 Plasma 456
 Plasma-Auftragschweißen 178
 Plasmabeeinflussung 456
 Plasmadiagnostik 462
 Plasmadüse 168
 Plasmagas 161
 Plasma-Heißdrahtschweißen 174
 Plasma-Impulsstromschweißen 172
 Plasma-Kaltdrahtschweißen 174
 Plasmalichtbogenschweißen 159

Plasma-MIG-Schweißen 213
 Plasma-Pulver-Auftragschweißen 179
 Plasma-Pulver-Schweißbrenner 85
 Plasma-Schweißbrenner 84
 Plasmaschweißen 157
 Plasma-Stichlochschiweißen 176
 Plasmastrahlschweißen 159
 Plasmawolke 456
 PLM 61
 Pressschweißen 17, 20
 Pressstumpfschweißen 393
 – Längenverlust 396
 Primär getaktete Stromquelle, Inverter 75
 Product Lifecycle Management 61
 Produktionstechnik 15
 Produktlebensphasen 60
 Programmierbare Steuerung 432
 Prozessanalyse 55
 Prozessgase 291
 Pulsbreitenmodulation 75
 Pulverförderer 175
 Pulver-Plasmalichtbogenschweißen 160
 Pulverstrecke 247
 Punktschweißelektroden 343
 Punktschweißzange 342
 Push-Pull-Antrieb 90

Q

Qualitätsstähle 33
 Quetschnahtschweißen 373

R

Räumliche Kohärenz 445
 Rautiefe 520
 Recyclingfähigkeit 61
 Reibschweißen
 – Bauteilverkürzung 484
 Remote-Bearbeitung 454
 Rollennahtschweißen 363
 – Dorn-Schlitten 365
 – Längsnahtschweißen 365
 – Quernahtschweißen 365
 Rollennahtschweißen mit
 Drahtzwischenelektrode 374
 Röntgenstrahlung 440
 Rotierender Lichtbogen 201
 Rücktrocknung 103, 119, 241

S

Sauerstoffversorgung 301
 Saugbrenner 295
 Scanneroptik 459
 Schaeffler-Diagramm 35
 Schärfentiefe 459
 Scheibenlaser 447
 Schleppgasdüse 150, 185, 222
 Schmelzbadsicherung 261
 Schmelzschweißen 17, 20
 Schutzgas 192
 Schutzgasbrause 150, 185
 Schutzgase 108, 131, 161, 461
 Schutzgläser 454
 Schweißaggregat 71
 Schweißbarkeit 29
 Schweißbereichsdiagramm 357
 Schweißbolzen 106
 Schweißbeignung 29
 Schweißen 17
 Schweißen durch festen Körper 509
 Schweißen mit magnetisch bewegten
 Lichtbogen 271
 Schweißen mit Metallschmelzen 512
 Schweißerlaubnisschein 59
 Schweißfolgepläne 45
 Schweißgut 17
 Schweißmöglichkeit 29
 Schweißnahtwertigkeit 44
 Schweißpositionen 320
 Schweißpulver 103
 – zum ES-Schweißen 409
 – zum PTA-Schweißen 105
 – zum UP-Schweißen 105, 229
 Schweißsicherheit 29
 Schweißstäbe 96
 Schweißstromquellen 71
 Schweißtransformator 72
 Schweißzone 17
 Sekundär getaktete Stromquelle 75
 S-Entwickler 304
 SF-Entwickler 304
 Sicherheitswasservorlage 315
 Skin-Effekt 400
 Slab-Laser 450
 Slope Control 432
 Spaltüberbrückbarkeit 319
 Sprühlichtbogen 200
 Stabelektrode 92
 Stabelektroden 115

Stabelektrodenhalter 82
Stahlflaschen 305
Statische Kennlinien von
Schweißstromquellen 76
Steuerelektroden 422
Steuerspannung 422
Stirnrollenantrieb 88
Strahlführungssysteme 452
Strahlintensitäten 453, 455
Strahlparameterprodukt 458
Strahlpendeln 434
Strahlqualität 453
Strahlqualitätszahl 458
Strahlstrom 422
Strahltaillenradius 458
Strahlungseinkopplung 460
Streckenenergie 52
Strukturspannungskonzept 43
Stufengeschalteter Schweiß-
gleichrichter 73
Systeme 454
SZTU-Schaubilder 35

T

Taktile Sensoren 282
Tandemschweißen 252
Technische Regeln für Acetylenanlagen
und Calciumcarbidlager (TRAC)
311
Temperaturverteilung 292
Thermische Energie 17
Thermokompressionsschweißen
509
Thermopulsen 211

Thyristorstromquelle 74
Tiefschweißeffekt 176
Totalreflexion 453
Trockensicherungen 315
Tropfenablösung 203

U

Übergangslichtbogen 200
Ultraschallschweißen 495
Umhüllungstypen von Stabelektroden
93
Umlenkspiegel 452
Umweltmanagementsystem 62
Unfallverhütungsvorschriften 59
Unlösbare Verbindungen 19
Unregelmäßigkeiten 56
Unterpulverschweißen 227
UP-Bandelektrodenschweißen 253
UP-Doppeldrahtschweißen 249
UP-Eindrahtschweißen 249
UP-Engspaltschweißen 256
UP-Heißdrahtschweißen 254
UP-Kaltdrahtschweißen 254
UP-Mehrdrahtschweißen 252
UP-Quernahtschweißen 257
UP-Schweißbrenner 83
UP-Schweißen mit Metallpulverzugabe
254

V

Verbindungselement 16
Verbrennung 291
Verunreinigungen 32

W

Wärme 17
Wärmeeinflusszone (WEZ) 17
Warmpressschweißen 509
Wellenlänge 458
Werkstoffübergang 202
Werkstückdicken 320
Widerstandspunktschweißen
339
– Dreiblech-Schweißen 361
– einseitig 361
WIG-Auftragschweißen 146
WIG-Engspaltschweißen 145
WIG-Heißdrahtschweißen 142
WIG-Impulsstromschweißen 139
WIG-Kaltdrahtschweißen 142
WIG-Kilohertz-Pulsen 136
WIG-Mehrkathodenbrenner 147
WIG-Orbitalschweißen 143
WIG-Punktschweißen 145
WIG-Schweißbrenner 83
Wire Arc Additive Manufacturing
(WAAM) 217
Wirkpaarungen 20
Wirkungsgrad 52, 446
Wolframelektrode 83, 133, 164
Wolfram-Inertgasschweißen 129
Wurzelschutz 150, 186

Z

Zusatzwerkstoff 16