

durch Dauerfestigkeitsuntersuchungen zu bestätigen.

Aus dem umfangreichen Sortiment an Einzelteilen werden Beispielpositionen angegeben, wobei diese in Gruppen nach funktioneller Bedeutung und nach Art der Funktionsstellen eingeteilt wurden. Anschließend wird auf die Effektivität des Induktionshärtens in der Einzeleinstandsetzung eingegangen (kurze Härtezeiten, geringer Energieeintrag je Einzelteil, Erhöhung der Nutzungsdauer der gehärteten Bauteile $\geq 50\%$).

Literatur

- [1] Benkowsky, G.: Induktionserwärmung. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.
- [2] Kleinpeter, K.: Anwendung des Induktionshärtens bei der Einzeleinstandsetzung. VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal, Abschlußbericht A4 1987 (unveröffentlicht).
- [3] Kleinpeter, K.: Anwendung des Induktionshärtens bei der Einzeleinstandsetzung. VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal, Zwischenbericht V3/V5 1988 (unveröffentlicht).
- [4] Werkstofftechnische Untersuchungen. Inge-

nieurhochschule Wismar, Prüfbericht 1987 (unveröffentlicht).

- [5] Leverenz, K.: Untersuchungen zum Verschleißverhalten von Auftragsschichten. VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal, Forschungsbericht A4 1988 (unveröffentlicht).
- [6] Runki, G.: Verschleiß- und Haltbarkeitsprüfung an MAG-auftragsgeschweißten Vorgelegewellen des Traktors ZT 300. Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Erntemaschinen Neustadt, Stammbetrieb, Betriebsteil Automatisierungstechnik Leipzig, Bericht 1987 (unveröffentlicht).

A 5755

Elektronenstrahltechnologien in der landtechnischen Instandsetzung

Dr.-Ing. S. Keitel, Zentralinstitut für Schweißtechnik Halle

Dipl.-Ing. M. Flechner, KDT/Dozent Dr.-Ing. J. Stibbe, KDT, VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal

1. Einleitung

Im Bereich der landtechnischen Einzeleinstandsetzung bestehen die Forderungen, das Instandsetzungsniveau zu erhöhen, längere Einsatzzeiten aufgearbeiteter Teile zu erreichen und ihre Zuverlässigkeit zu verbessern. Neben Möglichkeiten der Werkstoffsubstitution haben in den letzten Jahren immer mehr die verschiedenen Verfahren der Randschichthärtung und -veredlung (Strahltechnologien) an Bedeutung gewonnen, um mit gleichem oder geringerem Materialeinsatz höhere Nutzeffekte zu erzielen. Die Elektronenstrahltechnik bietet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in der metallverarbeitenden Industrie, vor allem zum Schweißen und zur Randschichtbehandlung von kompliziert gestalteten Getriebeteilen.

In Vorbereitung des Einsatzes einer neuen Elektronenstrahl-Anlage (Strahlleistung 10 kW, Beschleunigungsspannung 60 kV) im VEB Landtechnisches Instandsetzungswerk (LIW) Pritzwalk wurden Untersuchungen zur Anwendung des Elektronenstrahl-Schweißens und der Elektronenstrahl-Randschichtbehandlung auf der Anlage ESA 150-MR (50 kW/150 kV) des Zentralinstituts für Schweißtechnik Halle durchgeführt (Bild 1).

2. Entwicklungsstand der Elektronenstrahltechnik

Die industrielle Anwendung der Elektronenstrahltechnik hat in den letzten 20 Jahren einen umfassenden Aufschwung erfahren. Erste Veröffentlichungen in der Fachliteratur der DDR stammen aus dem Jahr 1965. Die Kompliziertheit des Anlagensystems, in dem Erkenntnisse u. a. aus den Fachgebieten Elektronik, Elektronenoptik, Hochspannungs- und Vakuumtechnik integriert sind, die sichere Beherrschung der Elektronenstrahl-Erzeugung und -Wirkung und nicht zuletzt der daraus resultierende Kostenaufwand hemmte in der Anfangszeit eine rasche Verbreitung. Der hohe Preis wird auch heute als nachteilig angesehen, die Technik selbst ist jedoch dem Laborstadium längst entwachsen.

Gegenwärtige Entwicklungsarbeiten beziehen sich besonders auf bessere Möglichkeiten der Strahlführung sowie der Vervollkommnung des Pumpen- und Werkstückma-

nipulationssystems. Neben Universalsystemen werden dem spezifischen Einsatzfall angepaßte Anlagen gefertigt, deren klein gehaltenes Kammervolumen schnelle Evakuierungszeiten und somit problemlose Einordnung in automatisierte Fertigungssysteme erlaubt.

