

Das Merkblatt DVS 3203, bestehend aus Teil 1 bis Teil 4, enthält Anleitungen über das Schmelzschweißen mit CO₂-Laserstrahlen.

Das Merkblatt dient sowohl Schweißaufsichts- und Prüfpersonal, das mit Fertigungs- und Qualitätssicherungsaufgaben betraut ist, als auch Arbeitsvorbereitern und Konstrukteuren, die Bauteile und Konstruktionen in verschiedenen Anwendungsbereichen planen und entwerfen.

Das Merkblatt ist in Zusammenarbeit mit Herstellern und Anwendern von Laserstrahlschweißanlagen sowie Forschungsinstituten aufgestellt worden.

Für das Laserstrahlschweißen mit Festkörperlaser – wie Nd-Glas-Laser bis 100 W und Nd-YAG-Laser bis 400 W – gilt Merkblatt DVS 2809 (Laserstrahlschweißen in Elektronik und Feinwerktechnik).

Inhalt:

- 1 Anwendungsbereich
- 2 Verfahrensbeschreibung
- 3 Laserstrahlschweißanlagen
 - 3.1 Laser/Laserzubehör
 - 3.2 Strahlmanipulation
 - 3.3 Werkstückhandhabung
 - 3.4 Steuerung
 - 3.5 Sicherheitseinrichtungen
- 4 Technisch-physikalische Merkmale des CO₂-Laserstrahl-schweißens
- 5 Besonderheiten der Schweißnahtbildung
- 6 Anhaltswerte zum CO₂-Laserstrahlschweißen
- 7 Beispiele der Anwendung
- 8 Schrifttum

1 Anwendungsbereich

Das Merkblatt bietet eine Übersicht über das Schweißen mit einem CO₂-Laserstrahl ab 500 W Strahlleistung und beschreibt dessen Anwendungsbereich.

Die Definition des Laserstrahlschweißens enthält DIN 1910 Teil 2 (Schweißen; Schweißen von Metallen, Verfahren). Das Kurzzeichen für Laserstrahl ist LB (von laser beam).

Für das CO₂-Laserstrahlschweißen werden Anhaltswerte für die Bearbeitung von metallischen Werkstoffen angegeben.

Mit zu beachten sind folgende Teile von Merkblatt DVS 3203:

- Teil 2 Qualitätssicherung von CO₂-Laserstrahl-Schweißarbeiten – Prüfen von Schweißparametern
- Teil 3 Qualitätssicherung von CO₂-Laserstrahl-Schweißarbeiten – Laserstrahl-Schweißbeignung metallischer Werkstoffe (in Vorbereitung)
- Teil 4 Qualitätssicherung von CO₂-Laserstrahl-Schweißarbeiten – Nahtvorbereitung und konstruktive Hinweise.

2 Verfahrensbeschreibung

Der Laserstrahl wird überwiegend zum Schmelzschweißen eingesetzt. Durch die exakte Fokussierbarkeit des Laserstrahls kann eine hohe Leistung auf eine Fläche von Bruchteilen eines mm² konzentriert werden. Der Laserstrahl kann daher mit großer Präzision Werkstoffe wie Metalle, Keramik, Kunststoffe, Glas, Holz und andere bearbeiten: Bohren, Abtragen, Schweißen, Schneiden, Beschriften und Oberflächenveredeln. Vorzüge und besondere Merkmale des Laserstrahlschweißens sind:

- Großes Tiefe : Breite-Verhältnis der Schweißnaht im Vergleich zu konventionellen Schweißverfahren. Typische Werte für Laserstrahlschweißnähte sind 2:1 bis 5:1.
- Geringe Bauteilerwärmung mit schmaler Wärmeeinbringzone, dadurch
 - begrenzte Anlaßwirkung auf bereits gehärtete Teile,
 - geringer Verzug des Bauteiles.
- Hohe Schweißgeschwindigkeit, dadurch niedrige Taktzeiten und geringe Stückkosten.
- Geringe Spritzerbildung und schmale, gleichmäßige Ober-
raupe, dadurch minimale Nacharbeit.
- Abwechselndes Schweißen auf mehreren Stationen mit einem Laser möglich, dadurch minimale Neben- und Rüstzeiten.
- Gute Steuerbarkeit des Strahls, dadurch einfache Automatisierbarkeit des Schweißprozesses.
- Berührungsloses Schweißwerkzeug, so daß ein Arbeiten in definierter Atmosphäre mit oxidierenden, reduzierenden oder inerten Gasen möglich ist.
- Der Laserstrahl wird nicht durch elektromagnetische Felder beeinflusst, so daß auch magnetisierte Werkstoffe geschweißt werden können.

