

***„Laserschweißen von kaltfließgepressten
Durchzügen“***

***Schweißnahtbewertung vorverzinkter Bleche
mit galvanisch beschichteten Durchzügen***

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	III
2	VERSUCHSVORBEREITUNG	IV
3	VERSUCHE UND AUSWERTUNG	VII
3.1	<i>Ermittlung der Auspresskräfte</i>	<i>VII</i>
3.2	<i>Metallografische Untersuchung</i>	<i>X</i>
3.3	<i>Härteverlaufsuntersuchung</i>	<i>XII</i>
4	ZUSAMMENFASSUNG	XV

Das Institut für UnternehmensWertSteigerung (IfUWS GmbH) hat im Jahr 2010 vom Ministerium für Wirtschaft und Wissenschaft (MWW) des Saarlands seine Anerkennung als An-Institut der htw saar (Hochschule des Saarlands) erhalten.

1 EINLEITUNG

Grundlage der Herstellung von lasergeschweißter Durchzüge ist die Norm MBN 10349 der Firma Mercedes Benz. Diese enthält eine Auslegungs- und Prüfvorschrift für umformtechnisch hergestellte Durchzüge (Tuben) in Karosseriebauteilen aber auch für das Laserschweißen von kaltfließgepressten Durchzügen. Neben konstruktiven und technischen Anforderungen an die Durchzugsgeometrie umfasst die MBN 10349 auch Ausführungen zur Gewindeprüfkraft, Drehmomentprüfung und Schliffbildern zur Bewertung und Absicherung der Bauteil- bzw. Durchzugsqualität.

Im Rahmen von Freigabeprozessen wurde die Forderung von Seiten der Firma Daimler an uns gerichtet, einen Nachweis zu führen, dass das Verfahren gleichermaßen prozesssicher ist – unabhängig davon, ob es sich bei den Fügepartnern Blech/Durchzug um unbeschichtete oder um einseitig vorbeschichtete Materialpaarungen¹ handelt.

Mit Wissen um den vorgenannten Sachverhalt unterliegen die nachfolgenden Kapitel dieses Dokuments stets einer vergleichenden Darstellung von lasergeschweißten Bauteilen, die mit unbeschichteten Fügepartnern lasergeschweißt wurden oder bei denen der kaltfließgepresste Durchzug ein Zn-Schicht aufweist. Ein entsprechender Hinweis wird jeweils im Textzusammenhang aber auch bei Diagrammen und Bildunterschriften gegeben.

Das vorliegende Dokument stellt eine Zusammenfassung von Inhalten und Ergebnissen dar, die sich im Rahmen der Versuchsdurchführung und -auswertung mit Blick auf die Fragestellung des Lasertiefschweißens von I-Naht-Stumpfstoßverbindungen ergeben haben. Die beiden Fügepartner sind jeweils ein vorverzinktes Blechteil, in das vor dem thermischen Fügevorgang eine galvanisch beschichtete Tube unverlierbar eingepresst wurde.

¹ An dieser Stelle muss angemerkt werden, dass Tiefziehteile, welche mittels eines Folgeverbundwerkzeuges hergestellt werden, keine Antikorrosionsbeschichtung an einer Schnittkante aufweisen können. Dies liegt darin begründet, dass das blechseitig hergestellte Loch, in das in nachfolgenden Arbeitsgängen außerhalb der Tiefziehpresse der jeweilige kaltfließgepresste Durchzüge eingepresst wird, im letzten Arbeitsgang des FV-Werkzeugs mittels Scherschnitt über Schnittstempel im Werkzeug eingebracht wird. Deswegen kann die werkseitig auf die Coilobefläche aufgebrauchte Vorbeschichtung nicht mehr auf der Schnittkante vorhanden sein. Vor diesem Hintergrund handelt es sich im Grunde nur um einseitig vorbeschichtete Materialpaarungen, weil der Durchzug zuvor in einem galvanischem Beschichtungsprozess mit einer Zn-Oberfläche versehen wurde.

2 VERSUCHSVORBEREITUNG

Bei der Durchführung der Versuche wurde darauf geachtet, dass eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auch dann gegeben ist, wenn die Lasermaterialbearbeitung in anderen Produktionsstätten stattfindet. Zu diesem Zweck wurden bereits im Vorfeld der Parameterstudien Versuche durchgeführt, um die am Bearbeitungsergebnis maßgeblich beteiligten Parameter zu identifizieren und Grenzbereiche festzulegen, sodass sich robuste Prozesse mit guten Bearbeitungsergebnissen (siehe Abb. 1.) und damit stabile Bearbeitungsfenster einstellen lassen.

Bei den Versuchen kam eine Standard-Portalanlage der Firma Trumpf Lasertechnik zum Einsatz (siehe hierzu auch Abb.2), wobei die Strahlquelle (Typ: Scheibenlaser) und auch die Schweißoptik den eingesetzten Komponenten der für die Serienfertigung verwendeten Anlagen entsprechen. Damit war sichergestellt, dass die optischen Parameter des Laserstrahls mit seiner charakteristischen Kaustik resultierend aus Faserdurchmesser, Brennweite und Kollimation und der damit einhergehende Fokusbereich identisch sind.

