

SCHWEISSEN EINES TESTLAUFRINGS FÜR EIN SCHAUFELRAD MITHILFE DES „THERMIT“-VERFAHRENS

Sicher Schweißen in hoher Qualität

Friedrich Munder, Uwe Sander, Jan Hantusch, Sophia Diете, Leipzig, Michael Schattauer, Essen

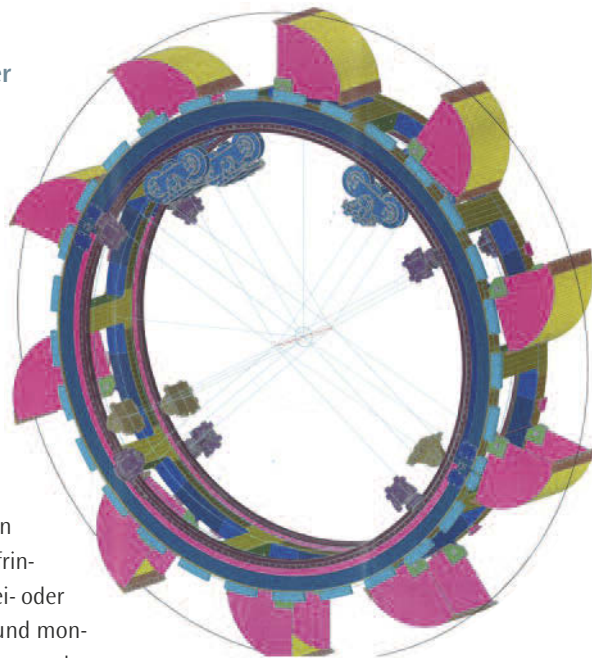
Das „Thermit“-Schweißverfahren ermöglicht ein sicheres Schweißen der Stöße von Laufringen in hoher Qualität. Die geschweißten Laufringe haben eine hohe Stabilität und erfüllen erhebliche geometrische Anforderungen. Die Schweißungen sind frei von Fehlern wie Haarrisse oder Lunker. Mit dem Schweißverfahren ließ sich erfolgreich ein Testlaufring für ein Schaufelrad aus vorgebogenen Kranbahnschienensegmenten herstellen.

Bei Schaufelrad-Brückenreclaimern (Maschinen zum Rückladen verschiedener Fördergüter von Lagerplätzen) werden zur vertikalen und horizontalen Führung des Schaufelrads hochfeste Laufringe eingesetzt. Unter extremen Einsatzbedingungen übertragen diese Laufringe die Grab- und Massenkkräfte des Schaufelradkörpers sowie der Schaufeln auf die am Maschinenrahmen angeordneten Stütz- und Führungsrollen (**Bild 1**).

Bisher werden die Laufringe als Guss- oder Schmiedeteile in kleinen Stückzahlen durch Einzelfertigung hergestellt, die anschließend mechanisch bearbeitet werden müssen, um die geforderten Toleranzen und Oberflächenqualitäten sowohl an der Schnittstelle zum

Schaufelradkörper als auch zu den Laufrollen zu erreichen. Daraus resultieren hohe Fertigungskosten und lange Lieferzeiten. Ein weiterer Nachteil ist, dass diese Laufringe mit Durchmessern über 5 m zwei- oder mehrteilig gefertigt, transportiert und montiert werden müssen. Die bei der Montage der Segmente entstehenden offenen Schienenstöße verursachen Laufunruhen und unterliegen durch das ständige Überrollen der Stützrollen einem progressiven Verschleiß. Die Lebensdauer der Laufringe ist daher begrenzt.