Der CO₂-Laserstrahl wird zur Zeit ab etwa 500 W bis etwa 10 kW Strahlleistung für das Schweißen von metallischen Werkstücken im Wanddickenbereich von 0,1 bis etwa 10 mm angewendet.

CO₂-Laserstrahlschweißverfahren lassen sich in Punkt- und Nahtschweißen unterteilen.

Für verfahrens- und gerätetechnische Begriffe siehe auch DIN 32 511.

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muß jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des Deutschen Verbandes für Schweißtechnik e. V. und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

DVS, Technischer Ausschuß, Arbeitsgruppe „Strahlschweißen und -sondervverfahren“

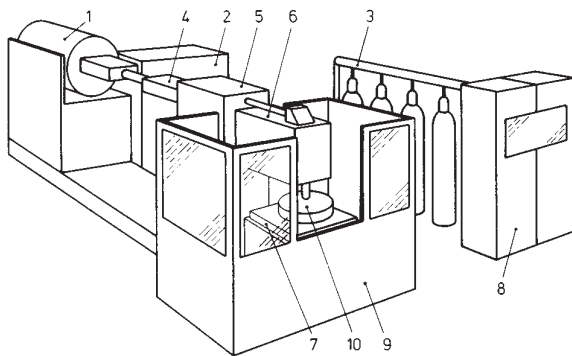
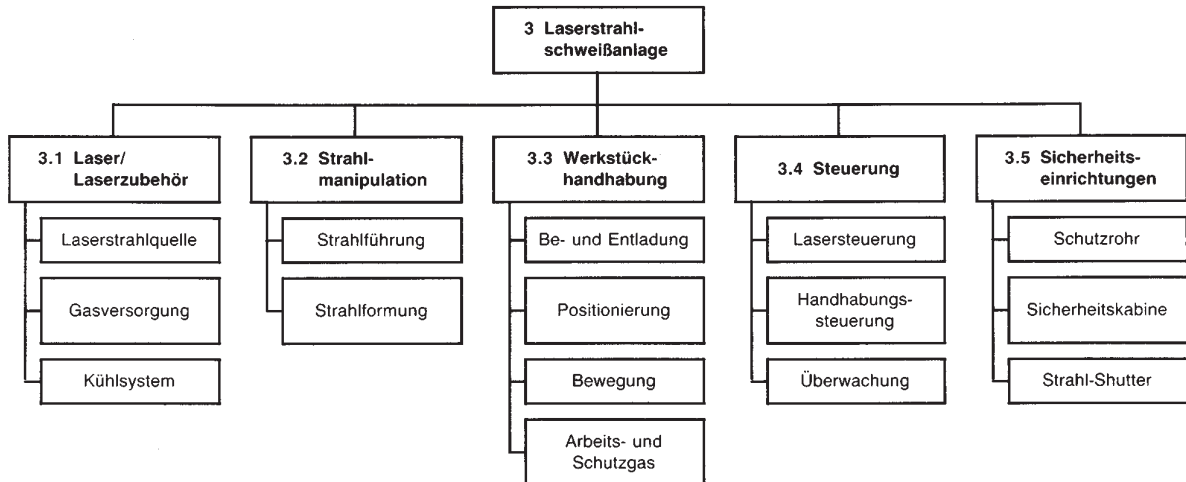


Bild 1. Prinzipieller Aufbau einer CO₂-Laserstrahlschweißanlage.

