

Untersuchung zum Einfluss von Umweltbedingungen auf Thermit®-Schweißungen im Gleis

Das lückenlose Gleis ist inzwischen zu einem weltweit verbreiteten Standard geworden. Entscheidende Voraussetzung dafür war die Entwicklung der aluminothermischen Schweißung. Das aluminothermische Schweißen wird heute hauptsächlich im Bereich der Instandhaltung angewendet. Seine Robustheit prädestiniert es für den Einsatz auch unter schwierigen Bedingungen. Doch wie robust ist diese Art der Schweißung unter extremen Einsatzbedingungen?

NUMERISCHE UNTERSUCHUNG

Dieser Frage gingen Ingenieure der Elektro-Thermit GmbH & Co. KG und Wissenschaftler der TU Bergakademie Freiberg mit Hilfe numerischer Simulationen nach. Sie untersuchten die Auswirkungen meteorologischer Bedingungen auf das Abkühlverhalten aluminothermischer Schweißungen. Dabei kam

BILD 1: Modellgeometrie, zugleich Rechengebiet für Studie des Erwärmungs- und Abkühlverhaltens

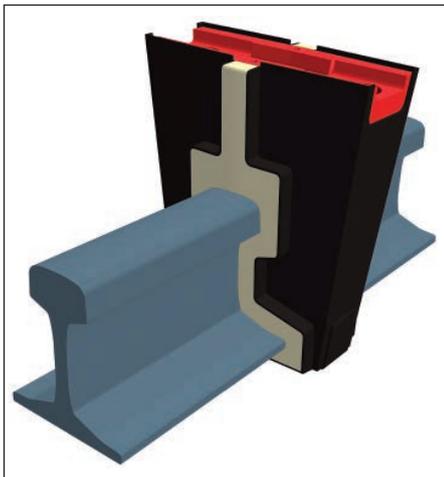
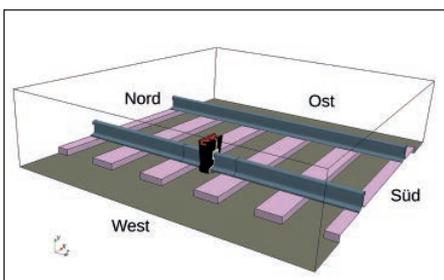


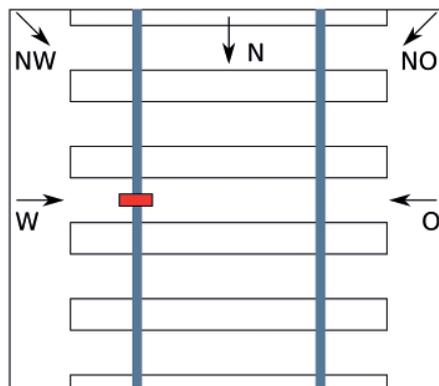
BILD 2: Rechengebiet zur Studie der Außenumströmung des Schweißstoßes



die Software STAR-CCM+ von cd-adapco zum Einsatz, einem CFD-Programm (Computational Fluid Dynamics), das zur numerischen Berechnung unterschiedlichster physikalischer Vorgänge eingesetzt wird. Die Berechnung erfolgte in zwei Stufen. Zunächst wurde die Außenumströmung einer Modellgeometrie (Bilder 1 bzw. 2) für unterschiedliche Anströmrichtungen berechnet (orientiert an Himmelsrichtungen, siehe Bild 3). Als Grenzfall wurde eine Windstärke 10 auf der Beaufort-Skala (leichter Sturm) bei einer Anfangstemperatur der Schienen von -20 °C angenommen (Anfangstemperatur der Gießsystembestandteile und der Umgebung: -5 °C). Daraus wurde die Information über den lokalen Wärmetransport an die Luft bestimmt, um mögliche räumliche Unterschiede der Erwärmung und Abkühlung während der Schweißung sichtbar machen zu können.

Bild 4 zeigt an einem Beispiel, wo im Fall einer Westanströmung (siehe Bilder 2 und 3) eine besonders starke Abkühlung der Schienen zu erwarten ist: Windzugewandt

BILD 3: Draufsicht mit Richtungen der Anströmung



Dr.-Ing. Jan Hantusch
Leiter SPC&QK /Neue Technologien, Elektro-Thermit GmbH & Co. KG, jetzt Leiter der Entwicklung Thermitverfahren und Vorentwicklung im TIC der Goldschmidt Thermit GmbH
jan.hantusch@goldschmidt-thermit.com



Dipl.-Ing. Sebastian Manzke
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik
sebastian.manzke@iwtt.tu-freiberg.de

an der Schienenkopfkante und im Bereich des Schienenfußes. Windabgewandt ist der Wärmetransport an die Umgebung durch die Überströmung geringer (ohne Bild).

