

**Prüf- und Dokumentationsrichtlinie für die Fügeignung
von Feinblechen aus Stahl – Teil 10: Laserstrahllöten**

**Testing and documentation guideline for the joinability of thin sheet
of steel – Part 10: Laser beam brazing**

SEP 1220-10
1. Ausgabe
1st edition

Bei Unstimmigkeiten zwischen deutscher und englischer Sprachversion hat die deutsche Version Vorrang.

In the event of inconsistencies between the German and English language versions, the German version shall prevail.

Inhaltsverzeichnis

1	Zweck
2	Geltungsbereich
3	Probenvorbereitung
4	Prüfbedingungen
5	Bestimmung der Qualitätsstufen
5.1	Bestimmung der maximalen Lötgeschwindigkeit
5.1.1	Durchführung
5.2	Bestimmung der optimalen Lötgeschwindigkeit
5.2.1	Durchführung
6	Prüfverfahren
6.1	Probenherstellung
6.2	Zerstörungsfreie Prüfung
6.2.1	Sichtprüfung
6.3	Zerstörende Prüfungen
6.3.1	Quasi-statische Scherzugprüfung
6.4	Dokumentation und Auswertung
6.5	Metallographie
6.5.1	Durchführung
6.5.2	Dokumentation und Auswertung
7	Muster-Dokumentationsblätter
8	Einheiten
9	Formelzeichen
10	Datenheader Laserstrahllöten
11	Normative Verweisungen

Table of contents

1	Purpose
2	Scope
3	Preparation of samples
4	Test conditions
5	Determination of quality levels
5.1	Determination of the maximum brazing speed
5.1.1	Procedure
5.2	Determination of the optimum brazing speed
5.2.1	Documentation and evaluation
6	Test methods
6.1	Sample preparation
6.2	Non-destructive testing
6.2.1	Visual testing
6.3	Destructive testing
6.3.1	Quasi-static tensile shear testing
6.4	Documentation and evaluation
6.5	Metallography
6.5.1	Procedure
6.5.2	Documentation and evaluation
7	Example documentation sheets
8	Units
9	Symbols
10	Data header laser beam brazing
11	Normative References

12 Anhang

- 12.1 Tabellen
- 12.2 Muster-Dokumentationsblätter
- 12.3 Datenheader Laserstrahllöten

12 Annex

- 12.1 Tables
- 12.2 Example documentation sheets
- 12.3 Data header laser beam brazing

1 Zweck

Mit den in diesem Stahl-Eisen-Prüfblatt (SEP) festgelegten Prüfmethoden wird die Eignung von Stahlfeinblechen für das Fügeverfahren Laserstrahllöten ermittelt.

1 Purpose

The test methods in this Stahl-Eisen test specification (SEP) describe the procedure to determine the suitability of thin steel sheet for the laser beam brazing process.

2 Geltungsbereich

Dieses SEP gilt für die Prüfung der Fügeeignung zum Laserstrahllöten (Prozess-Nr. 976 nach DIN EN ISO 4063) von Feinblechen aus Stahl mit einer Einzelblechdicke von 0,6 mm bis 0,8 mm durch Bördelnähte am symmetrischen Bördelstoß.

Allgemeine Festlegungen finden sich in SEP 1220-1, das im Zusammenhang mit diesem SEP zu verwenden ist.

2 Scope

This SEP is valid for the determination of the joinability by laser beam brazing (process nr. 976 according to EN ISO 4063) of thin steel sheet with a single sheet thickness from 0.6 mm to 0.8 mm by flange joints in a symmetric flange configuration.

General information is provided in SEP 1220-1, which shall be used in combination with this SEP.

3 Probenvorbereitung

Das Material wird mit dem üblichen Beölungsgrad (Anlieferungszustand) untersucht. Ölsorte und Ölmenge sind zu dokumentieren.

Die Bleche haben die Maße 500 mm x 120 mm (L x B) mit einer Biegung auf der Seite B bei 100 mm (bzw. 20 mm), sodass eine freie Einspannlänge von 95 mm für die Zugproben gewährleistet wird. Der äußere Biegeradius beträgt 2,5 mm bis 3,0 mm.

Der Blechzuschnitt hat unter Berücksichtigung der Walzrichtung zu erfolgen. Die kurze Seite der Zuschnitte (B, 120 mm) muss parallel zur Walzrichtung sein.

3 Preparation of samples

The material shall be investigated in normal oiled condition (as received). The type and quantity of the oil shall be documented.

The sheets have dimensions of 500 mm x 120 mm (l x w) with a bend on side B at 100 mm (respective 20 mm), so that a free clamping length of 95 mm for the tensile specimens is ensured. The outer bending radius is to be 2.5 mm to 3.0 mm.

In preparing the metal sheets the rolling direction has to be considered. The short side of the sheets (w, 120 mm) shall be parallel to the rolling direction.

4 Prüfbedingungen

Eine Zusammenfassung des gesamten Prüfablaufs ist **Tabelle 1** zu entnehmen. Bei allen Lötungen sind die Versuchsbedingungen einzuhalten und zu dokumentieren (siehe Muster-Dokumentationsblatt 1).

4 Test conditions

A summary of the entire testing scope is shown in **Table 1**. In all brazing tests the testing conditions shall be fulfilled and documented (see example documentation sheet 1).

Die **Laserstrahlquelle** muss mindestens über eine Laserleistung von 4,0 kW verfügen und im Wellenlängenbereich von 950 nm bis 1080 nm emittieren.

The **laser beam source** must have a laser power of at least 4.0 kW and emit in the wavelength range of 950 nm to 1080 nm.

Arbeits- oder Schutzgase werden nicht verwendet. Sollte der Werkstoff oder die Oberflächenbeschichtung ohne Schutzgas nicht lötfähig sein, sind die folgenden Angaben zu dokumentieren: Art des Gases, Gas-Volumenstrom, Düsendurchmesser und -winkel.

Process or shielding gas are not used. Should the material or the surface coating be not brazeable without shielding gas, the following parameters shall be documented: type of gas, gas flow, nozzle diameter and nozzle angle.

Als **Zusatzwerkstoff** ist ein CuSi3-Runddraht mit einem Durchmesser d_w von 1.6 mm zu verwenden und der Drahtzuführwinkel relativ zum Laserstrahl beträgt 45 Grad. Dabei ist eine freie Länge des Drahtes (stick out) nach Drahtdüse von $8 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ einzustellen und zu dokumentieren.

As **filler material** a CuSi3 round wire with a diameter d_w of 1.6 mm shall be used, and the wire feed angle relative to the laser beam is to be 45 degrees. For this, a free wire length (stick out) of $8 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ over the nozzle is to be adjusted and to be documented.

Sollte der Werkstoff oder die Oberflächenbeschichtung mit dem Zusatzwerkstoff CuSi3 nicht lötfähig sein, so sind die Art des eingesetzten Zusatzwerkstoffs und der Drahtdurchmesser zu dokumentieren.

Should the material or the surface coating be not brazeable with the filler material CuSi3, the used type of filler material and the wire diameter shall be documented.

Der **Fokusbereich** d_f des monofokalen Strahls beträgt das Doppelte des Drahtdurchmessers ($2 \times d_w$) und wird längs auf der Drahtmitte positioniert. Der Schleppwinkel der Laser-Bearbeitungsoptik beträgt $7^\circ \pm 2^\circ$ und ist zu dokumentieren. Die Lötposition ist PA (horizontale Blechlage).

The **focus diameter** d_f of the monofocal beam is twice the filler wire diameter ($2 \times d_w$) and is positioned lateral on the center of the wire. The drag angle of the laser optic is in the range of $7^\circ \pm 2^\circ$ and is to be documented. The brazing position is PA (horizontal sheet orientation).

Das Verhältnis aus Drahtfördergeschwindigkeit v_d und Lötgeschwindigkeit v_l muss zwischen 0,8 und 1,2 liegen und ist zu dokumentieren.

The ratio of the wire feed speed v_d and the brazing speed v_l must be within 0.8 to 1.2 and shall be documented.

Die kurzen Seiten der gebogenen Bleche müssen nach dem Einspannen einen technischen Nullspalt ohne Höhenversatz aufweisen, siehe **Bilder 1 + 3**.

After clamping, the short sides of the bent sheets shall have a technical zero gap without height offset, see **Figures 1 + 3**.