- 1 CO₂-Laserstrahlquelle
- 2 Kühlaggregat für Laserstrahlquelle
- 3 Gasversorgung für Laserstrahlquelle und für den Schweißprozeß
- 4 Helium-Neon-Justier-Laser
- 5 Strahlführung
- 6 Tragarm für Z-Achse
- 7 Werkstückhandhabungssystem
- 8 Steuerschrank
- 9 Sicherheitskabine
- 10 Drehtisch

3 Laserstrahlschweißanlagen

Bild 1 zeigt schematisch den gesamten Aufbau einer Laserstrahlschweißanlage. Eine solche Anlage besteht aus den Hauptkomponenten:

- Laser/Laserzubehör,
- Strahlmanipulation,
- Werkstückhandhabung,
- Steuerung.

Eine weitere Komponente ist durch die Sicherheitseinrichtungen gegeben.

Art bzw. Ausführung dieser Hauptkomponenten bestimmen die Verfahrensgrenzen und den Automatisierungsgrad der Gesamtanlage. Durch die Aufteilung in 4 funktionelle Hauptkomponenten ist eine eindeutige Zuordnung von Leistungsmerkmalen und ein objektiver Anlagenvergleich möglich. Hierzu können alle vier Hauptkomponenten, gemessen am geschweißten Bauteil, auf ihre Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit, Wirtschaftlichkeit und ihren Grad an Automatisierung verglichen werden.

3.1 Laser/Laserzubehör

Der Laserstrahl als Energieträger der Schweißanlage bestimmt durch seine Grundmerkmale im wesentlichen den möglichen Einsatzbereich der gesamten Anlage. Für die erreichbaren Schweißtiefen und Nahtbreiten sind in Verbindung mit der Schweißgeschwindigkeit die Strahlleistung P , die Fokussierzahl F und die Strahlkennzahl K maßgebend (siehe auch Merkblatt DVS 3203 Teil 2).

Je nach Gasverbrauch und Lasertyp besteht die Gasversorgung aus einer Flaschenbatterie der Lasergase Stickstoff, Helium und CO₂ und gegebenenfalls aus einer Gasrückgewinnungsanlage für Helium. Die Anlage ist so auszulegen, daß eine kontinuierliche Gasversorgung gewährleistet wird.

Bei sehr einfachen Systemen ist es möglich, einen offenen Kühlkreislauf vorzusehen. Zur besseren Temperaturkontrolle ist jedoch ein separates Kühlsystem, beispielsweise ein geschlossener Kreislauf mit einem Wärmetauscher gegen Luft, vorzuziehen.

3.2 Strahlmanipulation

Die Strahlmanipulation läßt sich in Strahlführung und Strahlformung unterteilen.

Unter Strahlführung sind alle optischen und mechanischen Komponenten zu verstehen, die den Laserstrahl vom Auskoppelfenster des Lasers zum Werkstück führen. Wichtige Komponenten sind hierbei Umlenkspiegel, Strahlteiler und Strahlweichen. Bei einfachen Anlagen besteht die Strahlführung aus einem einzigen Umlenkspiegel, während bei komplexen Mehrachsensystemen aufwendige mechanische Führungen mit mindestens einem Umlenkspiegel je manipulierter Achse vorhanden sind. Die Strahlführung kann hierbei so ausgelegt werden, daß die Relativbewegung zwischen Werkstück und Laserstrahl ausschließlich durch das Strahlführungssystem entsteht.

Für Schweißanlagen ist im wesentlichen die Strahlformung, also die Fokussierung des Laserstrahls wichtig. Zum Fokussieren eignen sich Linsen und Spiegeloptiken. Bei höheren Strahlleistungen $P \geq 2 \text{ kW}$ werden im allgemeinen Spiegeloptiken verwendet.

Der Strahldurchmesser kann mit Hilfe von Teleskopen vergrößert oder verkleinert werden; diese können als Spiegel- oder Linsensysteme ausgelegt sein. Eine Zwischenfokussierung empfiehlt sich besonders bei großen Entfernungen zwischen Laserstrahlquelle und Werkstück oder bei langen Strahlwegen. Bei kurzen Strahlwegen kann eine Strahlaufweitung zur besseren Fokussierbarkeit von Vorteil sein.