Ebenso wurden die verwendeten Vormaterialien (siehe nachfolgende Tabelle), d.h. Bleche aus vorverzinktem Originalmaterial mit einer Materialstärke $d=1,75\text{mm}$ und galvanisch beschichtete M10-Serientuben verwendet. In diese Tuben wurden nach Abschluss der Laserschweißungen die Serienschrauben – drehmomentüberwacht und protokolliert - eingeformt (siehe Abb. 3 und Abb. 4).

Bauteil	Blech	Buchse
Werkstoff	Stahl	Stahl
Oberfläche	verzinkt	beschichtet
Dicke	1,75 mm	---



Abb. 1: Bauteil

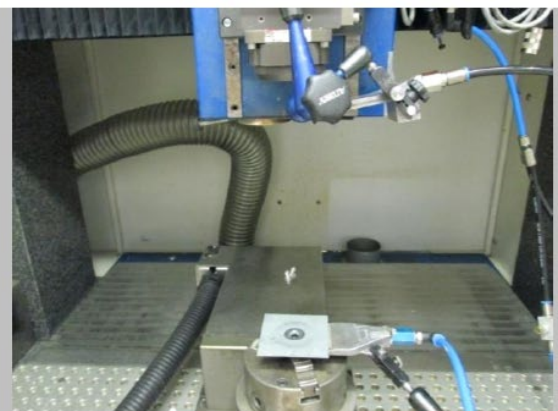


Abb. 2: Versuchsaufbau

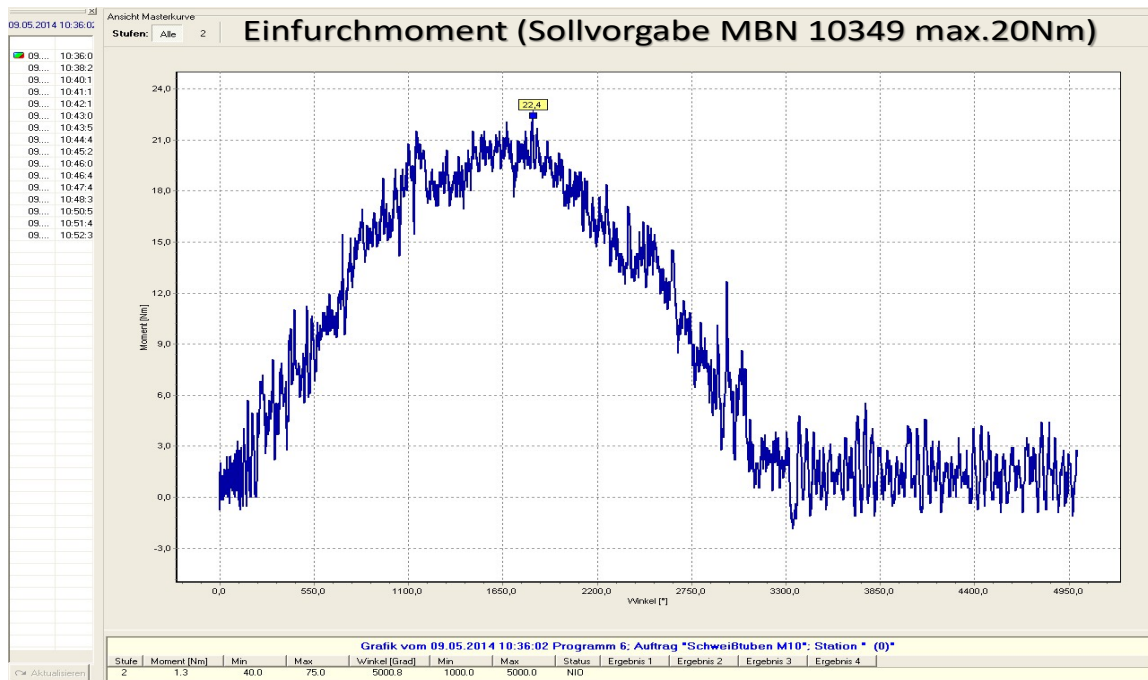


Abb. 3: Beispiel des Drehmomentverlaufs beim Einfurchen der Serienschrauben in die lasergeschweißten Durchzüge. Die drehmomentüberwachte Schraubeinheit wurde ausgeschaltet, sobald die Schrauben auf Anschlag eingeschraubt waren und eine weitere Erhöhung des Anzugsdrehmoments zu einer Schädigung mit nachfolgendem Ausreißen der lasergeschweißten Tüben geführt hätte.