In einem zweiten Schritt wurde der Einfluss der Wärmeabgabe an die Umgebung durch Umströmung mit kälterer Luft auf das Erwärmungs- bzw. Abkühlverhalten von Schienen und Schweißung untersucht. Die dafür verwendete Modellgeometrie (Bild 1) besteht aus zwei Schienen, einer Gießform, Halteblechen für die Form und Abdichtsand sowie dem Schweißgut, das sich nach Einguss in der Form befindet. Weitere Angaben zum Schweißverfahren und zum zeitlichen Ablauf sind in der Tabelle 1 dargestellt. Berechnet wurde nun das Temperaturfeld im Inneren dieser Körper. Dabei sind grundsätzlich zwei Aspekte zu beachten:

1. Nur wenn eine Temperaturdifferenz der Oberflächen zur Umgebung vorliegt, wird auch das Abkühlverhalten der Schweißanordnung davon beeinflusst. Dies dauert eine gewisse Zeit, da die

Wärme, die bei Vorwärmung der Anordnung und Einguss der Stahlschmelze eingebracht wird, erst nach und nach von den Schienen abgeleitet wird.

2. Eine Abkühlung der Form oder der Formhaltebleche beeinflusst nicht die Abkühlung der Schienen, da ein hoher Widerstand für die Wärmeübertragung zwischen Schienen und Form und die zugleich vergleichsweise geringe Wärmeleitfähigkeit der Form kaum Wärmetransport zwischen Schienen und Form bewirken.

Solange also keine Schienenoberflächen mit Kontakt zur Umgebung andere Temperaturen aufweisen als die Umgebungstemperatur, bleibt das thermische Verhalten der Schienen davon unverändert. Wie Bild 5 zeigt, treten nur im geringen Abstand von der Schweißform höhere Temperaturen kurz nach dem Zeitpunkt des Eingusses auf.

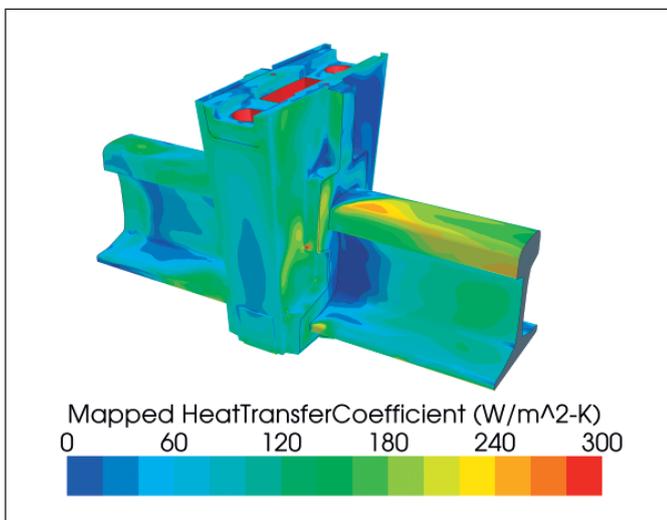
Die lokale Abkühlung in der Schiene durch Wärmeleitung in Schienenlängsrichtung überdeckt die Abkühlung durch eine Außenumströmung mit kälterer Luft mindestens um den Faktor 2 (bei den höchsten Oberflächentemperaturen von ca. 600 °C), bei Schienenoberflächentemperaturen von weniger als 300 °C sogar um mehr als 4. Deshalb ist der Einfluss einer abkühlenden Außenumströmung auf das Temperaturfeld der Schienen aus praktischer Sicht vernachlässigbar.

Unterschiede gegenüber einer berechneten Variante ohne Umgebungseinfluss sind klein, betrachtet man den Zustand des Tem-»

| | |
|--|---------------------------------------|
| Zeitpunkt der Vorwärmung | t = 0 ... 120 s |
| Positionierung des Reaktionstiegels, Thermit®-Reaktion | t = 120 ... 150 s |
| Einguss | t = 150 ... 155 s |
| Abkühlung | t = 155 ... max. 30 min (im Modell) |
| Schweißverfahren | SkV (Schweißen mit kurzer Vorwärmung) |
| Lückenweite | 25 mm |
| Schienengüte | R260 |

TABELLE 1: Angaben zur Schweißung

BILD 4: Wärmeübergang auf den überströmten Oberflächen des Schweißstoßes, je höher der Wärmeübergang desto stärker die Wärmeabgabe an die Umgebung durch Überströmung (Westanströmung, Windstärke 10)



INTERNATIONALE KONFERENZ Frankfurt am Main MESSETURM Deutschland



3-DAY RAILCONFERENCES

FRANKFURT

3, 4, 5 FEBRUAR '15

3 FEBRUAR 2015

ANLAGENVERWALTUNG

- Strategische Anlagenverwaltung vs. Operative Anlagenverwaltung
- Ist der Design, Construct & Maintenance (DCM) Ansatz eine Lösung?
- Welche neuen Erkenntnisse können für das Design von neuer Infrastruktur und Rollmaterial gewonnen werden?

