



Informationsveranstaltung „**Optische Strahlung am Schweißarbeitsplatz – Neue Erkenntnisse zur Bewertung und zu Schutzmaßnahmen**“

06. Juni 2018 BAuA Dortmund

„Übersicht der untersuchten Schweißverfahren und Prozessparameter“

Dipl.-Ing. (FH) IWE, Uwe Mückenheim, SLV Halle GmbH

Kurzvorstellung SLV Halle GmbH

1. Untersuchte Prozesse
2. Versuchsstände und Prozessdokumentation
3. Angewendete Grundwerkstoffe
4. Verfahrenserläuterung und Prozessparameter
 - a) WIG-Schweißen
 - b) MSG-Schweißen incl. CMT
 - c) Lichtbogenhandschweißen
 - d) Plasma-Pulver-Auftragschweißen
 - e) Laserschweißen
 - f) Plasmaschneiden

Abteilungen: Ausbildung / Werkstoffprüfung / Qualitätssicherung / Forschung und Entwicklung

Forschung und Entwicklung
Dr.-Ing. Krüssel

**Lichtbogen / Robotik /
Wärmebehandlung**

Generatives Fügen

Werkstofftechnische Forschung

Pressschweißen

Konstruktion

Strahltechnik

Thermisches Trennen

IT-Entwicklung

Leistungsangebot:

- Industrieforschung
- öffentliche Forschungsprojekte
- Technologie- und Verfahrensentwicklungen
- Dienstleistungen (Reparaturschweißen, Auftragschweißen, Kleinserien, Serieneinführung)
- praktische und theoretische Aus- und Weiterbildung

1. Wolfram-Schutzgasschweißen (14)
 - **Wolfram-Inertgasschweißen – WIG (141)**
 - **Plasma-Pulver-Auftragsschweißen – PTA (152)**
2. Metallschutzgasschweißen (13)
 - **Metall-Aktivgasschweißen - MAG (135)**
 - **Metall-Inertgasschweißen MIG (131)**
 - **CMT-Prozess als MAG / MIG-Variante**
3. Metalllichtbogenschweißen (101)
 - **Lichtbogenhandschweißen – E-Hand (111)**
4. Laserstrahlschweißen
 - **Festkörper-Laserstrahlschweißen (521)**
 - **Gas-Laserstrahlschweißen – CO₂ (522)**
5. Thermisches Trennen
 - **Plasmaschneiden (83)**

- alle Schweißversuche erfolgten auf ein sich drehendes Rohr mit fester Positionierung der Schweißbrenner, Stabelektrode bzw. Schweißköpfe



