

Technologische Fortschritte beim Schienenschweißen

Wie Erfahrung und praktische Erkenntnisse der letzten Jahre zeigen, erscheint es wünschenswert, für den Bauablauf zur Herstellung eines lückenlos verschweißten Gleises alle Schweißungen mit Hilfe des Abbrennstumpfschweißverfahrens bewerkstelligen zu können. Seit vier Jahren ist es nun bereits möglich, mit dem mobilen Abbrennstumpfschweißen den temperaturbezogenen Spannungsausgleich von Schienenabschnitten (Verspannungsschweißungen) durchzuführen. Als unerschlossenes Gebiet für diesen Prozess bleiben somit lediglich die Schweißungen im Weichenbereich übrig.

ÜBERBLICK DER WESENTLICHSTEN SCHWEISSVERFAHREN

Alle Verfahren zum Verschweißen von Schienen arbeiten nach dem gleichen Prinzip: Es muss Energie eingebracht werden, um Stahl auf die Schmelztemperatur zu erhitzen.

Dieses scheinbar simple Ziel kann nun auf sehr unterschiedliche Art und Weise erreicht werden:

- Erhitzen durch einen chemischen Prozess
- Erhitzen durch Erwärmung mit Gas
- Erhitzen durch elektrischen Strom

ALUMINOTHERMISCHER-SCHWEISSPROZESS

Beim aluminothermischen Schweißverfahren werden die beiden Schienenenden durch Propan-Sauerstoff vorgewärmt (Vor-

wärmung). Anschließend wird eine chemische Reaktion basierend auf einer Mischung aus Eisenoxid und Aluminiumgrieß gestartet. Bei dieser exothermen Reaktion entsteht neben flüssigem Eisen eine sehr große Energiemenge, die durch eine Temperatur von ca. 2500°C gekennzeichnet ist.

GASPRESSTUMPF-SCHWEISSPROZESS

Das Gaspressstumpfschweißen ist insbesondere in Japan ein häufig verwendetes Verfahren zum Verschweißen von Schienen. Beim Gaspressstumpfschweißen werden die beiden Schienenenden durch Acetylen-Sauerstoff auf nahezu Schmelztemperatur erhitzt, um anschließend durch den Vorgang des Stauchens miteinander verbunden zu werden. Während des gesamten 3-Phasen-Prozesses müssen die beiden Schienenenden immer mit dem effektivsten Druck aneinander gepresst werden.



MSc. Markus Öllinger

Zuständiger für Schweißtechnologie und Technik im Zusammenhang mit dem Schweißroboter APT-1500R, Plasser & Theurer
markus.oellinger@plassertheurer.com

ABBRENNSTUMPF-SCHWEISSPROZESS

Der Abbrennstumpfschweißprozess erfordert es, dass eine elektrische Spannung an die Schienenenden angelegt wird. Der resultierende Strom, der über die Schweißstelle und die Schienen läuft, führt dort, wo der Widerstand am größten ist, zum Aufschmelzen der Grundwerkstoffe, also an den Kontaktflächen der beiden Schienenenden. Es sollte also zu einer effektiven Energieeinkommung ein konstanter Stromfluss über die Schweißung aufrechterhalten werden. Auch hier wird die Verbindung selbst über einen Stauchvorgang hergestellt. Die Anforderungen an eine Abbrennstumpfschweißung sind vielfältig:

- Die Schweißung soll dieselbe Lebensdauer wie die Schiene aufweisen
- Die Schweißung muss (für das Schweißen auf der Strecke) der EN-14587-2:2009 entsprechen
- Und es sollen natürlich alle neuen Schienengüten ob perlitisch oder bainitisch durch sie verbunden werden können.

GRUNDLAGEN DES SCHIENENSCHWEISSENS

Als metallurgische Tatsache ist zu berücksichtigen, dass es bedingt durch die Wärme-einkommung bei jedem Schweißverfahren zu Umwandlungsprozessen im Gefüge des »

BILD 1: Abbrennstumpfschweißroboter APT-1500R

(Quelle: Plasser & Theurer)

