

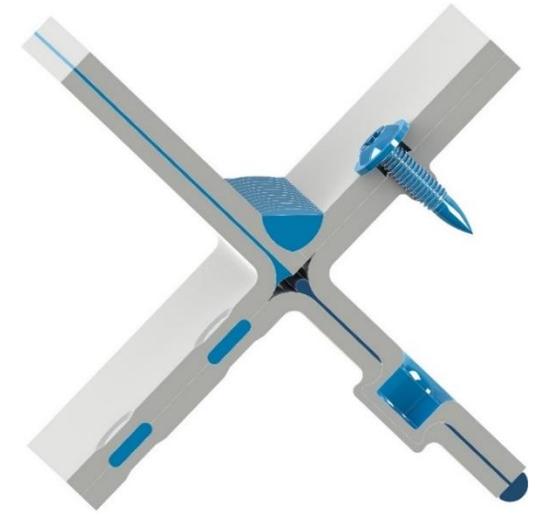
Marcus Trautmann, Uwe Füssel
TU Dresden, Institut für Fertigungstechnik, Professur für Fügetechnik und Montage
Arbeitsgruppe Lichtbogenprozesse

Einfluss der Schutzgaszusammensetzung auf die Schweißrauchentstehung bei Schutzgasschweißverfahren

Kolloquium Schweißrauche
29.10.2020

Professur für Fügetechnik und Montage

- Forschung und Lehre in den Bereichen
 - Thermisches Fügen (Lichtbogenschweißen, Widerstandsschweißen + Löten)
 - Kleben
 - Umformtechnisches und mechanisches Fügen sowie Hybridfügen
 - Ganzheitliche Planung von Montage-, Handhabungs- und Fügeprozessen
- 25 wissenschaftliche MitarbeiterInnen, 7 technische und kaufmännische MitarbeiterInnen

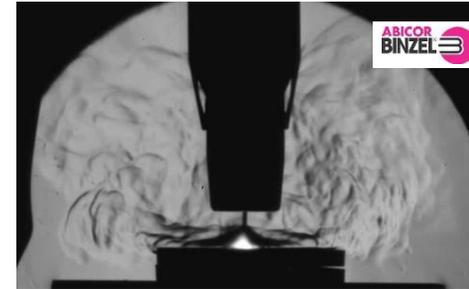


Arbeitsgruppe Lichtbogenprozesse

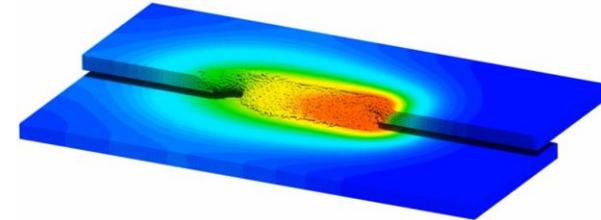
Arbeitsschutz, Prozesssimulation, Verfahrensentwicklung

- Analyse und Weiterentwicklung von Lichtbogenprozessen (z.B. WIG, WIG-Heißdraht, Plasma, MSG, Bolzenschweißen)
- Entwicklung und Anwendung unterschiedlicher Prozessdiagnostiken (z.B. Staudruck, Wärmestromdichte, Schutzgasqualität, Absaugbrenner)
- Prozesssimulation (z.B. Lichtbogenprozess, Schmelzbad, Rauchausbreitung)
- Brenner- und Verfahrensentwicklung (z.B. Konzeptionierung von Schleppgasdüsen, Entwicklung emissionsreduzierter Schweißprozesse)