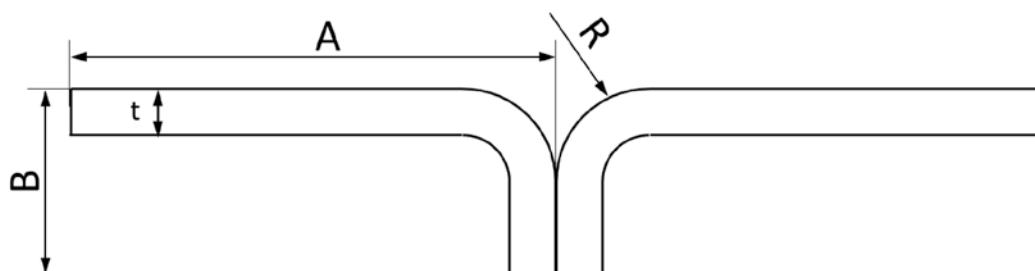


Bild 1 Positionierung der Lötprobe

Figure 1 Positioning of brazing sample

Bild 2 Beispiel für eine Spannvorrichtung

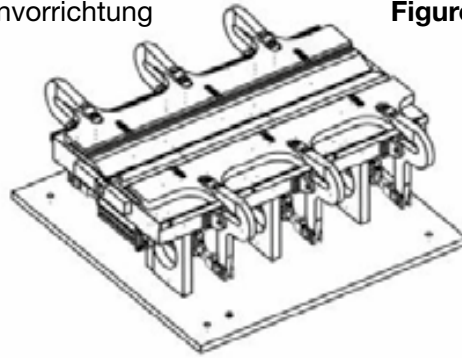


Figure 2 Example clamping device

Ein Beispiel einer Spannvorrichtung ist in **Bild 2** dargestellt. Die verwendete Spannvorrichtung ist fotografisch zu dokumentieren.

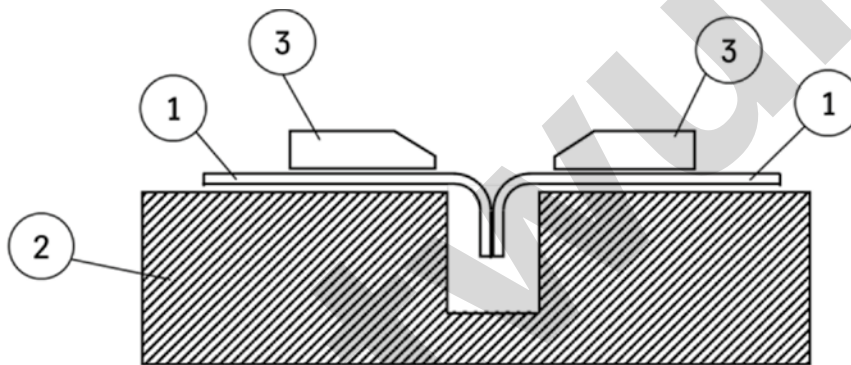
An example of a clamping device is shown in **Figure 2**. The used clamping device shall be documented photographically.

CAD-Daten können beim Stahlinstitut VDEh bezogen werden.

CAD data can be obtained by Stahlinstitut VDEh.

Die wesentlichen Elemente sind in **Bild 3** dargestellt.

The essential elements are shown in **Figure 3**.



- 1 = Blech
- 2 = Körper der Spannvorrichtung
- 3 = Spannklemmer

- 1 = Sheet
- 2 = Body of clamping device
- 3 = Clamp

Bild 3 Spannkonzep (schematisch)

Figure 3 Clamping concept (schematic)

5 Bestimmung der Qualitätsstufen

5 Determination of quality levels

5.1 Bestimmung der maximalen Lötgeschwindigkeit

5.1 Determination of the maximum brazing speed

Die maximale bzw. optimale Lötgeschwindigkeit ist am beschriebenen Versuchsaufbau der Bördelnah am Bördelstoß zu ermitteln.

The maximum, respective optimum brazing speed shall be determined on the described experimental setting of the flange seam at the flange joint.

Hierbei ist die v_{Lmax} die maximale und V_{Lopt} die optimale Lötgeschwindigkeit.

Hereby, v_{Lmax} is the maximum and V_{Lopt} the optimum brazing speed.

Als optimale Lötgeschwindigkeit gilt die Geschwindigkeit, bei der nach der Sichtprüfung

The optimum brazing speed is defined as the brazing speed for which, after visual testing, the

die beste optische Nahtqualität erreicht wird. Kriterien: Poren, Spritzer, Randwelligkeit.

best optical seam quality can be achieved. Criteria: pores, splashing, edge waviness.

5.1.1 Durchführung

Bleche mit 500 mm Länge sind zu verwenden. Die Lötnahtlänge beträgt 480 mm.

5.1.1 Procedure

Sheets with a length of 500 mm shall be used. The length of the brazing seam is 480 mm.

Startpunkt: Die Laserleistung P_s wird auf 3,6 kW eingestellt. (siehe **Bild 4**)

Starting point: The laser power is set to 3.6 kW. (see **Figure 4**)

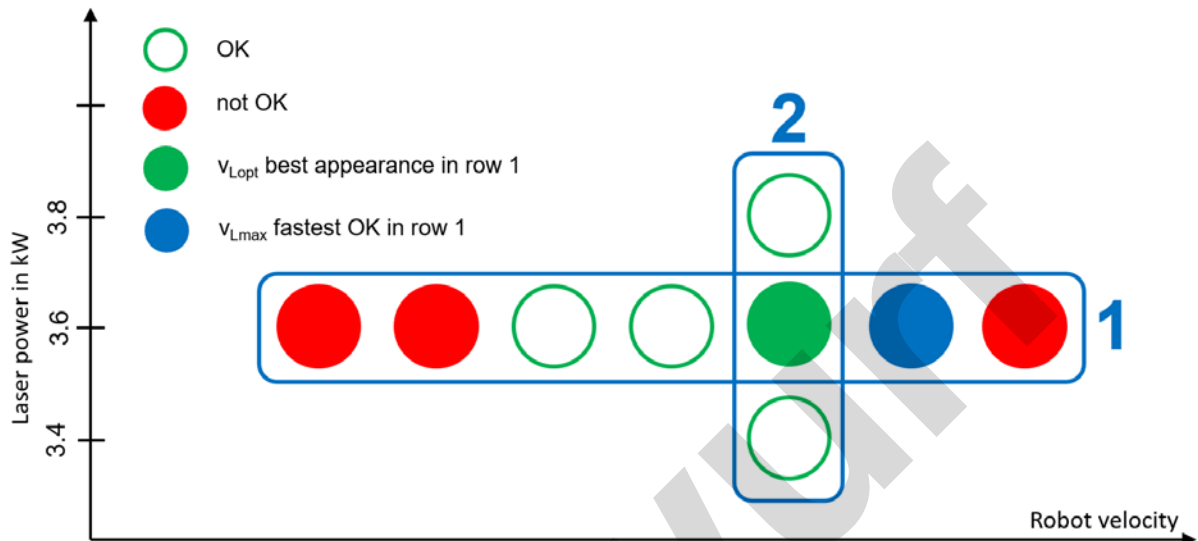


Bild 4 Bestimmung der maximalen und der optimalen Lötgeschwindigkeit

Figure 4 Determination of maximum and optimum brazing speed

Die Lötgeschwindigkeit wird bis zum Erreichen der maximalen Lötgeschwindigkeit in Schritten von 0,2 m/min erhöht.

The brazing speed is increased in steps of 0.2 m/min until the maximum brazing speed is reached.

Prozedur 1 Horizontale Reihe
(variieren die Löt-(Roboter-)Geschwindigkeit, halte 3,6 kW Laserleistung)

Procedure 1 Horizontal row
(vary the brazing (robot) speed, keep 3.6 kW laser power)

- Erhöhe die Geschwindigkeit in Schrittwerte 0,2 m/min
- Finde die maximale Geschwindigkeit V_{Lmax} = schnellster gut aussehender Datenpunkt für eine Lötnaht (kein akzeptables Ergebnis mit einer höheren Geschwindigkeit erreichbar)

- Increase the speed in steps of 0.2 m/min
- Find the maximum speed V_{Lmax} = fastest good-looking data point for a brazed seam (no acceptable result achievable with a higher speed)

5.2 Bestimmung der optimalen Lötgeschwindigkeit

5.2 Determination of the optimum brazing speed

Prozedur 2 Vertikale Reihe
(variieren die Laserleistung für Lötgeschwindigkeit V_L aus Prozedur 1)

Procedure 2 Vertical row
(vary the laser power for brazing speed V_L from procedure 1)

- Variiere die Leistung $\pm 0,2$ kW ausgehend von V_{Lmax} in Prozedur 1

- Vary power ± 0.2 kW from V_L in procedure 1

- Zufriedenstellend = 3 akzeptable Löt Nähte mit variierter Laserleistung

Optimales Ergebnis: mindestens 3 akzeptable Löt Nähte = beste Reihe = $V_{L,opt}$

Hinweis 1: $V_{L,opt}$ kann $V_{L,max}$ sein

Hinweis 2: Wenn nicht 3 Nähte akzeptabel sind, wird die Geschwindigkeit um 0,2 m/min reduziert und Prozedur 2 wiederholt.