MSG-Schweißen



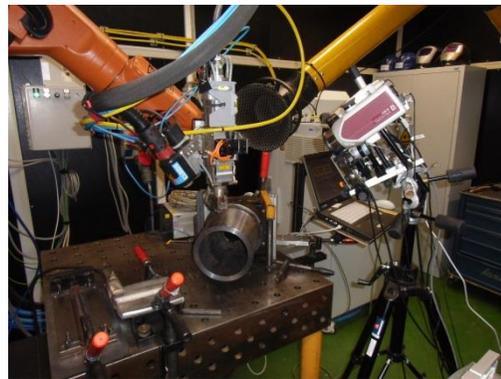
CMT-Schweißen



Lichtbogenhandschweißen



PTA-Schweißen

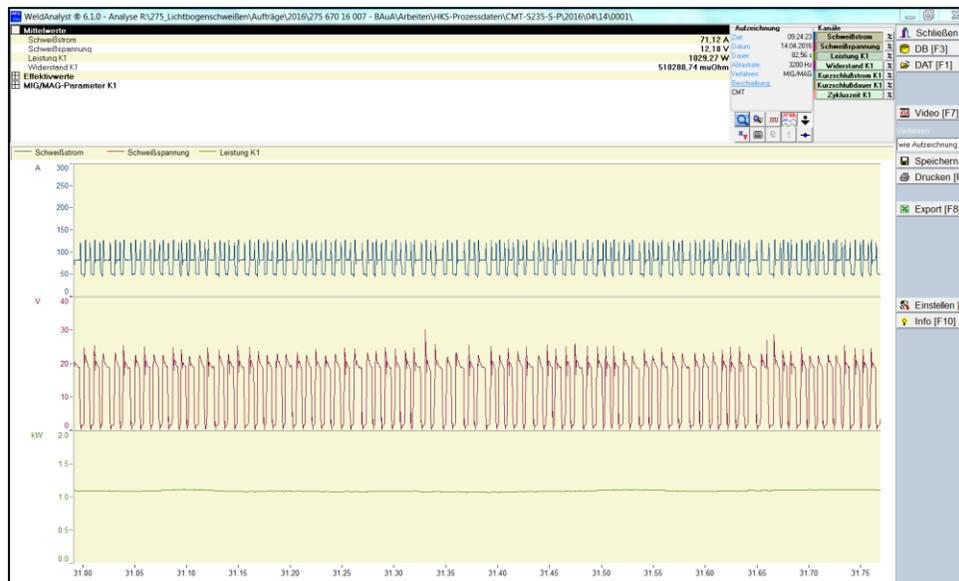


Festkörper-Laserstrahlschweißen



Plasmaschweißen

- externe Prozessdokumentation der Fa. HKS Prozesstechnik GmbH
 - QAS in Kombination mit einem Prozesssensor P1000
 - Abtastrate 3200 Hz
 - Aufzeichnung von Schweißstrom und Schweißspannung
- verfahrensspezifische Einstellgrößen manuell dokumentiert
 - Drahtvorschubgeschwindigkeit
 - Schweißgeschwindigkeit
 - Brenneranstellung



Bsp.: CMT-Prozess / S235 / Standard

- unlegiertes Stahlrohr S235 / S355
 - Ø195 x 16 mm / Ø219,1 x 20 mm / Ø275 x 20 mm
- Aluminiumrohr 6082 (EN AW-ALSiMgMn)
 - Ø250 x 20 mm
- rostfreier Hohlstahl (CrNi) 1.4301
 - Ø224 x 22 mm

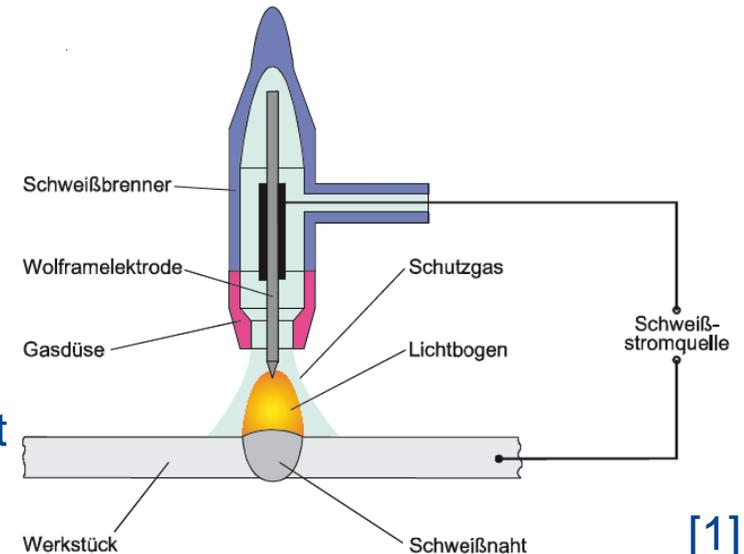
a) Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)

- Lichtbogen brennt zwischen nichtabschmelzender Wolframelektrode und dem Grundwerkstoff
- inerte Schutzgasatmosphäre (Ar, Ar/He)
- Oxidation der Elektrode und Werkstück verhindert
- mit oder ohne Zusatzwerkstoff geschweißt
- Zusatzwerkstoff von Wärmequelle entkoppelt
 - > definierte Beeinflussung der Schmelzbadgröße und Nahtform
- vorrangig Gleichstrom bei Fe-Werkstoffen
- Wechselstrom bei Aluminium, Magnesium sowie einigen Kupferlegierungen