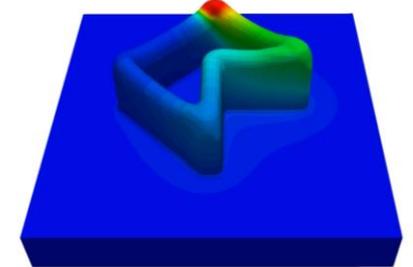
Diagnostik der Prozessgasströmung



Simulation des Schmelzvorgangs



Additive Fertigung mittels Lichtbogen



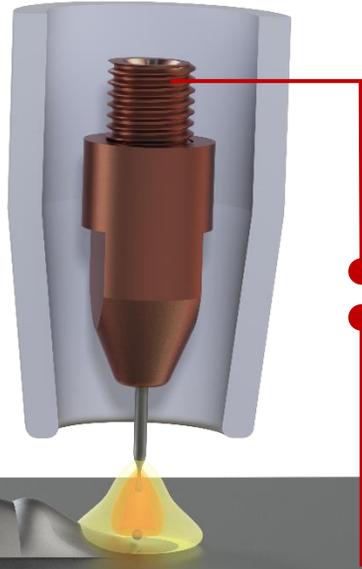
Einführung

Gefahren und Grenzwerte

Lichtbogenschweißen – Gefahren für die Umgebung

MSG-Schweißen

Mensch / Umwelt



Wirkt auf



Abicor Binzel

Emission von

- Rauch
- Strahlung
- Schall

Immission auf Werker/Umwelt

- Lungenschädigende/krebserregende Stoffe
- Schädigung von Haut und Augen
- Hörschädigung

Lichtbogenschweißen – Problemstellung Grenzwerte

Motivation

Beim MSG-Schweißen entstehen Schweißrauche, die eine erhebliche Belastung für Schweißer und Bediener darstellen.

- Grenzwerte für Konzentration am Arbeitsplatz festgelegt in TRGS900 Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW)
- AGW: Einatembare Fraktion (E-Rauch): **10 mg/m³**
Alveolengängige Fraktion (A-Rauch, < 10 µm): **1,25 mg/m³** (seit 2014, davor 3 mg/m³)

Gefahr des Schweißrauches wird nach heutigem Stand in Abhängigkeit von der Schweißrauchzusammensetzung beurteilt.

- Festlegung stoffspezifischer Grenzwerte in Abhängigkeit des Gefährdungspotentials:
 - ⇒ Nickel **6 µg/m³**
 - ⇒ Mangan **20 µg/m³ (A), 200 µg/m³ (E)**
 - ⇒ Chrom(VI) **1 µg/m³** (Nachweisgrenze)

→ Emissionsraten müssen reduziert werden.

→ Anteil toxischer und kanzerogener Stoffe im Schweißrauchen muss minimiert werden.



Abicor Binzel

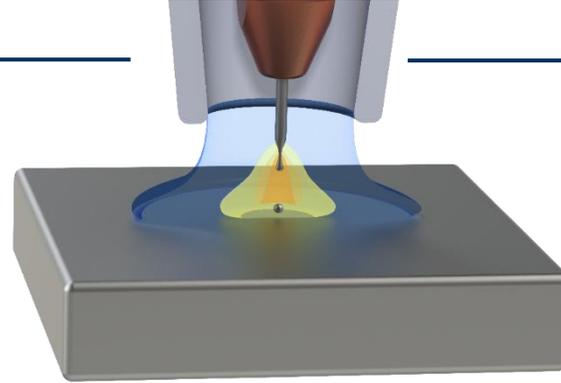
Einführung

Entstehung von Schweißrauch

Schweißrauchentstehung

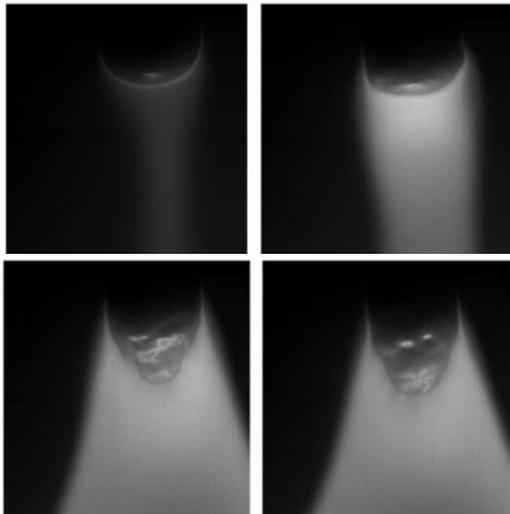
Verdampfung

- Extremer Energieeintrag in die Drahtspitze durch den Stromfluss
- Überhitzung (Kochen!) der flüssigen Drahtspitze
- Verdampfung von Metall, bildet später feine Oxidpartikel

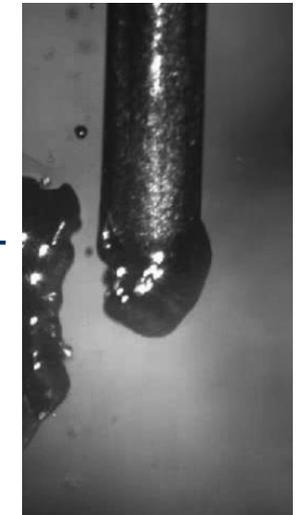


Spritzer

- Unsaubere Tropfenablösung durch Kräfte am Tropfen
- Extrem hoher Strom in der Schmelzbrücke bei Kurzschluss → explosionsartiges Aufreißen
- Herausschleudern von Tröpfchen



Einfluss des Schutzgases auf die Entstehungsmechanismen?



