

Laserschweißtechnik im PVC-Rohrbereich – Einsatzmöglichkeiten und Visionen

Dipl.-Ing. Andreas Bos, INEOS Vinyls Deutschland GmbH, Wilhelmshaven

Einleitung

Die Gründung von PVC4Pipes (www.PVC4Pipes.org) erfolgte 2003. PVC4Pipes ist eine europäische Organisation von 37 Rohstoffproduzenten, Rohrherstellern, Additivherstellern und anderen am PVC interessierten Unternehmen, Instituten und Verbänden.

Wichtige Ziele von PVC4Pipes sind unter anderem die Anregung von Entwicklungen im PVC-Rohrbereich und die Förderung von nachhaltigen PVC-Rohrsystemen. In diesem Zusammenhang ist das im Folgenden beschriebene Projekt durchgeführt worden, welches die Kombination folgender Ziele verfolgt:

- ▶ Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von traditionellen PVC-Rohren durch molekulare Orientierung,
- ▶ Prüfung der Einsatzfähigkeit von Laserschweißtechnik im PVC-Rohrbereich im Vergleich zur traditionellen thermischen Verschweißung.

Im Druckbereich eingesetzte molekular orientierte (MO) PVC-Rohre erreichen gegenüber einem traditionellen PVC-Druckrohr deutlich höhere Schlag- und Umfangsfestigkeiten. Auch für im Abwasserbereich eingesetzte Doppelwandrohre aus PVC sind wesentliche Verbesserungen der mechanischen Eigenschaften und des Preis-Leistungs-Verhältnisses durch Einbringung molekularer Orientierung zu erwarten. Wenn bei diesem PVC-Rohr entweder die Außenschicht oder die Innenschicht oder sogar beide Schichten molekular orientiert würden, wäre eine signifikante Erhöhung der Schlagfestigkeit bei gleichzeitiger Materialeinsparung möglich. Bei der herkömmlichen Produktion von Doppelwandrohren werden die glatte Innenschicht und die korrigierte Außenschicht thermisch miteinander verschweißt. Die Verschweißung erfolgt, indem sich die heißen Kunststoffschmelzen der beiden aus dem Rohrwerkzeug austretenden Schichten miteinander verbinden. Dieses Schweißverfahren könnte jedoch nicht bei molekular orientierten Doppelwandrohren angewendet werden, da hierbei die vorab eingebrachte molekulare Orien-



Gemeinsam stark

INEOS Vinyls Sales GmbH

csq_germany@ineosvinyls.com

www.ineoschlorvinyls.com

Inhauersieder Straße 25

26388 Wilhelmshaven

Tel. + 49 44 25 98 - 01

Fax + 49 44 25 98 - 2217

INEOS ChlorVinyls

**Europas führender
PVC-Hersteller**

Europaweit produzieren wir in unseren Werken den Kunststoff PVC für Rohre und Fittinge.

Wir stellen uns täglich neuen Herausforderungen mit dem Ziel, für unsere Kunden beste Ergebnisse zu erreichen – leichte Verarbeitung und gute Endprodukteigenschaften.

Wir sind für Sie da!

tierung wieder verloren geht. Hier könnte der Einsatz von Laserschweißtechnik zum Erfolg führen.

Molekular orientierte PVC-Rohre

Diese Innovation nutzt die Orientierung der PVC-Moleküle in eine bestimmte Richtung, um sowohl Eigenschaftsverbesserungen als auch Materialeinsparungen zu realisieren.