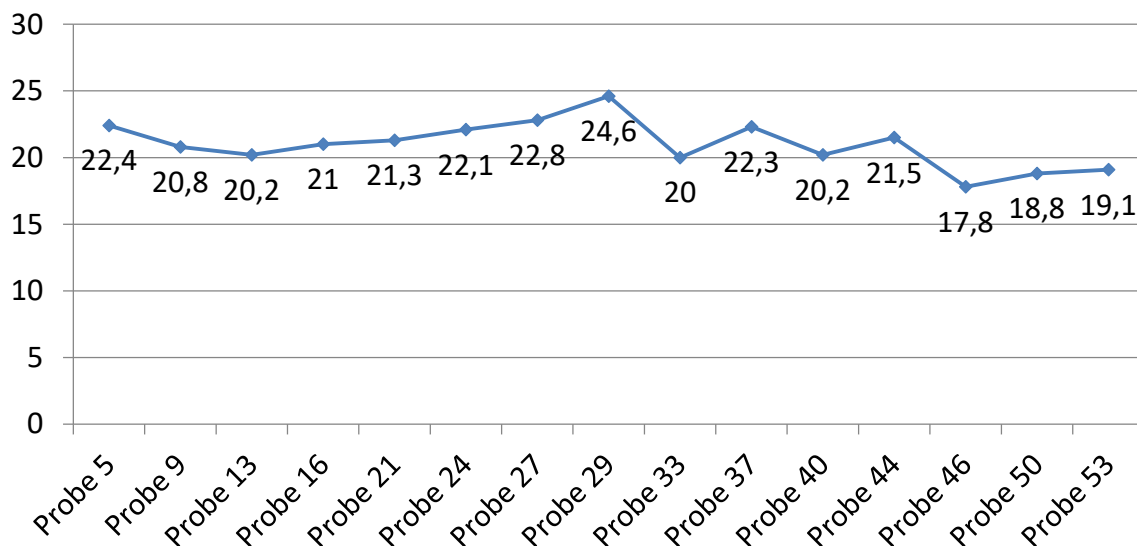


Abb. 4: Zusammenfassende Darstellung der gemessenen 15 Einfurchdrehmomente beim Einschrauben der Serienschrauben in die lasergeschweißten Durchzüge

Da die Stabilität der zuvor bereits erwähnten Bearbeitungsfenster ein zwingendes Kriterium für die jeweilige Prozessfähigkeit einer Anlage ist, wurde zu Beginn der Untersuchung eine geeignete Streckenenergie ermittelt und ein atmosphärisches Umfeld (Schutzgas und Querjet) im Wechselwirkungsbereich Laserstrahl-Fügegeometrie analog zu der Serienanwendung hergestellt.

Beim Einpressen wurde entsprechend der Vorgaben der Serienfertigung sichergestellt, dass ein Fügespalt gleichmäßiger Breite mittels eines Presssitzes zwischen Tube und Blech hergestellt wird (siehe Abb. 5) und dieser nicht aufgrund fertigungstechnischer Schwankungen zu Spalt (siehe hierzu Abb. 6) und in Folge davon zu nicht reproduzierbaren Ergebnissen führt.

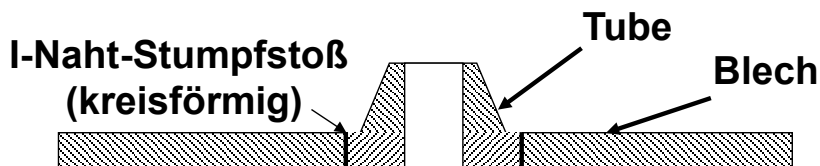


Abb. 5: Skizze der Fügegeometrie I-Naht-Strumpfstoß



Abb. 6: eingepresste Tube (hier unbeschichtet) mit ungleichmäßigem Verlauf des Fügespalts

Bei den verwendeten Tuben (kaltfließgepresste Durchzüge) wurde eine unbeschichtete seitliche Flanke hergestellt. Dies wurde mittels Schleifens und einer nachfolgenden ph-neutralen Reinigung realisiert, so dass sichergestellt war, dass bei Probenotypen, d.h. sowohl Proben mit einer Zn-Schicht im Fügespalt als auch Proben ohne Zinkmaterial, spaltfrei mechanisch gefügt wurden und keine Materialbestandteile vorhanden waren, die auch nicht im Serienprozess nicht auftauchen.

3 VERSUCHE UND AUSWERTUNG

Im Sinne der Neutralität der Darstellung wurde eine unabhängige, werkstoffkundliche Untersuchung erstellt, die folgende Leistungen umfasst hat:

- Bestimmung von Auspresskräften der lasergeschweißten Durchzüge mit eingeformten Schrauben
- Metallografische Untersuchung und Beurteilung der Proben
- Härteverlaufsuntersuchung über Grundwerkstoff, WEZ und Schweißnaht

Das Untersuchungsergebnis liegt als eigenständiges Dokument vor und kann eingesehen werden - mit Bezug zu den o.g. Leistungen können aber folgende zusammenfassende Aussagen getroffen werden:

1. Die Ausdrückversuche zeigten im gesamten Parameterfeld ein nahezu homogenes Verhalten, sodass bei der Anwendung von Parametern im festgelegten Bearbeitungsfenster immer das Grundblech versagt hat, jedoch nie die Schweißnaht – unabhängig vom Schweißen beschichteter oder unbeschichteter Materialpaarungen.
2. Die Unterschiede in der mikroskopischen Untersuchung bei der Metallographie innerhalb des Parameterfeldes sind zwar erkennbar, haben jedoch nachweislich keinen makroskopischen Effekt auf mögliche Versagensfälle. Bei einer optimalen Wahl der Vielzahl der Parameter haben sich vier Parameterkombinationen ergeben, welche sich als mikroskopisch besonders gut herausgestellt haben, so dass diese das Zentrum des Bearbeitungsfensters mit Blick auf den Serieneinsatz darstellen sollen.
3. Durch das Ergebnis der Härteverläufe der Proben 12 und 26 kann eine Schweißnahtversprödung und eine damit einhergehende erhöhte Gefahr einer Risseinleitung ausgeschlossen werden – unabhängig von der vorliegenden Beschichtung im Fügespalt.