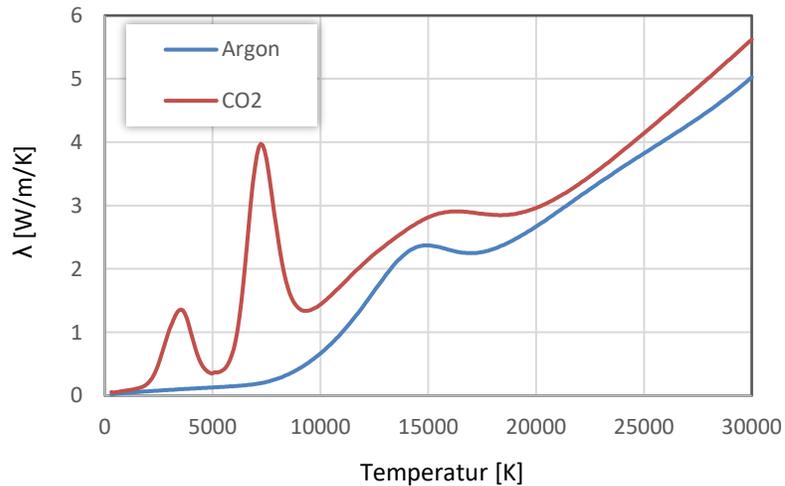
Einfluss von CO₂ im Schutzgas

Einfluss von CO₂ im Schutzgas

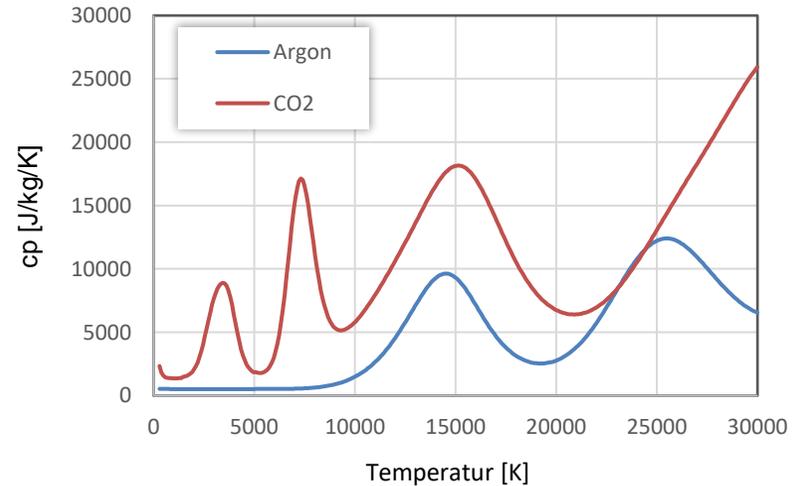
Materialeigenschaften der Schutzgase

- Argon und CO₂ mit ähnlicher Atom- bzw. Molekülmasse und Dichte
- Argon als Inertgas, CO₂ als Molekül
 - Große Unterschiede der thermischen Leitfähigkeit und Wärmekapazität