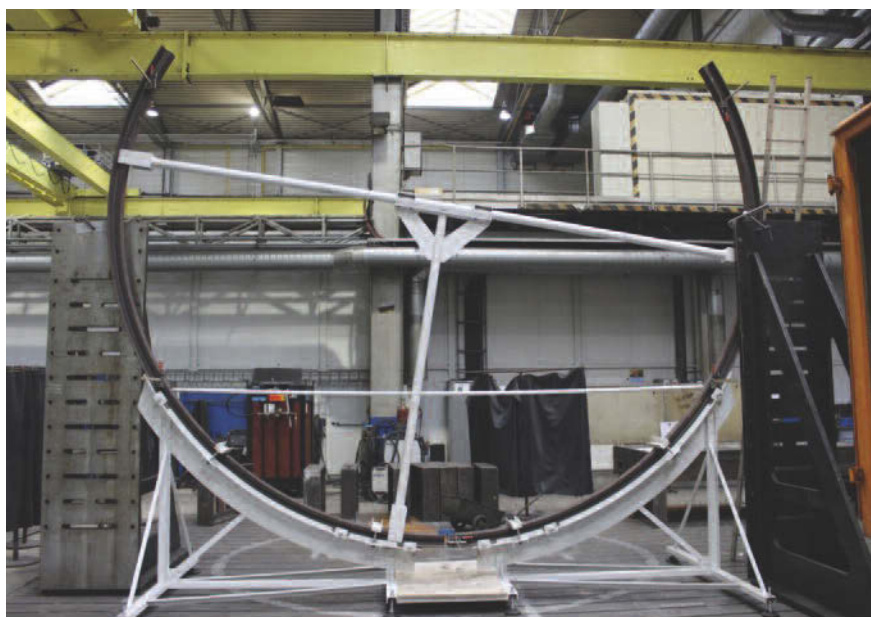
Ziel des gemeinsamen Entwicklungsprojekts der Takraf GmbH, Leipzig, und der Goldschmidt Thermit GmbH, Leipzig, war es da-



▲ Bild 1. Schaufelradkörper mit Laufringen sowie Stütz- und Führungsrollen

her, die Laufringe aus serienmäßig gewalzten Standardprofilen, zum Beispiel aus gebogenen Kranschiene des Profils A 100, stoßfrei zu fertigen. Die wesentlichen Fragestellungen des Projekts waren dabei:

- Lassen sich hochfeste Kranschiene, mit dem Kopf nach innen zeigend, auf Durchmesser von etwa 5 m biegen, ohne dass Profil deformationen, Aufstauchungen oder Haarrisse entstehen?
- Welche Toleranzen können beim Biegen für den Durchmesser und für die Ebenheit erreicht werden?
- Wie lassen sich die Schienenstöße in hoher Qualität möglichst spannungsfrei mit geringem Zeitaufwand schweißen?
- Welche Schrumpfungen oder welche Verzüge treten am Schweißstoß auf?
- Welcher Härteverlauf bildet sich über dem Schweißstoß aus?
- Wie kann die geforderte Oberflächenqualität der Laufflächen über dem Schweißstoß erreicht werden?
- Welche Toleranzen sind für den Durch-



▲ Bild 2. Zwei Schienensegmente im ausgerichteten, aber noch nicht verschweißten Zustand

messer, die Rundheit und die Ebenheit des stoßfrei geschweißten Laufrings erreichbar?

- Wie können die Laufringsegmente bei der Montage im Schaufradkörper stoßfrei zusammengeschweißt und die Laufflächen nachbearbeitet werden?

Verschweißen von Schienenenden hauptsächliches Einsatzgebiet

Für die auftretenden Radlasten wählte Takraf nach einer detaillierten Dauerfestigkeitsberechnung das Kranschienenprofil A 100 aus:

- Schienengüte R 320 Cr (Härte etwa 325 HB),
- Cr-V-Stahl mit einer Mindestzugfestigkeit von 1080 N/mm².

