

der

praktiker

Schweißtechnik und mehr

Perfektion in Rein(stgas)-Kultur

Steckbrief: ORBITALSCHWEISSEN



- o Baugröße erstklassig
- o Gasschutz erstklassig
- o Spannsystem erstklassig
- o Standzeit erstklassig
- o Service weltweit erstklassig
- o Dokumentation erstklassig

Wo?

direkt auf Ihrer Baustelle oder
Brau Nürnberg (13-15.11.02) Stand 3 - 533

POLYSOUDE

Technikum Hürth

Gennerstr. 281 - 50354 Hürth - Tel.: (02233) 493 171 - Fax: (02233) 493 194
HOTLINE: (01805) 301 261 - www.polysoude.com - info@polysoude.com



SCHWEISSTECHNIK UND MEHR

- 388 **Anwenden der Sonderschweißverfahren** _____ Aus dem Fachausschuss „Sonderschweißverfahren“ (Teil 3: Ultraschallschweißen)
M. J. Greitmann und P. Wiesner
- 393 **Blaswirkung beim Lichtbogenschweißen, nur noch ein alter Hut?** _____ Mit einem kleinen nostalgischen Ausflug in die dreißiger Jahre
G. Aichele
- 400 **Das Verhalten von hoch festen Feinkornbaustählen** _____ Durchführung von Laserstrahlschweißungen an Karosserieblechen
A. Gurgey und C. Olaineck
- 404 **MAG-Tandemschweißen für die Plattierung aus Alloy B2** _____ Korrosionsbeständiger Verbundwerkstoff wirtschaftlich gefügt
M. Martin
- 408 **Treffpunkt DVS-Mitgliederforum im Internet** _____ Mitglieder helfen Mitgliedern
S. Kölsch und H.-G. Aretz



INDUSTRIE UND HANDWERK

- 386 **Vernetzte Produktion** _____ Lieferung im Stundentakt
- 386 **Kurz berichtet**
- 387 **Frage aus der Lötpraxis** _____ Antwort der Fachgesellschaft „Löten“ im DVS

RUBRIKEN

- 385 **Inhalt**
- 396 **Autoren dieser Ausgabe**
- 398 **Veröffentlichungen**
- 414 **Vorschau/Impressum**
- 416 **Firmenverzeichnis zum Anzeigenteil**
- V93 **Der Verband informiert**



Korrosionsbeständiger Verbundwerkstoff wirtschaftlich gefügt

MAG-Tandemschweißen für die Plattierung aus Alloy B2

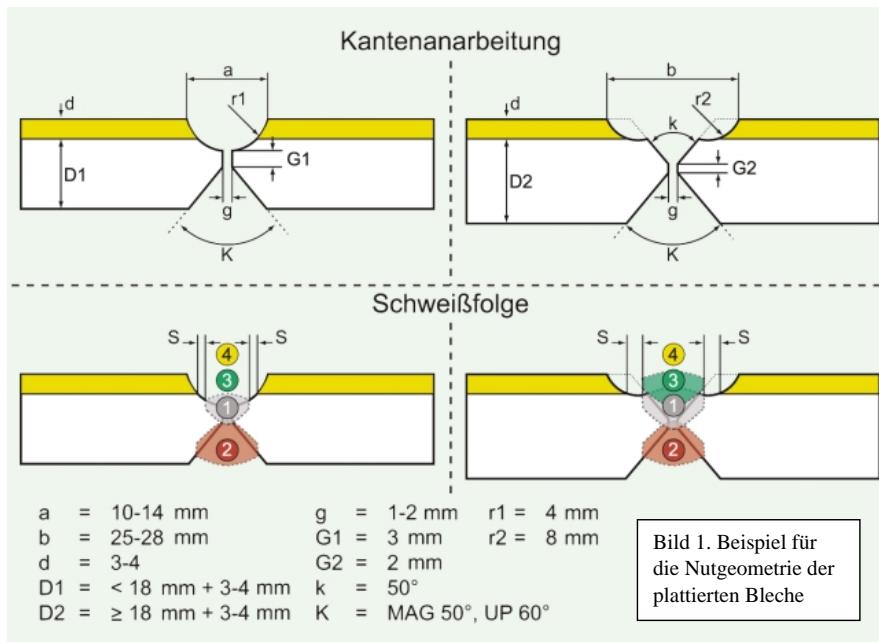
M. Martin,
Darmstadt

Zahlreiche Bauteile industrieller Anlagen aus Chemie-, Umwelt- oder Offshoretechnik sowie Behälterbau kommen mit korrosiven Medien in Kontakt, die die Bauteiloberflächen angreifen. Massivbauteile aus nicht rostenden Stählen erscheinen jedoch ökonomisch und fertigungstechnisch be-

