

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	5
<b>2 Literaturübersicht</b> .....	7
<b>2.1 CO<sub>2</sub>-Laser in der Fertigungstechnik</b> .....	7
2.1.1 Bedeutung des CO <sub>2</sub> -Lasers in der Fertigungstechnik .....	7
2.1.2 Anwendungsbereiche des CO <sub>2</sub> -Laserstrahlschweißens .....	8
<b>2.2 Kennzeichnung des Laserstrahlschweißens</b> .....	10
2.2.1 Verfahrensprinzip des Tiefschweißens .....	10
2.2.2 Schweißnahtvorbereitung .....	11
2.2.3 Geometrie der Schweißnaht und Schweißverbindung .....	13
2.2.4 Verfahrensvergleich Laser-/Unterpulverschweißen .....	14
<b>2.3 Schweißbare Feinkornbaustähle</b> .....	15
2.3.1 Reinheitsgrad und Legierungszusammensetzung .....	16
2.3.2 Normalgeglühte Feinkornbaustähle .....	18
2.3.3 Wasservergütete Feinkornbaustähle .....	19
<b>2.4 Schweißbeignung von Feinkornbaustählen</b> .....	20
2.4.1 Gefüge und Eigenschaften in der Wärmeeinflußzone der Schweißverbindung .....	20
2.4.2 Gefüge und Eigenschaften in der Schmelzzone der Schweißverbindung .....	25
<b>2.5 Laserstrahlschweißen von Feinkornbaustählen</b> .....	28
2.5.1 Temperaturverlauf beim Laserstrahlschweißen .....	28
2.5.2 Wärmewirkung beim Laserstrahlschweißen .....	32
2.5.3 Gefüge der Schmelzzone .....	35
2.5.4 Mechanisch-technologische Eigenschaften von Laserstrahlschweißverbindungen .....	37
2.5.5 Einflußnahme auf die Eigenschaften von Laserstrahlschweißverbindungen .....	46
2.5.6 Schweißnahtfehler in Laserstrahlschweißverbindungen ....	48

---

<b>3 Problemstellung, Zielsetzung und methodisches Vorgehen .....</b>	<b>54</b>
<b>4 Versuchseinrichtungen, Versuchswerkstoffe und Versuchsbedingungen .....</b>	<b>56</b>
<b>4.1 Versuchseinrichtungen .....</b>	<b>56</b>
4.1.1 CO <sub>2</sub> -Laserstrahlquelle .....	56
4.1.2 Strahlführung und -formung .....	56
4.1.3 Schweißvorrichtungen .....	58
4.1.4 Meßapparaturen .....	58
<b>4.2 Versuchswerkstoffe .....</b>	<b>59</b>
4.2.1 Grundwerkstoffe .....	59
4.2.2 Zusatzwerkstoffe .....	60
<b>4.3 Versuchsbedingungen .....</b>	<b>61</b>
4.3.1 Fügeteilvorbereitung .....	61
4.3.2 Schweißparameter .....	62
<b>4.4 Methoden zur Bewertung der Nahteigenschaften .....</b>	<b>62</b>
4.4.1 Zerstörungsfreie Prüfungen .....	63
4.4.1.1 Ermittlung des äußeren Befundes .....	63
4.4.1.2 Röntgen-Durchstrahlungsprüfung .....	63
4.4.2 Zerstörende Prüfungen .....	65
4.4.2.1 Elementanalyse .....	65
4.4.2.2 Metallographische Prüfungen .....	65
4.4.2.3 Härteprüfung .....	66
4.4.2.4 Zugprüfung .....	67
4.4.2.5 Biegeprüfung .....	67
4.4.2.6 Kerbschlagbiegeprüfung .....	68
4.4.2.7 Bruchmechanische Prüfung .....	69
4.4.2.8 Schwingfestigkeitsprüfung .....	69

---

<b>5</b>	<b>Eigenschaften der Schweißverbindungen un- und niedriglegierter Stähle und ihre Bewertung .....</b>	<b>71</b>
<b>5.1</b>	<b>Einfluß der Schweißparameter .....</b>	<b>71</b>
5.1.1	Porenbildung in der Schweißnaht .....	72
5.1.1.1	Einfluß der Prozeßgase .....	73
5.1.1.2	Einfluß der Streckenenergie .....	76
5.1.2	Energieeinkopplung in das Werkstück .....	79
5.1.2.1	Einfluß der Prozeßgase .....	80
5.1.2.2	Einfluß der Streckenenergie .....	80
5.1.3	Abkühlzeit $t_{8/5}$ .....	82
5.1.3.1	Experimentelle Ergebnisse .....	82
5.1.3.2	Theoretische Abschätzung .....	84
5.1.4	Schweißnahthärte .....	87
5.1.4.1	Experimentelle Ergebnisse .....	87
5.1.4.2	Theoretische Abschätzung .....	89
<b>5.2</b>	<b>Einfluß des Grundwerkstoffes .....</b>	<b>90</b>
5.2.1	Schweißbedingungen .....	90
5.2.2	Gefüge .....	90
5.2.3	Mechanisch-technologische Eigenschaften .....	92
5.2.3.1	Nahthärte .....	92
5.2.3.2	Festigkeitseigenschaften .....	94
5.2.3.3	Verformbarkeit .....	97
5.2.3.4	Kerbschlagzähigkeit .....	97
5.2.3.5	Bruchzähigkeit CTOD .....	101
5.2.3.6	Schwingfestigkeit .....	102
5.2.4	Schweißen und Prüfen von Doppelflansch-Stahlträgern .....	104
5.2.4.1	Schweißbedingungen .....	104
5.2.4.2	Mechanisch-technologische Eigenschaften .....	105
<b>5.3</b>	<b>Einfluß des Zusatzwerkstoffes .....</b>	<b>106</b>
5.3.1	Schweißbedingungen .....	107
5.3.2	Thermischer Wirkungsgrad .....	108
5.3.3	Elementverteilung im Schweißgut .....	110
5.3.4	Gefüge und mechanisch-technologische Eigenschaften .....	113

---

<b>5.4 Einfluß einer Vorwärmung des Werkstückes .....</b>	<b>117</b>
5.4.1 Schweiß- und Vorwärmbedingungen .....	117
5.4.2 Gefüge .....	117
5.4.2.1 Makrogefüge .....	117
5.4.2.2 Mikrogefüge .....	118
5.4.3 Mechanisch-technologische Eigenschaften .....	118
5.4.3.1 Nahthärte .....	118
5.4.3.2 Kerbschlagbiege Zähigkeit .....	119
<b>5.5 Einfluß einer Wärmenachbehandlung .....</b>	<b>120</b>
5.5.1 Schweiß- und Wärmenachbehandlungs-Bedingungen .....	121
5.5.2 Mechanisch-technologische Eigenschaften .....	121
5.5.2.1 Nahthärte .....	121
5.5.2.2 Kerbschlagbiege Zähigkeit .....	121
<b>6 Schlußfolgerungen .....</b>	<b>123</b>
<b>7 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>129</b>
<b>8 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>131</b>
<b>9 Abkürzungen und Formelzeichen .....</b>	<b>150</b>
<b>10 Tabellen und Bilder .....</b>	<b>153</b>

---