3.3 Werkstückhandhabung

Die Werkstückhandhabung umfaßt alle Komponenten, die der Manipulation der zu schweißenden Werkstücke dienen. Weiterhin zählen hierzu auch die Systemkomponenten, die zur Vorbereitung der Teile zum Schweißen, zum Beispiel Entfetten und Einlegen, dienen. Die Handhabungseinrichtung zum Schweißen kann so bemessen sein, daß das Werkstück in einer, zwei oder drei linearen Achsen und/oder in einer, zwei oder drei Rotationsachsen unter dem Laserstrahl bewegt wird.

Kombinationen von bewegtem Laserstrahl und bewegtem Werkstück sind bis hin zum ruhenden Werkstück und ausschließlich bewegten Laserstrahl möglich.

Dem Arbeitsgas kommt beim Laserstrahlschweißen eine besondere Bedeutung zu. Es wird direkt in die Wechselwirkungszone von Laserstrahl und Werkstück geblasen, um das laserinduzierte Plasma zu beeinflussen. Bei geeigneter Wahl von Arbeitsgas und Gasfluß kann die Absorption des Plasmas oberhalb des Werkstückes minimiert und die Strahlungsenergie nahezu vollständig ins Werkstück übertragen werden.

Durch Gasart und Gasfluß können ebenfalls die Schmelzbadbewegung und die Nahtausbildung beeinflusst werden. Die am häufigsten in der Lasertechnik angewandten Arbeitsgase sind Helium, Argon und Stickstoff.

Die Art sowie die Zuführparameter des Arbeitsgases sind für jede Schweißanwendung zu optimieren.

Dem Schutzgas kommt in der Laserstrahlschweißtechnik nur eine untergeordnete Bedeutung zu. Zum einen wird das Schmelzbad durch das Arbeitsgas vor dem Einfluß von atmosphärischen Gasen geschützt, zum anderen erfolgt die Abkühlung der Schweißnaht so schnell, daß nur eine sehr geringe Zeit für eine Reaktion der atmosphärischen Gase mit der erstarrten Schweißnaht zur Verfügung steht.

Bei der Verwendung eines Schutzgases muß dieses nicht mit dem Arbeitsgas identisch sein.

3.4 Steuerung

Zur Lasersteuerung gehören die Laserstrahl- und die Lasermaschinensteuerung. Die Laserstrahlsteuerung ist vor allem für das zeitliche Verhalten der Strahlleistung (Strahlleistung, gepulste Strahlleistung, Rampen) verantwortlich. Weiterhin werden von der Lasermaschinensteuerung die für den Betrieb wesentlichen Größen wie Gas-, Wasser- und Stromversorgung überwacht.

Zur Handhabungssteuerung gehören insbesondere die Steuerung der Bewegung des Werkstücks oder des Strahls zum Schweißen, aber auch die Werkstück/Strahl-Positionierung, die Arbeits- und Schutzgasführung und gegebenenfalls eine Abstandsregelung. Die Nahtverfolgung sowie eine Schweißdrahtzufuhr müssen ebenfalls von der Handhabungssteuerung übernommen werden.

Überwacht werden sollten im wesentlichen die Laserstrahl- und Prozeßparameter. Dies sind unter anderem:

- die Laserstrahlleistung,
- der Laserstrahldurchmesser,
- die Laserstrahlverteilung,
- die Strahllage,
- die Plasmaleuchterscheinung, die Aufschluß über die Energieeinkopplung (Einschweißtiefe) gibt.

3.5 Sicherheitseinrichtungen

Zu beachten sind die allgemeinen Sicherheitsbestimmungen, unter anderem folgende:

- Der Laserstrahl ist in einem Schutzrohr zu führen.
- Der Schweißprozeß muß abgeschirmt, zum Beispiel in einer Kabine, erfolgen.

- Entstehende Schweißgase sind abzusaugen und zu filtern.
- Der Laserbetrieb ist durch eine Signallampe anzuzeigen.
- Es sind entsprechende „Not-Aus“-Schalter vorzusehen.