Die Firma Heinrich Krug lieferte die Kranschienensegmente. Der spezialisierte Biegebetrieb Herkules in Wetzlar übernahm das sehr anspruchsvolle stufenweise Biegen, das Spannungsarmglühen, das Nachrichten sowie das Zuschneiden des radialen Schweißspalts. In intensiver Diskussion zwischen Takraf und Goldschmidt Thermit wurde für die Schweißtechnologie das hochleistungsfähige aluminothermische Schweißen ausgewählt, da es dafür bekannt ist, eine Schweißung in kurzer Zeit in hoher Qualität unter Baustellenbedingungen zu ermöglichen. Das aluminothermische Schweißen, auch „Thermit“-Schweißen genannt, wird hauptsächlich dazu eingesetzt, Schienenenden zu verschweißen.

Diesem Schweißverfahren liegt die „Thermit“-Reaktion zugrunde, die dem Verfahren auch seinen Namen gab. Für diese Reaktion wird eine Mischung aus Eisenoxid- und Aluminiumpartikeln in einem bestimmten Verhältnis mithilfe einer Initialzündung zur Reaktion gebracht. Um die gewünschte Güte (Härte, chemische Zusammensetzung) als Endprodukt zu erhalten, werden dem Gemisch andere Elemente wie Mangan und Kohlenstoff als Stahlbildner hinzugefügt. Diese „Thermit“-Portion wird in einem feuerfesten Reaktionstiegel gezündet. Es läuft eine stark exotherme Redoxreaktion ab, wobei flüssiger Stahl und flüssige Aluminiumoxid-Schlacke mit einer Temperatur von etwa 2500°C entstehen. Stahl und Schlacke entmischen sich bereits im Tiegel über ihren Dichteunterschied. Aus dem Tiegel fließen der flüssige Stahl und die Schlacke in spezielle, dem Schienenprofil angepasste Gießformen und füllen die Lücke zwischen den beiden Schienenenden. Dort schmilzt der heißflüssige Stahl die Schienenenden auf und verbindet diese stoffschlüssig.

Spezielle Hilfskonstruktion entwickelt

Für den Testlaufring sah das Konzept vor, den Ring vorerst aus drei 120°-Segmenten zusammenzuschweißen, die über den Kopf vorgebogen waren. Der Schienenkopf zeigt in diesem Fall zum Ringzentrum, der Schienenfuß bildet den Außenrand des Rings. Bei dem Schienenprofil handelte es sich um eine herkömmliche Kranschiene A 100. Um einen spannungsarmen Biegezustand der Segmente zu erreichen, wurden die Schienenstücke in einem mehrstufigen Verfahren wiederholt gebogen und

DIE NEUE MEGA.PULS FOCUS SERIE 230 A – 530 A

DAS ERGEBNIS ZÄHLT

- Wer pulst, lebt besser
- Mit Pulsen Geld verdienen
- Pulsen macht erfolgreich
- Pulsen für jeden Job

SIMPLY THE BEST – REHM PULSTECHNIK

NEU!
Ab sofort bei Ihrem
REHM Fachhändler
verfügbar

DIE ATTRAKTION
der Messe
EuroBLECH





▲ Bild 3. Vorwärmung des zweiten Stoßes bei der Ringschweißung



▲ Bild 4. Einlaufen des „Thermit“ bei der Ringschweißung

◀ Bild 5. Bearbeitung der Ringaußen- bzw. Schienenfußseite

spannungsarm geglüht. Die dabei erreichte Maßhaltigkeit von der idealen Kreisform lag bei etwa ± 1 mm. Die maschinenseitig angestrebte Toleranz des fertigen Laufrings beträgt ± 2 mm für den Durchmesser und ± 2 mm für die Ebenheit. Die Oberfläche der Schweißungen ist so zu bearbeiten, dass sie exakt den kopfseitigen Laufflächen angepasst ist.

Zum Verschweißen der Ringsegmente ließen sich Standardgießformen nutzen, die üblicherweise für das Verschweißen von Kran-schienen zum Einsatz kommen. Das Gießsystem der Formen ist auf das Verschweißen der Schiene in ihrer normalen Gebrauchslage ausgelegt, also auf dem Schienenfuß stehend. Für das Positionieren und Halten der Ringsegmente war eine spezielle Hilfskonstruktion notwendig, die Takraf entwickelte. Weiterhin musste das Schweißverfahren der gebogenen Form der Schienen angepasst werden. Um den Brenner gerade zur Schienenlücke ausrichten zu können, musste der Brennerhalter modifiziert werden. Für die exakte Ausrichtung der Schie-

nen galt es, eine Lehre, die den Kreisdurchmesser abbildet, anzufertigen.