Am Beispiel eines mit Alloy B2 plattierten Kohlenstoffstahls zeigt der Bericht, dass die Oberflächengüte der Decklage der Schweißnaht eine dem Auflagewerkstoff gleichwertige Korrosionsbeständigkeit aufweist. Die Schweißverbindung ist zudem unempfindlich gegenüber Heißbrissen.

Element	Anteil in %
Nickel	Rest
Chrom	0,4 ... 1
Eisen	1,5 ... 2
Molybdän	26 ... 30
Kohlenstoff	max. 0,01
sonstige	max. 1,0 Co, max. 0,08 Si

Tabelle 1. Chemische Zusammensetzung des Auflagewerkstoffs Alloy B2



trachtet wenig sinnvoll. Zweckmäßig und kostengünstig ist dagegen ein Werkstoffverbund. Bei walzplattierten Blechen besteht dieser aus einem unlegierten Trägerwerkstoff und einem korrosionsbeständigen Auflagewerkstoff. Der Trägerwerkstoff lässt sich artgleich kostengünstig schweißen. Für die dünne Plattierschicht bietet das MAG-Tandemschweißen beim Füllen der verbleibenden Nut weitere Kostenvorteile durch die hohe Abschmelzleistung und die große Schweißgeschwindigkeit.

Verbundwerkstoffe für ungleiche Anforderungen

Plattierte Bleche gewinnen als untrennbare Verbundwerkstoffe unter anderem im chemischen Anlagenbau eine immer größere Bedeutung. Sie beruht auf ständig steigenden Ansprüchen hinsichtlich geeigneter Werkstoffe zu marktgerechten Preisen. Gerade walzplattierte Stahlbleche erzielen wirtschaftliche Lösungen, wenn beispielsweise die Statik bis etwa 40 mm Wanddicke verlangt, eine verhältnismäßig

dünne Plattierschicht aber völlig ausreicht.

Zumeist besteht der Trägerwerkstoff aus kostengünstigem Kohlenstoffstahl. Der Plattierwerkstoff verleiht dem Verbund neben der Hitzebeständigkeit auch die Korrosionsbeständigkeit. So zeigt Alloy B2 (Nimofor 6928, Werkstoffnummer 2.4617) aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung, Tabelle 1, eine extreme Beständigkeit in reduzierenden Medien. Die Legierung trotz Salzsäure aller Konzentrationen und Temperaturen bis zum Siedepunkt. Allerdings verursachen oxidierende Medien wie Luft erhöhte Korrosionsgeschwindigkeiten und mindern die Lebensdauer des Plattierwerkstoffs. Typische Anwendungen für Alloy B2 im chemischen Anlagenbau bilden Reaktionsapparate und Kolonnen zum Herstellen und Verarbeiten von Salzsäure, gasförmigem Chlorwasserstoff, Essig-, Schwefel- und Phosphorsäure. Die Blechdicken betragen in der Regel für den Trägerwerkstoff 10 bis 30 mm und für die Auflage 3 bis 4 mm.

Plattiertes Blech ersetzt teures Vollmaterial

Als Alternative zum Massivblech Alloy B2 bieten damit walzplattierte Bleche dem Anwender einen deutlich höheren Nutzen. Mit zunehmender



Blechdicke und der Auswahl höherwertiger Legierungsvarianten erreicht die Ersparnis bis zu 80% der Investitionshöhe für Massivblech gleicher Güte und Dicke. Vorteilhaft lässt sich bei plattierten Blechen zudem der unlegierte Trägerwerkstoff artgleich schweißen. Auch die Kosten der unlegierten Drahtelektroden sind bis 98% niedriger gegenüber einer Nickelbasislegierung für Alloy B2. Schließlich ermöglicht das Herstellen größerer Formate von walzplattierten Blechen (3,8 m × 16 m) im Unterschied zu Massivblech (etwa 2,5 m × 8,0 m) Einsparungen in der Schweißnahtlänge, hier in Höhe von etwa 30%.