ANMELDUNG: WWW.RAILCONFERENCES.EU

4 FEBRUAR 2015

LEBENSZYKLUS-MANAGEMENT

- Die Optimierung der Balance zwischen Kosten und Qualität über die gesamte Lebensspanne von Infrastruktur und Rollmaterial
- Wie ist die optimale Lebensdauer von Eisenbahninfrastruktur zu definieren?
- Welche technischen Parameter beeinflussen die Entscheidung zwischen Reinvestition und Instandhaltung bestehender Anlagen?

ANMELDUNG: WWW.RAILCONFERENCES.EU

5 FEBRUAR 2015

INSTANDHALTUNG

- Prädiktive Instandhaltung
- Die ökonomischen Auswirkungen von Instandhaltung
- Rollmaterial vs. Infrastruktur
- Niedrigere Kosten, bessere Qualität oder kürzere Intervalle?
- Inwieweit können Inspektions- und Instandhaltungsprozesse automatisiert werden?

ANMELDUNG: WWW.RAILCONFERENCES.EU

Veranstalter: **EUROPÖINT**
Rail Technology
Conferences & Exhibitions

Offizieller
Medienpartner:

**Railway
Gazette**
INTERNATIONAL

**Eurail
press**
EU ETR RAIL

Sponsor: **Plasser & Theurer**

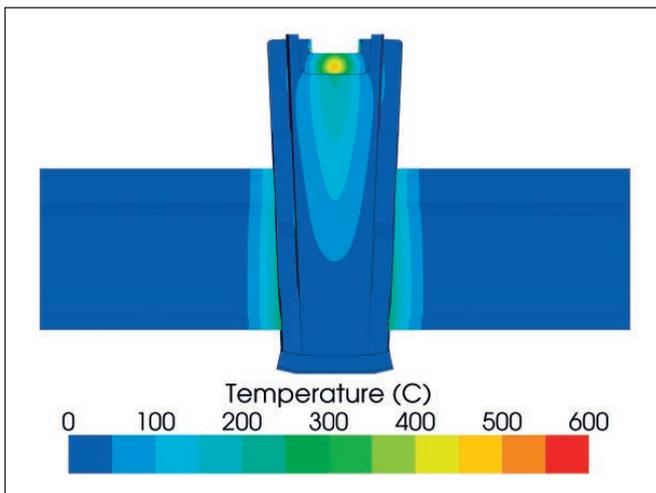
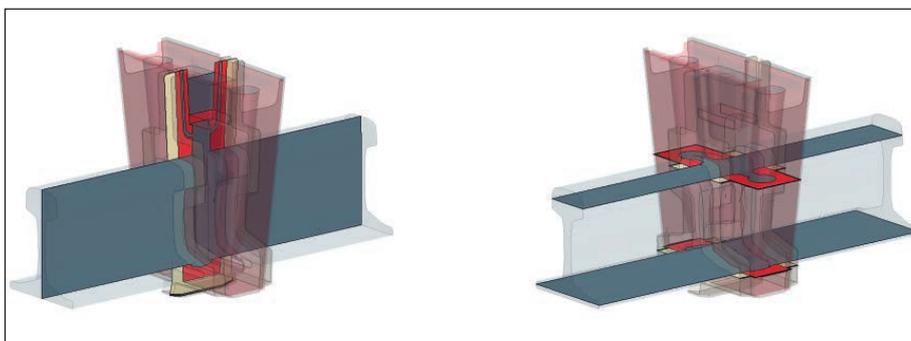


BILD 5: Oberflächentemperatur der Schweißanordnung nach Einguss

BILD 6: Schnitt-Ebenen zur Darstellung von aufgeschmolzenem Bereich und Wärmeeinflusszone; links: Vertikalschnitt in Schienenmitte, rechts: Horizontalschnitt 6 mm über Schienenunterseite bzw. 22 mm unter Fahrspiegel



peraturfeldes zum Zeitpunkt $t = 300$ s nach Beginn der Vorwärmung. So beträgt etwa die maximale Temperaturdifferenz zwischen der Variante mit Außenumströmung und der unbeeinflussten Schweißung an allen verglichenen Stellen weniger als 50 Kelvin. Dieser Wert ist deutlich unterhalb der üblichen Wiederholgenauigkeit bei Thermit®-Schweißungen, wie aus früheren Experimenten bekannt ist.