Der optimale Punkt plus die beiden ober- und unterhalb liegenden Laserleistungen (insgesamt drei Lötproben) werden im Folgenden weiter untersucht.

5.2.1 Dokumentation und Auswertung

Die bestimmten Lötgeschwindigkeiten $v_{L,opt}$ sowie die Laserleistung P_s sind zu dokumentieren (siehe Muster-Dokumentationsblatt 2)

6 Prüfverfahren

6.1 Probenherstellung

Aus den Lötproben mit der optimalen Lötgeschwindigkeit (3 Bleche, siehe 5.1.1 und **Bild 4**, grüner Kreis) werden die Prüfstücke für die weitere Prüfung hergestellt, je Blech:

- 3 Querschliffe für Metallographie
- 3 Scherzugproben

Einen Überblick über den Ablauf der Prüfungen geben **Tabelle 1 + Bild 5**.

6.2 Zerstörungsfreie Prüfung

6.2.1 Sichtprüfung

Die Lötproben werden visuell geprüft. Von der besten und der schlechtesten Stelle je Lötnaht wird je ein Foto angefertigt (siehe **Bild 6**). Eventuelle Unregelmäßigkeiten sind zu dokumentieren. (siehe Muster-Dokumentationsblatt 3)

6.3 Zerstörende Prüfungen

6.3.1 Quasistatische Zugprüfung

6.3.1.1 Durchführung

Die Prüfung erfolgt bei Raumtemperatur (296 ±5K) in Anlehnung an DIN EN ISO 14273. Die freie Einspannlänge ist zu beachten (siehe Ab-

- Satisfactory = 3 acceptable brazed seams with varied laser power

Optimum result: at least 3 acceptable brazed seams = best row = $V_{L,opt}$

Note 1: $V_{L,opt}$ can be $V_{L,max}$

Note 2: If no 3 seams are acceptable, the speed will be reduced by 0.2 m/min and procedure 2 is repeated

The optimum point as well as the upper and lower laser power values (in total three brazing samples) are further investigated as follows.

5.2.1 Documentation and evaluation

The determined brazing speeds $v_{L,opt}$ and the laser power P_s are to be documented (see example documentation sheet 2)

6 Test methods

6.1 Sample preparation

From the samples brazed at the optimum brazing speed (3 sheets, see 5.1.1 and **Figure 4**, green circle), the specimens are produced for further testing, each per sheet:

- 3 cross sections for metallography,
- 3 tensile shear specimens

An overview of the testing sequence is given in **Table 1 + Figure 5**.

6.2 Non-destructive testing

6.2.1 Visual testing

The brazed specimens are visually tested. The best and the worst location of each brazed seam shall be represented by one photograph each (see **Figure 6**). Possible irregularities shall be documented. (see example documentation sheet 3)

6.3 Destructive testing

6.3.1 Quasi-static tensile testing

6.3.1.1 Procedure

Testing should be carried out at room temperature (296 ±5K) following EN ISO 14273. Free clamping length has to be taken into account

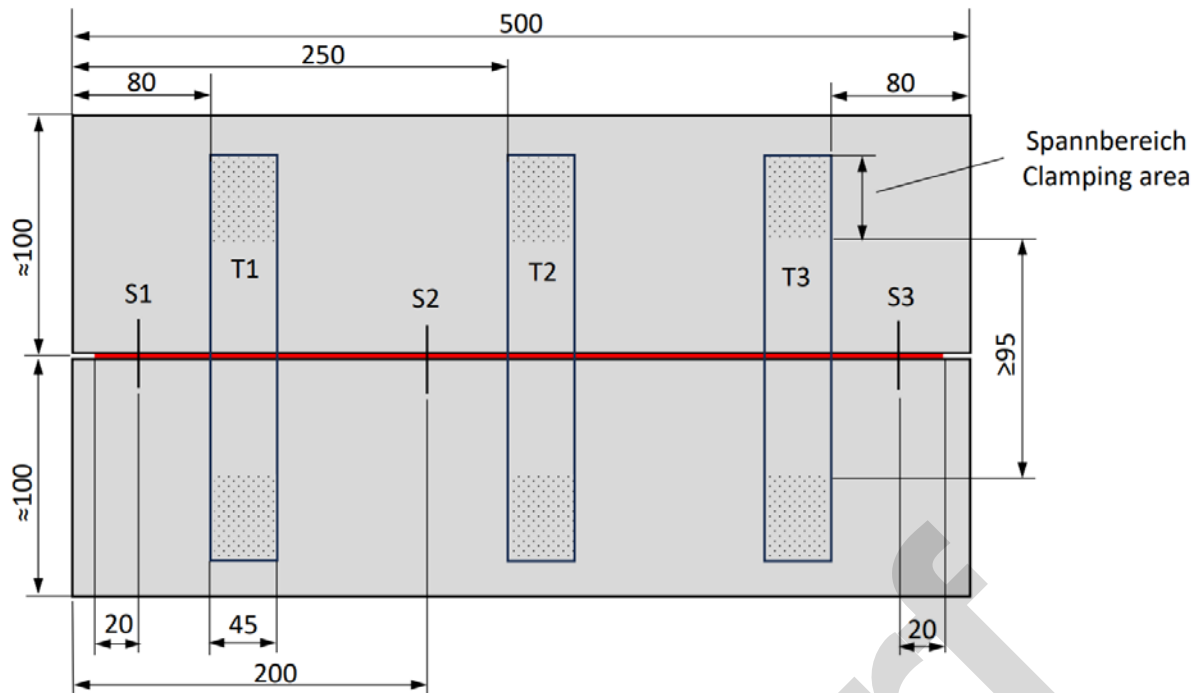


Bild 5 Probenentnahmeplan

Figure 5 Sampling plan

schnitt 3). Die Prüfgeschwindigkeit muss 10 mm/min betragen.

(see clause 3). Testing speed shall be 10 mm/min.

6.4 Dokumentation und Auswertung

Die Bruchart ist entsprechend **Bild 7** zu bewerten und fotografisch durch eine Übersichtsaufnahme zu dokumentieren. (siehe Muster-Dokumentationsblatt 4)

6.4 Documentation and evaluation

The fracture type shall be assessed according to **Figure 7** and documented by an overview photograph (see example documentation sheet 4)

Zu dokumentieren ist das Kraft-Verlängerungs-Diagramm.

To be documented is the force-displacement diagram.

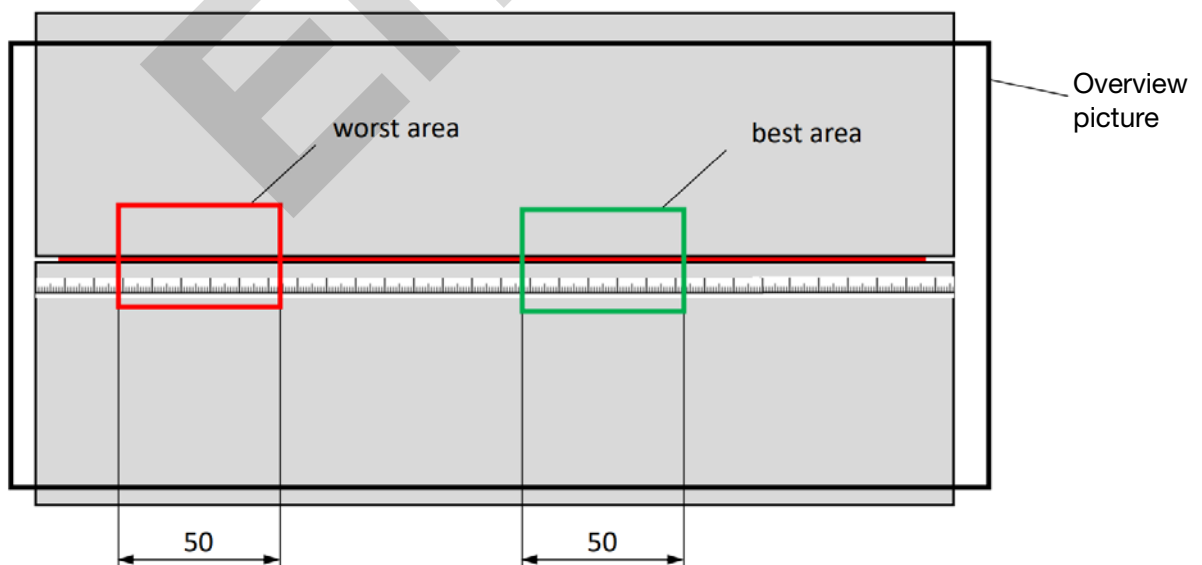
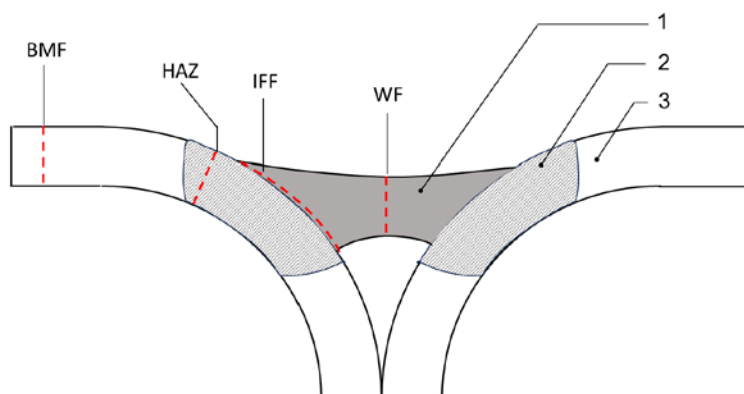