Eine Elektronenstrahl-Anlage besteht aus folgenden 6 Hauptbaugruppen [1, 2]:

- Elektronenstrahlkanone (Elektronenstrahl-Erzeugung)
- Vakuumarbeitskammer (Elektronenstrahl-Wirkung)
- Vakuumpumpensystem (für Strahler und Vakuumkammer)
- Werkstückmanipulator
- Meß-, Steuer- und Regelsystem
- Energieversorgungssystem.

3. Charakteristik

des Elektronenstrahl-Schweißens

Der Aufprall der im Vakuum erzeugten und beschleunigten Elektronen führt zu einer schnellen Erwärmung des Werkstoffs mit Aufheizgeschwindigkeiten bis 10^4 K/s. Die Wirkung beruht auf der Umwandlung der kinetischen in thermische Energie während des Abbremsens der Elektronen im Werkstoff bei einer Eindringtiefe von 20 bis 80 μm . Es kommt am Auftreffort zur lokal stark begrenzten Materialverdampfung und bei oberflächenscharfer Fokussierung des Elektronenstrahls zur Herausbildung einer metaldampfgefüllten Kapillare, die von einem Schmelzmantel umhüllt ist [1].

Entsprechend der Fokussierung des Elektronenstrahls (Brennfleckdurchmesser $\geq 0,4$ mm) und der gewählten Vorschubgeschwindigkeit wird durch die Dampfkapillare und Vorgänge der Wärmeleitung eine Tief-

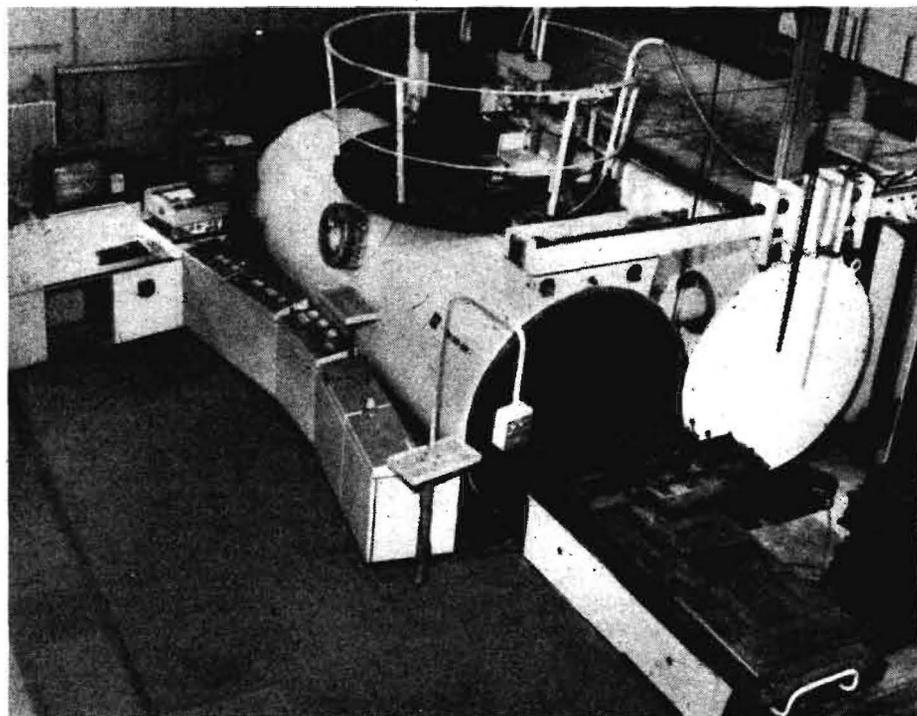


Bild 1. ESA 150-MR (Hersteller: Forschungsinstitut „Manfred von Ardenne“ Dresden; Baujahr: 1981)

(Foto: B. Birnbaum)

schweißnaht mit einem Verhältnis Tiefe:Breite $\leq 50:1$ erzeugt. Solche extrem schmalen und tiefen Nähte sind mit keinem anderen bekannten Verfahren erreichbar. Daraus ergeben sich u. a. nachgenannte vorteilhafte Aspekte:

- geringe Schweißspannungen und minimaler Verzug
- hohe Schweißgeschwindigkeit und schmale Wärmeeinflußzone
- Zerlegung kompliziert gefertigter Bauteile in einfach herstellbare Segmente, die elektronenstrahlgeschweißt werden (ohne Nacharbeit) [2, 3].

