

Gasdynamische Komponenten für die Materialbearbeitung

Die meisten Laser-Materialbearbeitungsprozesse erfordern spezifische Umgebungsbedingungen, die durch Gasart und -druck sowie Strömungsverhältnisse festgelegt werden. Wo immer möglich, werden zur Erzeugung der erforderlichen Verhältnisse Düsen eingesetzt. Die Anforderungen an die Gasführung sind dabei so mannigfaltig wie die Prozesse selbst. Auch der Schutz optischer Komponenten kann bei der Laserstrahlbearbeitung mit angepasster Gasführung durchgeführt werden. Genügt beim Schweißen von Stahl zum Schutz der Optiken und gleichzeitiger Plasmakontrolle oft ein scharf gebündelter Luftstrahl parallel zur Werkstückoberfläche, ist beim Schweißen von Aluminium mehr Aufwand erforderlich. Mit angepassten Komponenten können die jeweiligen Anforderungen erfüllt werden. Am Institut für Strahlwerkzeuge werden seit dessen Bestehen gasdynamische Komponenten untersucht und entwickelt. Im Folgenden werden neue Entwicklungen aus dem Bereich des Laserstrahlschneidens mit Inertgas, zum Schutz von Optiken und zur Erzeugung von Unterdruck durch aerodynamische Fenster vorgestellt.

Düsen für das Laserstrahl-Schneiden

Beim Laserstrahlschneiden konzentriert sich die Düsenentwicklung auf das Inertgas-schneiden, da hierfür hohe Drücke und/oder hohe Geschwindigkeiten zum Austrieb der Schmelze erforderlich sind, während beim Brennschneiden die Ansprüche an die Gasführung eher bescheiden sind. Bereits seit vielen Jahren ist bekannt, dass konische oder konisch-zylindrische Düsen, wie sie üblicherweise zum Schneiden eingesetzt werden, hohe Drücke,

die in der Versorgungskammer einer solchen Düse eingestellt werden, durch den Freistrahlschneiden nicht über weite Strecken auf ein Werkstück übertragen werden können. Die Ursache hierfür liegt in Verdichtungsstößen, die um so stärker sind, je höher die Geschwindigkeit ist, mit der das Gas auf das Werkstück trifft. Da die Geschwindigkeit nach Verlassen einer solchen Düse auf den ersten Millimetern schnell zunimmt, nimmt der Staudruck auf dem Werkstück mit steigendem Abstand schnell ab. Auch im

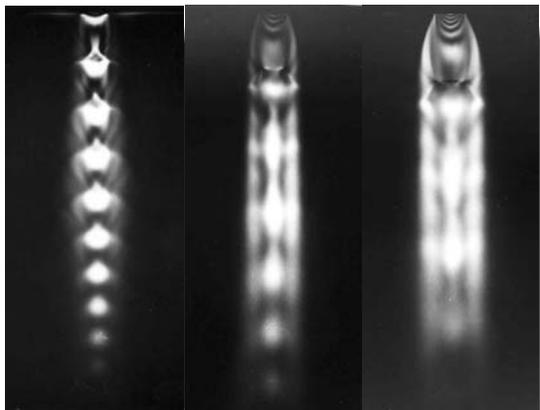


Abb. 1: Freistrahlen einer konisch-zylindrischen Düse bei 0,5, 1,0 und 1,5 Mpa, Durchmesser: 2 mm, Gasverbrauch: 180, 360 bzw. 540 Nl/min.

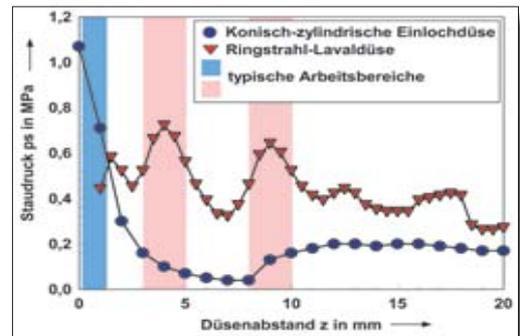


Abb. 3: Staudrücke auf dem Werkstück bei gleichem Vorkammerdruck von 1 Mpa, Gasverbrauch der Ring-Laval-Düse: 290 Nl/min.

Freistrahlschneiden ohne Werkstück kommt es zu solchen Stößen, die mit zunehmendem Kesseldruck immer ausgeprägter werden (Abb. 1).



Abb. 2: 1,5-Mpa-Zweistrahldüse, Gasverbrauch: 220 Nl/min.

Bei Lavalldüsen kann man die zuletzt angesprochenen Stöße zwar völlig vermeiden, da jedoch ein Gasstrahl mit konstanter Überschallgeschwindigkeit erzeugt wird, entstehen unabhängig vom Düsenabstand immer gleich starke Verdichtungsstöße über dem Werkstück.