Mit Stromquellen für komplexe Schweißaufgaben

Zentrales Ziel der Kooperation von Thyssen Krupp, VoestAlpine Grobblech und Fronius war, die Variante des Stromquellenherstellers für das MAG-Tandemschweißen für hoch korrosionsbeständige Auflagewerkstoffe wie Alloy B2 zu nutzen. Das vollmechanisierte Schweißen mit reproduzierbar hoher Qualität erfolgte im österreichischen Technologie-Center des Schweißanlagenherstellers.

Zuerst erfolgt das Schweißen der beiden Trägerwerkstoffe, etwa durch Unterpulverschweißen, und dann das Auffüllen der verbleibenden Nut zwischen den Plattierschichten, Bild 1, auch als Ergänzungsplattierung bezeichnet. Bis etwa 18 mm Blechdicke erfolgt die Kantenvorbereitung am Trägerwerkstoff als V-Fuge mit 50° (MAG-

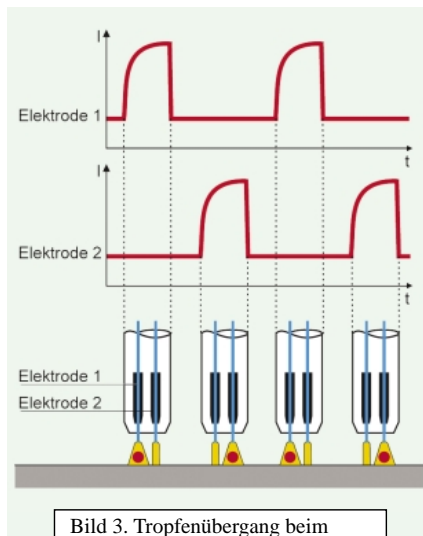


Bild 3. Tropfenübergang beim phasenversetzten Impulsschweißen

Verfahren) oder 60° (Unterpulververfahren) und auf der Plattierungsseite als U-Nut. Bleche über 18 mm Dicke werden mit Doppel-V-Fuge vorbereitet. Als Schweißfolge gilt „Schwarz vor Weiß“ (1 bis 4), um ein Verunreinigen der Auftragschicht sicher auszuschließen.

Moderne mikroprozessorgesteuerte Impulsstromquellen, Bild 2, ermöglichen heute in Kombination mit umfassenden Kenntnissen zu den Werkstoffübergängen das einwandfreie Lösen komplexer Schweißaufgaben. Dies gilt exemplarisch für die Nutfüllung in einer 3 bis 4 mm dünnen Plattierschicht aus Alloy B2. Für die Probeschweißungen mit zwei Impulslichtbögen kam der artgleiche Zusatzwerkstoff Nimofer S 6928-FM-B2 (Werkstoffnummer 2.4615) zum Einsatz. Die Impulslichtbogentechnik erlaubte aufgrund hoher Impulsströme bei niedrigen Grundströmen das Verarbeiten verhältnismäßig dicker Drahtelektroden mit 1,0 und 1,2 mm Durchmesser.

Als Schutzgas dient ein Vierkomponentengas. Es enthält neben Argon 30% Helium, 2% Wasserstoff und 0,05% Kohlendioxid. Das Energie freisetzende Gas senkt die Viskosität des Schweißbads und erhöht das Fließverhalten des Zusatzwerkstoffs. Im Schweißgut entstehen gute Übergänge, und die Schweißnahtoberflächen weisen geringe Welligkeit und Rautiefe auf. Ein zu starker Einbrand steigert jedoch das Aufmischen des hochwertigen, korrosionsfesten Zusatzwerkstoffs mit dem

Trägerwerkstoff. Der zusätzlich reduzierend wirkende Wasserstoffanteil im Schutzgas minimiert das Anlaufen der Oberflächen.

Für niedrige und homogene Aufmischungsgrade

Beim MAG-Tandemschweißen führt der Hochleistungsbrenner beide Drahtelektroden in zwei elektrisch getrennte Stromkontaktrohre. Für das voneinander unabhängige Abschmelzen besitzen die beiden Impulsstromquellen eine eigene Steuer- und Regeleinrichtung. Dies ermöglicht so einen gezielten Wärmeeintrag ins Schweißbad und unterstützt den erforderlichen flachen Einbrand. Während beim MAG-Doppeldrahtschweißen an beiden Drahtelektroden die Strommaxima zeitgleich auftreten, koordiniert die Synchronisationseinheit die Stromquellen, und damit können die Strommaxima zeitversetzt aufeinander folgen, Bild 3. Dies verringert zwischen den phasenverschobenen Impulslichtbögen unter anderem die magnetische Blaswirkung so, dass ihr Einfluss weder den Werkstoffübergang stört noch Schweißnahtfehler verursacht. Zugleich ergeben die beiden