4 Technisch-physikalische Merkmale des CO₂-Laserstrahlschweißens

Für das Prüfen von laserstrahlbezogenen Kenngrößen siehe Merkblatt DVS 3203 Teil 2. Grundsätzlich gilt:

- Die Strahlung des CO₂-Lasers ($\lambda = 10,6 \mu\text{m}$) wird an der blanken Oberfläche von Metallen bei senkrechtem Einfall zu mehr als 90% reflektiert.
- Die Reflexion ist um so größer, je höher die elektrische Leitfähigkeit des Metalls ist.
- Wird eine charakteristische Leistungsflußdichte (Strahlungsintensität) überschritten, bildet sich ein Dampfkanal aus (entspricht dem Tiefschweißeffect).
- Das Einsetzen des Tiefschweißeffects ist durch die Bildung eines laserinduzierten Plasmas (blaue Leuchterscheinung) zu erkennen.
- Mit dem Eintritt des Tiefschweißeffects ist eine sprunghafte Zunahme der Strahlungsabsorption und des Wirkungsgrades verbunden, Bild 2.
- Bei Verwendung ungeeigneter Prozeßparameter kann das Plasma oberhalb des Werkstückes dieses gegen die Laserstrahlung abschirmen und somit die Energieeinkopplung vermindern.
- Diese Plasmaabschirmung kann durch geeignete Arbeitsgase, insbesondere durch Helium und/oder erhöhten Gasstrom vermindert bzw. verhindert werden.

Allgemeingültige und werkstoffbezogene Kenngrößen sind das Absorptionsvermögen des Werkstoffes sowie thermophysikalische Größen wie Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärme, Schmelz- und Verdampfungswärme, Wärmediffusionszahl sowie die Materialdichte. Die genannten Größen bestimmen die Energieaufnahme und den Wärmetransport im Werkstoff.

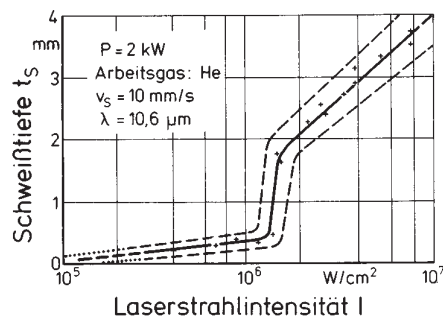
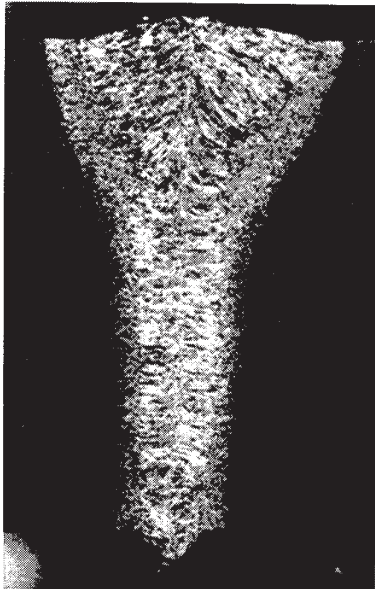


Bild 2. Die Schweißtiefe zeigt mit dem Eintritt des Tiefschweißeffects eine sprunghafte Zunahme der Strahlungsabsorption, die an der Ausbildung eines laserinduzierten Plasmas erkennbar ist.

5 Besonderheiten der Schweißnahtbildung

Aufgrund sehr hoher Energiedichte und höherer Schweißgeschwindigkeit ist die Wärmeeinflußzone klein und das Verhältnis von Schweißtiefe (Schmelzzonentiefe) zu Schweißnahtbreite groß, Bild 3; verbunden hiermit sind vergleichsweise geringer Verzug und Schrumpfung.

Für die konstruktive Gestaltung von Laserstrahlschweißnähten siehe Merkblatt DVS 3203 Teil 4.



$P = 10 \text{ kW}$
 $v = 1 \text{ m/min}$
 $s = 10 \text{ mm}$
 $F = 6$

Bild 3. Typische Nahtgeometrie.