Normalerweise sind die Molekülketten des amorphen PVC ungeordnet verknäult und verschlauft. Bei der Extrusion ordnen sich die Moleküle in der Schmelze teilweise in Rohrlängsrichtung aus. Durch ein spezielles Verfahren erfolgt eine Orientierung der Moleküle in Umfangsrichtung:



Bild 1: vor Orientierung



Bild 2: nach Orientierung

Dazu wird zuerst ein für diesen Zweck geeignetes spezielles Rohr extrudiert. Im zweiten Schritt wird das Ausgangsrohr in einer entsprechenden Form aufgeheizt und mit Innendruck auf die gewünschte Enddimension aufgeblasen. Eine wichtige Weiterentwicklung ist die Fertigung dieses Rohrs in einem Ein-Stufen-Prozess (Inline-Verfahren) durch Aufziehen über einen Dorn:

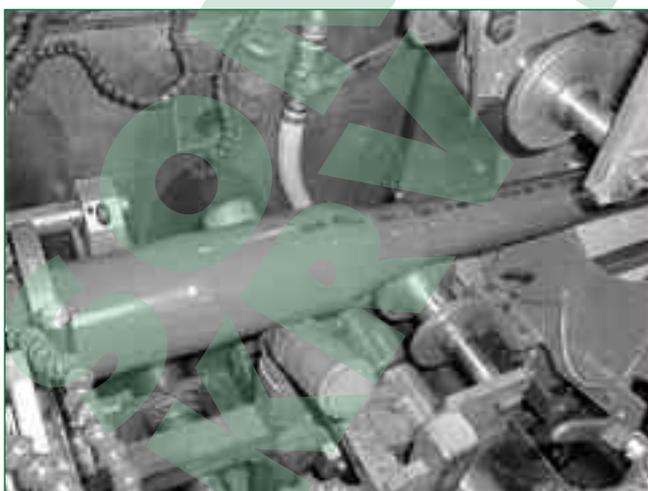


Bild 3: Inline-Verfahren biaxial orientiertes PVC-Rohr

PVC-Rohre mit strukturierten Wandungen (Structured wall pipes) sind seit Jahren ein wachsendes Segment im Rohrleitungsmarkt. Einen bedeutenden Anteil haben hier Doppelwandrohre aus PVC.



Bild 4: Doppelwandrohr aus PVC

Bei der herkömmlichen Produktion von Doppelwandrohren werden die glatte Innenschicht und die korrigierte Außenschicht thermisch miteinander verschweißt, indem sich die heißen Kunststoffschmelzen der beiden aus dem Rohrwerkzeug austretenden Schichten miteinander verbinden. Dieses Verfahren könnte jedoch nicht bei molekular orientierten Doppelwandrohren angewendet werden, da hierbei die vorab eingebrachte molekulare Orientierung wieder verloren geht. Hier könnte der Einsatz von Laserschweißtechnik zum Erfolg führen.

Laserschweißtechnik

Lasertechnik wird nicht zuletzt aufgrund der hohen Präzision und dem niedrigen Energieverbrauch zunehmend in industriellen Prozessen wie Schneiden, Markieren und Schweißvorgängen eingesetzt. Um zwei PVC-Schichten mittels Laserschweißtechnik zu verschweißen, muss die obere Schicht für den Laser durchlässig und die untere Schicht für den Laser undurchlässig sein.

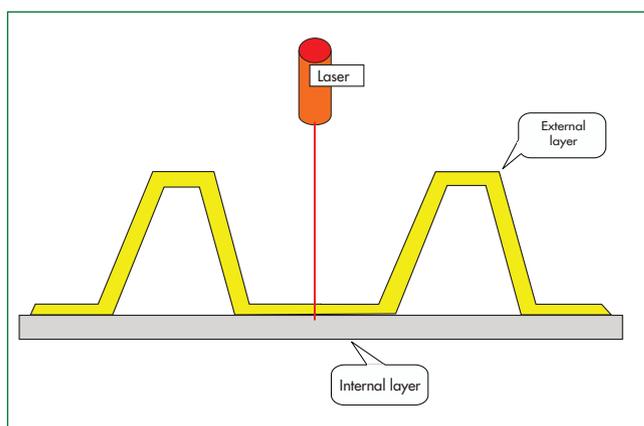


Bild 5: Schema Laserschweißprozess

Versuche

Die im Zusammenhang mit diesem Projekt durchgeführten Versuche sollten die Einsatzfähigkeit des Laserschweißens für den PVC-Rohrbereich klären. Wesentliche Randbedingungen, Erfahrungen und Grundlagen-Parameter konnten ermittelt werden. Folgende Materialien und Gerätschaften wurden verwendet:

- ▶ flache Platten sowie korrigierte Profile (unorientiert und biorientiert) aus PVC in transparenter Ausführung (Wanddicke 0,2 mm / 1,5 mm / 3 mm) sowie in undurchsichtig milchiger Ausführung (Wanddicke 0,2 mm / 2 mm) für die Außenschicht,
- ▶ dunkle Platten (schwarz und grau) Wanddicke 3 mm für die Innenschicht,
- ▶ Diodenlaser, 30 Watt Leistung, 808 nm Wellenlänge, Rundstrahl.

Vorschubgeschwindigkeit des Lasers

Orientierungsversuche ergaben qualitativ gute Punkt- und Linienschweißungen, wenn entsprechend der Wanddicken die Vorschubgeschwindigkeit des Lasers angepasst wurde:

Vorschubgeschwindigkeit des Lasers (m/min)	Transparente Platte, Wanddicke 1,5 mm	Transparente Platte, Wanddicke 0,2 mm
0,6	✓	Laserwirkung zu stark (Verbrennungen)
0,8	✓	✓
1,2	✓	✓
1,4	Mangelhafte Verschweißung	Mangelhafte Verschweißung

Tab. 1: Optimaler Laser-Vorschubgeschwindigkeitsbereich

Anzumerken ist hierbei:

- ▶ In der Außenhaut ist ein geringer Füllstoffgehalt (hier 2 phr CaCO_3) möglich.
- ▶ Durch den Rundstrahl des Lasers ist der Energieeintrag in der Mitte der Schweißung höher und Verbrennungen können dadurch leichter entstehen. Ein Blockstrahl-Laser wäre für die Verschweißung von PVC-Anwendungen besser geeignet.

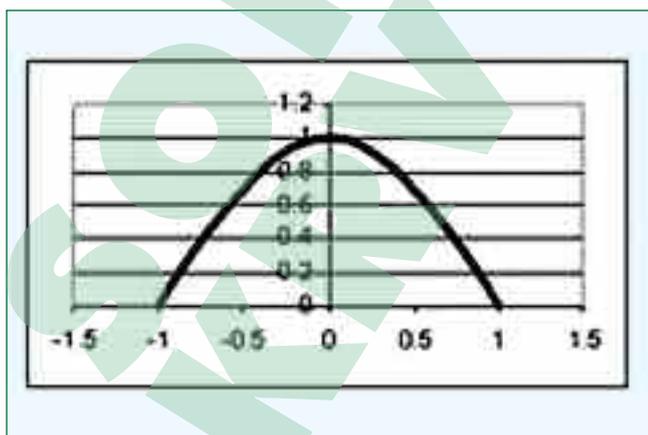


Bild 6: Energieverteilung des Rundstrahl-Lasers

Sicher und bewährt:

Jumbo-Kanalrohre

von Pipelife

Wir stellen aus:
IFAT 5, - 9. Mai 2008
Halle A 6, Stand 219/316

Jumbo-Kanalrohre

Rohrreihe 7, $\approx 125 \text{ kN/m}^2$, SN 16



Jumbo-KG Rohre werden mit großem Erfolg seit 1983 eingebaut. Bis heute sind ca. 7.000 km störungsfrei im Einsatz.

Profilierte Kunststoffrohre werden entsprechend der DIN 16961 nach ihrer Ringsteifigkeit und damit nach ihrer Belastbarkeit klassifiziert.

Je höher die Ringsteifigkeit, um so belastbarer das Rohrsystem. Die Rohrreihe 7 ist doppelt so steif wie die Rohrreihe 6.