Die äußerst geringen Verluste einer konischen Düse bei minimalem Abstand können also von einer Lavalldüse nicht erreicht werden. Da die Verluste letzterer unabhängig vom Abstand sind, hat die Lavalldüse jedoch bei größeren Abständen Vorteile.

Seit einigen Jahren werden wegen der stetig wachsenden

Laserleistung industriell verfügbarer Schneidlasers Bearbeitungsköpfe mit Spiegeloptiken diskutiert, mit denen transmissive Elemente vermieden werden können. Solche Bearbeitungsköpfe erfordern Düsen mit externem Druckaufbau. Dazu wurden bereits vor Jahren Mehrstrahl- und Ringstrahldüsen untersucht. Eine im IFSW entwickelte Zweistrahldüse zeichnet sich durch sehr niedrigen Gasstrom aus (Abb. 2). Um die vergleichsweise lange Strecke bis zum Vereinigungspunkt (hier 10 mm) stoßfrei zu überbrücken, werden Lavalldüsen zur Erzeugung der Einzelgasstrahlen eingesetzt. Mit Ringstrahldüsen kann man den Nachteil der Richtungsabhängigkeit von Mehrstrahldüsen unter dem Preis eines erhöhten Gasverbrauchs vermeiden. Bei vergleichbaren Drücken am Werkstück steht die Qualität von Schnitten, die mit optimierten Ringstrahldüsen erzeugt wurde, der Qualität von Schnitten, die mit konischen Düsen erzeugt wurde, in nichts nach. Ringstrahldüsen, bei denen sich der Gasstrahl erst unterhalb der Düse vereinigt, zeichnen sich u.U. durch mehrere Arbeitsbereiche, die einige Millimeter unterhalb der Düse liegen, aus (Abb. 3). Trotz einem Arbeitsabstand

von mindestens 3 mm eignen sich solche Düsen auch zum Einsatz einer kapazitiven Abstandsregelung. Trotz mannigfacher Düsenentwicklungen sind Erkenntnisse über die Strömung, insbesondere die Schmelzströmung, im Schnittspalt kaum bekannt. Schlierenuntersuchungen der Gasströmung in mit Glasplatten nachgebildeten Schnittspalten lieferten erste Erkenntnisse und zeigen Stoßstrukturen, die sich in den Schnittspalt hinein ausbreiten und zur Strömungsablösung des Gasstrahls von der Schnittfont führen können. Heute stehen sehr schnelle Kameras zur Verfügung, mit denen der Einfluß des Schneidgases auf Flüssigkeiten im Spalt sehr gut beobachtet werden können. Es zeigt sich, dass auch Flüssigkeiten (hier ein Petroleumruß-Gemisch) den in den Schlierenbildern gefundenen Stoßstrukturen folgen und sich an den Ablösezonen Flüssigkeitsansammlungen bilden.

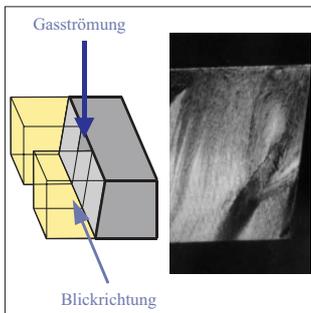


Abb. 4: Sichtbarmachung einer Flüssigkeitsströmung im nachgebildeten Schnittspalt. Verwendet wurde eine konisch-zylindrische Düse \varnothing 2,6 mm; Druck 10 bar; Düsenabstand $d=1,0$ mm; Spaltbreite $l=0,5$ mm; Höhe der Glasplatte.

Von dort wird die Flüssigkeit über die Schnittspalt-Seitenwände schräg nach unten und hinten geblasen, Abb. 4.

Schutz optischer Komponenten

Als Spritzerschutz hat sich beim Schweißen ein Gasstrahl parallel zur Werkstückoberfläche, also quer zum Laserstrahl,

durchgesetzt. Er wird üblicherweise als Querjet bezeichnet, Abb. 5.

Am IFSW wurde nachgewiesen, dass eine einzelne Düse, die möglichst nahe beim Werkstück angeordnet ist, besonders effizient zur Ablenkung von Spritzern eingesetzt werden kann. Die Strömungsgeschwindigkeit sollte möglichst hoch gewählt werden, um mit minimalem Volumenstrom eine möglichst starke Ablenkung der Spritzer zu erreichen, da die Kraft auf die Spritzer mit dem Staudruck - also mit dem Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit - und die Wechselwirkungszeit mit der Schlitzhöhe anwächst, während der Massenstrom proportional zur Strömungsgeschwindigkeit, der Gasdichte und der Schlitzhöhe ist. Hinsichtlich der Nähe des Querjets zum Werkstück und der Größe der Strömungsgeschwindigkeit müssen Kompromisse eingegangen werden, da mit geringer werdendem Abstand das Schutzgas und die Schmelze immer stärker gestört werden und mit steigender Strömungsgeschwindigkeit die Geräuschentwicklung stark zunimmt.