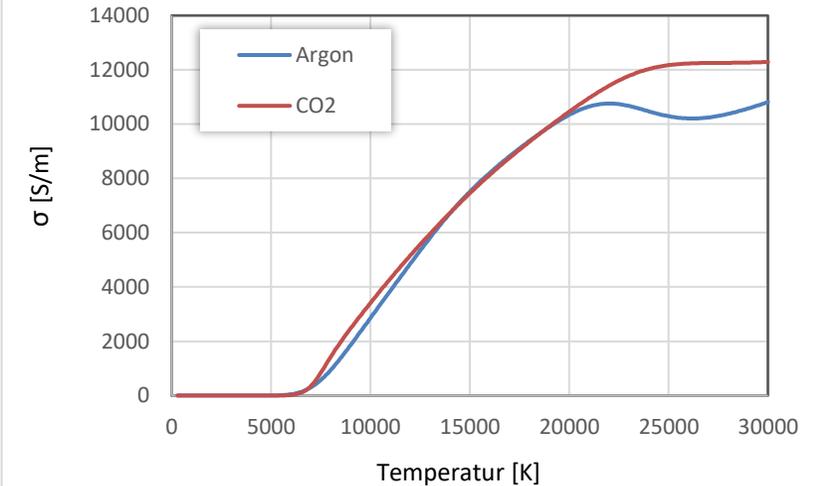
Wärmeleitfähigkeit



Spez. Wärmekapazität



Elektrische Leitfähigkeit



- Ähnliche elektrische Leitfähigkeit, leitfähiges Plasma ab ca. 8000 K
- Einfluss der Eigenschaften auf beide Mechanismen Verdampfung und Kurzschluss möglich