Außenrohr, PVC-U, zur Aufnahme von Verkehrsbelastung und Erdlast, und als Schutz bei Fundlasten



Innenrohr, Vollwand, aus PVC-U, weichmacherfrei, ohne Füllstoffe



Für das Jumbo-Kanalrohr hat Pipelife nach der Prüfmethode DIN 16961 einen 70.000 Stunden Langzeittest durchgeführt, der eine Extrapolation der Belastbarkeit auf über 200 Jahre ermöglicht. Andere Rohrsysteme die mit einer Belastbarkeit von SN 16 nach DIN ISO 9989 angeboten werden, erreichen meist nicht die Langzeit-Ringsteifigkeit von Jumbo KG.

PIPELIFE

Pipelife Deutschland GmbH & Co. KG Bad Zwischenahn
Sternfeld 40 · D-26180 Bad Zwischenahn
Postfach 1454 · D-26149 Bad Zwischenahn
Tel. 04403 605-0 · Fax 04403 605-770
email: info@pipelife.de · www.pipelife.de

Laserdurchlässigkeit / Verschweißbarkeit in Abhängigkeit von der PVC-Formulierung

Laser-Durchlässigkeit (LT) ist hochgradig von der PVC-Formulierung abhängig. Messungen ergaben folgendes Ergebnis:

14-04 Glas	Transparent, Wanddicke 3 mm	LT > 95 %
14-02 Opal	Opaque, TiO ₂ , Wanddicke 2 mm	LT < 20 %
18-02 biorientiert	Opaque, CaCO ₃ , Wanddicke 0,2 mm	LT ~ 60 %

Verschweißbarkeit

Laserundurchlässige graue Platten wurden mit o.a. Platten so verschweißt, dass eine partielle Überlappung realisiert wurde.

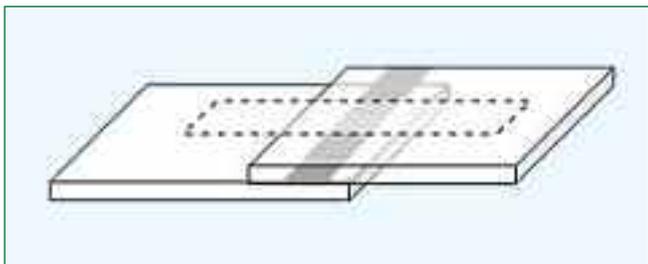


Bild 7: Schema partielle Überlappung

Als optimale Vorschubgeschwindigkeiten für die Verschweißung der Platten stellten sich heraus:

14-04 Glas	0.5 m/min
14-02 Opal	0.09 m/min (niedrig wegen starker Diffusion / LT-Wert niedrig)
18-02 biorientiert	0.3 m/min

	Wanddicke (mm)	Unorientiert	Bruchkraft (N)	Zugfestigkeit (N/mm ²)	Bruch
14-04 Glas	2	Unorientiert	384	38	Außerhalb der Verschweißung
14-02 Opal	3	Unorientiert	442	44	Innerhalb der Verschweißung
18-02 biorientiert	0,2	Biorientiert	763	76	Außerhalb der Verschweißung

Tab. 2: Ergebnisse Zugversuch

	1	2	3	4	5	6	7	8	10
PVC K-Wert 67	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Zinn-Stabilisator	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Externes Gleitmittel	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Internes Gleitmittel	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Verarbeitungshilfe	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Orange Farbbatch	0.0	0.1	0.3	0.1	0.2	0	0.1	0.1	0
TiO ₂ Farbbatch	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0	0	0
Ruß						0.01			0.01
CaCO ₃	0						1	3	
Bezeichnung	Transparent	0,1 Orange	0,3 Orange	0,1 TiO ₂	0,2 TiO ₂	0,01 Ruß 0,1 TiO ₂	1 CaCO ₃	3 CaCO ₃	0,01 Ruß
Durchlässigkeit	88 %	88 %	90 %	26 %	22 %	3 %	58 %	60 %	41 %

