

## Gasdynamische Komponenten für die Lasermaterialbearbeitung

Im Fokus

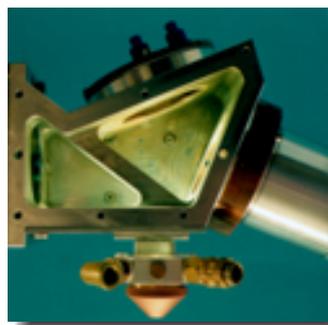
Am Institut für Strahlwerkzeuge der Universität Stuttgart werden seit dessen Bestehen gasdynamische Komponenten für verschiedene Bereiche der Lasermaterialbearbeitung untersucht und entwickelt. Hierzu gehören u. a. Düsen für das Laserstrahlschneiden und -schweißen. Jüngste Forschungsprojekte hatten zum Ziel, auf die gestiegenen, neuen Anforderungen in der Lasermaterialbearbeitung einzugehen. Im folgenden werden Konzepte vorgestellt, die nach Erreichen eines entsprechenden Standes industriell umgesetzt werden bzw. bereits heute schon kommerziell verfügbar sind.

### Generelle Entwicklungsziele

Ausgehend von der ständigen Anforderung, die Produktivität der Laserfertigungsverfahren weiter zu steigern, werden nicht nur neue Strahlquellen entwickelt und Fertigungsprozesse weiter optimiert, sondern es muß einhergehend auch die laserspezifische Peripherie und Systemtechnik verbessert werden. Noch ungenutzte Potentiale lassen sich im Bereich des Laserstrahlschneidens und -schweißens in erster Linie durch höhere Vorschubgeschwindigkeiten erschließen. Die Voraussetzungen hierzu sind inzwischen seitens der Laserstrahlquellen gegeben, als gute Strahlqualitäten bei hohen Leistungen ( $> 3$  kW) verfügbar sind. Anlagenseitig wird insbesondere eine noch höhere Maschinendynamik verlangt. An zielführenden Aspekten werden neben neuen Antriebs- und Maschinenkonzepten Leichtbaumaßnahmen für das gesamte System verfolgt. In der konsequenten Umsetzung dieses Konzeptes ist letztendlich jede einzelne Komponente betroffen, einschließlich der Bearbeitungsköpfe und der darin zu integrierenden gasdynamischen Komponenten. Mithieser Zielvorgabe wurde am IFSW ein Leichtbaubearbeitungskopf für  $\text{CO}_2$ -Laser entwickelt. Dieser in Gitterstruktur konzipierte Kopf wiegt inklusive Spiegeln

(getestete Strahlfestigkeit  $> P_L = 10$  kW) nur noch 1,8 kg. Zum Vergleich wiegen derzeit am Markt verfügbare Köpfe zwischen 4 bis 8 kg. Da keine transmissiven Elemente (ZnSe-Linsen oder Fenster) verwendet werden, wird leistungsunbegrenzte Schneiden und Schweißen ermöglicht.

Das realisierte Konzept erlaubt die modulare Ausgestaltung des Bearbeitungskopfes mit einer Reihe von



Leichtbaubearbeitungskopf in Ausführung mit adaptiven Spiegel zur Online-Anpassung der Brennweite.

diagnostischen und strahlformenden Elementen. Auf diese Weise kann der Anwender sich einen den Anforderungen der jeweiligen Aufgabe optimal entsprechenden Bearbeitungskopf gestalten. Diese Kurzdarstellung beschränkt sich auf die Diskussion einiger gasdynamischer Komponenten für das Schneiden und Schweißen. Sie

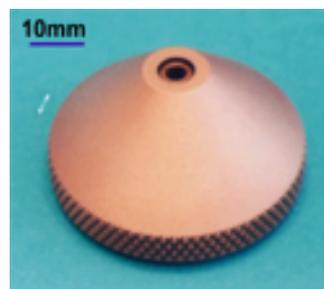
mögen für Anwender insofern von Interesse sein, als sie auch zusammen mit zahlreichen heute kommerziell erhältlichen Bearbeitungsköpfen genutzt werden können.