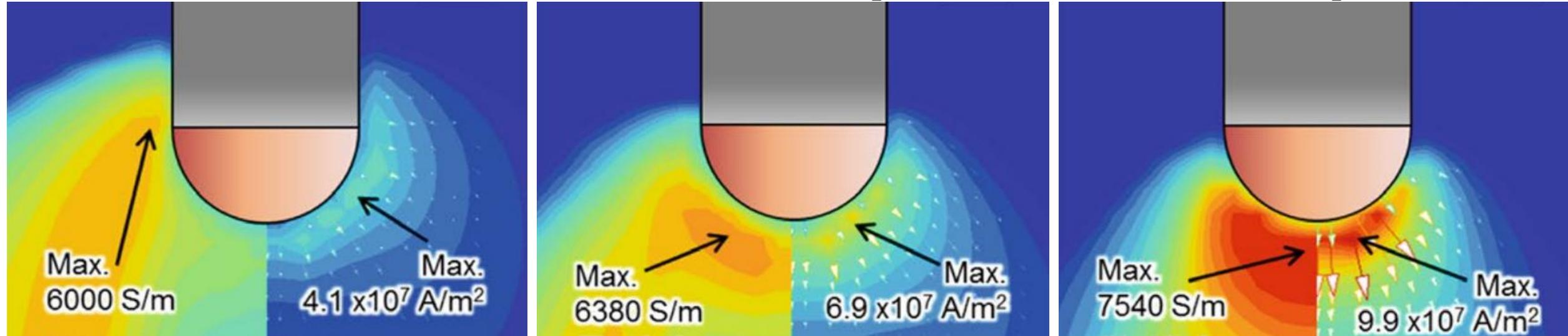
Einfluss von CO₂ im Schutzgas

Einfluss auf die Rauchbildung durch Verdampfung

Ar

Ar + 20 % CO₂

CO₂

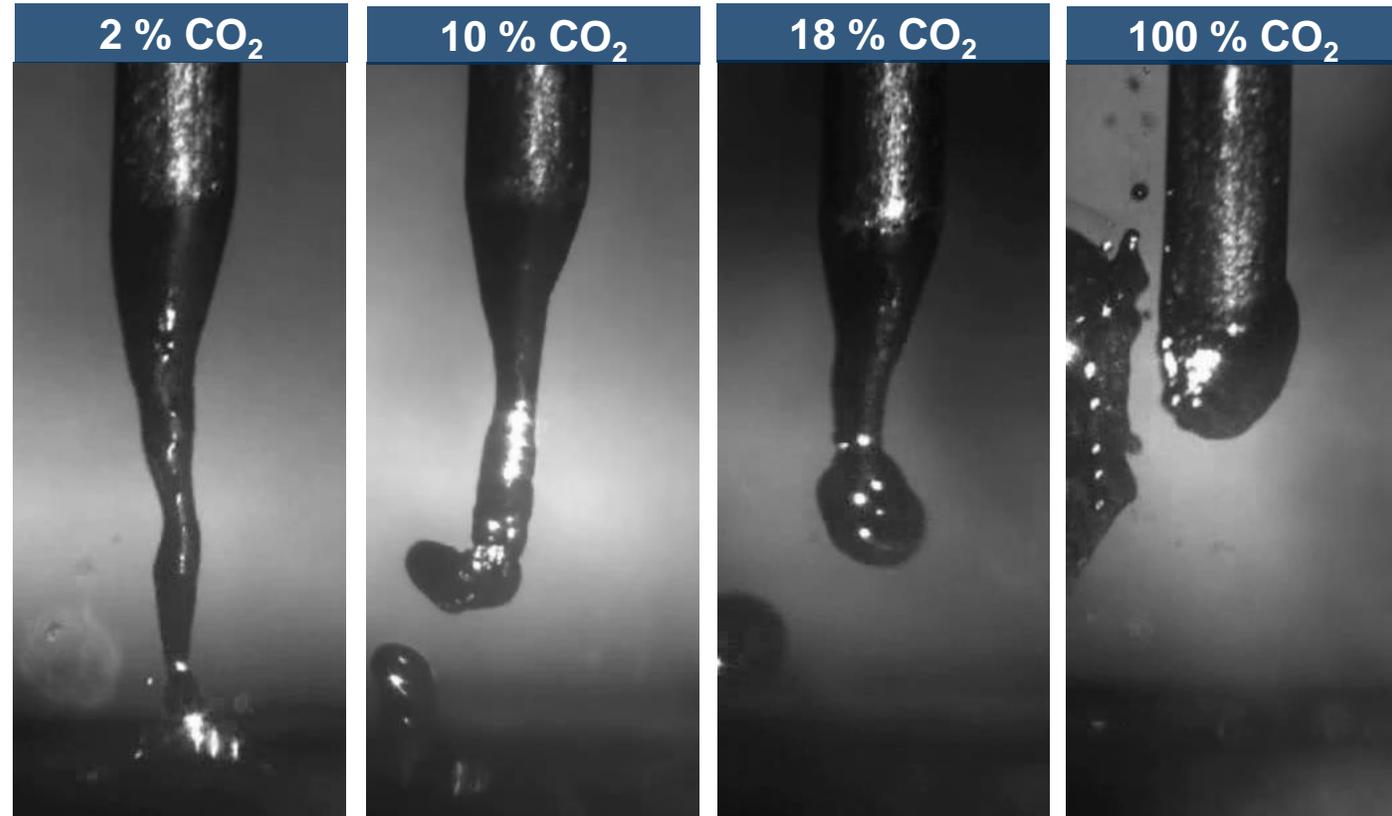
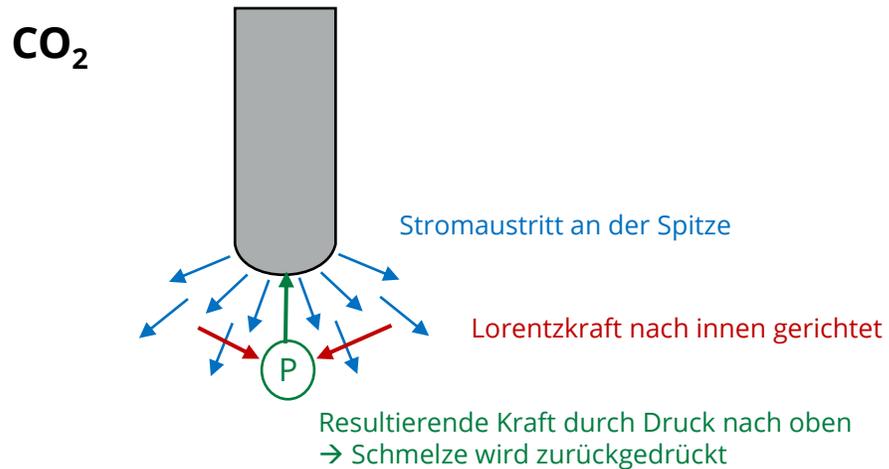
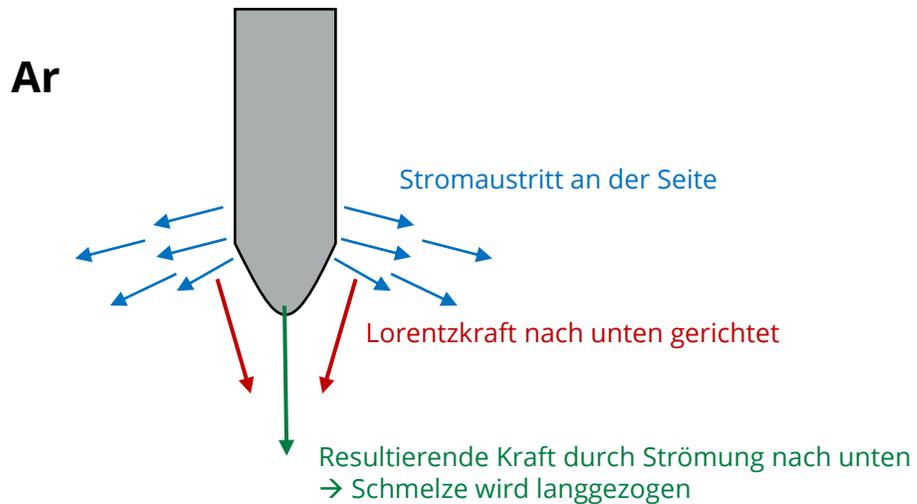