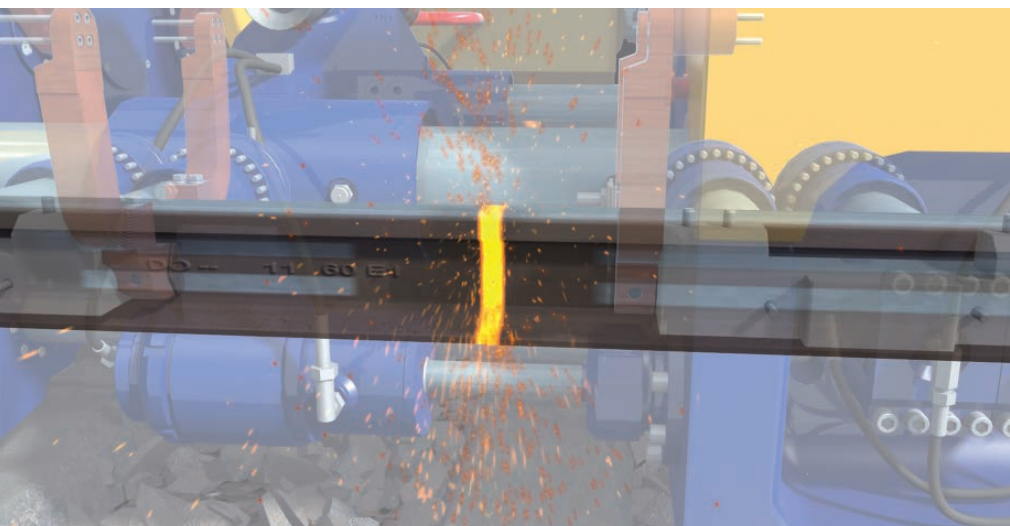




BILD 2: Durch Verschleiß bedingte Dellen in der Weichglühzone einer aluminothermischen Schweißung (Quelle: ÖBB)

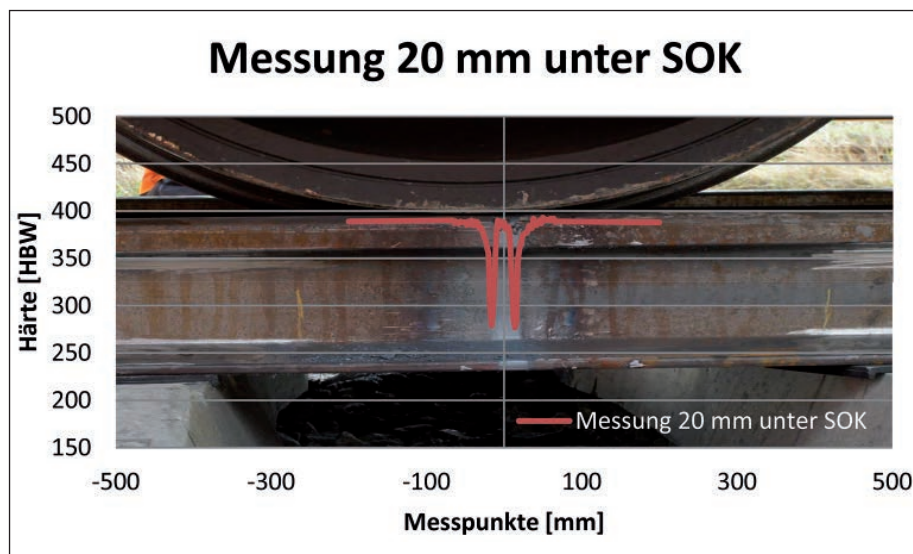


BILD 3: Das Rad kann die Härteeinbrüche einer Abbrennstumpfschweißung nicht beeinträchtigen (Quelle: Plasser & Theurer)

Schienenmaterials kommt. Diese finden in der sogenannten Wärmeinflusszone (WEZ) statt. Basierend auf diesen Umwandlungsprozessen kommt es im Übergangsbereich von der WEZ zum unbeeinflussten Schienenmaterial, der sogenannten Weichglühzone, zu einem Härteeinbruch. Dieser Härteeinbruch ist umso gravierender, je höher die Härte des Grundmaterials ist.

Bei sehr breiten Wärmeinflusszonen, kann diese verminderte Härte die Ursache für schwerwiegende Probleme darstellen. Die Bereiche am Übergang zum normalen Schienengefüge werden aufgrund der Inter-

aktion mit den Rädern der Schienenfahrzeuge beeinträchtigt, es kommt also zur Bildung von örtlich begrenztem Verschleiß.

Diese Dellen führen beim Überfahren zu einer dynamischen Belastung der Schweißung und zur Entwicklung von Lärm. Bei zunehmender Tiefe kann ein Spritzstoß entstehen, der die Oberbaukomponenten beeinträchtigt und im Extremfall sogar zum Brechen der Schweißung führen kann.