Bild 6 Fotografische Dokumentation der visuellen Prüfung

Figure 6 Photographic documentation of visual inspection



1	Lot / Braze material
2	Wärmeeinflusszone / heat affected zone
3	Grundwerkstoff / base metal
BMF	Bruch im Grundwerkstoff / base metal fracture
HAZ	Bruch in der Wärmeeinflusszone / fracture in heat affected zone
IFF	Bruch an der Grenzfläche zwischen Lot und Grundmaterial / interfacial fracture between braze material and base metal
WF	Bruch im Lot / fracture in braze material

Bild 7 Bruchverhalten und Bruchlage**Figure 7** Fracture behaviour and location

6.5 Metallographie

6.5 Metallography

6.5.1 Durchführung

6.5.1 Procedure

Die Lötverbindungen und der angrenzende Grundwerkstoff sind in Form eines geätzten Querschliffs zu dokumentieren.

The brazed joints and the adjacent base material are to be documented by means of an etched transverse cross section.

6.5.2 Dokumentation und Auswertung

6.5.2 Documentation and evaluation

Die Schliffaufnahmen einschließlich Maßstab sind in digitaler Form an das Prüfprotokoll anzufügen. (siehe Muster-Dokumentationsblatt 5 und Bild 8)

The cross section photographs including a scale shall be added in digital format to the test report. (see example documentation sheet 5 and Figure 8)

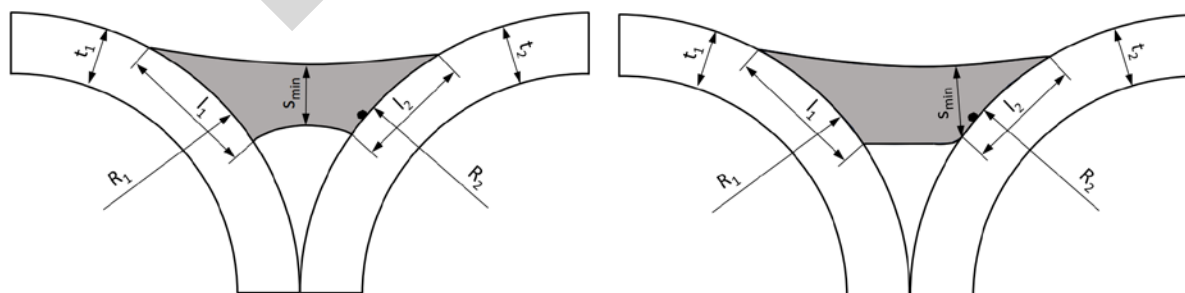


Bild 8 Bestimmung der Nahtgeometrie mit metallographischen Schliffen, schematisch (symmetrische (links) und stark unsymmetrische Naht (rechts))

Figure 8 Determination of the seam geometry by metallographic cross sections, schematic (symmetric seam (left) and significantly asymmetric seam (right))

Die Nahtgeometrie muss vermessen werden (Radien, Dicken). Bei offensichtlich unsymmetrischer Naht ist die dünnste Stelle zu bestimmen und zu dokumentieren. (siehe Muster-Dokumentationsblatt 6)

The seam geometry shall be measured (radii, thicknesses). For obviously unsymmetric seams, the thinnest location shall be determined and documented (see example documentation sheet 6).

7 Muster-Dokumentationsblätter

(siehe Anhang)

- 1 Einstellungen
- 2 Qualitätsstufen
- 3 Sichtprüfung
- 4 Zugprüfung
- 5 Metallographie
- 6 Nahtgeometrie

7 Example documentation sheets

(see Annex)

1. Settings
2. Quality levels
3. Visual tests
4. Tensile tests
5. Metallography
6. Seam geometry

8 Einheiten

Soweit nicht anders vereinbart, sind bei allen durchgeführten Messungen die folgenden Einheiten zu verwenden:

Kraft	<kN>
Weg	<mm>
Zeit	<ms>
Temperatur	<K>
Strom	<kA>
Arbeit	<kJ>
Relative Größe	<%>
Winkel	<°>
Geschwindigkeit	m/min

8 Units

When not differently specified, the following units shall be used in all measurements:

Force	<kN>
Distance	<mm>
Time	<s>
Temperature	<K>
Current	<kA>
Energy	<kJ>
Related dimension	<%>
Angle	<°>
velocity	m/min

9 Formelzeichen

v_D	Drahtvorschubgeschwindigkeit
v_L	Lötgeschwindigkeit
v_{Lmax}	maximale Lötgeschwindigkeit
v_{Lopt}	optimale Lötgeschwindigkeit
d_D	Drahtdurchmesser Zusatzwerkstoff
P_S	Laserleistung (Startwert)

9 Symbols

v_D	Wire feed speed
v_L	Brazing speed
v_{Lmax}	Maximum brazing speed
v_{Lopt}	Optimum brazing speed
d_D	Filler wire diameter
P_S	Laser power at start

10 Datenheader Laserstrahllöten

10.1 Beschreibung Datenheader nach SEP 1220-1

Um eine eindeutige Zuordnung der Proben zu erhalten, ist ein Probenname nach folgenden Merkmalen zu vergeben. Der die Untersuchungswerkstoffe beschreibende Datenheader ist exemplarisch in SEP 1220-1 beschrieben.

10 Data header laser beam brazing

10.1 Description of data header according to SEP 1220-1

To obtain an unambiguous identification of the specimens, the specimen name is assigned according to the following characteristics. The data header that relates to the investigated material is described in SEP 1220-1.

Das übergeordnete Merkmal des in diesem SEP beschriebenen Laserstrahl­lötens ist J_00976.

The superordinate characteristic for laser beam brazing, described in this SEP, is J_00976.

10.2 Merkmal „Leistungsstufe bei $V_{L,opt}$ (P34, P36, P38)“

Als Einstellungen für die Herstellung von Proben zur weiteren Prüfung wird bei konstant gehaltenem $V_{L,opt}$ die Laserleistung um $\pm 0,2$ kW um die Leistung des Startpunktes variiert.

P34 = 3,6 kW – 0,2 kW = 3,4 kW
P36 = 3,6 kW ($\triangle$ Startpunkt)
P38 = 3,6 kW + 0,2 kW = 3,8 kW

10.2 Designation “Power level at $V_{L,opt}$ (P34, P36, P38)”

As parameter settings for brazing the samples for further testings, the laser power at constant $V_{L,opt}$ is varied for $\pm 0,2$ kW around power of the the starting point.

P34 = 3,6 kW – 0,2 kW = 3,4 kW
P36 = 3,6 kW ($\triangle$ starting point)
P38 = 3,6 kW + 0,2 kW = 3,8 kW

10.3 Merkmal „Kennzeichnung des Parallelversuchs (a-c)“

Das Merkmal dient zur Kennzeichnung des jeweiligen Parallelversuchs.