Elektrische Leitfähigkeit (jeweils links) und Stromdichte (jeweils rechts) an der Drahtspitze im MSG-Lichtbogen (Ogino [2])

- Eisendampf an der Spitze kühlt den Lichtbogenkern → Lichtbonge „wandert“ weg von der Drahtspitze.
- Hohe Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität fokussiert den Lichtbogenansatz
 - Mit steigendem CO₂-Gehalt verbleibt der Lichtbogen an der Drahtspitze
 - Deutliche Steigerung des lokalen Energieeintrags an der Drahtspitze → erhöhte Verdampfung

Einfluss von CO₂ im Schutzgas

Einfluss auf die Rauchbildung durch Spritzer



- Kurzschlussanfälligkeit nimmt mit steigendem CO₂-Anteil zunächst ab und danach wieder zu
 - Grenze hängt von Parametern ab (Werkstoff, Drahtvorschub, Spannung, etc.)

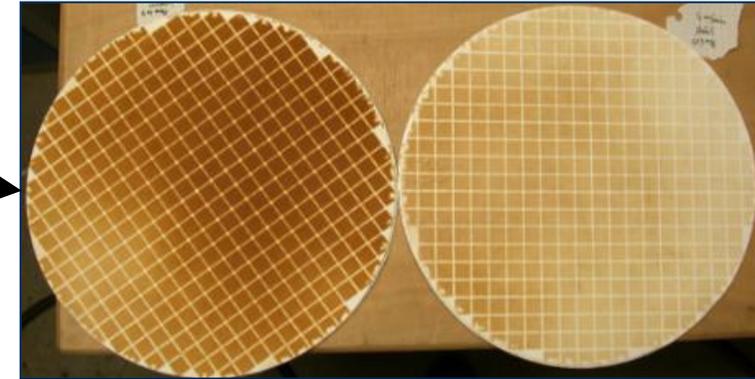
Einfluss von CO₂ im Schutzgas

Messung der Gesamtemission unter Laborbedingungen

Messung des insgesamt emittierten Rauchs in einer bestimmten Zeit.
Keine Unterscheidung zwischen A- und E-Rauch