Hier liegt nun der primäre Vorteil der Abbrennstumpfschweißung, da die WEZ sehr schmal ausfallen kann. Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, das Ziel einer qualitativ

hochwertigen Schweißung entsprechend der Norm zu erreichen. Dabei stellt die Kombination einer hohen Qualität mit einer kompakten WEZ für jedes Schweißprogramm die größte Herausforderung dar. Plasser & Theurer hat neben ausgiebigen Möglichkeiten der Weiterentwicklung der eigenen Programme auch die Technologie der Mittelfrequenz, um die notwendige Leistungseinbringung in die Schweißung möglichst effektiv zu gestalten.

Da der Schweißroboter APT-1500R über diese moderne Mittelfrequenz-Leistungselektronik verfügt, ist es möglich, die für den Schweißprozess erforderliche elektrische Spannung beliebig zu variieren. Das bedeutet, dass für die unterschiedlichen Phasen des Prozesses auch eine angepasste Spannung zur Verfügung gestellt werden kann. Dieser Umstand, sowie die Tatsache, dass für den Prozess eine konstante Gleichspannung verwendet wird, wirken sich sehr positiv auf die Metallurgie der Schweißungen aus. Auch werden dadurch die Möglichkeiten zur Optimierung eines Schweißprozesses bzw. gezielt auf eine bestimmte Schienengüte einzugehen gesteigert.

Insbesondere die Breite der Wärmeinflusszone fällt auf diese Art und Weise sehr kompakt aus. Von großer Bedeutung hierbei ist natürlich, dass die Härteeinbrüche im Übergangsbereich zum unbeeinflussten Schienenwerkstoff somit sehr schmal ausfallen, was natürlich auch einen geringen Abbrand zur Folge hat.

Wie Bild 3 zu entnehmen ist, besitzen unsere Schweißungen eine sehr schmale WEZ, und der Härteeinbruch in den Übergangsbereichen ist dementsprechend so gering, dass diese durch das Rad förmlich nicht beeinträchtigt werden können.

HOCHVERSCHLEISSFESTE SCHIENENSTÄHLE

Basierend auf der Interaktion des Rades mit der Schiene kommt es unweigerlich zur Bildung von Verschleiß bzw. von Schienenfehlern, die früher oder später zu einem Wechsel des schwächsten Glieds in der Kette führt. In den meisten Fällen handelt es sich hierbei um die Schiene. Stärkere und modernere Traktionsmotoren sowie höhere Tonnagen unterstützen diesen Vorgang natürlich zusätzlich.

Die hochverschleißfesten Schienenstähle stellen eine besondere Herausforderung für das Verschweißen von Schienen dar. Diese lassen sich grundsätzlich unterteilen in:

- Perlitisch, eutektoide Schienenstähle
- Perlitisch, hypereutektoide Schienenstähle

Durch diese neuen Schienengüten gewinnt natürlich auch der Schweißprozess an Bedeutung:

- Kostenfaktor für Infrastrukturunternehmen
Um die Liegezeit der Schienen zu verlängern und somit die Kosten zu beeinflussen, werden in kritischen Bereichen immer verschleißresistentere Schienengüten verlegt.
- Sich ändernde rechtliche Rahmenbedingungen/Normen bzw. Vielfalt an Neu- und Weiterentwicklungen beim Schienenmaterial
Obwohl immer neuere, noch bessere Schienengüten auf den Markt gebracht werden, bleibt der Preis pro Schweißung, der durch die Infrastrukturunternehmen gezahlt wird, unverändert. Auch muss eine Schweißmaschine einem aufwendigen und kostenintensiven Zulassungsverfahren durch ein Prüflabor unterzogen werden.
- „Akkordlohn“ für Unternehmer
Somit stehen die Betreiber von Schweißmaschinen vor dem großen Problem, große Investitionen in Kauf zu nehmen, obwohl die Wahrscheinlichkeit, dass diese wieder erwirtschaftet werden können, ungewiss ist.

Die Verminderung des Verschleißes im Gegensatz zum naturharten Schienenstahl erfolgt durch eine gezielte Wärmebehandlung bzw. durch Beifügung von Legierungselementen.

