

## KUNDENINFORMATION

### Sicheres rissfreies Schweißen ohne Vorwärmen mit Dillinger DI-MC 355T/S355ML

Revision 0, Mai 2017, 6 Seiten

**Stichworte:** Vorwärmen, DI-MC 355T/S355ML, Schweißen, Vorwärmtemperatur, Offshore Wind, Monopile

#### Effiziente Verarbeitung mit Dillinger TM-Stählen

DI-MC 355 – der S355M/ML von Dillinger – zeichnet sich durch eine besonders schlanke chemische Analyse und damit durch sehr niedrige Kohlenstoffäquivalente aus. Da das Kohlenstoffäquivalent CET nach EN 1011 Methode B zur Berechnung der notwendigen Vorwärmtemperatur verwendet wird, kann bei der Verarbeitung solcher thermomechanischer Baustähle aufgrund ihrer geringen Legierung das Vorwärmen häufig deutlich reduziert werden oder sogar komplett entfallen. Dies bringt vor allem durch den Wegfall der Aufheiz- und Abkühlzeiten enorme Zeitersparnisse in der Fertigung mit sich. Thermomechanische Walzung ermöglicht damit effiziente Fertigung in Kombination mit besten mechanischen Eigenschaften.

#### Rissfrei – auch ohne Vorwärmen

Aus 75 und 85 mm dicken Coupons der Qualität DI-MC 355T/S355 ML wurden modifizierte (deutlich größere Abmessungen als genormt) Tekken-Proben gefertigt, um die Kaltrissneigung (Wasserstoff-induzierte Rissbildung) des Stahls zu untersuchen. Die Untersuchung sollte zeigen, ob gegebenenfalls auf ein zeit- und kostenintensives Vorwärmen verzichtet werden kann. Ergänzende Versuche wurden dahingehend durchgeführt, dass die Prüfbedingungen nochmals verschärft wurden, indem man eine einzelne UP-Raupe als Wurzelschweißung durchführt.

Aufgrund des tiefen Kohlenstoffgehaltes und niedriger Gehalte an Legierungselementen des Grundwerkstoffs und der damit verbundenen geringen Aufhärtung in der Wärmeeinflusszone (WEZ) zeigten sich trotz Schweißung ohne Vorwärmung keinerlei Anzeichen einer wasserstoffinduzierten Rissbildung in der Wärmeeinflusszone.

#### Theoretischer Hintergrund wasserinduzierter Risse

Im Lichtbogen des Schweißprozesses wird Wasserstoff aus der Umgebung vom gasförmigen in den atomaren Zustand überführt und kann in das flüssige Schweißbad und die angrenzende Wärmeeinflusszone eindringen. Das Gefüge maximaler Härte in der Wärmeeinflusszone wird durch den aufgenommenen Wasserstoff stark versprödet. Dies kann, wie in Abbildung 1 dargestellt, zu Rissbildung führen und ist in der Literatur ausführlich beschrieben. /i/

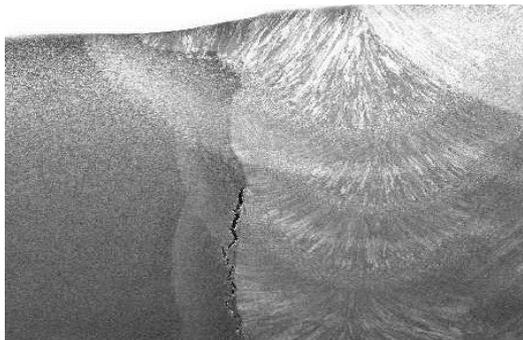


Abbildung 1: Durch Wasserstoff induzierter Riss in der Schweißverbindung

## KUNDENINFORMATION

### Einflussfaktoren der wasserstoffinduzierten Rissbildung

- Chemische Zusammensetzung des Stahls (Kohlenstoffäquivalent)
- Spannungen aufgrund des Wärmeeinbringens beim Schweißen
- Wasserstoff, der in die Schweißverbindung eindiffundiert