6 Anhaltswerte zum CO₂-Laserstrahlschweißen

Bilder 4 und 5 enthalten Anhaltswerte für das CO₂-Laserstrahlschweißen verschiedener Stähle.

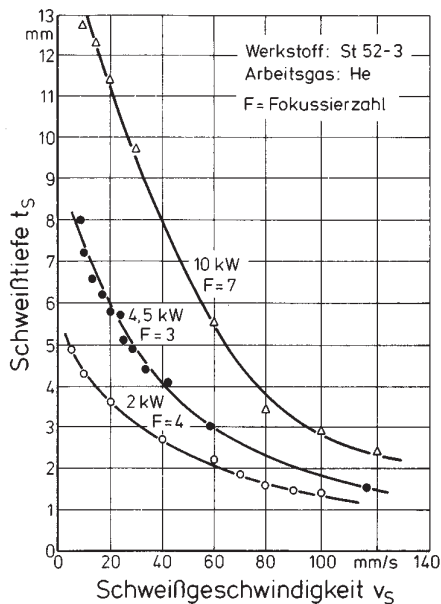


Bild 4. In Abhängigkeit von der Schweißgeschwindigkeit erreichbare Schweißtiefen für verschiedene Lasersysteme unterschiedlicher Leistung. Entscheidend beeinflusst werden die Schweißtiefen durch die Fokussierzahl F.

7 Beispiele der Anwendung

Wichtige Anwendungsbereiche des CO₂-Laserstrahls sind der Maschinenbau, die Elektrotechnik, die Elektronik, der Fahrzeugbau, die Kommunikations-, die Medizin- und die Kerntechnik.

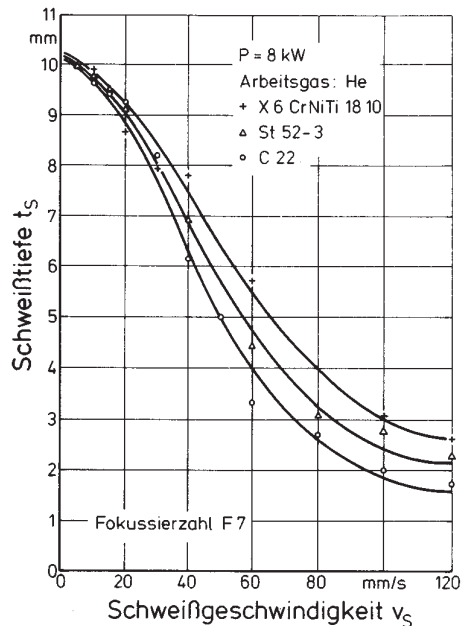


Bild 5. Unterschiede in der Schweißtiefe für drei Stähle, die sich durch unterschiedliche Materialkonstanten ergeben.

Eine Reihe von laserstrahlschweißten Werkstücken und Bauteilen sind zur Zeit typisch für die im folgenden genannten Anwendungsbereiche:

Kfz-Bau und -Zulieferindustrie

- hydraulisches Zweimassenschwungrad aus C 15/St 23 (Schweißtiefe 2,5 bzw. 5,5 mm),
- Ventilstößel aus 15 Cr 3/16 MnCr 5 (Schweißtiefe etwa 0,7 mm), Bild 6,

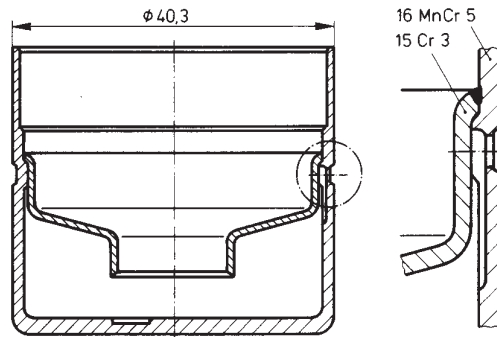


Bild 6. Laserstrahlschweißter Ventilstößel.