Erfassung des Rauchs in einem Filter
Gravimetrische Messung der Emission

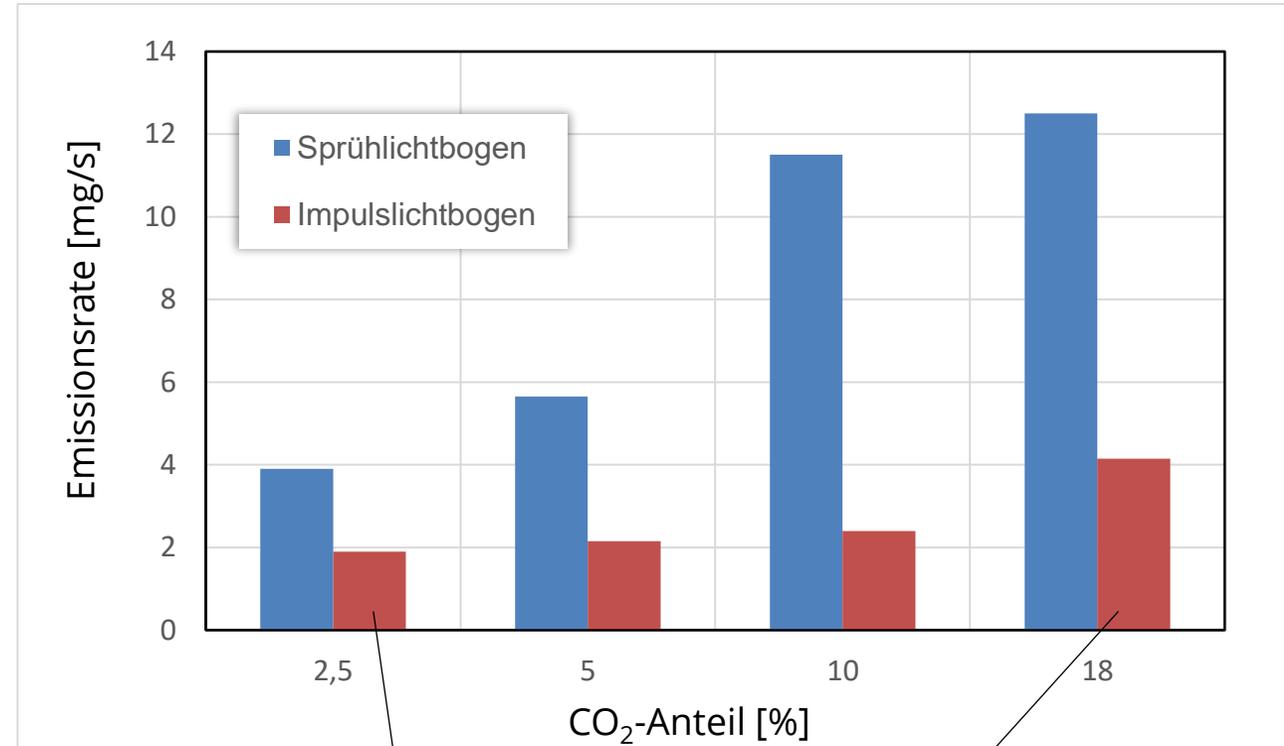


Brenner in Absaughaube mit starker
Absaugung (ca. 300 m³/h)
→ Erfassung der gesamten Emission
aus dem Prozess

Einfluss von CO₂ im Schutzgas

Messung der Gesamtemission unter Laborbedingungen - Ergebnisse

- Konstante Laborbedingungen:
 - Kontaktrabstand: 18 mm
 - Schutzgasmenge: 18 l/min
 - Spannungskorrektur: +5V
 - Drahtvorschub
 - Sprühlichtbogen: 10 m/min
 - Impulslichtbogen: 6 m/min
- Deutliche Reduzierung durch Verringerung des CO₂-Anteils im Schutzgas
 - Bis zu 70 % mit Sprühlichtbogen
 - Bis zu 50 % mit Impulslichtbogen
- Grenzwert für Chrom sehr gering → bei hochlegierten Stählen weitere Reduzierung notwendig



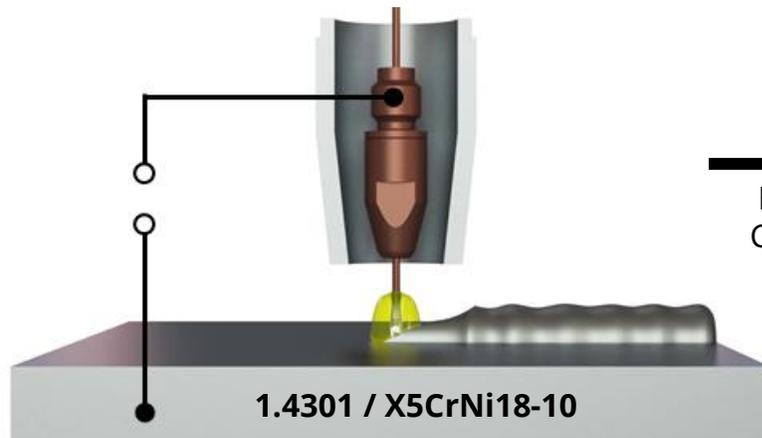
Weitere Ansätze zur Rauchgasreduzierung

Weitere Ansätze zur Rauchgasreduzierung

- Weitere Gaszusammensetzungen möglich
 - Interessante Einflüsse auf die Produktivität durch O_2 , He, H_2 [1] → Einfluss auf Rauch?
- Energiereduzierte Verfahren
 - Intelligente Regelung von Drahtvorschub und/oder Strom (Beispiel CMT, ColdArc etc.)
 - Einfluss vor allem auf die Emission durch Kurzschlüsse, Einfluss auf E- und A-Rauch bisher unbekannt
- MSG-Prozess + Heißdraht [3]
 - Verdampfung entsteht durch Lichtbogen am Tropfen!