Für die Qualität der Schweißung sind vor allem Prozesse von Bedeutung, die die Mikrostruktur der Schienen bzw. der Schwei-

ßung verändern können. Diese treten in der Regel erst bei Temperaturen oberhalb von 500 °C auf. Für die davon betroffenen Bereiche lassen sich jedoch keine signifikanten Änderungen durch thermische Umwelteinflüsse erkennen. Dies gilt sowohl für die Größe der während der Schweißung aufgeschmolzenen Bereiche der Schienen als auch für die Breite der Wärmeeinflusszone. Bei einem Vergleich der Lage der Schmelzzone und der Wärmeeinflusszone zwischen einer Schweißung bei Standardbedingungen (Windstille, 20°C Umgebungstemperatur)

BILD 7: Experimenteller Aufbau zur Schweißung mit Außenumströmung I

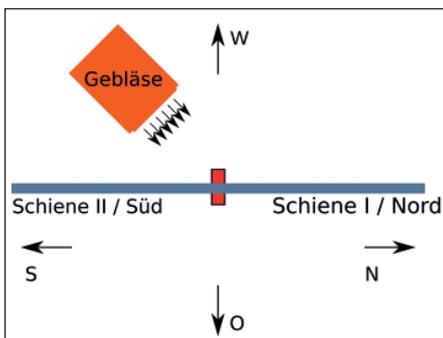


BILD 8: Experimenteller Aufbau zur Durchführung der Schweißung mit Außenumströmung II



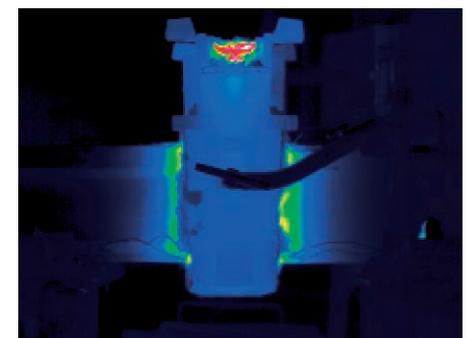
und im geschilderten Grenzfall (Windstärke 10, -20°C Schienen-Anfangstemperatur bzw. -5°C Umgebungstemperatur) für ausgewählte Schnittebenen (Bild 6) zeigt sich: Gegenüber den Standardbedingungen verringert sich die Schmelzzone je Schiene um circa 0,4 mm (Kopf, Steg und Fuß), die Wärmeeinflusszone verringert sich je Schiene um 2,2 mm (Steg) bis 6 mm (Fuß). Dieser Unterschied ist jedoch im gesamten Querschnitt zu beobachten und daher auf die geringere Anfangstemperatur der Schienen von -20°C zurückzuführen. Als Aufschmelzzone wurde dabei das Schienenvolumen mit überschrittener Solidustemperatur betrachtet. Analog wurde für die Wärmeeinflusszone das Schienenvolumen mit einer Temperatur > 720°C gewählt. Die Modellierung des Energietransportes in den Schienen erfolgte ohne Berücksichtigung des Phasenwechsels (Aufschmelzen und Erstarren).

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG

Zusätzlich zu den numerischen Berechnungen wurde in einem Versuch eine Schweißung bei erhöhter Windgeschwindigkeit durchgeführt, um dem Einfluss einer umströmten Schweißanordnung auch im Experiment (Bild 7 und 8) nachzugehen. Dazu wurde eine SkV-Schweißung dem Luftstrahl eines Gebläses ausgesetzt. Damit konnte eine Luftgeschwindigkeit in der Nähe der Schweißung von 8,35 m/s bei 7,7°C Lufttemperatur erreicht werden. Bewusst wurde eine Schräganströmung angenommen, da erwartet wird, dass diese in der Praxis mit größerer Wahrscheinlichkeit auftritt, als eine reine Queranströmung (West- bzw. Ostanströmung) oder eine reine Längsanströmung (Nord- bzw. Südanströmung) der Schienen. Zudem konnten so auch gegebenenfalls auftretende Unterschiede im Vergleich der linken und der rechten Schiene untereinander bewertet werden.