Erzeugung und Abschirmung eines Unterdruckbereichs

Zum gasdichten, aber optisch transparenten Abschluß gasgefüllter Behältnisse werden neben materiellen Fenstern auch sogenannte aerodynamische Fenster eingesetzt. Motiviert wurde ihr Einsatz als Auskoppellement bei CO_2 -Lasern im Multi-Kilowatt-Bereich durch die Absorption materieller Fenster, die zur Erwärmung und damit zur Linsenbildung bis hin zur Zerstörung des Fensters führen kann. Ein solches Auskoppellement muß in der Lage sein, ein Druckverhältnis zwischen Lasergas, das typischerweise einen Druck von 100 mbar aufweist, und umgebender

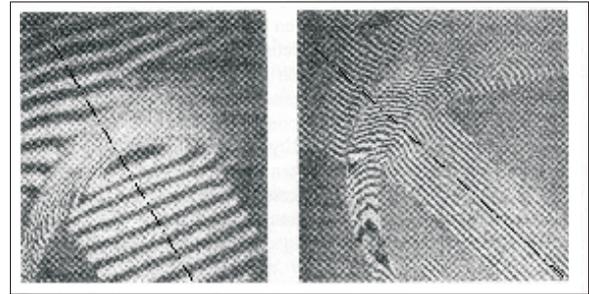


Abb. 5: Interferogramme der Freistrahlen; links 10-bar-Fenster, rechts 5-bar-Fenster --- Laserstrahlachse.

Atmosphäre von 1:10 sicher und leicht regelbar zu gewährleisten. In der Literatur finden sich sehr unterschiedliche Konzepte aerodynamischer Fenster. Als besonders geeignet erwiesen sich Gasströmungen mit einer Geschwindigkeits- und Druckverteilung eines Potenzialwirbels. Ein solches "Potenzialwirbel-Fenster", das mit einem Versorgungsdruck von 10 bar betrieben wird, wurde in einer am IFSW erstellten Dissertation vorgestellt.

Die Dichte- und Brechungsindexverteilung des Gasstrahls dieses Fensters ist geeignet, dass die Strahlqualität eines typischen Hochleistungs- CO_2 -Lasers nicht meßbar verschlechtert wird. Insbesondere am äußeren Rand des Gasstrahls treten jedoch Turbulenzen auf, die die Phasenfront stören. In Interferogrammen kann man diese am Verschwimmen der Linienstrukturen erkennen. Durch eine Absenkung des Geschwindigkeitsniveaus, die allerdings mit einer Zunahme des Massenstroms einhergeht, kann man die unvermeidlichen Turbulenzen minimieren, Abb. 6.

Aerodynamische Fenster haben gegenüber materiellen

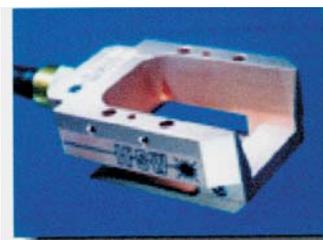


Abb. 5: Bauform des am IFSW entwickelten Querjets.

Fenstern auch den großen Vorteil, dass sie nicht verschmutzen können. So ist es sinnvoll, materielle Fenster in Bereichen, in denen eine Verschmutzung zu befürchten ist, durch aerodynamische Fenster zu ersetzen. Außerdem kann bei Verwendung eines aerodynamischen Fensters auf den Einsatz einer Vakuumpumpe völlig verzichtet werden, da der Gasstrahl selbst die Druckabsenkung bewerkstelligt. Da jüngste Untersuchungen gezeigt haben, dass beim Laserstrahlbohren die Bohrgeschwindigkeit wesentlich gesteigert werden kann, wenn in einer Atmosphäre mit einem Druck kleiner 120 mbar gearbeitet wird, ergibt sich für diesen Prozess ein sinnvoller Einsatz für ein aerodynamisches Fenster, da dieses sehr nahe an den Prozess gebracht und die sich so ergebende kleine Kammer sehr schnell evakuiert werden kann.

Institutsadresse:
 Institut für Strahlwerkzeuge
 Pfaffenwaldring 43
 70569 Stuttgart
 Tel.: +49 (0)711-685 6840
 Fax: +49 (0)711-685 6842
<http://www.ifsw.uni-stuttgart.de>

Autor:
 Dipl.-Ing. Peter Berger
Berger@ifsw.uni-stuttgart.de

Kontakt / Redaktion:
 Dipl.-Ing. Friedemann Lichtner
 FGSW - Forschungsgesellschaft für Strahlwerkzeuge mbH
 Nobelstr. 15
 70569 Stuttgart
 Tel.: +49 (0)711-351 451-28
 Fax: +49 (0)711-351 451-29
friedemann.lichtner@fgsw.de
<http://www.fgsww.de>