Vorteile: qualitativ hochwertige und spritzerfreie Nähte

Nachteil: geringe Abschmelzleistung und Schweißgeschwindigkeit

Einsatzgebiete: Materialstärken 0,5 – 5 mm; bei dicken Bauteile meist nur für Wurzel Apparatebau, Behälterbau, Rohrleitungsbau, Feinwerktechnik



verwendete Stromquellentechnik und Hilfsstoffe

Stromquelle	Fronius Magic Wave 2600	
Elektrodentyp	WC-20 Wolframelektrode mit 2% Ceroxid (DIN EN ISO 6848)	
Elektroden-Ø	3,2 mm	
Schutzgas	ISO 14175 – I1-Ar (100% Argon)	ISO 14175 – I3-ArHe-30 (70% Argon / 30% Helium)
Schutzgasmenge	9 l/min	10 l/min
Werkstoff	S235, CrNi, Al	Al

eingestellte Variationsparameter in Abhängigkeit der Versuchsreihe

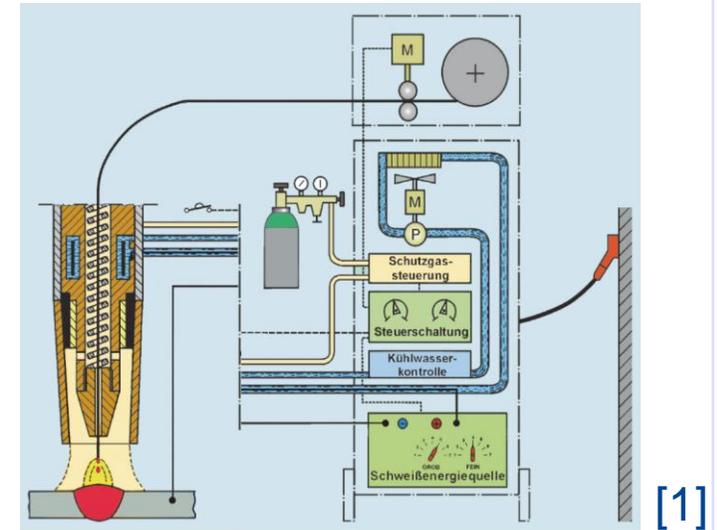
Schweißstromstärke I: 80-300 A
 Schweißspannung U: ca. 12-19 V (gemessen)
 Elektrodenabstand E_A : 2,4 mm fest; 2,0-5,1 mm
 Frequenz f: 50 / 100 Hz bei AC

b) Metallschutzgasschweißen (MAG / MIG)

- Lichtbogen brennt zwischen einer kontinuierlich zugeführten, abschmelzenden Drahtelektrode und dem Grundwerkstoff
- MAG: Verwendung von aktiven Gasen wie CO_2 , Argon- CO_2 -Gemische, Argon- O_2 -Gemische oder Mehrkomponentengase
- MIG: Verwendung von inerten Schutzgasen wie Argon, Helium und Ar/He-Gemische
- durch Charakteristik der Schutzgase und eingestellten Schweißparametern können unterschiedliche Werkstoffübergänge und Lichtbogenarten erzielt werden

Typische Lichtbogenarten: Kurzlichtbogen, Sprühlichtbogen, Impulslichtbogen

Einsatzgebiete: weit verbreitetes Schmelzschweißverfahren
 Stähle und Nichteisenmetalle von 0,6 – ca. 100 mm
 Stahlbau, Fahrzeugbau, Maschinenbau, Apparatebau, Behälterbau,
 Brückenbau, Kranbau



4. Verfahrenserläuterung und Prozessparameter

verwendete Stromquellentechnik und Hilfsstoffe

Stromquelle	EWM alpha Q 551		
Elektrodentyp	G3Si1 (1.5125)	G 19 9 L Si (1.4316)	AlMg4,5MnZr (3.3546)
Elektroden-Ø	1,2 mm		
Schutzgas	ISO 14175- M21- ArC-18 (82% Argon / 18% CO ₂)	ISO 14175- M12- ArC-2 (98% Argon / 2% CO ₂)	1) ISO 14175- I1-Ar (100% Argon) 2) ISO 1475- I3-ArHe-30 (70% Argon / 30% Helium)
Schutzgasmenge	16 l/min		
K_A [mm]	16		
Werkstoff	S235 (S / P)	CrNi (S / P)	Al (P)

eingestellte Variationsparameter in Abhängigkeit der Versuchsreihe

Schweißstromstärke I: 120-350 A

Pulsstrom I_p: 390-440 A Grundstrom I_G: 30-180 A Pulsfrequenz f_p: 100-280 Hz

Schweißspannung U: ca. 17-33 V (feste Kennlinie und über Korrekturfaktoren)

Prozessvariante: Standard / Puls (S / P)