### Leichtbaubearbeitungskopf

- Leichtbaugitterstruktur: hohe Maschinendynamik
- kein transmissives Element: große Leistungen ( $> 10$  kW) möglich
- Modularer Aufbau: Leistungsmessung, Autofokussensor, Adaptiver Spiegel, Strahlagevermessung, Korrekturspiegel für laterale Strahlage
- Düsen für Schneiden und Schweißen erprobt

### Ringstrahl-Lavaldüse

Für Schneidanwendungen mit hohen Leistungen und/oder hohen Gasdrücken ist eine Düse mit externem Druckaufbau notwendig. In einer solchen tritt der Laserstrahl nicht mehr gemeinsam mit dem Gasstrahl durch eine Düsenbohrung aus, wie das bei Bearbeitungsköpfen mit Linse realisiert wird - der Gasstrahl wird off-axis erzeugt. Das wirksamste Konzept ist eine Lavaldüse, in welcher der Gasstrahl auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt

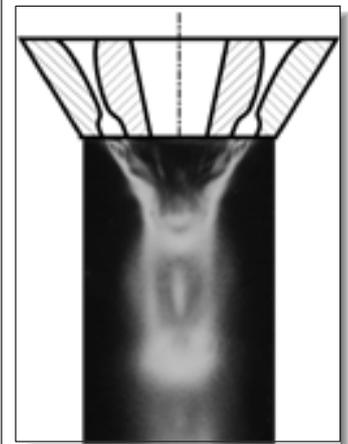


Ringstrahl-Lavaldüse, Auslegungsdruck  $p = 1$  MPa.

wird und einen größeren Abstand zum Werkstück überbrücken kann. Auf diesen Überlegungen basierend wurde bereits vor einigen Jahren eine Zweistrahl-

Lavaldüse entwickelt.

Damit Richtungsabhängigkeiten beim Schneiden vermieden und abstandstolerante symmetrische Druckverteilungen realisiert werden können, bietet sich statt einzelner konzentrisch um den Laserstrahl herum angeordneter Düsen die Gestaltung der Strömung durch einen Ringspalt an. Eine

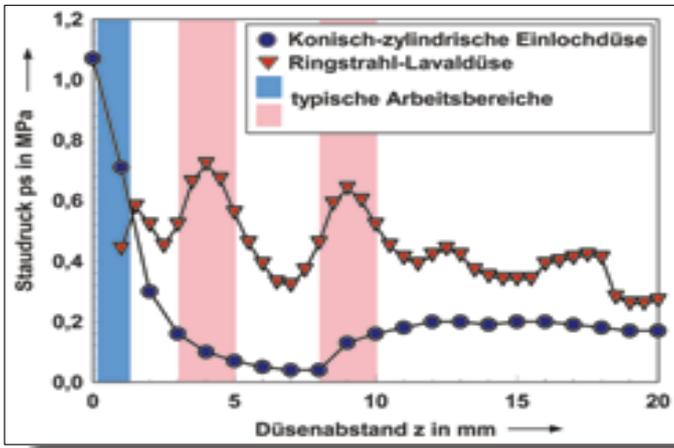


Schlierenphotografie des Gasfreistrahes einer Ringstrahl-Lavaldüse.

solche Ringstrahl-Lavaldüse wurde für  $p_a = 1,0$  MPa ausgelegt. Einen Schnitt durch diese Düse zusammen mit einer Schlierenaufnahme des damit erzeugten Gasstrahls zeigt obige Abbildung. Der Staudruckverlauf auf einer ebenen Platte als Funktion des Düsenabstandes ist zum Vergleich mit einer konisch-zylindrischen Düse aufgetragen. Die charakteristischen Eigenschaften beider Düsenkonzepte sind klar ersichtlich: Die beste Druckausnutzung kann mit der konisch-zylindrischen Düse erreicht werden, jedoch nur für einen sehr geringen Abstand von ca. 0,2-1,5 mm, weil danach der Staudruck unter nutzbare Werte absinkt. Die Ringstrahl-Lavaldüse dagegen weist den höchsten