Die nachfolgenden Seiten zeigen auszugsweise Inhalte des Berichts und gliedern sich analog zu den beauftragten Leistungen (s.o.).

3.1 Ermittlung der Auspresskräfte

Die Auspresskräfte wurden ermittelt, indem auf der Prüfmaschine der Firma Zwick Röll die eingeformten Schrauben ausgepresst wurden. Der Versuchsaufbau (siehe Handskizze in Abb. 7) wurde so festgelegt, dass die Prüfkraft auf den Prüfkörper wirkt und der Durchmesser der Öffnung d_{bohrung} um einen Millimeter größer ist als die Summe des Durchmessers der Tube ($d_{\text{Tube}}=25\text{mm}$) sowie der zweifachen Blechstärke ($s=1,75\text{mm} \times 2$). Auf diese Weise ergibt sich ein Wert von $d_{\text{Bohrung}}=29,5\text{mm}$ – einem Wert wie er auch bei typischen

Prüfvorgängen beim OEM-Endkunden Anwendung findet, da dieser sicherstellt, dass der während des Prüfvorgangs sich abzeichnenden Topf (siehe Abb.8 und 9) ohne Berührung der Wände der Prüfvorrichtung reibungsfrei gezogen werden kann, sodass die ermittelte Prüfkraft (Ausreißkraft) nicht verfälscht wird.

Das Ergebnis der Prüfung zeigt, dass sämtliche Proben neben der Schweißnaht reißen (siehe Abb. 8 und 9) und dass dieses Ergebnis vollkommen unabhängig davon ist, ob es sich um beschichtete oder unbeschichtete Tuben gehandelt hat.

Das entsprechende Versuchsprotokoll, d.h. die aufgezeichneten Messschiebe der Messungen der Ausreißkräfte zeigt Abbildung 10 als Seriengrafik mit 15 Prüflingen. Dabei gibt es zwei Erkenntnisse (siehe hierzu auch Tabelle in Abb.11):

1. Sämtliche einer extrem geringen Schwankungsbreite in einem Bereich von über 40kN wie sogar
2. die vorletzte Probe 50 (braune Linie), welche geprüft wurde, obwohl sie einen Nahtfehler (Schmelzauswurf) aufgewiesen hat.

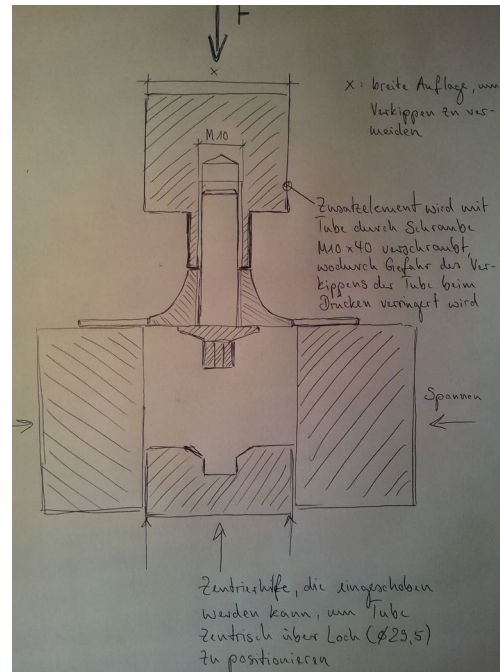


Abb. 7: schematische Darstellung der Prüfvorrichtung; im Realbauform wirkt die Prüfkraft auf den Schraubenkopf, d.h. Zentrierhilfe und Zusatzelement sind getauscht

Ausreißkräfte liegen mit



Abb. 8: Versuchsprobe Nr. 21 (unbeschichtete Fügepartner) nach Abschluss des Prüfvorgangs;



Abb. 9: Versuchsprobe Nr. 5 (ein beschichteter Fügepartner=Tube) nach Abschluss des Prüfvorgangs;

Seriengrafik:

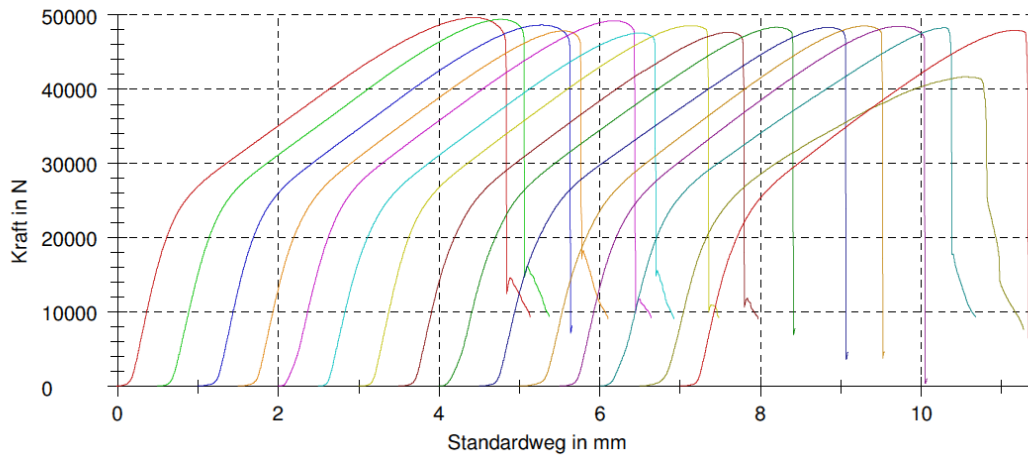


Abb. 10: Seriengrafik der Prüfung. Farblich abgestimmt steht eine jede Linie für eine einzelne Probe, so dass insgesamt 15 Messungen erfasst wurden