Tab. 3: Rezepturen für Laserdurchlässigkeits-Proben

Anschließend erfolgte an entsprechend präparierten Proben ein Zugversuch, um die Qualität der Schweißnaht bzw. der molekularen Orientierung zu testen (10 mm Probenbreite nach ISO 527-1). Siehe Tab. 2: Ergebnisse Zugversuch

Bei guter Laser-Durchlässigkeit der oberen Platte werden qualitativ sehr hochwertige Schweißungen erreicht. Aufgrund der niedrigen Laser-Durchlässigkeit von nur 20 % ist die Verschweißung mit der Opal-Platte schwächer als das Material selbst. Die biorientierte Platte weist besonders gute mechanische Eigenschaften auf.

Weitere Beobachtungen bei diesen Versuchen:

- ▶ Eine graue Innenschicht-Platte absorbiert weniger Laser-Energie als eine schwarze Platte: Vorteil: Hitzediffusion ist größer, Gefahr von Verbrennungen kleiner.
- ▶ Es war kein sichtbarer Schrumpf der Oberflächen um die Schweißnaht feststellbar, die Reduzierung der Orientierung bei Laserschweißung ist daher vernachlässigbar.

Laserdurchlässigkeit in Abhängigkeit von Pigmenten / Farbzusätzen

Die Auswirkungen von Pigmenten und Farbzusätzen auf die Laserdurchlässigkeit wurden an gewalzten Pressplatten ermittelt. Dabei wurden folgende Rezepturen verwendet: siehe Tab. 3: Rezepturen für Laserdurchlässigkeits-Proben

Das verwendete Orange-Pigment hatte keinen Einfluss auf die Laser-Durchlässigkeit. TiO₂ und Ruß reduzieren die Durchlässigkeit schon bei sehr kleiner Dosierung signifikant. CaCO₃ liegt mit seinen Auswirkungen dazwischen. Bis zu 3 phr CaCO₃ kann für eine Durchlässigkeit von 60 % hinzugefügt werden.

**Schweißversuche
mit korrigierten Profilen als Außenschicht**

Um die Verschweißung eines Doppelwandrohrs praxisnah zu simulieren, wurden unorientierte sowie biorientierte korrigierte Profile an den Berührungslinien mit einer flachen grauen Platte verschweißt.



Bild 8: Verschweißung graue flache Platte / transparentes korrigiertes Profil

Somit konnte ein qualitativer Vergleich zwischen Laserschweißung und thermischer Verschweißung erfolgen. Für die thermische Verschweißung wurde die erforderliche Schweißvor-

richtung so modifiziert, dass nur die Berührungslinien erhitzt wurden und nicht die gesamte Fläche.



Bild 9: Modifizierung Schweißvorrichtung



- Druckrohre aus PVC-U und PVC-C
- Lüftungsrohre aus PVC-U und PE
- Druckrohre aus PE80/PE100
- Gasrohre aus PE80/PE100
- Schutzrohre aus PVC-U
- Gasrohrhauben aus PVC-U
- Schilderplättle
- Flugsicherungsdecken
- Brunnenrohre aus PVC-U
- Fragrollenrohre aus PVC-U
- Wickelkornrohre aus PVC-U
- Kabelschutzrohre aus PVC-U
- Kabelschutzrohre aus PE-HD
- Abwasserdruckrohre aus PE80/PE100
- Freispiegelleitungen aus PE80

WESTFÄLISCHE KUNSTSTOFF-TECHNIK

Seit mehr als einem halben Jahrhundert steht der Name WKT für Qualität und Kundenzufriedenheit. Kunden in vielen Ländern der Welt schätzen die Robustheit, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit unserer Produkte. Ganz gleich ob Sie komplexe Rohrleitungssysteme planen oder einfach nur Fragen zum Thema Kunststoffrohren haben – bei uns finden Sie immer den richtigen Ansprechpartner mit der passenden Lösung.