Bild 2. Miteinander synchronisierte Stromquellen für das MAG-Tandemschweißen

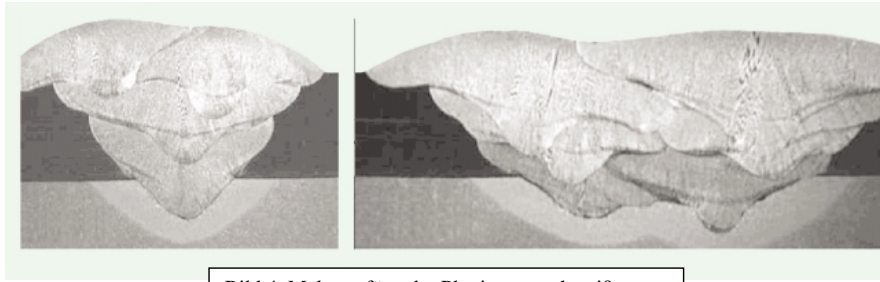


Bild 4. Makrogefüge der Plattierungsschweißungen

C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni	Mo	Fe
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Auflage B2 (BI-Nummer 300716) 20 mm + 4 mm Dicke									
0,004	0,020	0,55	0,002	0,002	0,23	0,67	69,75	26,75	1,86
Drahtelektrode Nimofor S 6928 (FM B2 - ChNr, 78230) Durchmesser 1,0 mm									
0,003	0,01	0,55	0,003	0,002	–	0,69	69,45	28,05	1,62

Tabelle 2. Chemische Zusammensetzung von Plattierung und Schweißzusatz

sich abwechselnden Impulslichtbögen einen kurzschlussfreien feintropfigen Werkstoffübergang. Je Impulsphase löst sich dabei von der Drahtelektrode genau ein Tropfen Zusatzwerkstoff. Die stabilen Prozessbedingungen sorgen für ein ruhiges Schweißbad und begünstigen einen besonders niedrigen und homogenen Aufmischungsgrad. Im Nahtaussehen zeigen die leicht gefiederten Raupenoberflächen im Schweißgut und in Richtung Aufлагewerkstoff weiche sowie kerbfreie Übergänge, Bild 4. Der gesamte Nahtbereich ist praktisch spritzerfrei.

Höhere Wirtschaftlichkeit bei Ergänzungsplattierungen

Da die Werkstoffübergänge an beiden Drahtelektroden getrennt anpassbar sind, lassen sich auch die Lichtbögen vorteilhaft kurz halten. Aufgrund des niedrigen Wärmeeintrags bleibt das Schweißbad schmal und gut kontrollierbar. Da die hintereinander brennenden Lichtbögen ein langes Schweißbad erzeugen, kann das Tandemschweißen den wesentlich größeren Teil der vorhandenen Energie in Schweißgeschwindigkeit umsetzen. Probeschweißungen ergeben maximale Abschmelzleistungen von 8 kg/h bei Schweißgeschwindigkeiten bis 70 cm/min. Die eingebrachte Streckenenergie liegt etwa so niedrig wie beim Eindrahtschweißen. Auf Basis dieser

Ergebnisse eröffnet das MAG-Tandemschweißen weitere Kostenvorteile bei Ergänzungsplattierungen.

Aufmischungsgrad contra Korrosionsbeständigkeit

Das Aufmischen des Schweißguts der plattierten Auflagenseite mit dem unlegiertem Trägerwerkstoff stellt auch für das Schweißverfahren ein wesentliches Kriterium dar. Zunehmende Aufmischungsgrade verschlechtern die hochwertigen Oberflächeneigenschaften unter anderem hinsichtlich der Korrosionsfestigkeit wesentlich. Dabei steigt unerwünscht der Eisenanteil im Schweißgut, während besonders die Legierungskonzentration von Molybdän sinkt, Tabelle 2. Der Molybdängehalt der Legierung ist jedoch erforderlich, um bei einem Säureangriff Loch- und Spaltkorrosion der Oberflächen zu verhindern. Auf das Minimieren der Aufmischung bei guter Schichthaftung der erzeugten Verbindung zielt daher auch das wirtschaftliche MAG-Tandemschweißen.