Prüfergebnisse:
















Legende	Probenbezeichnung	σ_{dM} kN	Legende	Probenbezeichnung	σ_{dM} kN
	Probe 5	49,6		Probe 33	48,3
	Probe 9	49,4		Probe 37	48,3
	Probe 13	48,7		Probe 40	48,5
	Probe 16	47,9		Probe 44	48,5
	Probe 21	49,2		Probe 46	48,3
	Probe 24	47,6		Probe 50	41,6
	Probe 27	48,6		Probe 53	47,9
	Probe 29	47,6			

Abb. 11: Zahlenwerte der Prüfungen in kN (korrespondierend zu Abb. 10)

3.2 Metallografische Untersuchung

Auszugsweise werden Auswertungen von zwei Schweißnähten der metallografischen Untersuchung gezeigt, welche einmal mit (Abb. 12.) und ein einmal ohne Zn-Beschichtung war (Abb. 13.)

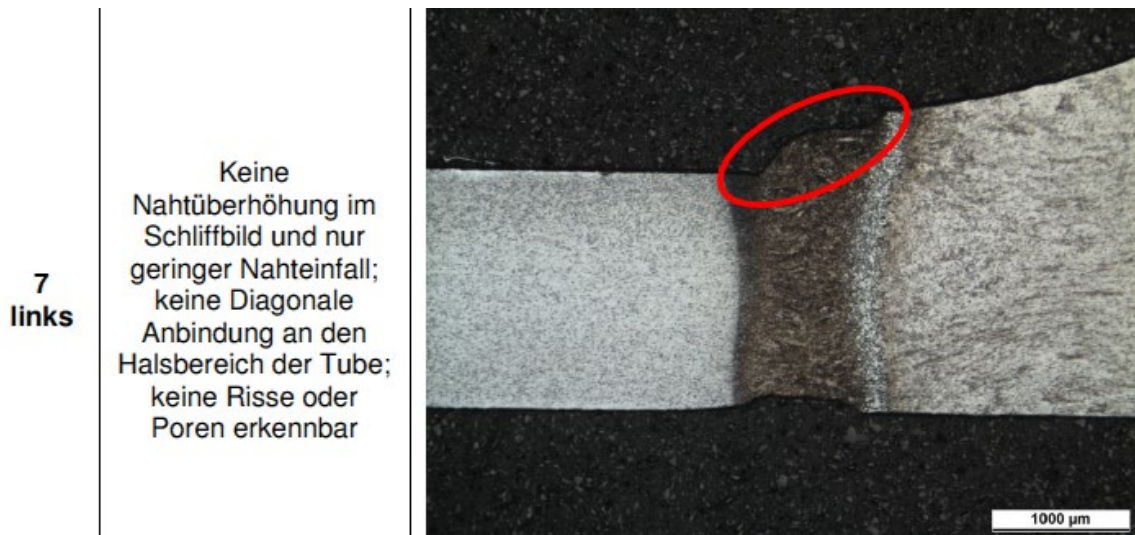


Abb. 12: Querschliff der Probenr. 7 mit galvanisch beschichteter Flanke der Tube

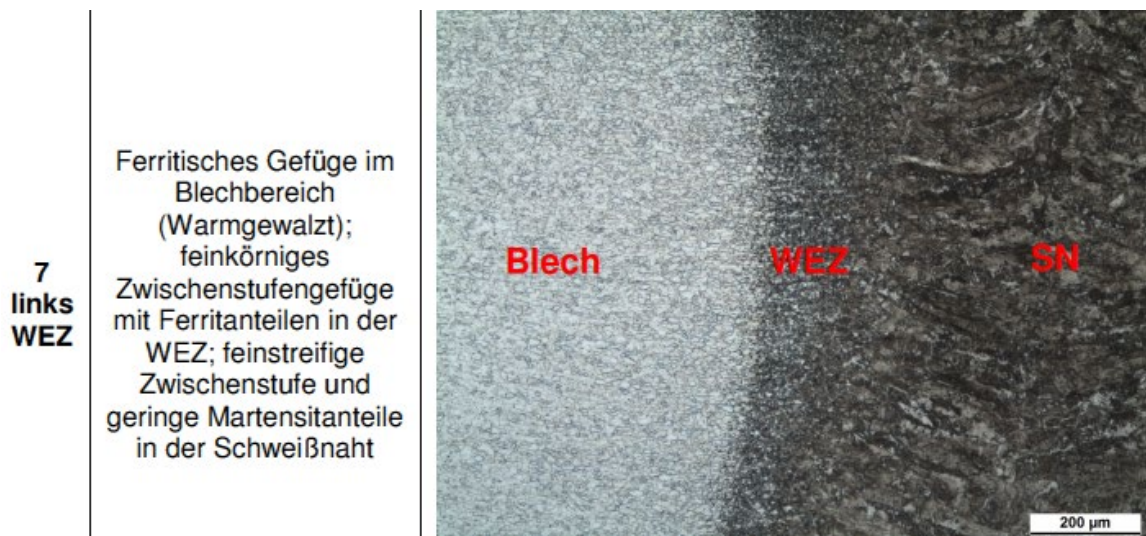


Abb. 13: Querschliff der Probenr. 7 mit galvanisch beschichteter Flanke der Tube; andere Vergrößerung und Zuordnung der Bereiche Blech-Wärmeinflusszone-Schweißnaht