Beeinflussen kann der Stahlhersteller nur den ersten dieser 3 Einflussfaktoren, die chemische Zusammensetzung des Stahls. Vereinfachend zusammengefasst steigt die Gefahr der Rissbildung mit zunehmendem Gehalt an Legierungselementen. Diese sind aber wiederum notwendig, um beispielsweise eine hohe Festigkeit des Bleches zu realisieren. Durch die enorm hohen Drehmomente, die im Dillinger Walzwerk zur Verfügung stehen sowie spezielle Stich- und Kühlpläne ist es jedoch möglich, die gewünschten Eigenschaften mit deutlich weniger Legierungselementen einzustellen, nämlich über die Korngröße des Gefüges im Blech. Je feiner die Gefügestruktur im Blech ist, desto weniger muss zulegiert werden, um beim Blech die gewünschten Festigkeitseigenschaften einzustellen.

### Schweißversuch ohne Vorwärmen

#### Chemische Zusammensetzung des Grundwerkstoffs

##### 1. Versuchsblech

Blechdicke 85 mm

C	Si	Mn	P	S	N	Al	Cu	Mo	Ni	Cr	V	Nb	Ti
0,06	0,35	1,56	0,010	0,001	0,004	0,031	0,03	0,02	0,05	0,05	0,001	0,015	0,003

CE (IIW): 0,34

CET: 0,22

##### 2. Versuchsblech

Blechdicke 75 mm

C	Si	Mn	P	S	N	Al	Cu	Mo	Ni	Cr	V	Nb	Ti
0,06	0,34	1,45	0,014	0,001	0,003	0,030	0,05	0,01	0,05	0,04	0,000	0,015	0,001

CE (IIW): 0,32

CET: 0,21

#### Probenaufbau

Zur Ermittlung der Kaltrissanfälligkeit eines Stahls sind etliche Prüfverfahren und Proben Geometrien bekannt /ii/. Man unterscheidet zwischen von außen belasteten Proben (Implant) und selbstverspannten Proben (Tekken, CTS). Die beiden Letztgenannten können bei Bestellung nach EN 10225 oder API RP2Z von unseren Kunden im Rahmen einer Qualifikation gefordert werden und sind Bestandteil unserer Offshore Zulassungen.

Für die ersten Untersuchungen wurden für 85 mm Blechdicke Tekken-Proben in voller Blechdicke und einer Versuchslänge von 400 mm verwendet. Die deutlich größeren Abmessungen im Vergleich zu den Normproben (200 x 150 x max. 50 mm) waren nötig, um mechanische Schweißverfahren in ausreichender Versuchslänge testen zu können.

## KUNDENINFORMATION



Abbildung 2: Schweißung der Ankernähte und fertig zusammengebaute Probe

### Schweißzusatzwerkstoffe und Schweißparameter

Zunächst wurde in jede Probe bei Raumtemperatur ohne Vorwärmung jeweils nur eine Testraupe (MAG, UP-1Draht) geschweißt, da dies die kritischste Bedingung für wasserstoffinduzierte Rissbildung darstellt. Eine ergänzende Schweißung wurde dahingehend ausgeführt, dass zunächst eine MAG-Wurzelraupe in die Probe gelegt wurde und darüber, nach vollständigem Erkalten der Probe und einer Wartezeit von 48 Stunden, eine zusätzliche UP 1-Draht Raupe als erste Füll-Lage geschweißt wurde.

Aus einem 75 mm Blech wurde eine Probe in den Abmessungen 800 x 400 x 75 mm analog zu den oben beschriebenen Versuchen zusammengebaut und auf die Wurzel mit MAG eine UP 2-Draht (Tandem) Raupe geschweißt.