Die hier benötigten Schweißprogramme müssen daher speziell entwickelt und an die entsprechenden Schienengüten angepasst werden. Die Verschweißung dieser besonderen Güten kann durch die Beeinflussung folgender Parameter erreicht werden:

- Verstärkte Energieeinbringung
- Beschleunigte Abkühlung
- Nachwärmung

Die Steuerungsmöglichkeiten des Schweißroboters APT-1500R erlauben es, die genannten Parameter zu beeinflussen.

VERSTÄRKTE ENERGIEEINBRINGUNG

Über die Dauer des Schweißprozesses bzw. die Höhe der Spannungsamplitude kann die Energieeinbringung in die Schweißung gesteuert werden. Somit kann sowohl die Breite der Wärmeeinflusszone als auch die Temperatur des Schweißstoßes beeinflusst werden.

BESCHLEUNIGTE ABKÜHLUNG

Die Norm EN 14587-2:2009 erlaubt als Option zur Erreichung der Vorgaben bei wärmebehandelten Schienengüten, eine beschleunigte Abkühlung im entsprechenden Schweißprogramm vorzusehen. Die Abkühlung erfolgt hierbei lediglich im Kopfbereich der Schiene und wird entsprechend des jeweiligen Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagramms geregelt. Es wird im Wesentlichen das Abkühlverhalten des Schweißstoßes beschleunigt, wobei durch eine optimale Wärmenachbehandlung eine Erhöhung der Härte erzielt werden kann. Doch leider schließt diese Beeinflussung der Härte gerade nicht die Bereiche der reduzierten Härte am Übergang zum unbeeinflussten Schienenmaterial mit ein.

Da Plasser & Theurer mit seinen Schweißprogrammen die Vorgaben der europäischen Norm auch ohne eine beschleunigte Abkühlung erreicht, bleibt zurzeit diese Option ohne Relevanz. Zudem ist der Aufwand zur Realisierung einer derartigen Wärmenachbehandlung sehr groß. Es benötigt sowohl eine aufwendige Sensorik als auch die Möglichkeit, ein sehr großes Luftvolumen in kurzer Zeit gezielt auf den Schienenkopf einwirken zu lassen.

Grundsätzlich sind jedoch im Schweißroboter APT-1500R alle technischen Voraussetzungen integriert, um eine beschleunigte Abkühlung jederzeit durchführen zu können.

NACHWÄRMUNG

Bei einer Nachwärmung wird das Abkühlverhalten des Schweißstoßes bewusst hinausgezögert, um das Umwandlungsverhalten des Gefüges zu beeinflussen. Dies erfolgt durch gezielte Stromimpulse, die nach dem eigentlichen Schweißprozess durch die fertige Schweißung geschickt werden. Dies erfolgt wiederum entsprechend des jeweiligen ZTU-Diagramms. Auf diese Option wird bei einigen derzeit angewandten Schweißprogrammen zurückgegriffen.

Als große Aufgabe sieht Plasser & Theurer das Verschweißen von bainitischen Schienenstahlsorten wie etwa des Dobain® MP380 Schienenstahls der voestalpine Schienen GmbH, der CrB1400 der Deutsche Bahn AG bzw. der bainitischen Schiene

von Nippon Steel. Durch diese bainitischen Schienenstähle soll zukünftig die Bildung von Head Checks im Gleis verhindert werden. Sollten sich diese Erwartungen in der Praxis ebenfalls bestätigen, dann ist ein sehr großer Schritt in Bezug auf die Erhöhung der Sicherheit des Schienenstahls im Eisenbahnbereich gelungen.

JAPAN

Für ein großes Projekt in Japan war von Plasser & Theurer die Qualität der Schweißungen nachzuweisen. Dies erforderte die Erstellung eines speziellen Schweißprogramms für die japanische JIS-60 Schiene, die zu diesem Zweck nach Purkersdorf geliefert wurde.

Obwohl das Schienengefüge nahezu dieselbe chemische Zusammensetzung wie die europäische naturharte Standardgüte R260 besitzt, sind die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten Werte für die statische Biegeprüfung gegenüber dem europäischen Profil 60E1 sehr unterschiedlich (s. Tabelle).