Zunächst wurden drei Testschweißungen an vorgebogenen 1-m-Schienenstücken durchgeführt, um

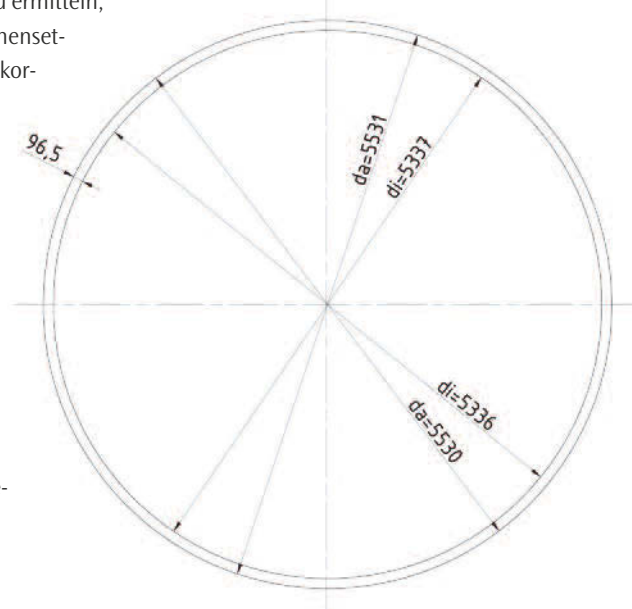
- die Technologie zu erproben,
- die tatsächliche Schrumpfung der Schweißung zu ermitteln,
- die sich einstellende Härte und den Härteverlauf am Schweißstoß zu ermitteln,
- gegebenenfalls die Zusammensetzung der Schweißportion zu korrigieren und
- Erfahrungen bei der mechanischen Nachbearbeitung des Schweißstoßes mit den verfügbaren Schleifgeräten zu sammeln.

Dem Werkstoff der Schiene angepasst

Die zum Verschweißen verwendete „Thermit“-Portion wurde dem Werkstoff der Schie-

ne in Härte und chemischer Zusammensetzung angepasst. Die Umsetzung des Konzepts erfolgte in der Betriebsstätte von Takraf in Lauchhammer. Hier wurde ein kompletter Ring mit einem Durchmesser von 5,3 m aus drei gleich großen vorgebogenen 120°-Segmenten zusammengeschweißt.

▼ Bild 6. Messergebnisse am fertig geschweißten Ring



Die bestehende Schweißhilfskonstruktion aus den Vorversuchen kam hier wiederum zum Einsatz, zusätzlich Streben im Inneren des Rings zur Stabilisierung und Ausrichtung, die ebenfalls die Firma Takraf entwickelte. In **Bild 2** sind zwei Segmente des Rings auf der Schweißhilfskonstruktion mit den Stabilisierungsstreben zu sehen.

Die gebogenen Schienensegmente waren so zugeschnitten, dass bei einer Schweißspaltbreite von 24 mm die gewünschte Kreisgeometrie erreicht wird. Aufgrund der zu erwartenden Schweißschumpfung galt es, den Schweißspalt im Vorfeld so einzustellen, dass sich nach dem Schweißen und natürlichen Schrumpfen der gewollte Umfang und damit das Sollmaß des Durchmessers ergibt. Die eingestellte Spaltbreite wurde deshalb zuvor um das Schrumpfmaß erweitert.

