

LASERSTRAHLSCHWEISSEN HOCHBELASTETER BAUTEILE AUS SCHWARZEM TEMPERGUSS

DIE AUFGABE

Seit mehr als 15 Jahren werden weltweit zunehmend schweißtechnische Mischverbindungen aus Gusseisen und Einsatzstahl zum Standard im Getriebebau der Automobilindustrie. Diese Mischverbindungen ersetzen mit beträchtlichen fertigungstechnischen und Gewichtsvorteilen die bis dahin aufwendigen Schraub- und Nietverbindungen insbesondere bei Differentialgetrieben.

Wegen des weiter anhaltenden allgemeinen Kosten- und Qualitätsdrucks wird als Konstruktionswerkstoff neben dem zyklisch hochbelastbaren globularen Gusseisen (GJS) zunehmend auch der schwarze Temperguss (GJMB) mit seinen spezifischen Kostenvorteilen eingesetzt. Er gilt als einfacher vergieß- und leicht zerspanbar. Der für die Zerspannung vorteilhafte hohe Schwefelgehalt von etwa 0,17 % (Faktor 8 - 10 gegenüber GJS) stellt aus schweißtechnischer Sicht jedoch eine neue Herausforderung dar, da beim typischen Laserschweißprozess mit CO₂-Laser und nickelhaltigem drahtförmigen Zusatzwerkstoff Heißrisse in der Schweißschmelze gebildet werden können. Sie basieren auf niedrig schmelzenden Eisensulfiden und müssen vermieden werden.

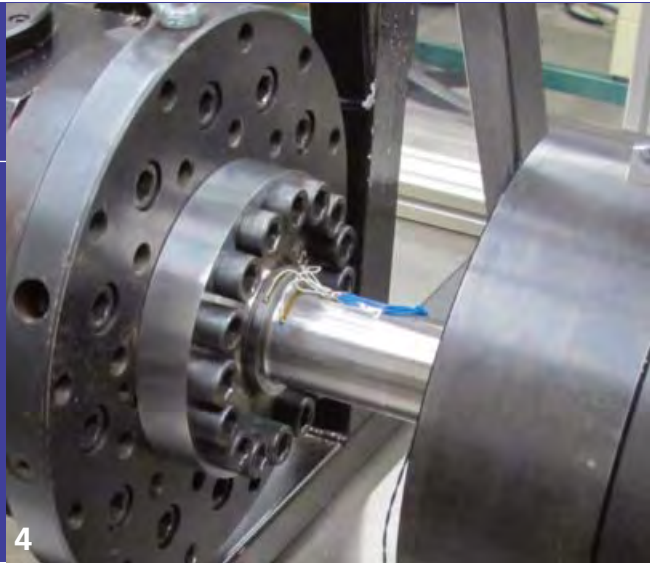
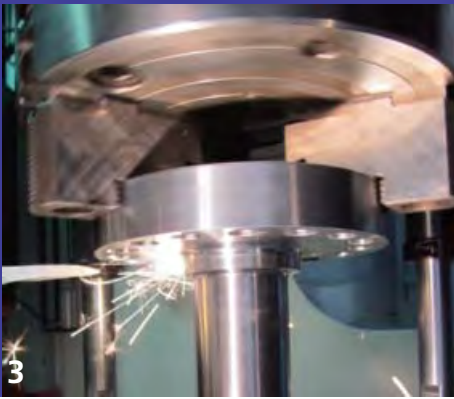
Ein weiterer wichtiger Aspekt beim Laserstrahlschweißen von Gusswerkstoffen ist die angestrebte generelle Reduzierung von Fertigungskosten. Weiterentwickelte Laserstrahlquellen und stabile, energieeffiziente, Ressourcen schonende Schweißprozesse sind dafür die wesentlichen Stellschrauben. Nicht zuletzt können auch mit einer optimalen Bauteilauslegung Kosten gespart werden. Konkrete Auslegungskennwerte für derartige Schweißverbindungen in typischen Axial-Torsionsbelastungen sind bisher jedoch Mangelware und deshalb Gegenstand der Forschungsarbeiten am Fraunhofer IWS.

UNSERE LÖSUNG

Gemeinsam mit Partnern aus der Automobilindustrie wurde ein leistungsfähiger Laserschweißprozess entwickelt, der es ermöglicht, schwarzen Temperguss (GJMB) in einer Mischverbindung mit Einsatzstahl zuverlässig rissfrei zu verbinden (Abb. 2).