Lage	Nut: 13,0 mm × 5,5 mm		25,0 mm × 6,0 mm	
	Fe	Mo	Fe	Mo
	%	%	%	%
1	5,9	27,2	11,6	25,3
2	2,7	27,9	5,9	27,0
3	1,96	28,0	2,3	27,8
4	–	–	1,8	28,0

Tabelle 3. Eisen- und Molybdängehalt in der ersten bis vierten Lage des Schweißguts

Für den Plattierungswerkstoff Alloy B2 wurde der Schweißprozess dahingehend optimiert, dass die artgleiche Nutfüllung in drei Lagen mit zwei Raupen als Decklage erfolgt. Dieser Mehrlagenaufbau senkt die Aufmischung nachhaltig. In der später mediumberührten Decklage findet sich quasi reines Schweißgut. Es enthält Legierungselemente analog dem Zusatzwerkstoff, Tabelle 3. In Abhängigkeit von den Aufmischungsverhältnissen (Schweißparameter, Lagendicke) ergibt sich in der ersten Lage ein Eisengehalt von etwa 6% (13-mm-Nut) oder 12% (25-mm-Nut). Er fällt bis zur dritten Lage auf etwa 2%, Bild 5. Zugleich steigt der für die Korrosionsbeständigkeit ausschlaggebende Molybdängehalt von 25 bis 27% in der ersten Lage auf ungefähr 28% in der dritten Lage.

Schweißgut beständig wie die Plattierung

Nach dem Abarbeiten des unlegierten Kohlenstoffstahls sowie der unteren Plattierauflage wurde die hergestellte Ergänzungsplattierung auf Korrosionsbeständigkeit geprüft. Die Untersuchung des Decklagenschweißguts erfolgte mit Korrosionstests nach Stahl-Eisen-Prüfblatt 1877, Verfahren III (10% Salzsäure, siedend, 24 h) sowie nach DuPont SW 800 M (20% Salzsäure, siedend, 24 h). Die aus den Ge-

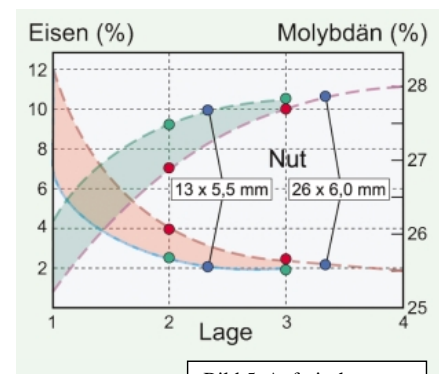
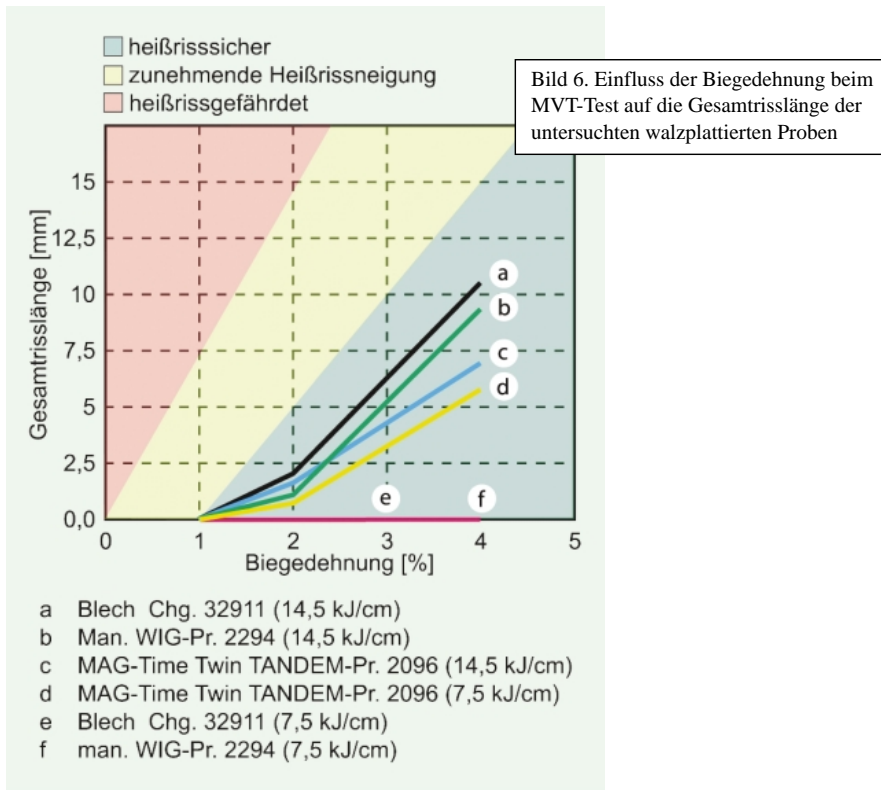