Beispiel:

J_00976_A_SZ_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_R01_17_P36_b.txt

10.3 Designation of parallel tests (a-c)

This characteristic is used to designate relevant parallel tests.

e.g.:

J_00976_A_SZ_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_R01_17_P36_b.txt

11 Normative Verweisungen

SEP 1220-1 Prüf- und Dokumentationsrichtlinie für die Fügeignung von Feinblechen aus Stahl – Teil 1: Allgemeine Festlegungen

DIN EN ISO 4063 Schweißen, Hartlöten, Weichlöten und Schneiden – Liste der Prozesse und Ordnungsnummern

DIN EN ISO 14273 Widerstandsschweißen – Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen – Probenmaße und Verfahren für die Scherzugprüfung an Widerstandspunkt-, Rollennaht- und Buckelschweißungen mit geprägten Buckeln

DIN EN ISO 17639 Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen an metallischen Werkstoffen – Makroskopische und mikroskopische Untersuchungen an Schweißnähten

11 Normative References

SEP 1220-1 Testig and documentation guideline for the joinability of thin sheet of steel – Part 1: General specifications

EN ISO 4063 Welding, brazing, soldering and cutting – Nomenclature of processes and reference numbers

EN ISO 14273 Resistance welding – Destructive testing of welds – Specimen dimensions and procedure for tensile shear testing resistance spot and embossed projection welds

EN ISO 17639 Destructive tests of welds in metallic materials – Macroscopic and microscopic examination of welds

12 Anhang**12.1 Tabellen****12 Annex****12.1 Tables****Tabelle 1** Zusammenfassung der Prüfungen, Prüfablauf

Ziel	Aufgabe	Proben- Abmessung	Löten / Prüfung	Anzahl
Bestimmung der max. Lötgeschwindigkeit v_L	Lötproben-herstellung	Länge 500 mm	PS = 3,6 kW; Steigerung der Lötgeschwindigkeit in Schrittweiten von 0,2 m/min v_{Lmax} ist die maximale Geschwindigkeit mit einer guten Probe v_{Lopt} ist die Geschwindigkeit mit der besten optischen Nahtqualität (mehrere gute Proben)	Soviel wie nötig
	Sichtprüfung			Alle
Variation der Laserleistung	Lötproben-Herstellung	Länge 500 mm	PS = 3,6 kW; Laserlöten mit v_{Lopt} Variation der Laserleistung $\pm 0,2$ kW, (Verringerung von v_{Lmax} falls erforderlich)	Soviel wie nötig
	Sichtprüfung			Alle
Herstellung der Proben für Zugprüfungen und metallographische Schliffe	Lötproben-Herstellung	Länge 500 mm	PS = 3,6 kW; Laserlöten mit v_{Lopt} Variation der Laserleistung $\pm 0,2$ kW	3
Sichtprüfung	Fotografische Dokumentation	Länge 500 mm	Fotos der für die Prüfungen gelöteten 3 Proben Übersichtsaufnahme Detailaufnahme Ausschnitt 50 mm beste und schlechteste Stelle	9
Zugprüfung	Quasistatische Zugprüfung	45 mm Breite	Aus einer Naht; Prüfung nach DIN EN ISO 14273	9
Metallographische Schliffe	Querschiffe		T1 bis T3 aus bester Naht mit v_{Lopt} und $\pm 0,2$ kW	9

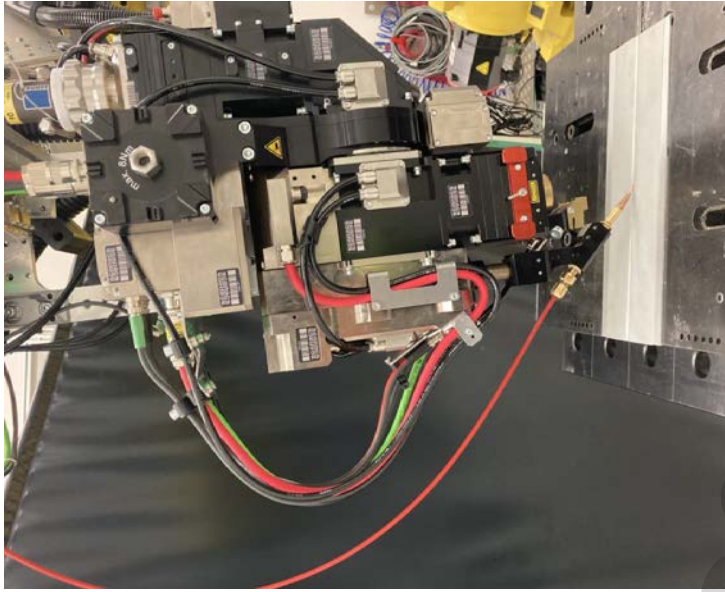
Table 1 Summary of testing, test sequence

Task	Action	Sample Size	Brazing / test condition	Number
Determination of max. brazing speed v_L	Preparation of brazing samples	Length 500 mm	$P_s = 3.6 \text{ kW}$; Increase brazing speed in steps of 0.2 m/min v_{Lmax} is the maximum speed with one good sample v_{Lopt} is the speed with best optical appearance (several good samples)	As many as necessary
	Visual testing			all
Variation of laser power	Preparation of brazing samples	Length 500 mm	$P_s = 3.6 \text{ kW}$; laser brazing with v_{Lopt} Variation of laser power $\pm 0.2 \text{ kW}$, reduction of v_{Lmax} if required	As many as necessary
	Visual testing			all
Preparation of samples for tensile test and metallographic cross sections	Preparation of brazing samples	Length 500 mm	$P_s = 3.6 \text{ kW}$; Laser brazing with v_{Lopt} Variation of laser power $\pm 0.2 \text{ kW}$	3
Visual assessment	Photografic documentation	Length 500 mm	Pictures of the brazed 3 samples for testing Overview picture of the brazed seam Detailed picture of worst and best area with 50 mm of seam	9
Testing of flanged seams	Quasistatic shear tensile test	45 mm width	From a single weld; testing according to EN ISO 14273	9
Metallographic cross sections	Cross sections		T1 to T3 from best seam with v_{Lopt} and $\pm 0.2 \text{ kW}$	9

12.2 Muster-Dokumentationsblätter

12.2 Example documentation sheets

Blatt 1 Einstellungen / Sheet 1 Settings

Material		
steel grade: coating: surface quality: oil: amount of oil [g/m²/side]: sheet thickness [mm]:	DC04 ZN50 ZN50 - lightly oiled - 0,75	
Brazing Parameters		
laser beam source: laser power [kW]: wave length [nm]: fibre diameter [µm]: laser head: focal distance [mm]: collimation [mm]: focus diameter d_f [mm]: drag angle [°]:	(manufacturer and type) 8,0 1030,0 600,0 (manufacturer and type) 250,0 172 3,2 7	CuSi3Mn 1,6 45 7 - - - - flange joint PA 0
filler material: wire diameter d_w [mm]: wire feed angle (relative to laser beam): free wire length (stick out) [mm]: shielding gas: shielding gas flow [l/min]: nozzle diameter [mm]: nozzle angle [°]: seam type: brazing position: gap [mm]:		

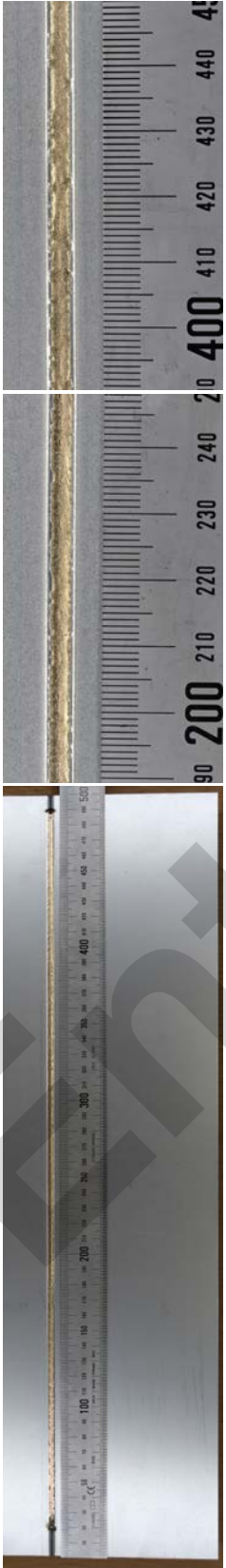
Blatt 2 Qualitätsstufen / Sheet 2 Quality levels

brazo no.	laser power [kW]	brazing speed [m/min.]	V _{Lmax}	V _{Lopt}	wire feed speed [m/min.]	ratio wire feed speed to brazing speed	brazo quality	comment on quality
1	3,6	3,0			3,0	1,0	nok	molten base material (too much laserpower)
2	3,6	3,2			3,2	1,0	ok	
3	3,6	3,4			3,4	1,0	ok	
4	3,6	3,6			3,6	1,0	ok	
5	3,6	3,8			3,8	1,0	ok	
6	3,6	4,0		x	4,0	1,0	ok	best visual appearance
7	3,6	4,2	x		4,2	1,0	ok	edge waviness
8	3,6	4,4			4,0	0,9	not ok	partly missing connection (missing laser power)
9	3,8	4,0			4,0	1,0	-	
10	3,4	4,0			4,0	1,0	-	