CMT-Prozess – „Cold Metal Transfer“

- herstellerspezifische Prozessvariante des MSG-Prozesses der Fa. Fronius
- in raschen Intervallen der Schweißdraht entgegen der Förderrichtung gezogen
- durch angepasste Steuerung beinahe stromloser Werkstoffübergang
- kontrollierte, saubere und sehr spritzerfreie Tropfenablösung

verwendete Stromquellentechnik und Hilfsstoffe

Stromquelle	Fronius CMT advanced 4000	
Werkstoff	S235 (S / P)	Al (P)

- Hilfstoffe und Randbedingungen identisch zu MAG / MIG - Schweißen

eingestellte Variationsparameter in Abhängigkeit der Versuchsreihe

Schweißstromstärke I: 60-260 A

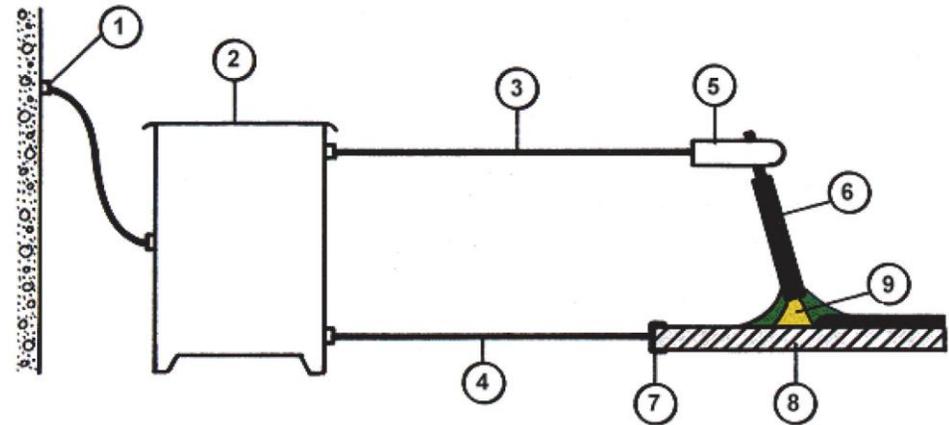
Pulsstrom I_p : 450-475 A Grundstrom I_G : 20-230 A Pulsfrequenz f_p : 75-240 Hz

Schweißspannung U: ca. 17-30 V (feste Kennlinie; gemessen)

4. Verfahrenserläuterung und Prozessparameter

c) Lichtbogenhandschweißen

- Lichtbogen brennt zwischen einer umhüllten abschmelzenden Stabelektrode und dem Grundwerkstoff
- Lichtbogen durch sich bildendes Schutzgas und Schlacke geschützt
- Elektroden bestehen aus Kernstab und mineralischer Umhüllung
- rutil: hervorragende Schweißeigenschaften, viele Anwendungsbereiche
- basisch: hohe Kerbschlagarbeit, hohe Rissicherheit



[1]

Vorteile: vielseitige Anwendungsmöglichkeiten, alle Arbeitspositionen möglich

Nachteil: niedrige Abschmelzleistung; Nahtqualität hängt von Handfertigung ab

4. Verfahrenserläuterung und Prozessparameter

verwendete Stromquellentechnik und Hilfsstoffe

Stromquelle	EWM alpha Q 551			
Elektrodentyp	RR – dickumhüllte rutile Stabelektrode			
Elektrodenbez.	ISO 2560-A – E 51 3 RR 22	ISO 2560-A – E 42 0 RR 12	ISO 2560-A – E 42 0 RR 12	ISO 2560-A – E 51 2 RR 22
Elektroden-Ø	2,5 mm	3,2 mm	4,0 mm	5,0 mm
Elektrodenpolung	DC (-)			
Elektrodentyp	B – basisch umhüllte Stabelektrode			
Elektrodenbez.	ISO 2560-A – E 42 2 B 42 H10	ISO 2560-A – E 42 5 B 32 H5	ISO 2560-A – E 42 2 B 42 H10	ISO 2560-A – E 51 4 B 16
Elektroden-Ø	2,5 mm	3,2 mm	4,0 mm	5,0 mm
Elektrodenpolung	DC (+)			
Werkstoff	S235			