Der Ring musste für jede Schweißung neu positioniert werden, da aufgrund der Formengeometrie nur am tiefsten Punkt des Rings geschweißt werden konnte. In **Bild 3** ist der Vorgang der Vorwärmung des zweiten Stoßes dargestellt. Für das Verschweißen kam das „Thermit“-Schweißverfahren laut Arbeitsanweisung der Firma Elektro-Thermit GmbH & Co. KG zum Einsatz. **Bild 4** zeigt den Moment des „Thermit“-Stahleinlaufs beim dritten und letzten Stoß. Nach jeder Schweißung werden die Schweißstöße bis auf 200°C abgekühlt, um bei der nachfolgenden Neupositionierung Deformationen, unerwünschte Spannungen oder Risse im Ring zu vermeiden.

Dreidimensionale Laserstrahlvermessung

Nach dem kompletten Verschweißen und Abkühlen des Rings erfolgte die Nachbearbeitung. Dazu wurden der Kopf- und die Seitensteiger mit einem Trennschleifgerät abgetrennt. Nachfolgend erfolgte der Grobschliff und anschließend der Feinschliff im Bereich des Schienenkopfs. Zum Schleifen kamen jeweils Handschleifgeräte zum Einsatz. Der Schienenfuß wurde am liegenden Ring bearbeitet (**Bild 5**). Nach der Nachbearbeitung war der Ring fertiggestellt und konnte vermessen werden. Zur Überprüfung der Maßhaltigkeit erfolgte eine dreidimensionale Laserstrahlvermessung. Die Schweißqualität wurde durch Ultraschall überprüft.

Im Allgemeinen ergaben sich bei allen Schweißungen des Projekts Schrumpfungen von 10 bis 15% für das erstarrte Schweißgut. Der geforderte Nenndurchmesser auf der balligen Lauffläche war 5337,0 mm. Der gemessene Durchmesser beträgt 5337,53 mm. Die Abweichung beträgt demnach nur +0,53 mm. Bei der Rundheit wurde eine Toleranzüberschreitung von 3,68 mm und bei der Ebenheit eine Überschreitung von 1,99 mm festgestellt. Dazu ist zu bemerken, dass der dünne, elastische Ring sich im Durchmesser und in der Ebenheit seiner Auflage sowie den einwirkenden äußeren Kräften in Grenzen anpasst. Der Ring kann in eine Position gelegt werden, sodass die geforderten Toleranzen erreicht werden.

Bei der manuellen Vermessung in einer korrigierten Position ergaben sich die in **Bild 6** dargestellten Maße. Des Weiteren wurden die einzelnen Schweißungen per Ultraschall nach Feh-



Einladung zur 45. Sondertagung

Schweißen im Anlagen- und Behälterbau

07. bis 10. März 2017 in München

Vorträge

Dienstag, den 07. März 2017

BASIS-INFO: Fertigung von Druckgeräten für den internationalen Markt

Mittwoch, den 08. März 2017

Eröffnungsvortrag: Rechtsmedizin am Tatort – Grenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisse

Qualitätssicherung

Erfahrungen mit Gefahrenanalysen für Druckgeräte aus Sicht eines Sachverständigen • Abnahme von Baugruppen nach neuer Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU • Kalibrieren und Validieren in der Schweißtechnik – Warum und wie muss kalibriert werden? • Nationale, europäische und internationale Regelwerke zur Erfüllung der wesentlichen Sicherheitsanforderungen der Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU

Donnerstag, den 09. März 2017

Werkstoffe, Prüfung und Verfahren

Werkstoffentwicklung und schweißtechnische Verarbeitung: Was waren die Herausforderungen der vergangenen Jahrzehnte? Und was kommt noch? • Schweißtechnische Verarbeitung von Schleuder- und Sandgusskomponenten aus Nickelbasislegierungen • Möglichkeiten zur Erhöhung der Abschmelzleistung durch den Einsatz von Heißdraht beim MAG-Auftragschweißen • NDT Ausbildung im ASME Code – Wie werde ich Level 2 Prüfer? • Neutron Imaging: Eine zerstörungsfreie Prüfmethode für Schweiß- und Lötverbindungen