Hierbei wird ein moderner Scheibenlaser mit seiner vorteilhaften Strahlqualität verwendet. Er erzeugt Schweißnähte mit weitgehend parallelen Nahtflanken (Abb. 1). Durch eine geeignete Kombination von Laserleistung, Schweißgeschwindigkeit und relativer Schweißposition wird es über die Einstellung eines definierten Mischungsverhältnisses in der Schmelzzone möglich, Erstarrungs- und Abkühlbedingungen in der Schweißnaht zu schaffen, die die Entstehung von Heißrisse wirkungsvoll verhindern können. Das über die relative Strahlposition gegenüber dem Schweißspalt einstellbare wichtige Mischungsverhältnis kann mit Hilfe einer speziellen strahlführenden Optik auf wenige Hundertstel Millimeter zuverlässig und genau eingestellt werden.

Dass bei den sehr hohen Schweißgeschwindigkeiten nahezu keine rissempfindlichen Gefügezonen, wie z. B. der extrem harte Ledeburit, in der gusseitigen Wärmeeinflusszone entstehen können, ist ein weiterer nützlicher Nebeneffekt der parallelen Nahtflanken. Zudem verursachen die äußerst niedrigen Energieeinträge ins Schweißbauteil geringere thermische transiente Spannungen und Verformungen. Ein draht- oder folienförmiger nickelhaltiger Zusatzwerkstoff ist in dem Prozess nicht mehr erforderlich, was zur weiteren Kostenreduzierung entscheidend beiträgt.



ERGEBNISSE

Im Ergebnis einer Reihe von Schweißversuchen an Prüfbau- teilen aus GJMB und Einsatzstahl wurden geeignete Schweiß- parameter generiert und untersucht. Dabei gelang es mit wesentlich geringeren Laserleistungen und Energieeinträgen als bisher, qualitativ hochwertige Schweißnähte mit sehr günstigen, nahezu parallelen Nahtflanken an Mischverbin- dungen aus GJS und GJMB herzustellen. Nickelhaltige Zusatz- werkstoffe kamen nicht zum Einsatz.

In der Schmelzzone entsteht das angestrebte metastabile restaustenitische Gefüge mit seinen vorteilhaften duktilen Eigenschaften (Abb. 3). Trotz des sehr hohen Schwefelgehaltes im GJMB entstehen nur wenige Heißrisse, ihre Ausprägung ist drastisch geringer als bei konventionellen Laserschweiß- prozessen. Ledeburit wird nur noch inselförmig in geringsten Mengen in der Wärmeeinflusszone (WEZ) beobachtet.

Im Ergebnis der Untersuchungen ist festzustellen, dass Misch- verbindungen aus GJS oder GJMB und Einsatzstahl bei Einsatz eines Scheibenlasers mit weitgehend ähnlichen Schweißpara- metern hergestellt werden können. Die für typische Laser- schweißaufgaben an einem Differentialgetriebe (ca. 150 mm Schweißdurchmesser und 5,0 mm Schweißtiefe) nötigen Energieeinträge liegen dabei mit nur 25 % deutlich unter dem des bisher etablierten Schweißprozess mit CO₂-Laser und Zusatzwerkstoff.

Mit Blick auf die Gewinnung von Kennwerten zur Optimie- rung der Bauteilauslegung wurden erste mit dem Scheiben- laser geschweißte Bauteile in der servohydraulischen Axial- Torsions-Prüfmaschine des Fraunhofer IWS auf ihre zyklische Belastbarkeit geprüft (Abb. 4). Die Prüfkörper wurden dabei gemäß der Vergleichsspannungshypothese nach Mises mit dem für Differentialgetriebe typischen Lastfall in einer Schweißnaht als Kombination von Biegung und Torsion belastet.

Die Mischverbindungen GJMB / Einsatzstahl erreichten in den durchgeführten Tests ein vergleichbar hohes Lastniveau wie Mischverbindungen aus GJS und Einsatzstahl. Weit über- troffen wurden in diesem Vergleich die bisher in der Auto- mobilindustrie verbreitet mit konventionellen CO₂-Lasern und Zusatzwerkstoff hergestellten Mischverbindungen aus GJS und Einsatzstahl.

Die derzeit laufenden Schwingfestigkeitsuntersuchungen geben die berechtigte Hoffnung, dass sich in Zukunft weitere beträchtliche Kosteneinsparpotenziale durch die Realisierung belastungsangepasster Einschweißtiefen erzielen lassen.

- 1 *Geschweißte Mischverbindung GJMB / Einsatzstahl (Übersicht)*
- 2 *Schweißgefüge der Mischver- bindung GJMB / Einsatzstahl*
- 3 *Laserschweißen eines Prüfbau- teils aus GJMB / Einsatzstahl*
- 4 *Dauerschwingtest eines Prüfbauteils in einer servo- hydraulischen Axial-Torsions- Prüfmaschine*

KONTAKT

Dipl.-Ing. Uwe Stamm
Tel.: +49 351 83391-3152
uwe.stamm@iws.fraunhofer.de