Blatt 3 Sichtprüfung / Sheet 3 Visual test

brazing speed v_{Lopt} [m/min]	laser power [kW]	brazing speed v_{Lopt} [m/min]	comment on braze quality
4.0	3.4	4.0	smooth surface, two small unregular seam edges
4.0	3.6	4.0	smooth surface, even seam edge
4.0	3.8	4.0	smooth surface, partial seam overflow

brazing 10 at 3.4 kW / 4.0 m/min:

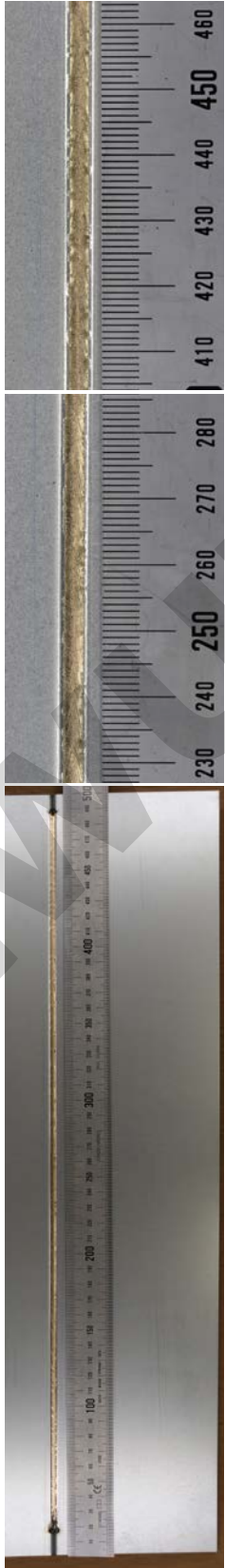


overview picture of whole seam
file name.jpg

detailed picture of the best part of the seam
file name.jpg

detailed picture of the worst part of the seam
file name.jpg

brazing 8 at 3.6 kW / 4.0 m/min:



overview picture of whole seam
file name.jpg

detailed picture of the best part of the seam
file name.jpg

detailed picture of the worst part of the seam
file name.jpg

brazing 9 at 3.8 kW / 4.0 m/min:



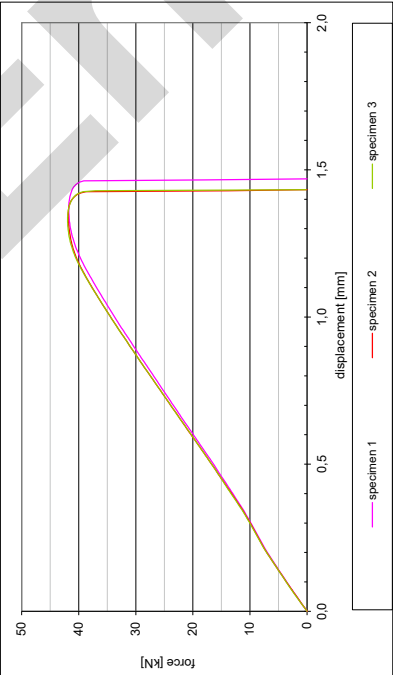
overview picture of whole seam
file name.jpg

detailed picture of the best part of the seam
file name.jpg

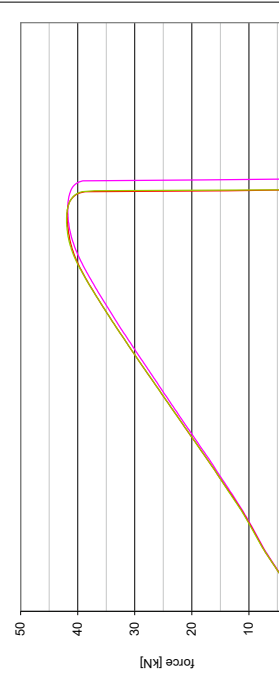
detailed picture of the worst part of the seam
file name.jpg

Blatt 4 Zugprüfung / Sheet 4 Tensile test

braze 10 at 3.4 kW / 4.0 m/min							
specimen	F _{max} [kN]	S _{0.2} max [mm]	W _{Fmax} [J]	0.3·F _{max} [kN]	S _{0.3} max [mm]	W _{0.3Fmax} [J]	fracture location
specimen 1	41.7	1.4	31.0	12.5	1.5	35.0	
specimen 2	41.9	1.3	30.6	12.6	1.4	34.0	
specimen 3	42.0	1.3	30.2	12.6	1.4	34.1	
mean value:	41.9	1.3	30.6	12.6	1.4	34.3	
max:	42.0	1.4	31.0	12.6	1.5	35.0	
min:	41.7	1.3	30.2	12.5	1.4	34.0	
deviation +:	0.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.6	
deviation -:	0.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4	
standard deviation:	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.5	



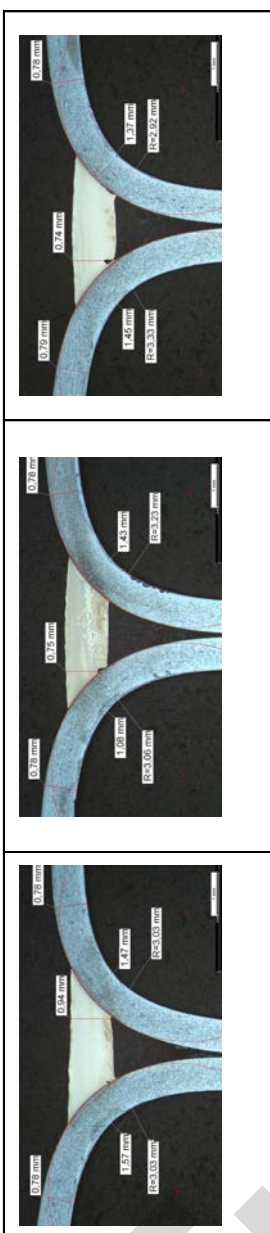
braze 8 at 3.6 kW / 4.0 m/min.							
specimen	F _{max} [kN]	S _{0.2} max [mm]	W _{Fmax} [J]	0.3·F _{max} [kN]	S _{0.3} max [mm]	W _{0.3Fmax} [J]	fracture location
specimen 1	41.7	1.4	31.0	12.5	1.5	35.0	
specimen 2	41.9	1.3	30.6	12.6	1.4	34.0	
specimen 3	42.0	1.3	30.2	12.6	1.4	34.1	
mean value:	41.9	1.3	30.6	12.6	1.4	34.3	
max:	42.0	1.4	31.0	12.6	1.5	35.0	
min:	41.7	1.3	30.2	12.5	1.4	34.0	
deviation +:	0.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.6	
deviation -:	0.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4	
standard deviation:	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.5	