Abb. 14: Querschliff der Probenr. 35 mit unbeschichteter Flanke der Tube

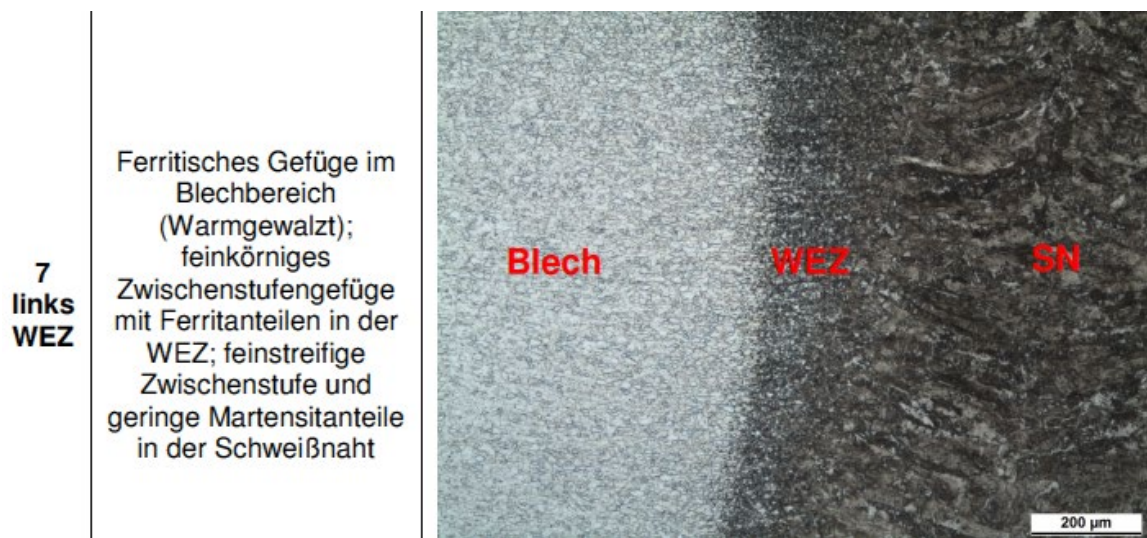


Abb. 15: Querschliff der Probenr. 35 mit unbeschichteter Flanke der Tube; andere Vergrößerung und Zuordnung der Bereiche Blech-Wärmeinflusszone-Schweißnaht

Die vier Abbildungen 12-15 zeigen sehr deutlich, dass die Ausführungen der Schweißnaht jeweils mit Bezug zu den gängigen Kriterien wie z.B. Nahtüberhöhung (nicht vorhanden), Undercut (gering/unkritisch ausgebildet) oder auch Lunker, Poren und Inhomogenitäten vollkommen unkritisch sind. Die hohe Qualität der dargestellten Schliffbilder und Gefügeausbildungen ist durchgängig festzustellen. Die verwendeten Parameter, d.h. deren unter-

schiedlich großen Einstellwerte - beispielsweise für die Fokusslage und der damit einhergehenden, maßvoll schwankenden Intensität sowie die Schwankungen der Laserleistung - führen zu konstant guten Ergebnissen.

Sehr wohl muss aber bei dieser Aussage berücksichtigt werden, dass eine mit der Laserleistung einhergehende Schwankung der Streckenenergie auch eine Korrektur der Vorschubgeschwindigkeit notwendig macht, so dass der Quotient aus Leistung und Vorschubgeschwindigkeit konstant bleibt. Auf diese Weise ist gewährleistet, dass eine Ausgasung der niedrig siedenden Zn-Anteile über die Dampfkapillare, welche sich mit diesen Parametern über die gesamte Materialstärke erstreckt, so hinreichend erfolgen kann, dass sich keine negativen, d.h. festigkeitsmindernden Auswirkungen auf die Schweißnaht ergeben.

Auch ein zu großer Anstieg der Streckenenergie ist aus Gründen der Energieeffizienz und möglicher Schmelzbadinstabilitäten bei einer sich überhitzenden Schmelze zu vermeiden.

3.3 Härteverlaufsuntersuchung

Die Härte in der Schweißprobe Nr. 12 (beschichteter Fügepartner Tube) beträgt ca. 141 HV (siehe Abb16 und 17 lfd. Nr. 1 und 2).