Freitag, den 10. März 2017

Fertigung und Anwendung

Anforderungen an Auftragschweißungen aus Inconel 625 bei der Herstellung von Subsea High-Speed Verdichtern • Schallemissionsprüfung (SEP) statt Druckprobe bei wiederkehrender Prüfung (WKP) • MAG-Schweißen von hoch- und höchstfesten Stählen und deren praktische Anwendung im Druckrohrleitungsbau • Schweißen von Aluminium-Piping auf Unterlage – Schweißtechnik und Prüfmethode • Erweiterung Obervermunt Werk II – Hochdruckspeicherkraftwerk in Vorarlberg

Arbeitsgruppen (AG)

Mittwoch, den 08. März 2017

- AG 1 Vertiefung der BASIS-INFO
- AG 2 Gefahren – versus Risikoanalyse
- AG 3 Baugruppenzertifizierung nach DGRL
- AG 4 Kalibrieren und Validieren in der Schweißtechnik
- AG 5 Regelwerke zur Erfüllung der wesentlichen Sicherheitsanforderungen nach Druckgeräterichtlinie
- AG 6 Auftragschweißverfahren im Vergleich

Donnerstag, den 09. März 2017

- AG 1 Besonderheiten beim Schweißen von Nickelbasiswerkstoffen (Guss- und Knetlegierungen)
- AG 2 Schweißprotokoll und Schweißanweisung
- AG 3 Korrosion und deren Vermeidung bei der Verarbeitung von rostfreien Stählen
- AG 4 Schweißtechnische Verarbeitung von hoch- und höchstfesten Stählen
- AG 5 MAG-Heißdraht-Auftragschweißen (Vorführungen in der GSI SLV München)

Wir freuen uns auf Ihre Teilnahme!

GSI mbH Niederlassung SLV München

Schachenmeisterstraße 37, 80636 München
Tel.: +49 (0)89-12 68 02-0, Fax : +49 (0)89-12 39 39 11
anmeldung@slv-muenchen.de, www.slv-muenchen.de

lern wie Haarrissen und Lunkern überprüft. Dabei ergaben sich keine Auffälligkeiten an den Schweißstellen. Weiterhin wurde mit einem Theodolit (Winkelmessinstrument) die Ebenheit an den fünf Punkten c1, c2, c3, c4 und c5, wie in **Bild 7** gezeigt, überprüft. Zusätzlich erfolgte die Überprüfung des Durchmessers vertikal und horizontal mit einem Maßband.

Eine weitere Herausforderung im Verfahren waren die engen Toleranzen an den Laufflächen des Schienenkopfs, die beim Beschleifen der Schweißung eine große Routine vo-

raussetzen. Zur Überprüfung der Schleifarbeiten wurde eine Lehre (**Bild 8**) verwendet, und der Schleifvorgang erfolgte aufgrund der besseren Handhabung auf der Schweißhilfskonstruktion. In **Bild 8** ist die Anwendung der Lehre zur Kontrolle des Schleifergebnisses zu sehen.