Die erfolgreiche Durchführung von Elektronenstrahl-Schweißarbeiten ist an folgende Bedingungen gebunden:

- Fugestelle sollte keinen Spalt $< 0,1$ mm aufweisen (Preßpassung und geringe Rauigkeit)
- Zugänglichkeit des Strahls gewährleisten
- magnetische Beeinflussung durch den Werkstoff ausschließen (evtl. entmagnetisieren)
- Fixierung der Fügepartner durch Zentrieransätze
- Schweißbarkeit des Werkstoffs (C-Gehalt $< 0,35\%$)
- Positionierhilfen in Form von Kanten oder Kerben vorsehen.

Weitere Hinweise sind in [3, 4] enthalten.

4. Charakteristik der Elektronenstrahl-Randschichtbehandlung

Ziel verschiedener Behandlungsverfahren ist es, die Oberflächen oder Randschichten metallischer Bauteile zu veredeln und somit vom Grundwerkstoff abweichende Eigenschaften herauszubilden. Dabei ist der äußeren Hülle eines Bauteils oder den Funktionsstellen, die mit Gegenkörpern oder umgebenden Medien in Kontakt stehen, eine höhere Beständigkeit gegen Verschleiß und/oder Korrosion zu verleihen. Die verschiedenen Verfahrensvarianten der Elektronenstrahl-Randschichtbehandlung, die sich in einem unterschiedlichen Entwicklungsstadium befinden, sind nach [5] folgende:

- Härten (Gefügeumwandlung in der Festphase)
- Aufschmelzen (Gefügeumwandlung in der Flüssigphase)
- Einlegieren (Änderung der chemischen Zusammensetzung durch in der Schmelze löslichen Zusatzwerkstoff, z. B. Einschmelzen vorher aufgebrachtter Schichten)
- Einbetten (Änderung der chemischen Zu-

sammensetzung durch in der Schmelze unlöslichen Zusatzwerkstoff, z. B. Einlagerung von Hartstoffen)

- Auftragen (Aufschmelzen vorher aufgebrachtter Schichten ohne Vermischung mit dem Grundwerkstoff).

Für das Härten und Aufschmelzen gibt es bereits Einsatzbeispiele [5, 6]. Wie beim konventionellen Härten sind auch hier die werkstoffseitigen Voraussetzungen zur Härbarkeit erforderlich. Der Härteeffekt ergibt sich aus der Bildung martensitischer Gefügestrukturen infolge der lokalen, kleinflächigen Wärmeeinbringung und der anschließenden Selbstabschreckung durch Wärmeableitung in das Bauteilinnere. Die Elektronenstrahl-Randschichtbehandlung ist durch nachgenannte Merkmale gekennzeichnet:

- minimaler Energieeintrag und kaum Verzug
- keine Oberflächenverzerrung
- gute Steuerbarkeit und Formbarkeit des Strahls.

Mit Hilfe spezieller Ablenkmechanismen sind auf der Oberfläche gezielte, dem Einsatzfall anpaßbare Härtemuster in beliebiger Form herstellbar. Die thermische Behandlung kann punktweise, linienförmig oder flächenhaft erfolgen [7].

5. Beispiele der Anwendung von Elektronenstrahltechnologien in der landtechnischen Instandsetzung

5.1. Elektronenstrahl-Schweißen

Bei verschleißbeanspruchten Teilen gibt es Fälle, wo einerseits materialintensive Segmente eines Einzelteils kaum verschlissen sind und wiederverwendbar wären, andererseits jedoch nicht regenerierbare Funktionsstellen (z. B. Verzahnung, Klauen, Profile) auftreten, die das Aussonderungsgrenzmaß erreicht haben und zum Verschrotten des Teils führen. Der Einsatz des Elektronenstrahls läßt die Möglichkeit zu, das verschlissene Segment abzutrennen (Naßtrennschleifen, Plasmaschneiden) und ein neu gefertigtes anzuschweißen. Voraussetzung für die Gewährleistung der Eigenschaften und maßlichen Toleranzen des Originalteils ist neben der werkstofflichen Eignung u. a. eine sorgfältige Zentrierung und Nahtvorbereitung der Fügeflächen.