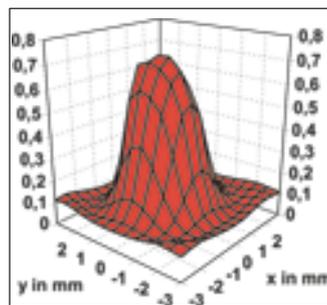
Staudruck bei Arbeitsabständen von 4-6 und 8-10 mm auf. Zusammen mit dem relativ breiten Druckprofil ergibt sich ein großes Einsatzspektrum und eine gute Zugänglichkeit, insbesondere bei räumlich kritischen Applikationen.

fallender Druck-gradient. Das erste Maximum des Staudrucks liegt etwa beim Vereinigungspunkt des Kegelstrahles. Schmelzschnittexperimente an Edelstahl (X5 CrNi 1810) der Blechstärken 3, 5 und 8



Staudruckverlauf über Düsenabstand zum Werkstück bei gleichem Vorkammerdruck.

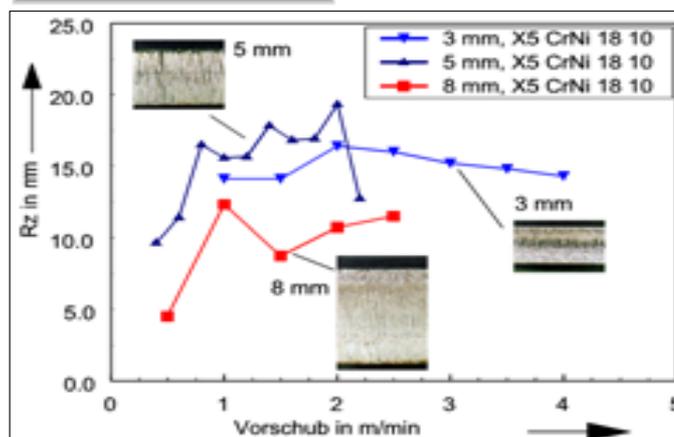
Der Wechsel von Druckmaxima und-minimalabläßt sich anhand des dargestellten Gasfreistrahls nachvollziehen: hellen Bereichen entspricht ein Druckanstieg, dunklen ein



Staudruckprofil Ringstrahl-Lavaldüse (Abstand: 4mm)

mm ergaben grat- und oxidfreie Fugenflanken. Die Rauigkeitswerte liegen im Bereich der Schnitte mit konventionellen Düsen (typisch  $R_z=4-40\mu\text{m}$ ) und darunter.

- Ringstrahl-Lavaldüse**
- kein transmissives Element, da externer Druckaufbau
  - leistungsunbegrenzt, Eignung auch für Dickblechschnitte
  - Arbeitsabstand 4-6 mm oder 8-10 mm
  - höhere Abstandstoleranz  $\pm 1$  mm
  - richtungsunabhängiges Schneiden
  - Gasverbrauch ( $V=350\text{NL/min}$  bei  $p_f=1\text{MPa}$ ) sehr gering
  - keine Beimischung von Umgebungsluft (oxid- und gratfrei)
  - geringe Rauigkeit der Schnittflanken z. B. Edelstahl  $R_z=10\mu\text{m}$  bei  $d=8\text{mm}$
  - Verwendung vorhandener kapazitiver Abstandssensoren möglich
  - für Schmelzschnitte an Edelstahl (X5 CrNi 1810) bis 8 mm bei  $P_f=3\text{kW}$  erprobt



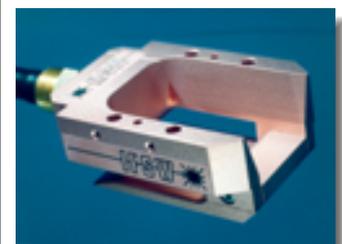
Erzielte Rauigkeitswerte  $R_z$  an den Schnittflanken (DIN2310)

**Querjet**

Beim Laserstrahlschweißen werden Düsen für zwei unterschiedliche Aufgaben benötigt, für die Zufuhr des Schutzgases und den Schutz der Optik. Da die Anforderungen an die jeweiligen Strömungsverhältnisse grundverschieden sind, müssen gesonderte Düsen zum Einsatz kommen.