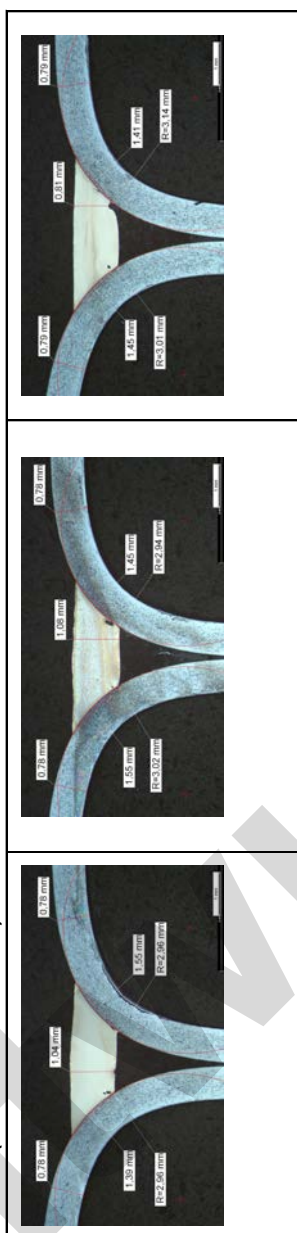
braze1											
specimen 1			specimen 2			specimen 3			braze2		
disp. [mm]	force [kN]	disp. [mm]	force [kN]	disp. [mm]	force [kN]	disp. [mm]	force [kN]	disp. [mm]	disp. [mm]	force [kN]	disp. [mm]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.02	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.04	0.00
0.00	0.10	0.01	0.01	0.33	0.00	0.01	0.33	0.00	0.01	0.33	0.00
0.01	0.30	0.02	0.02	0.55	0.01	0.30	0.55	0.01	0.30	0.55	0.01
0.02	0.78	0.02	0.02	0.79	0.02	0.78	0.79	0.02	0.78	0.79	0.02
0.03	0.90	0.03	0.03	1.03	0.02	0.81	1.03	0.02	0.81	1.03	0.02
0.04	1.14	0.03	0.03	1.14	0.04	1.19	1.14	0.04	1.14	1.19	0.04
0.04	1.27	0.04	0.04	1.27	0.04	1.44	1.27	0.04	1.27	1.44	0.04
0.04	1.39	0.05	0.05	1.77	0.05	1.70	1.39	0.05	1.77	1.70	0.05
0.05	1.63	0.06	0.06	2.01	0.05	1.82	1.63	0.06	2.01	1.82	0.05
0.05	1.75	0.06	0.06	2.27	0.06	2.08	1.75	0.06	2.27	2.08	0.06
0.06	2.00	0.07	0.07	2.50	0.06	2.32	2.00	0.07	2.50	2.32	0.06
0.06	2.12	0.07	0.07	2.63	0.07	2.70	2.12	0.07	2.63	2.70	0.07
0.06	2.24	0.08	0.08	2.75	0.08	2.93	2.24	0.08	2.75	2.93	0.08
0.07	2.49	0.08	0.08	2.99	0.09	3.17	2.49	0.08	2.99	3.17	0.09
0.07	2.60	0.09	0.09	3.52	0.10	3.52	2.60	0.09	3.52	3.52	0.10
0.08	2.73	0.10	0.10	3.48	0.10	3.74	2.73	0.10	3.48	3.74	0.10
0.08	2.96	0.10	0.10	3.60	0.11	3.97	2.96	0.10	3.60	3.97	0.11
0.09	3.19	0.11	0.11	3.83	0.11	4.08	3.19	0.11	3.83	4.08	0.11
0.09	3.31	0.11	0.11	3.95	0.12	4.30	3.31	0.11	3.95	4.30	0.12
0.10	3.54	0.11	0.11	4.06	0.12	4.42	3.54	0.11	4.06	4.42	0.12
0.11	3.88	0.12	0.12	4.28	0.13	4.65	3.88	0.12	4.28	4.65	0.13
0.12	4.11	0.12	0.12	4.40	0.14	4.88	4.11	0.12	4.40	4.88	0.14
0.12	4.34	0.13	0.13	4.64	0.14	5.11	4.34	0.13	4.64	5.11	0.14
0.13	4.57	0.14	0.14	4.87	0.15	5.34	4.57	0.14	4.87	5.34	0.15
0.14	4.91	0.14	0.14	4.99	0.15	5.45	4.91	0.14	4.99	5.45	0.15
0.15	5.25	0.15	0.15	5.22	0.16	5.68	5.25	0.15	5.22	5.68	0.16
0.16	5.47	0.16	0.16	5.47	0.16	5.80	5.47	0.16	5.47	5.80	0.16
0.16	5.70	0.16	0.16	5.68	0.17	5.91	5.70	0.16	5.68	5.91	0.17
0.17	5.82	0.16	0.16	5.79	0.17	6.14	5.82	0.16	5.79	6.14	0.17
0.17	6.04	0.17	0.17	6.03	0.18	6.37	6.04	0.17	6.03	6.37	0.18
0.18	6.37	0.18	0.18	6.26	0.18	6.48	6.37	0.18	6.26	6.48	0.18
0.19	6.48	0.18	0.18	6.49	0.19	6.72	6.48	0.18	6.49	6.72	0.19
0.19	6.70	0.19	0.19	6.71	0.20	6.94	6.70	0.19	6.71	6.94	0.20
0.20	6.81	0.20	0.20	6.81	0.20	7.17	6.81	0.20	6.81	7.17	0.20
0.20	6.93	0.20	0.20	6.93	0.21	7.37	6.93	0.20	6.93	7.37	0.21
0.21	7.15	0.21	0.21	7.15	0.21	7.60	7.15	0.21	7.15	7.60	0.21
0.21	7.36	0.22	0.22	7.36	0.22	7.71	7.36	0.22	7.36	7.71	0.22
0.29	9.52	0.29	0.29	9.52	0.29	9.73	9.52	0.29	9.52	9.73	0.29
0.30	9.72	0.30	0.30	9.72	0.30	10.39	9.72	0.30	9.72	10.39	0.30
0.30	9.92	0.31	0.31	9.92	0.31	10.60	9.92	0.31	9.92	10.60	0.31
0.31	10.12	0.32	0.32	10.12	0.32	10.78	10.12	0.32	10.12	10.78	0.32
0.32	10.51	0.33	0.33	10.51	0.33	11.11	10.51	0.33	10.51	11.11	0.33
0.33	10.62	0.33	0.33	10.62	0.34	11.31	10.62	0.33	10.62	11.31	0.34
0.33	10.81	0.34	0.34	10.81	0.34	11.44	10.81	0.34	10.81	11.44	0.34
0.34	11.00	0.34	0.34	11.00	0.35	11.66	11.00	0.34	11.00	11.66	0.35
0.35	11.21	0.35	0.35	11.21	0.35	11.89	11.21	0.35	11.21	11.89	0.35
0.35	11.43	0.35	0.35	11.43	0.35	12.11	11.43	0.35	11.43	12.11	0.35
0.36	11.65	0.36	0.36	11.65	0.36	12.23	11.65	0.36	11.65	12.23	0.36
0.36	11.77	0.36	0.36	11.77	0.36	12.47	11.77	0.36	11.77	12.47	0.36
0.37	11.88	0.37	0.37	11.88	0.37	12.69	11.88	0.37	11.88	12.69	0.37
0.37	12.10	0.37	0.37	12.10	0.37	12.93	12.10	0.37	12.10	12.93	0.37
0.38	12.33	0.38	0.38	12.33	0.38	13.16	12.33	0.38	12.33	13.16	0.38
0.39	12.65	0.39	0.39	12.65	0.39	13.40	12.65	0.39	12.65	13.40	0.39
0.40	12.86	0.39	0.39	12.86	0.39	13.62	12.86	0.39	12.86	13.62	0.40
0.40	13.09	0.40	0.40	13.09	0.40	13.74	13.09	0.40	13.09	13.74	0.40
0.41	13.22	0.41	0.41	13.22	0.41	13.96	13.22	0.41	13.22	13.96	0.41
0.41	13.44	0.41	0.41	13.44	0.41	14.19	13.44	0.41	13.44	14.19	0.41
0.42	13.55	0.41	0.41	13.55	0.41	14.41	13.55	0.41	13.55	14.41	0.41
0.42	13.77	0.42	0.42	13.77	0.42	14.63	13.77	0.42	13.77	14.63	0.42
0.43	14.00	0.42	0.42	14.00	0.42	14.84	14.00	0.42	14.00	14.84	0.42
0.44	14.22	0.43	0.43	14.22	0.43	15.07	14.22	0.43	14.22	15.07	0.43
0.44	14.45	0.44	0.44	14.45	0.44	15.29	14.45	0.44	14.45	15.29	0.44
0.45	14.79	0.44	0.44	14.79	0.44	15.53	14.79	0.44	14.79	15.53	0.44
0.46	14.92	0.46	0.46	14.92	0.46	15.76	14.92	0.46	14.92	15.76	0.46

Blatt 5 Metallographie/Sheet 5 Metallography

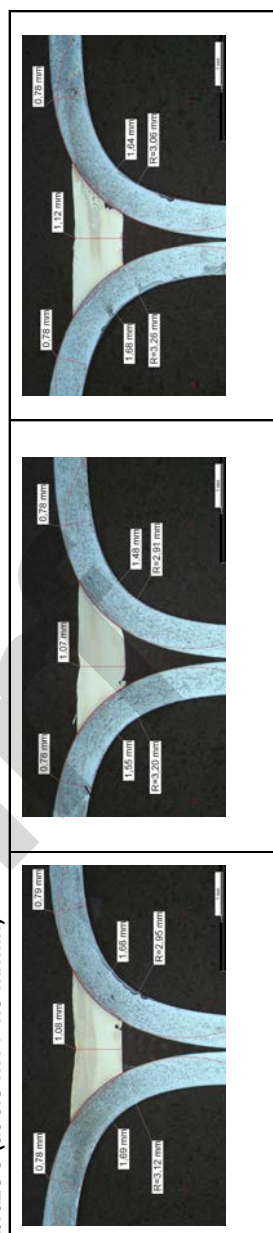
braze 10 (at 3.4 kW / 4.0 m/min)



braze 6 (at 3.6 kW / 4.0 m/min)



braze 9 (at 3.8 kW / 4.0 m/min)