In einem ersten Schritt wurden die Schweißparameter eingestellt und einige Schweißproben intern einer statischen Biegeprüfung unterzogen. Die Parameter wurden sukzessive verfeinert und optimiert, bis die Qualität konstant über den Zulassungskriterien gelegen ist. Nachdem die interne Abnahme erfolgreich abgeschlossen worden war, mussten 12 Schweißproben nach Japan zum Railway Technical Research Institute (RTRI) geliefert werden. Bei dieser qualitativen Überprüfung wurden die folgenden Tests durchgeführt:

- Je drei statische Biegeprüfungen Head up und Head down
- Drei Dauerschwingversuche
- Drei weitere Proben für die metallurgischen Untersuchungen

Nach Absolvierung einer positiven Qualitätskontrolle in Japan wurde im nächsten Schritt das Programm für den temperaturbezogenen Längenausgleich (Verspannungsschweißung) erweitert. Hierzu wurde im Werk Purkersdorf ein eigener Verspannungsprüfstand errichtet. Dieser Prüfstand erlaubt es, Verspannungsschweißungen bis zu einer Gesamtkraft von 1600 kN durchzuführen. Im Detail werden hier zwei speziell eingespannte Schienen durch den Schweißroboter anei- »

TABELLE

Mindestanforderungen der Biegeprüfung für die Eignungsprüfung		
Schienenprofil	Mindestdurchbiegung [kN]	Mindestbiegekraft [mm]
60 E1	20	1600
JIS-60	25	1370



BILD 4:
Verspannprüfstand zur Simulation eines temperaturbezogenen Längenausgleichs

(Quelle: Plasser & Theurer)

einander gezogen. Nur der Ziehvorgang allein erforderte bereits eine Zugkraft von 800 bis 900 kN, für den Stauchvorgang kam eine ruckartige Stauchbewegung von 600 kN hinzu. Auch dieser Schritt konnte durch eine Qualitätskontrolle beim RTRI positiv absolviert werden.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Durch eine kontinuierliche Weiterentwicklung bewährter Schweißprogramme, will man gezielt neben einer erhöhten Reproduzierbarkeit der Schweißqualität auch auf die Anforderungen bzw. Wünsche der Baustelle eingehen.

Diese Anforderungen sind:

- Effektive Energieeinbringung – schmale Wärmeeinflusszone
Durch eine sehr kompakte Wärmeeinflusszone kann die Beeinträchtigung der Schweißung durch die Räder der Schienenfahrzeuge reduziert werden.
- Geringer Abbrand
Durch einen reduzierten Abbrand steigern sich die Einsatzmöglichkeiten einer mobilen Abbrennstumpfschweißmaschine bei der Durchführung von Verspannungsschweißungen.
- Reproduzierbar gute Qualität
Durch das Erreichen der Schmelztemperatur beim Abbrennstumpfschweißverfahren stellt die Reproduzierbarkeit der Qualität immer eine entscheidende Rolle dar.

Durch eine Optimierung der Schweißparameter kann eine effizientere Energieeinbringung bewerkstelligt werden. Hierbei sollte natürlich auch die Verlustenergie berücksichtigt werden, da diese zur Erwärmung des Systems führt und in Folge wieder Kühlleistung erfordert. Die Betrachtung des Gesamtenergiebedarfs sollte berücksichtigen:

- Kühlleistung
- Elektrische Leistung
- Hydraulische Leistung

Auf Grund der Möglichkeiten, die der Schweißprüfstand mit sich bringt sowie durch qualifizierte Mitarbeiter, befindet sich der Abbrennstumpfschweißprozess in unserem Unternehmen in einem stetigen Entwicklungs- und Verbesserungsprozess. Dazu dienen im erheblichen Maß auch die im Baustellenbetrieb gesammelten Erfahrungen für die weitere Entwicklung unseres Roboters. ◀

► SUMMARY

Technological progress in the welding of rails

It is hoped, through the continuous further development of proven welding programmes, to achieve both an improved reproducibility of weld quality and better accommodation of the on-site requirements.

These requirements are:

- effective application of energy and a narrow heat-affected zone
By keeping the heat-affected zone very compact, it is possible to reduce impairment of the weld by train wheels.
- minimal melting loss
By keeping down the amount of metal lost through melting, it is possible to widen the range of possible applications for a mobile flash-butt welding machine for performing welds on parts forced together.
- reproducibly good quality
Reaching the melting temperature in flash-butt welding processes always plays a decisive role in quality reproducibility.

It is possible to achieve a more efficient application of energy if the welding parameters can be optimised. Naturally, the dissipated energy ought to be considered here, since it leads to the heating up of the system, which, in turn, requires a higher cooling performance. The energy needed ought to be considered in its entirety:

- cooling power
- electrical power, and
- hydraulic power.