Im Bereich des Übergangs von WEZ zum Blech ist ein Härteanstieg auf ca. 220 HV durch die Bildung der Zwischenstufe erkennbar (lfd. Nr. 3-5). Im Bereich der Schweißnaht steigt die Härte auf ca. 360 HV (lfd. Nr. 6-8). Dort besteht das Gefüge aus feinstreifiger Zwischenstufe mit vereinzelt Martensitanteilen. Dies zeigt, dass der Selbstabschreckungseffekt gering ist und keine Versprödung der Schweißnaht vorliegt. Demnach gibt es im Bereich der Schweißnaht auch keine erhöhte Gefahr für eine Risseinleitung. Die Härte in der WEZ-Tube liegt mit ca. 210 HV (lfd. Nr. 9-11) in etwa auf der Höhe bzw. leicht unter der des Grundwerkstoffs der Tube mit 205 HV (lfd. Nr. 12 und 13).

Parametertabelle:

Material : Gewinchesweißtube 12

Bemerkung: Prüfung 1-2 Grundmaterial Blech
Prüfung 3-5 WEZ Blech
Prüfung 6-8 Schweißnaht
Prüfung 9-11 WEZ Tube
Prüfung 12-13 Grundmaterial Tube

Prüfverfahren:

Härteprüfverfahren : Vickershärte
Belastungsstufe (HV) : HV 0,5
Prüfkraft (nach Norm) : 4,903 N

Objektiv : 20 : 1
Härtetiefenverfahren : CHD

Ergebnisse:

Nr	d µm	HV 0.5	t mm	CHD mm	HRC	Zugfestigkeit N/mm ²
1	81,1	141	0,0	-	-5,00	452,44
2	80,8	142	0,0	-	-5,00	455,56
3	66,4	210	0,0	-	-5,00	675,35
4	63,5	230	0,0	-	-5,00	740,28
5	65,1	219	0,0	-	-5,00	701,19
6	50,1	370	0,0	-	37,69	1189,65
7	51,2	353	0,0	-	35,82	1133,81
8	51,1	354	0,0	-	35,99	1138,23
9	70,0	189	0,0	-	-5,00	608,32
10	66,9	207	0,0	-	-5,00	666,53
11	65,2	218	0,0	-	-5,00	699,22
12	66,1	212	0,0	-	-5,00	682,24
13	67,8	202	0,0	-	-5,00	646,29

Abb. 16: Zahlenwerte der Härteprüfung

Die Tuben werden durch einen Kaltumformprozess hergestellt, was deutlich in der Textur in den Schlifffbildern erkennbar wird. Die Wärme kann in der Tube nicht so schnell weg von der Schweißnaht entweichen, sodass es zu einem Rekristallisationseffekt in der WEZ kommt und die Körner eine rundliche Kontur erhalten.

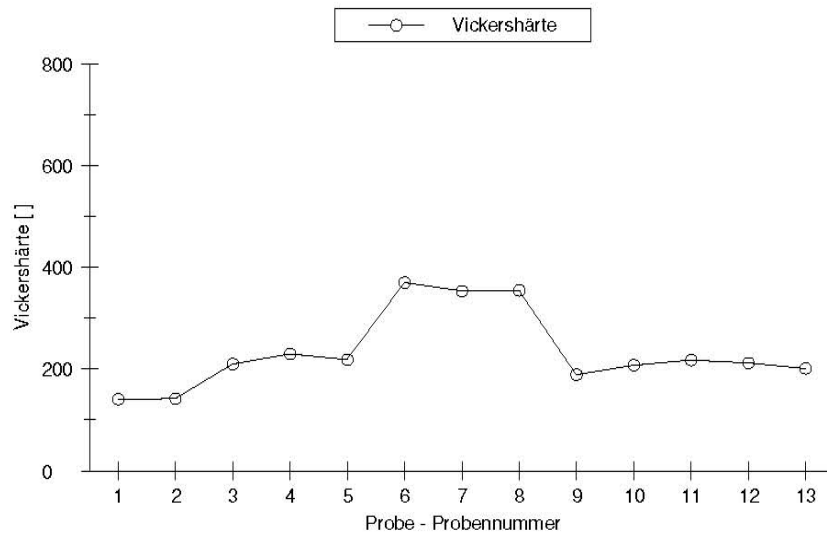


Abb. 17: Härteverlauf einer Probe, welche nach dem Laserschweißen des Bleches mit einer beschichteten Tube ausgewertet wurde.

Die Härte im Blech bei Probe 26 (unbeschichtete Fügepartner) beträgt ca. 143 HV (siehe Abb. 18 und 19; lfd. Nr. 1 und 2). Im Bereich des Übergangs WEZ-Blech ist ein Härteanstieg auf ca. 250 HV durch die Bildung der Zwischenstufe erkennbar (lfd. Nr. 3-5). Im Bereich der Schweißnaht steigt die Härte auf ca. 370 HV (lfd. Nr. 6-8). Dort besteht das Gefüge aus feinstreifiger Zwischenstufe mit

Parametertabelle:

Material : Gewindeschweißtube 26

Bemerkung : Prüfung 1-2 Grundmaterial Blech
Prüfung 3-5 WEZ Blech
Prüfung 6-8 Schweißnaht
Prüfung 9-11 WEZ Tube
Prüfung 12-13 Grundmaterial Tube

Prüfverfahren:

Härteprüfverfahren : Vickershärte
Belastungsstufe (HV) : HV 0,5
Prüfkraft (nach Norm) : 4,903 N

Objektiv : 20 : 1
Härtetiefenverfahren : CHD

Ergebnisse:

Nr	d µm	HV 0.5	t mm	CHD mm	HRC	Zugfestigkeit N/mm ²
1	81,1	141	0,0	-	-5,00	452,43
2	79,7	146	0,0	-	-5,00	468,35
3	59,7	260	0,0	-	23,96	834,30
4	58,9	267	0,0	-	25,15	856,58
5	61,6	244	0,0	-	21,12	782,33
6	49,5	379	0,0	-	38,70	1217,22
7	50,7	360	0,0	-	36,65	1156,75
8	50,1	369	0,0	-	37,63	1187,82
9	68,1	200	0,0	-	-5,00	640,51
10	67,9	201	0,0	-	-5,00	643,99
11	67,1	206	0,0	-	-5,00	663,14
12	63,9	227	0,0	-	-5,00	727,19
13	63,3	231	0,0	-	-5,00	743,47

Abb. 18: Zahlenwerte der Härteprüfung

vereinzelt Martensitanteilen. Dies zeigt, dass auch im vorliegenden Fall der Selbstabschreckungseffekt gering ist und keine Versprödung der Schweißnaht vorliegt. Demnach gibt es im Bereich der Schweißnaht auch keine erhöhte Gefahr für eine Risseinleitung. Die Härte im Übergang von WEZ zu Tube liegt mit ca. 200 HV (Ifd. Nr. 9-11) leicht unter der des Grundwerkstoffs der Tube mit 230 HV (Nr 12 und 13).

Die Tuben werden durch einen Kaltumformprozess hergestellt, was auch hier deutlich in der Textur in den Schlifffbildern erkennbar wird. Die Wärme kann in der Tube nicht so schnell von der Schweißnaht in das umgebende Material entweichen, sodass es zu einem Rekristallisationseffekt in der WEZ kommt und die Körner eine rundliche Kontur erhalten, welcher stärker als bei Probe 12 ausgeprägt ist.

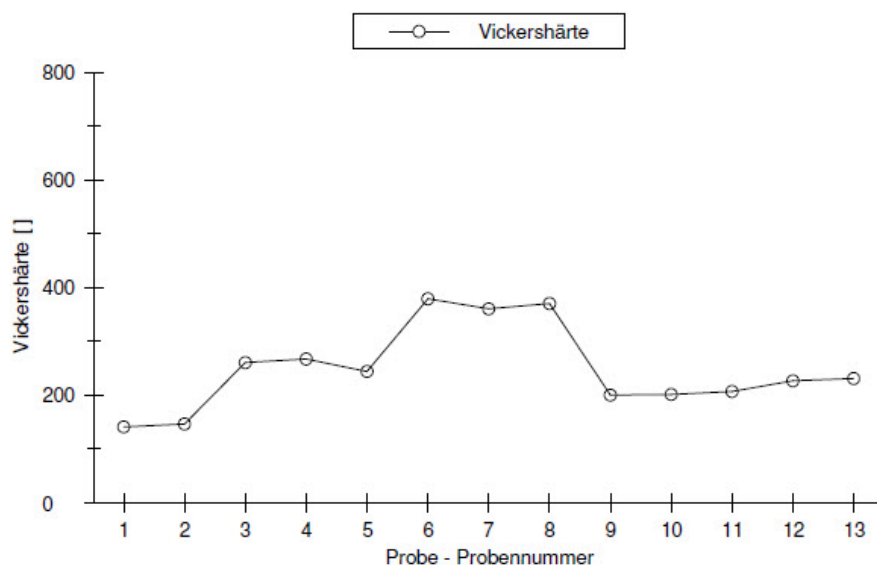


Abb. 19: Härteverlauf einer Probe, welche nach dem Laserschweißen des Bleches mit zwei unbeschichteten Fügepartnern ausgewertet wurde.

4 Zusammenfassung

Die Aufgabe der Versuche war, zu ermitteln, ob die Verwendung von vorbeschichteten Bauteilen unbedenklich mit Bezug zu den Bearbeitungsergebnissen und daraus resultierenden Festigkeitskennwerten ist.

Als Ergebnis kann auf Grundlage der Vorversuche und der damit einhergehenden Ermittlung geeigneter Parameter für Prozess und Anlage festgehalten werden, dass die werkstoffkundliche Untersuchung zeigt, dass in klar definierten Bereichen Bearbeitungsfenster gefunden werden können, bei denen hinreichend robuste Serienprozesse möglich sind.

Vorausgesetzt, die vorgenannten Parameter werden nicht verändert, ist für das Bearbeitungsergebnis unerheblich, ob beschichtete oder unbeschichtete Fügepartner zum Einsatz kommen. Sollte eine Änderung von Parametern notwendig und begründet sein, wird eine ausführliche Absicherung mittels vergleichbarer wie den hier vorliegenden Untersuchungen dringend empfohlen.

Unter Einhaltung der geforderten Parameterbereiche kommt es zu einem Versagen der Schweißnaht im Bereich des Bleches, d.h. die Festigkeit der Schweißnaht ist hinreichend groß, um die durch das Aufbringen der Prüfkraft wirkenden Kräfte aufzunehmen und somit auch dem auf diese nachgebildeten, realen Belastungsfall Stand zu halten. Sowohl die Härteprüfungen als auch die Gefügeuntersuchungen bestätigen schlüssig diesen Sachverhalt.