Verfahren	Schweißzusatzwerkstoff	kJ/mm
MAG	EN 758 T46 MM H5	1,3
UP 1-Draht	DIN EN 756 S3Si	2,6
UP 2-Draht	DIN EN 756 S3Si	2,6



Abbildung 3: MAG bzw. UP-Schweißung der Tekken-Probe

Nach dem Schweißen und einer Wartezeit von 48 Stunden wurden die Proben zunächst mittels Farbeindringverfahren auf mögliche Oberflächenrisse hin untersucht. Anschließend wurden aus jeder Probe 5 Schiffe entnommen und in der Metallographie auf Risse hin überprüft.

## KUNDENINFORMATION

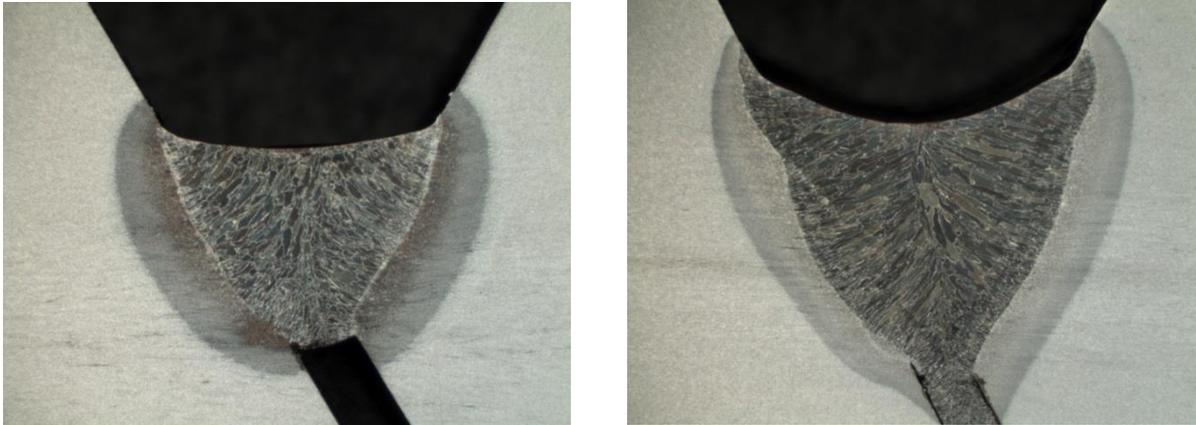


Abbildung 4: Makroaufnahme der Testraupen für MAG bzw. MAG / UP 1-Draht bei 85 mm Blechdicke

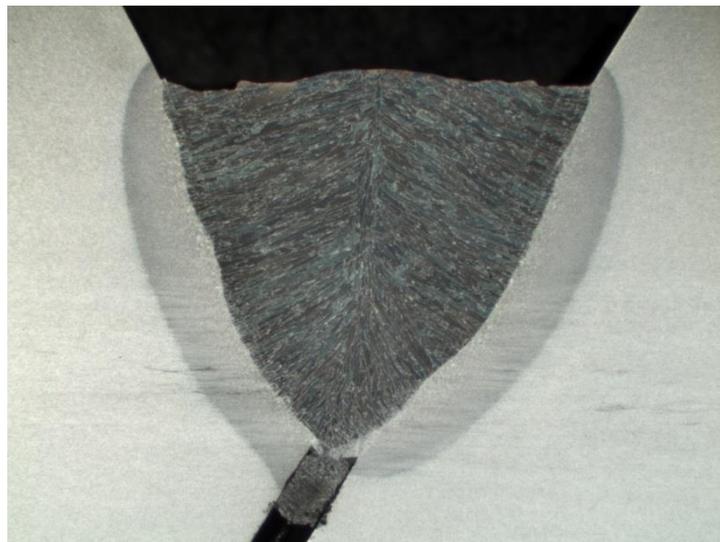


Abbildung 5: Makroschliff der 75 mm MAG / UP-Tandem-Testraupe

### Versuchsergebnisse

- Wasserstoffinduzierte Risse

Bei keiner der Schweißungen wurden, trotz des Verzichts auf Vorwärmung, Anzeichen einer wasserstoffinduzierten Rissbildung, wie sie in Abbildung 1 dargestellt ist, gefunden.