Blatt 6 Nahtgeometrie / Sheet 6 Seam geometry

specimen	microsection	position	l_1 [mm]	l_2 [mm]	s_{min} [mm]	R_1 [mm]	R_2 [mm]
braze 10 at 3.6 kW / 4.0 m/min	nr of microsection - S1	start	1.57	1.47	0.94	3.03	3.03
	nr of microsection - S2	center	1.08	1.43	0.75	3.06	3.23
	nr of microsection - S3	end	1.45	1.37	0.74	3.33	2.92
braze 6 at 3.8 kW / 4.0 m/min	nr of microsection - S1	start	1.39	1.55	1.04	2.96	2.96
	nr of microsection - S2	center	1.55	1.45	1.08	3.02	2.94
	nr of microsection - S3	end	1.45	1.41	0.81	3.01	3.14
braze 9 at 4.0 kW / 4.0 m/min	nr of microsection - S1	start	1.69	1.66	1.08	3.12	2.95
	nr of microsection - S2	center	1.55	1.48	1.07	3.26	3.06
	nr of microsection - S3	end	1.68	1.64	1.12	3.20	2.91

12.3 Datenheader Laserstrahllöten**12.3 Data header laser beam brazing****12.3.1 Werkstoffdaten****12.3.1 Material data**

Siehe SEP 1220-1

See SEP 1220-1

12.3.2 Qualitätsstufen**12.3.2 Quality levels**

PROBENIDENTNUMMER	=	J_00976_A_Q_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_R01_17
\$ Nahtform 061	=	durchgehende Boerdelnaht
VERFAHREN	=	LASERSTRAHLLÖTEN 00976
VERSUCHSPROGRAMMNUMMER	=	09005
PRUEFUNG	=	QUALITAETSGRENZEN
PRUEFDATUM <tt.mm.jjjj>	=	22.10.2025
PRUEFSTELLE	=	SUP
PRUEFER	=	NAME
BEMERKUNG	=	
LASER	=	Hersteller und Typ
ROBOTER	=	Hersteller und Typ
ZUSATZDRAHT	=	CuSi3
ZUSATZDRAHTDURCHMESSER	=	1.6
ZUSATZGAS	=	OHNE
FOKUSDURCHMESSER <mm>	=	2.4
FOKUSLAGE <mm>	=	0
FASERDURCHMESSER <mm>	=	0.6
STRAHLDURCHMESSER_		
BLECHOBERFLAECHE <mm>	=	2.4
DEFOKUSSIERUNG <mm>	=	0
RAYLEIGHLAENGE <mm>	=	3.7
KOLLIMATION <mm>	=	200
BRENNWEITE <mm>	=	200
SPALT <mm>	=	0.0
LASERLEISTUNG <kW>	=	3.6
LÖTGESCHWINDIGKEIT_		
V _{Lopt} <m/min>	=	3.2
SPANNVORRICHTUNG	=	J_00976_A_Q_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_R01_17.jpg

12.3.3 Zugprüfung**12.3.3 Tensile testing**

PROBENIDENTNUMMER	=	J_00976_A_SZ_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_R01_17_P36
VERFAHREN	=	LASERSTRAHLLÖTEN 00976
VERSUCHSPROGRAMMNUMMER	=	09005
PRUEFUNG	=	SCHERZUG
PRUEFDATUM <tt.mm.jjjj>	=	22.10.2025
PRUEFSTELLE	=	SUP
PRUEFER	=	NAME
BEMERKUNG	=	
V _{Lopt} <m/min>	=	3.2
ANZAHL_PROBEN	=	3
TRENNVERFAHREN	=	LASER
UEBERSICHTSAUFNAHME_		
\$ Uebersicht	=	1 Foto mit 3 zerstörend geprüften SZ-Proben je Leistungsstufe
BRUCHVERHALTEN	=	J_00976_A_SZ_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_R01_17_P36.jpg

BEGINN_ZUGWERTE

PROBENNUMMER; PROBENBEZEICHNUNG; FMAX <N>; SFMAX <mm>; WFMAX <Nm>;
 F0,3FMAX <N>; SF0,3MAX <mm>; WF0,3FMAX <Nm>; BRUCHART; MESSDATEI
 1; SZ_1; 6925.6; 3.6; 5.1; 2077.7; 3.8; IF_1; J_00976_A_SZ_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_R01_17_P36_a.txt
 2; SZ_2; 6765.2; 3.4; 4.1; 2029.6; 3.5; IF_1; J_00976_A_SZ_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_R01_17_P36_b.txt
 3; SZ_3; 6585.3; 3.2; 4.1; 1975.6; 3.4; IF_1; J_00976_A_SZ_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_R01_17_P36_c.txt

J_00976_A_SZ_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_R01_17_P34 = 3 weitere Zugproben mit durchgehender Bördelnaht bei V_{Lopt} und reduzierter Laserleistung 3,4 kW

J_00976_A_SZ_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_R01_17_P38 = 3 weitere Zugproben mit durchgehender Bördelnaht bei V_{Lopt} und angehobener Laserleistung 3,8 kW

12.3.4 Zugwerte-Datei**12.3.4 Tensile curve data**

PROBENIDENTNUMMER = J_00976_A_SZ_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_R01_17_P36_a

BEGINN_DATEN

WEG <mm>; KRAFT <N>

0.002; 41.553

0.006; 43.066

0.017; 58.929

0.024; 62.978

0.030; 71.628

.....;

39.614; 11.91

12.3.5 Metallografische Schliffbilder**12.3.5 Metallographic cross sections**

PROBENIDENTNUMMER = J_00976_A_SB_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_R01_17_P36

VERFAHREN = LASERSTRAHLLÖTEN 00976

VERSUCHSPROGRAMMNUMMER = 09007

PRUEFUNG = SCHLIFFBILDER

PRUEFDATUM <tt.mm.jjjj> = 22.11.2024

PRUEFSTELLE = SUP

PRUEFER = NAME

BEMERKUNG =

V_{Lopt} <m/min> = 3.2

ANZAHL_SCHLIFFE = 3

BEGINN_SCHLIFFBILDER

PROBENNUMMER; PROBENBEZEICHNUNG; BILDDATEI <jpg>

1; SCHLIFF_S1;

J_00976_A_SB_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_R01_17_P36_a.jpg

2; SCHLIFF_S2;

J_00976_A_SB_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_R01_17_P36_b.jpg

3; SCHLIFF_S3;

J_00976_A_SB_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_R01_17_P36_c.jpg

12.3.6 Sichtprüfung der 500 mm Bördelnahtproben

12.3.6 Visual test of 500 mm flange seam

PROBENIDENTNUMMER	=	J_00976_A_SP_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_ R01_17_P36
VERFAHREN	=	LASERSTRAHLLÖTEN 00976
VERSUCHSPROGRAMMNUMMER	=	09006
PRUEFUNG	=	SICHTPRUEFUNG
PRUEFDATUM <tt.mm.jjjj>	=	22.10.2025
PRUEFSTELLE	=	SUP_LAB
PRUEFER	=	NAME
BEMERKUNG	=	
V_{Lopt} <m/min>	=	3.2
ANZAHL_PROBEN	=	3
BILD_UEBERSICHT <jpg>	=	J_00976_A_SP_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_ R01_17_P36_U.jpg
BILD_BESTER_ABSCHNITT <jpg>	=	J_00976_A_SP_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_ R01_17_P36_B.jpg
BILD_SCHLECHTESTER_ABSCHNITT <jpg>	=	J_00976_A_SP_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_ R01_17_P36_S.jpg

\$ Hinweis:

\$ U = Uebersichtsaufnahme / overview

\$ B = bester Abschnitt / best section

\$ S = schlechtester Abschnitt / worst section

J_00976_A_SP_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_R01_17_P34 = 3 weitere Bilder nach visueller Prüfung der Bördelnaht bei V_{Lmax} und reduzierter Leistungsstufe 3,4 kW

J_00976_A_SP_DC04_ZE_SUP_PC_061_V01_R01_17_P38 = 3 weitere Bilder nach visueller Prüfung der Bördelnaht bei V_{Lmax} und erhöhter Leistungsstufe 3,8 kW