Bild 5. Aufmischungsgrad bei der Mehrlagenschweißung



lich. Der doppelte Wert stellt für das unlegierte Blech als Trägerwerkstoff sowie die Ergänzungsplattierungen mit dem manuellen WIG- und dem MAG-Tandem-Verfahren die Obergrenze dar.

Die für das unlegierte Blech (Charge 32911) und das Schweißgut (Probe 2096) gewonnenen Werte liegen im heißrissicheren Bereich, Bild 6. Dies weist die Schweißneigung der verwendeten Werkstoffe nach. Auch wird deutlich, dass eine Ergänzungsplattierung mit dem MAG-Tandemverfahren zu einem ausgezeichneten Heißrissverhalten führt. Die Werte zeigen auch eine gute Übereinstimmung mit früheren Untersuchungsergebnissen zum Wolfram-Inertgasschweißen mit Schweißbrennerführung von Hand (Probe 2294). Jedoch erreicht das MAG-Tandemschweißen wesentlich höhere Abschmelzleistungen und Schweißgeschwindigkeiten. Wegen der damit verbundenen Kostenvorteile bietet es sich deshalb für Ergänzungsplattierungen unter anderem im chemischen Anlagenbau oder im Behälterbau geradezu an.

wichtsverlusten errechneten Korrosionsgeschwindigkeiten entsprechen denen von Alloy B2. Sie betragen in 10% Salzsäure rund 0,25 mm und bei 20% Salzsäure etwa 0,6 mm je Jahr. Die Werte unterstreichen, dass die Mehrlagenschweißung die Aufmischung durch den unlegierten Stahl fast bis zur Nickelbasislegierung zurückführt.

Nach einem Biegen der Proben zum Aufweiten der Korngrenzen besteht auch mikroskopisch betrachtet auf der Decklagenseite keine Neigung zum Kornzerfall. Diese interkristalline Korrosion verläuft sonst entlang der Korngrenzen, die über den Wärmeeintrag beim Schweißen an wichtigen Legierungselementen verarmen können und so gegenüber korrosiven Medien anfälliger werden. Die Werte erreichten kaum 20 µm Eindringtiefe und lagen unter dem allgemein anerkannten Grenzwert um 30 µm.

Ausgezeichnetes Heißrissverhalten

Unmittelbar nach dem Schweißen können sich beim Erstarren der Schmelze feine Heißrisse im Schweißgut ausbilden. Sie fördern ebenfalls die Korro-

sion. Ursächlich kommen hierfür metallurgische, konstruktive und aus dem Schweißverfahren herrührende Einflüsse in Frage. Für die Ermittlung der Heißrissempfindlichkeit kam das in Europa am weitesten ausgereifte thermomechanische Verfahren zum Einsatz, der MVT-Test (Modifiziertes Vastrestraint-Transvastrestraint-Verfahren).

Prüfer der Berliner Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) erzeugten mit dem MVT-Test Heißrisse in Grundwerkstoff und Schweißgut. Dafür bogen sie definierte Probekörper (100 mm × 40 mm × 10 mm) beim Schweißen mit Hilfe eines Gesenks in Quer- und Längsrichtung exakt über einer Matrize.

Je nach gewähltem Radius der Matrize verändert sich mit der Biegedehnung die Gesamtrisslänge. Letztere resultiert aus der Summe aller unter dem Stereomikroskop bei 25facher Vergrößerung gefundenen Heißrisse.

Für das Ermitteln der Heißrissicherheit wurde der 4 mm dick mit Alloy B2 walzplattierte Trägerwerkstoff (16 mm dick) mit 7,5 bzw. 14,5 kJ/cm Wärmeeinbringen unter Argon mit 2% Wasserstoffzusatz geschweißt. In der Praxis sind Streckenenergien bis 7,5 kJ/cm üb-