Auch für die UP Tandem Testraupe zeigte nach 48 Stunden sowohl die FE Prüfung der Oberfläche als auch die anschließende mikroskopische Untersuchung an 5 Schliffen keine Anzeichen einer wasserstoffinduzierten Rissbildung.

## KUNDENINFORMATION

- Härte HV10 in der Wärmeeinflusszone

Erwartungsgemäß liegen die Härtewerte für die MAG-Schweißung aufgrund des niedrigeren Wärmeeinbringens und der damit verbundenen größeren Abkühlgeschwindigkeit ca. 50 HV höher als bei der UP Schweißung. Der Anforderungswert für die maximale Härte in der WEZ bei einer Verfahrensprüfung für die Qualität DI-MC 355T/S355ML liegt bei 380 HV 10 und wird in beiden Fällen somit sicher erfüllt. /iii/

MAG-Schweißung 85 mm 1,3 kJ/mm

311	311	309	302	297	309	309	306	304	306
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

UP-1Draht Schweißung 85 mm 2,6 kJ/mm

216	221	242	251	256	242	243	249	251	237
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

### Wasserstoffbestimmung

Für die unterschiedlichen Schweißverfahren und verwendeten Schweißparameter wurde der Wasserstoffeintrag mittels Eudiometer im Glycerin-Bad ermittelt. Dazu wird auf einen Probenträger eine kurze Schweißraupe aufgebracht und anschließend direkt in einen mit Glycerin gefüllten oben verschlossenen Glaszylinder mit Messskala gelegt. Der diffusible Wasserstoff entweicht aus der Probe, steigt nach oben und verdrängt dabei das Glycerin. Somit kann der Wasserstoffeintrag bezogen auf das eingebrachte Schweißgut in der Einheit HDM ml/100g quantitativ bestimmt werden. /iv/



Abbildung 6: Diffusibler Wasserstoff entweicht aus der Testraupe im Glycerin-Bad.

Nach 48 Stunden Wartezeit ergaben sich folgende Wasserstoffgehalte für die einzelnen Verfahren:

MAG	0,9 ml/100g (0,8 ppm)
UP 1-Draht (Gleichstrom DC +)	2,0 ml/100g (1,8 ppm)
UP 1-Draht (Wechselstrom AC ≈)	7,4 ml/100g (6,7 ppm)
UP 2-Draht (AC, DC +)	4,8 ml/100g (4,4 ppm)

Erwartungsgemäß liefert die MAG-Schweißung die niedrigsten Wasserstoffeinträge, weil bei diesem Prozess eine potentielle Quelle, das Schweißpulver, fehlt. Ebenfalls, wie bereits aus früheren Untersuchungen bekannt, führt eine UP-Schweißung mit Wechselstrom bei sonst gleichen Parametern zu höheren Wasserstoffeinträgen als bei Gleichstrom. /v/

## KUNDENINFORMATION

Revision 0

Dillingen, Mai 2017

Stahlverarbeitung und Qualitätsverbesserung; Marketing und Technische Beratung

---

i C. Schwenk, T. Kannengiesser und M.Rethmeier, „Restraint conditions and welding residual stresses in self-restrained cold cracking tests,“ Trends in Welding Research, Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference, pp. 766-773, 2009.

ii Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen an metallischen Werkstoffen - Kaltrissprüfungen für Schweißungen - Lichtbogenschweißprozesse - Teil 2: Selbstbeanspruchende Prüfungen  
DIN EN ISO 17642-1:2004-10

iii Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe - Schweißverfahrensprüfung - Teil 1: Lichtbogen- und Gasschweißen von Stählen  
DIN EN ISO 15614-1:2012-06

iv Schweißen und verwandte Prozesse - Bestimmung des Wasserstoffgehaltes im Lichtbogenschweißgut  
DIN EN ISO 3690:2012

v SVZ Kb 08.03.1993 Bestimmung des Wasserstoffgehalts in UP Einlagen- und Mehrlagen-Schweißverbindungen