- Vorkammer für Dieselmotor aus St 52-3/X 10 Cr 13 (Schweißtiefe 2,5 mm), Bild 7,
- Drehzahlfühler aus X 12 CrMoS 17/X 5 CrNi 18 9 (Schweißtiefe etwa 1 mm), Bild 8,
- Lambda-Sonde aus X 12 CrMoS 17/X 5 CrNi 18 9 (Schweißtiefe etwa 1,3 mm), Bild 9.

Maschinenbau

- Zahnrad aus Einsatzstahl (Schweißtiefe 2,5 mm), Bild 10,
- Torsionsschwingungsdämpfer aus C10/C15/R St 37-2 (Schweißtiefe 2,5 bis 5,5 mm), Bild 11.

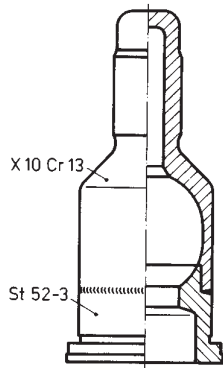


Bild 7. Vorkammer für Dieselmotoren.

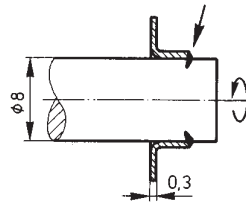


Bild 8. Drehzahlfühler.

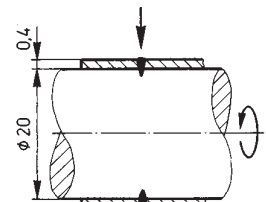


Bild 9. Lambda-Sonde.

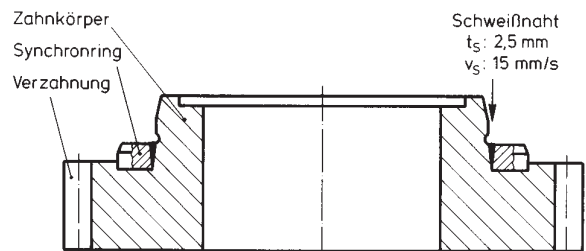


Bild 10. Zahnrad aus Einsatzstahl.

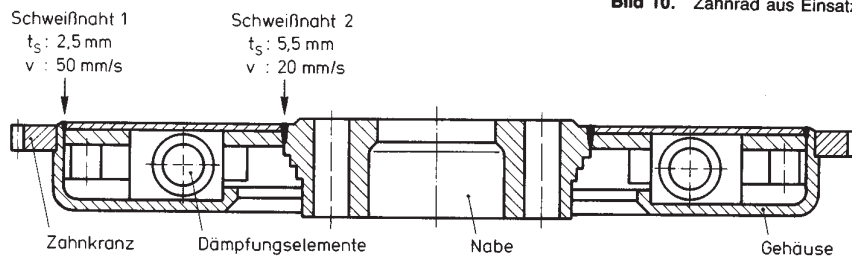


Bild 11. Torsionsschwingungsdämpfer aus C10/C15/RSt 37-2.

8 Schrifttum

- [1] N. N.: Handbuch „Schweißen mit Hochleistungs-CO₂-Lasern“. Technologie Aktuell, Band 4. VDI-Verlag, Düsseldorf 1987.
- [2] Fachtagung von VDI und DVS „Praxis des Laserstrahlschweißens von Metallen“. Düsseldorf und Stuttgart 1987.
- [3] DVS-Berichte Band 109 „Schweißen und Schneiden“. DVS-Verlag, Düsseldorf 1987.
- [4] Bd. 86 der Fachbuchreihe Schweißtechnik „Laserstrahltechnologien“. DVS-Verlag, Düsseldorf (in Vorbereitung).
- [5] Merkblatt DVS 3203 Teil 2 „Qualitätssicherung von CO₂-Laserstrahl-Schweißarbeiten; Prüfen von Schweißparametern“.
- [6] Merkblatt DVS 3203 Teil 3 „Qualitätssicherung von CO₂-Laserstrahl-Schweißarbeiten; Laserstrahl-Schweißbeugung metallischer Werkstoffe“ (in Vorbereitung).
- [7] Merkblatt DVS 3203 Teil 4 „Qualitätssicherung von CO₂-Laserstrahl-Schweißarbeiten; Nahtvorbereitung und konstruktive Hinweise“.