Für den thermischen Schweißprozess wurden folgende Schweißbedingungen eingestellt:

- ▶ Temperatur 250°C,
- ▶ Aufheizzeit 20 sec.,
- ▶ Presszeit 1 min. bei 15 kg Last,
- ▶ Kühlzeit 5 min.

Schlagtest

Die verschweißten Proben wurden mittels eines Schlagtests geprüft, wobei der Schlag auf den Wellenkamm des korrigierten Profils erfolgte.

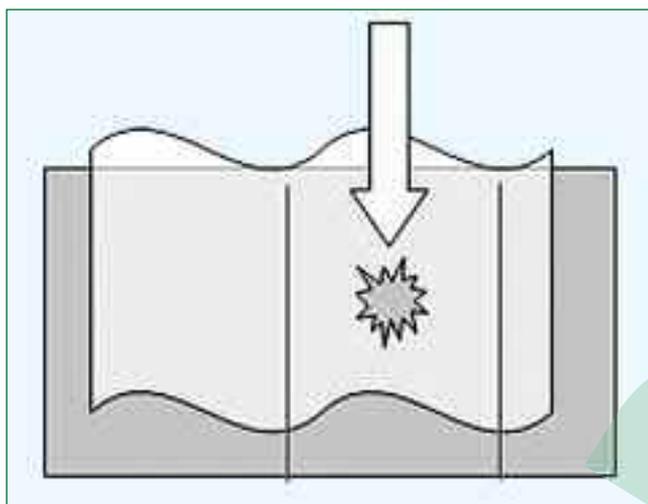


Bild 10: Schema Schlagtest

	Korrigiertes Profil	Bruchkraft (N)	Bruchenergie (J)	Bruchposition
Thermisches Schweißen	Unorientiert	394	4,6	Schweißnaht
Laserschweißen	Unorientiert	431	4,3	Korrigiertes Profil
Thermisches Schweißen	Biorientiert	318	2	Schweißnaht
Laserschweißen	Biorientiert	778	8	Korrigiertes Profil

Tab. 4: Ergebnisse Schlagtest



Bild 11: Gebrochene thermische Schweißnähte



Bild 12: Korrigierte Profile gebrochen (Delamination)

Fazit:

- ▶ Beim Schlagtest der thermischen Schweißung brachen die Schweißnähte. Die Laserschweißung hielt der Schlagbelastung stand. Somit ist die Qualität der Laserschweißung besser als die unter o.a. Bedingungen durchgeführte thermische Schweißung.
- ▶ Ein lasergeschweißtes, biorientiertes, korrigiertes Profil weist gegenüber einem unorientierten, korrigierten Profil eine mehr als doppelt so hohe Schlagfestigkeit auf.

Zusammenfassung

Die Versuche zeigen, dass die Qualität der Laserschweißung stark abhängig ist vom Absorptionsverhalten der Innen- und der Außenschicht gegenüber dem Laserstrahl. Eine Laserdurchlässigkeit von mehr als 50 % für die Außenschicht bei gleichzeitiger Undurchlässigkeit der Innenschicht ergibt qualitativ gute Schweißnähte.

Unter Einhaltung dieser Bedingung kann die Qualität der Laserschweißung gleich oder besser ausfallen als die Qualität thermischer Schweißtechnik.

Die Einsatzfähigkeit der Laserschweißtechnik für PVC-Rohranwendungen ist gegeben. Die technische Umsetzung ist nicht einfach, jedoch durchaus realisierbar.

Somit steht der Laserschweißtechnik eine vielleicht glänzende Zukunft im PVC-Rohrbereich für Anwendungen wie Doppelwandrohre, Überschiebmuffen und etliche andere heute noch nicht angedachte Anwendungen bevor. ■