Praxistest bestanden

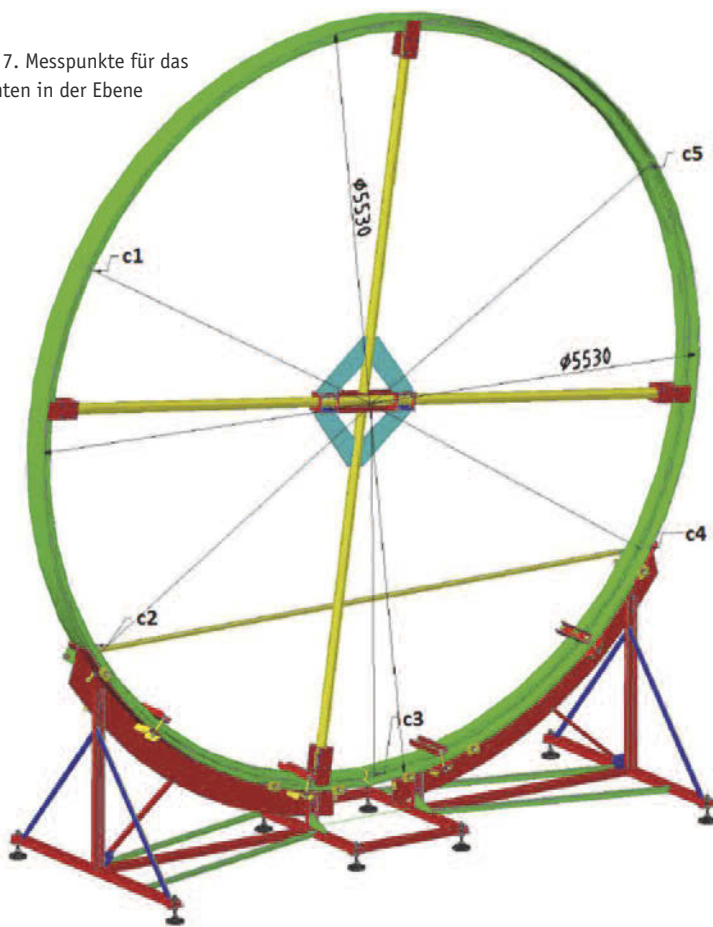
Mit dem „Thermit“-Schweißverfahren konnte erfolgreich ein Testlaufring für einen Schaufelrad-Brückenreclaimer aus vorgegebenen A 100-Kranbahnschienensegmenten

hergestellt werden. Beim sachgerechten Biegen der Kranschiene durch erfahrene Biegebetriebe mit dem Kopf nach innen zeigend, treten keine Profildeformationen oder Haarrisse auf. Die maschinenseitigen, vorgegebenen Toleranzen hinsichtlich Rund- und Ebenheit werden erreicht.

Mit dem Verfahren ist ein leistungsfähiges und sicheres Schweißen der Stöße von Laufringen in hoher Qualität unter Einhaltung vorgegebener Toleranzen bei Nutzung der entwickelten, zuvor beschriebenen Technologie möglich. Bei Anwendung dieser Technologie weist der stoßfrei geschweißte Laufring eine hohe Stabilität auf und erfüllt die geometrischen Anforderungen. Die einzelnen Schweißungen sind frei von Schweißfehlern wie Haarrisse oder Lunker.

Durch das Eliminieren der offenen Schienenstöße wird die Lebensdauer der Laufringe wesentlich erhöht und die Laufruhe des Schaufelrads verbessert. Die Fertigungskosten für die Herstellung der Laufringe aus serienmäßig gewalzten Kranschieneprofilen werden wesentlich verringert. Das Verfahren ist somit zum Verschweißen von großen Laufringen aus Kranbahnschiene des Profils A 100 zu empfehlen. Seitens Takraf ist vorgesehen, aus Transportgründen die Laufringsegmente zukünftig auf der Baustelle direkt im Schaufelradkörper mit dem Verfahren zu schweißen. ■

► Bild 7. Messpunkte für das Ausrichten in der Ebene



▲ Bild 8. Lehre zum Ausrichten und Schleifen des Rings (Bilder: Goldschmidt)

Dr.-Ing. Friedrich Munder,
Projektingenieur Massengutumschlag,
friedrich.munder@tenova.com,

M. Eng. Uwe Sander,
Projektleiter Konstruktion,
uwe.sander@tenova.com,
beide Takraf GmbH, Leipzig,

Dr.-Ing. Jan Hantusch,
Leiter Development Thermit/Joining,
Jan.Hantusch@Goldschmidt-Thermit.com,

M. Sc. Sophia Diете,
Entwicklungsingenieur,
sophia.diете@goldschmidt-thermit.com,
beide Goldschmidt Thermit GmbH, Leipzig,

Dipl.-Ing. Michael Schattauer,
Geschäftsführer,
Michael.Schattauer@Goldschmidt-Thermit.com,
Goldschmidt Thermit Railservice GmbH, Essen