Konventioneller MSG-Prozess

Bis zu 20% Cr-Oxid
Bis zu 10% Ni-Oxid

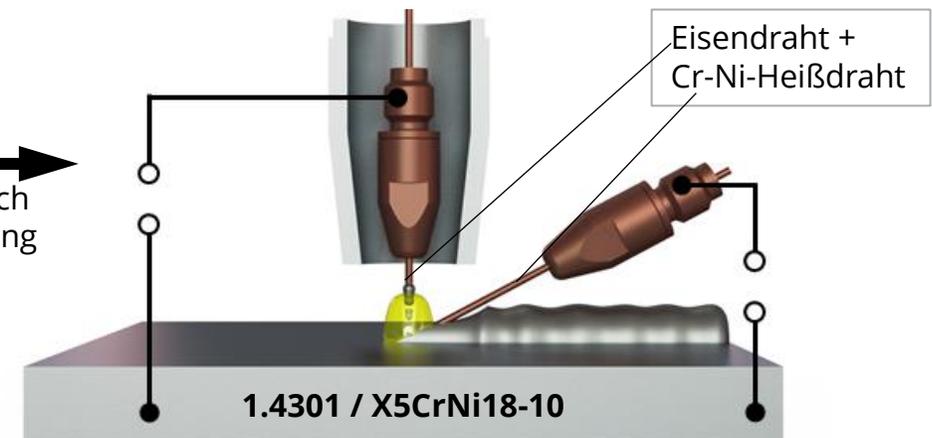


Neuer Ansatz

Eisen-MSG-Draht → Eisenoxidrauch
Cr-Ni-Heißdraht, keine Verdampfung

Heißdraht - MSG-Prozess

<1% Cr-Oxid
<1% Ni-Oxid



Fazit

Fazit

- Zusammensetzung der Schutzgase mit komplexem Einfluss auf die Rauchemission
 - Geringe Zumischungen von CO₂ in Argon verbessern die Kurzschlussanfälligkeit
 - Höhere Zumischungen erhöhen die Kurzschlussanfälligkeit und Verdampfung am Draht durch die Konzentration des Lichtbogens an der Drahtspitze
 - Achtung: Einstellung der Prozessparameter nach Änderung der Schutzgase notwendig
 - **Großes Potential** zur Reduzierung der Emission am Entstehungsort (50% bis 70% Reduzierung)
 - Eingriff am **Entstehungsort** der Emission, bevor sie zur Immission wird (STOP-Prinzip)!
 - Verbesserung unter Nutzung der bestehenden Anlagen, keine Investition notwendig!
- Weitere Mischgase mit Zusätzen von Sauerstoff, Helium oder Wasserstoff denkbar (aktuelle Skizze von ISF bei DVS)).
- Weiteres Potential in Verbindung mit modernen Verfahren (Energiereduzierte Verfahren, Cr-Ni - Heißdraht)

Literatur

- [1] Füssel, U.: *Steigerung der Wirtschaftlichkeit der MSG-Schweißprozesse durch konsequente Nutzung der Potentiale von Schutzgasen*. Schlussbericht IGF-Vorhaben 14.431B, Technische Universität Dresden, 2014
- [2] Ogino, Y.; Hirata, Y.; Asai, S.: *Discussion of the Effect of Shielding Gas and Conductivity of Vapor Core on Metal Transfer Phenomena in Gas Metal Arc Welding by Numerical Simulation*. Plasma Chemistry and Plasma Processing 40:1109–1126, 2020
- [3] Füssel, U.: *Emissionsarmes MSG-Heißdrahtschweißen - Reduzierung gefährlicher Schweißbrauche durch die partielle Trennung von Lichtbogen und Zusatzwerkstoff*. Schlussbericht IGF-Vorhaben 18.179 B, Technische Universität Dresden, 2016