eingestellte Variationsparameter in Abhängigkeit der Versuchsreihe

Schweißstromstärke I: RR: 80-240 A

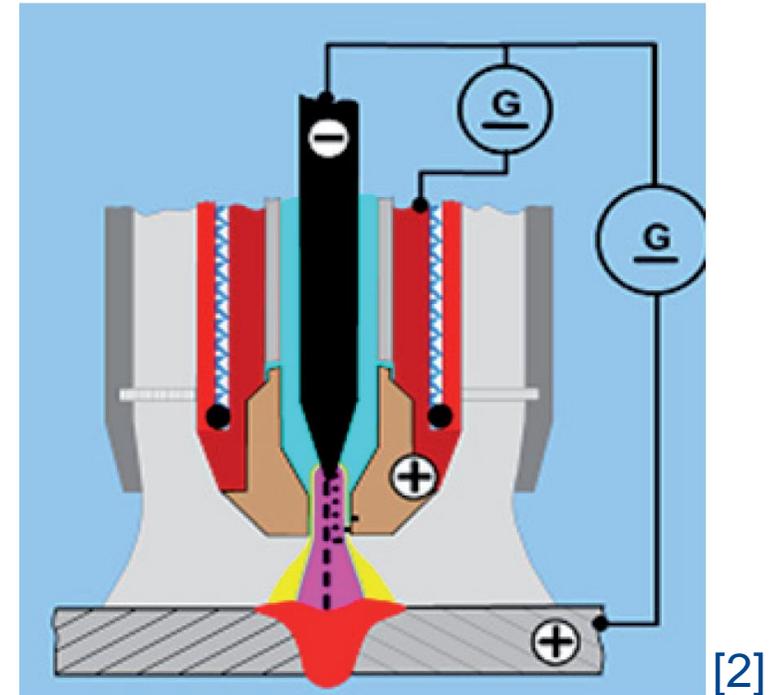
B: 70-280 A

Schweißspannung U: ca. 25-37 V (sehr schwankend, da handgeführt)

d) Plasma-Pulver-Auftragschweißen

- Lichtbogen brennt nicht frei, sondern durch wassergekühlte Kupferdüse eingeschnürt
- dadurch erhöhte Leistungsdichte
- zwei getrennte Lichtbögen
- Lichtbogen 1: zwischen Wolframelektrode und gekühlter Kupferdüse
- Lichtbogen 2: zwischen Wolframelektrode und Werkstück
- Ziel: kleiner Aufmischungsgrad $< 5\%$

Einsatzgebiete: Auftragschweißen von verschleiß- und korrosionsbeständigen Schichten, hohe Anwendungsbreite in vielen Branchen
z.B. Kies- und Zementindustrie, Tagebauindustrie, Behälterbeschichtungen,



[2]

4. Verfahrenserläuterung und Prozessparameter

verwendete Stromquellentechnik und Hilfsstoffe

Stromquelle	Castolin Eutronic GAP3002
Elektrodentyp	WC-20 (2% Ceroxid)
Elektroden-Ø	4,0 mm
Pilotgas	ISO 14175 – I1 – Ar (100% Argon); 2,3 l/min
Pulverfördergas	ISO 14175 – R1 – ArH – 5 (95% Argon / 5% H ₂); 3,0 l/min
Schutzgas	ISO 14175 – R1 – ArH – 5 (95% Argon / 5% H ₂); 13 l/min
Schweißpulver	UTP PLASweld FerroV15 (FeCrV)
Werkstoff	S235

eingestellte Variationsparameter in Abhängigkeit der Versuchsreihe

Schweißstromstärke I: 80-200 A
 Schweißspannung U: 27-37 V (gemessen)
 Stromart: DC (-)

e) Laserschweißen

1) Festkörperlaser

- aktives Medium: gezüchteter Einkristall, in dessen Kristallgitter Fremdatome eingelagert sind (Chrom oder Neodym)
- laseraktives Medium meist in Stabform zwischen zwei Resonatorspiegeln angeordnet
- eingesetzter Faserlaser ist spezielle Form des Festkörperlaser
- aktives Medium durch Glasfaser gebildet und über Pumpdioden wird Energie zugeführt
- als Dopingelement für den aktiven Laserkern ist Ytterbium eingesetzt

verwendete Anlagentechnik und Hilfsstoffe

Laserquelle	Faserlaser YLS 12000 (Fa. IPG)
max. Leistung	P=12 kW
Werkstoffe	S235, CrNi, Al