Die Schutzgaszufuhr richtet sich stark nach der Schweißapplikation und erfolgt meist über einfache Röhren. Diese müssen einen ausreichend großen Volumenstrom bewältigen, damit das entstehende Plasma und das Schmelzbad im erforderlichen Maße beeinflusst werden können. Gekühlte Schutzgasdüsen sind zur Erhöhung der Standzeiten verfügbar.

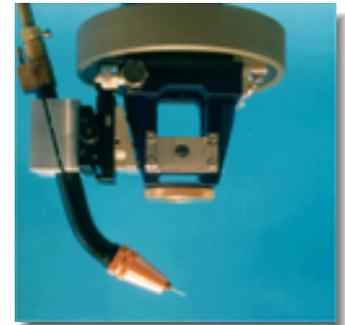
Als Optikschild dient ein Querjet, auch Cross-Jet genannt. Er sorgt dafür, daß heiße Metallspritzer, die beim Schweißprozeß zum Spiegel (oder Linse) im Bearbeitungskopf geschleudert werden, durch einen quer zur optischen Achse strömenden Gasstrahl abgelenkt werden. Damit werden die Standzeiten der Spiegel oder der bei Festkörper-Lasern üblicherweise vor der Linse angebrachten Schutzgläser wesentlich erhöht.



Ausführungsbeispiel des am IFSW entwickelten Querjets

Für die Praxis bestand Entwicklungsbedarf darin, daß übliche Querjetsysteme eine zu geringe Spritzerumlenkrate aufwiesen und zudem das Schutzgas vor Erreichen des eigentlichen Wirkbereiches über dem Schmelzbad durch den Sog des Quergasstrahles absaugten. Der vom IFSW entwickelte Überschall-Querjet ist inzwischen in mehreren

Bauformen auf dem Markt verfügbar. Damit sind auch bestehende Systeme einfach nachrüstbar, wodurch ein weiterer Beitrag zur Kostenreduktion geleistet werden kann.



Integration eines Querjets mit Schutzgaszuführung und Zusatzdraht für Nd:YAG-Laser

Das Funktionsprinzip basiert auf einer ebenen Lavaldüse, die einen Überschallgasstrahl erzeugt, der einen maximalen Impuls auf vorbeifliegende Spritzer überträgt und diese effektiv umlenkt. Die Gestaltung des Schuhs unterhalb der

- Eigenschaften des Querjets:**
- Für den Produktionseinsatz konzipiert und erprobt
  - Integration in bestehende Systeme möglich
  - Bereits für zahlreiche Anwendungen und Vertriebspartner und derenspezifische Anlagen und Einsatzgebiete adaptiert.

Querjetströmung zusammen mit der empfohlenen Druckeinstellung verhindert, daß Prozeßgas aus seinem eigentlichen Wirkbereich über der Schweißnaht abgesaugt wird. Bei richtigem Einsatz lassen sich dauerhafte Fertigungsvorteile hinsichtlich Nahtqualität und Prozeßsicherheit erzielen.

**Institutsadresse:**  
 Institut für Strahlwerkzeuge  
 Pfaffenwaldring 43  
 70569 Stuttgart  
 Tel.: +49 (0)711-6856840  
 Fax: +49 (0)711-6856842

**Kontakt / Redaktion:**  
 Dipl.-Ing. Matthias G Müller  
 FG SW - Forschungsgesellschaft für Strahlwerkzeuge  
 Nobelstr. 15  
 70569 Stuttgart  
 Tel.: +49 (0)711-6874321  
 Fax: +49 (0)711-6856842  
 E-Mail: matthias.mueller@fgsw.uni-stuttgart.de  
<http://www.ifsw.uni-stuttgart.de>