Wie erste Rechnungen vor Versuchsbe-

BILD 9: Oberflächentemperatur, gemessen mit Thermografie-Kamera, zwischen 5 (schwarz) und 600 °C (rot)



ginn zeigten, sind größere Änderungen des Temperaturfeldes in den Schienen nur an der Oberfläche der Schienen zu erwarten. Zur Beobachtung des Abkühlverhaltens wurden deshalb vor allem dort, wo messbare Veränderungen durch Außeneinflüsse erwartet wurden, insgesamt 40 Thermoelemente auf die Schienenoberflächen geschweißt, um mit diesen die zeitliche Veränderung der Oberflächentemperatur während der Schweißung zu ermitteln. Mit 16 weiteren durch Bohrungen eingebrachten Sensoren wurde die Temperatur im Inneren der Schiene gemessen. Zugleich wurde die Oberflächentemperatur des Schweißsystems während der Schweißung mit einer Thermografie-Kamera aufgezeichnet. Bild 9 zeigt eine Aufnahme während der Abkühlung, 150 s nach dem Einguss.

Im Inneren der Schienen gemessene Temperaturen wiesen nahezu keine Unterschiede im Vergleich zwischen linker und rechter Schiene auf. Dies zeigte sich übereinstimmend im Experiment wie in den Rechnungen.

Mit 120 Kelvin Unterschied der örtlichen Temperatur zwischen windzu- und windabgewandter Seite treten auf der Oberfläche des äußeren Schienenfußes noch die größten Unterschiede auf, wie das Experiment

zeigt. Im Schienenfuß ist das Verhältnis von wärmeabgebender Oberfläche zum wärmeleitenden Querschnitt bedingt durch die Schienengeometrie besonders groß. Die genannten Unterschiede sind jedoch erst zwischen 10 und 20 Minuten nach Beginn der Vorwärmung zu beobachten, wenn die Temperaturen in diesem Teil der Schiene (bei etwa 110 mm von der Schweißungsmitte) noch immer unterhalb von 400°C liegen, bevor sie infolge der Abkühlung weiter abnehmen. Bei Temperaturen also, die keine Gefügeveränderung von Schienen oder Schweißung erwarten lassen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind dabei nur auf die betrachtete Schienengüte R260 zu beziehen. Zu weiteren Schienengüten laufen entsprechende Untersuchungen.

SCHLUSSFOLGERUNG

Bei starkem Wind und sehr tiefer Temperatur treten örtlich messbare Einflüsse auf die oberflächennahe Temperatur der Schienen auf. Jedoch selbst in einem solchen in der Schweißpraxis unüblichen Grenzfall sind Veränderungen des Temperaturfeldes in der Schweißung ausschließlich in Bereichen zu erwarten, in denen keine Umwandlungsprozesse auftreten. Aus praktischer Sicht hat somit selbst die Wirkung extremer Umweltbedingungen durch Wind und tiefe Temperaturen keinen Einfluss auf die Qualität der Schweißung. Die Thermit®-Schweißung kann damit als sehr robust gegenüber solchen Bedingungen gelten. Die Arbeitsanweisungen und Vorgaben der Bahnverwaltung sind dennoch zu beachten. ◀

► SUMMARY

Investigation into the influence of environmental conditions on Thermit® welds in railway track

Nowadays, continuous track has become a standard throughout the world. It would never have become possible without the development of alumino-thermic welding. Today, this welding technique is used primarily in the field of maintenance. Thanks to its robustness, it is also predestined for use in difficult conditions. But how robust is this type of welding in reality when applied in extreme conditions?



Die Marke 400 UHC® HSH® entspricht der Stahlgüte R400HT gemäß Euronorm und ist nach TSI zugelassen



Für Kunden, die mit einem spitzen Stift kalkulieren, machen wir den nächsten Schritt im Mischverkehr.

Von R350HT zu 400 UHC® HSH® Doppelte Performance im Gleis.

Die hypereutektoide wärmebehandelte Schienengüte 400 UHC® HSH® hat sich rund um den Globus unter extremen Anforderungen schon bestens bewährt. Angereichert mit zusätzlichem Kohlenstoff, weist sie unter allen perlitischen Stahlsorten den höchsten Widerstand gegen Verschleiß, Schlupfwellenbildung sowie Rollkontaktermüdung aus. Deswegen sind wir sicher, dass 400 UHC® HSH® die beste verfügbare Schienenlösung für dicht befahrene europäische Mischverkehrsstrecken darstellt.

Ein Angebot an unsere Kunden zur nachhaltigen Verbesserung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses bei Schienen: 400 UHC® HSH®