eingestellte Variationsparameter in Abhängigkeit der Versuchsreihe

Laserleistung P: 1-12 kW Schweißgeschwindigkeit v_S : 184-236 cm/min

Fokuslage: 0 Fokus-Ø: 0,4 mm

4. Verfahrenserläuterung und Prozessparameter

2) CO₂-Laser

- aktive Komponente besteht aus CO₂-Molekülen
- Resonator zwischen 2 Spiegeln angeordnet und enthält Gasgemisch aus CO₂, N₂ und He (Verhältnis 1:2:10)
- durch Anlegen einer Spannung wird eine Niederdruck-Gasentladung gezündet
- hauptsächliche Energieübertragung erfolgt durch Elektronenstöße auf die Stickstoffmoleküle -> diese regen CO₂-Moleküle
- Heliumkühlt das Gemisch aufgrund seiner hohen Wärmeleitfähigkeit -> stabiler Prozess

verwendete Anlagentechnik und Hilfsstoffe

Laserquelle	CO ₂ -Laser RS DC 035 (Fa. ROFIN)
max. Leistung	P=3,5 kW
Werkstoffe	S235, CrNi

eingestellte Variationsparameter in Abhängigkeit der Versuchsreihe

Laserleistung P: 1-3,5 kW

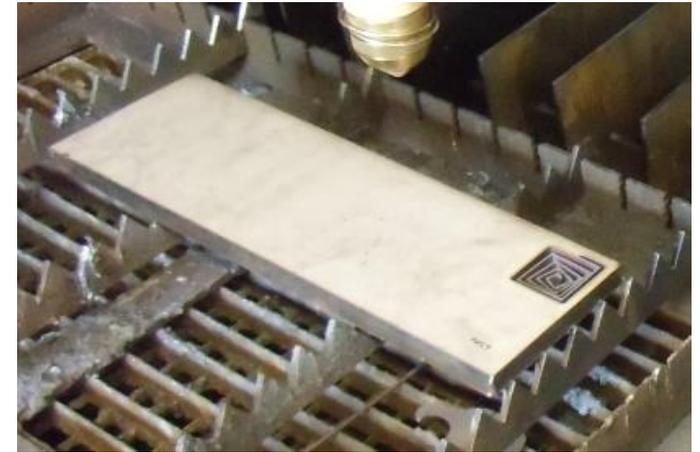
Schweißgeschwindigkeit v_S: 50 cm/min

Fokuslage: 0

Wellenlänge: 10,6 μm

f) Plasmaschneiden

- Lichtbogen durch wassergekühlte Düse stark eingeschnürt
- Energiedichte und Temperatur damit deutlich erhöht
- überlagerte Gasströmung im Düsenkanal bringt zusätzlich kinetische Energie



angewendete Verfahrensvariante: direktes Plasmaschneiden

- Plasmagas am Prozessanfang zugeschaltet und strömt durch Brenner
- mittels Hochspannung energiearmer Pilotlichtbogen zwischen Elektrode und Plasmaschneiddüse gezündet -> Gasstrecke teilweise zu ionisieren
- bei Einschaltung der Spannung zwischen Elektrode und Werkstück kann Hauptlichtbogen gezündet werden -> eigentlicher Schneidlichtbogen
- Plasmaschneidstrahl schmilzt Werkstück auf (10.000 bis 50.000 °C)
- kinetische Energie des Plasmagases treibt schmelzflüssiges Material aus Schnittfuge
- quadratischer Spiralschnitt um im Messfeld zu bleiben

4. Verfahrenserläuterung und Prozessparameter

Einsatzgebiete:

- ursprünglich für nicht brennschneidgeeignete Werkstoffe gedacht, wie hoch legierter Stahl, Aluminium und Kupfer
- heutzutage können diverse metallische Werkstoffe geschnitten werden, wie auch nicht leitende Materialien

verwendete Stromquellentechnik und Hilfsstoffe

Stromquelle	High Focus 440i (Fa. Kjellberg)
Schneidsystem	Messer Cutting System
Schneidgas	ISO 14175 – R2 – ArH
Schneidgasmenge	automatisch gesteuert
Wirbelgas	ISO 14175 – N1 – N
Werkstoff	CrNi (t=20 mm)

eingestellte Variationsparameter in Abhängigkeit der Versuchsreihe

Stromstärke I: 160-400 A

Schneidhöhe h: 4,5 / 6,0 mm

- [1] SFM / IWS Lehrgangunterlagen, DVS e.V. 2018
- [2] SFI /IWE Lehrgangunterlagen, DVS e.V. 2018

Vielen Dank für Ihre

Aufmerksamkeit!