Beispiele für die Instandsetzung landtechnischer Getriebeteile durch Elektronenstrahl-Schweißen wurden bereits in [8, 9] vorgestellt. In das erweiterte vorläufige Sortiment

Tafel 1. Teilesortiment zum Elektronenstrahl-Schweißen [10]

Bezeichnung	durch Elektronenstrahl-Schweißen aufgearbeitete Verschleißteile
Ölpumpenrad ZT 300	Nabe
Abtriebsrad ZT 303	Schaltzahnring
Planetenritzel ZT 300	Geradstirnrad
Antriebsflansch RS09	Nabe
Antriebsflansch GT 124	Nabe
Pumpenantriebswelle TIH	Mitnehmerklaue
Zapfwelle TIH	Ritzel
Zahnrad MTS-80	Nabe
Innenwelle MTS-80	Ritzel
Antriebswelle T 174	Stirnrad
Stirnradwelle E 512/E 514	Bruchstelle hinter Keilprofil
Kegelrollenlager MTS-80	Außenring

für die Bearbeitung im VEB LIW Pritzwalk wurden 12 Einzelteilpositionen (Tafel 1) aufgenommen, die u. a. nach folgenden Aspekten ausgewählt wurden [10]:

- Eignung des Bauteils für diese Verfahren
- hoher jährlicher Teileanfall und operativer Bedarf
- Qualitätsverbesserung
- Wirtschaftlichkeit der Aufarbeitung gegenüber der Neufertigung
- Ablösung von Importersatzteilen.

Am Beispiel der Position Planetenritzel des Traktors ZT300 soll die Instandsetzungstechnologie kurz erläutert werden [10]:

- Reinigung und Schadaufnahme
- Abtrennen des verschlissenen Ritzels durch Naßtrennschleifen
- wiederverwendbaren Wellenschaft (Bild 2) plandrehen, Zentrierbohrung anbringen und anfasen
- Prüfen der Anschlußmaße
- MAG-Rundauftragschweißen des Zahnwellenprofils (bei Bedarf)
- vorgefertigten Rohling für Ritzel (Bild 3) mit Wellenschaft durch Pressen zusammenfügen
- Zentrierschleifen des zusammengefügt Planetenritzels
- Entmagnetisieren
- Elektronenstrahl-Schweißen der Fugestelle
- Überdrehen der Schweißnaht
- Nahtprüfung mit Ultraschall

Fortsetzung auf Seite 555

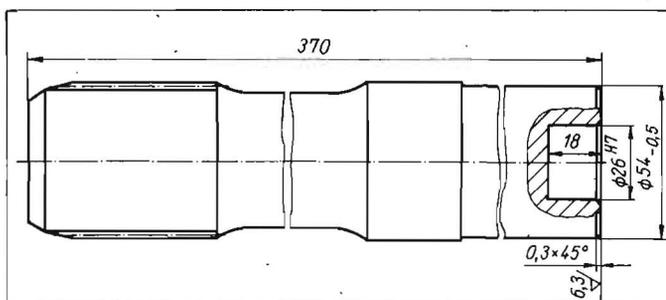


Bild 2. Wiederverwendbarer Wellenschaft des Planetenritzels [10]

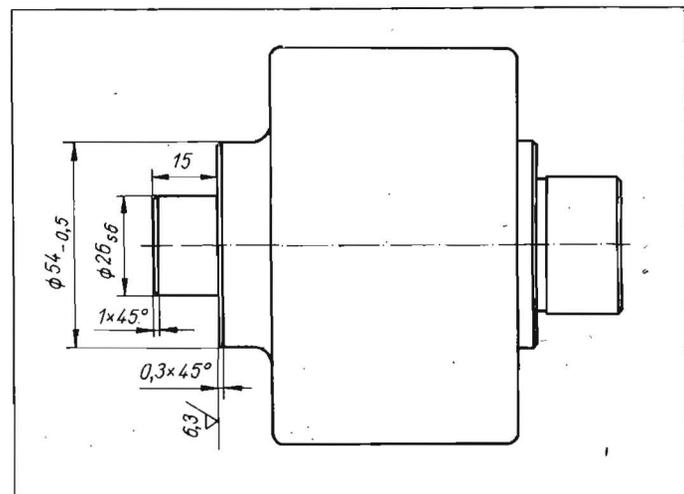


Bild 3. Neugefertigter Rohling als Anschweißteil für Planetenritzel [10]

- Verzahnung des Ritzels und Zahnwellenprofil fräsen
- Prüfen der Verzahnung
- Einsatzhärten des Planetenritzels
- Fertigschleifen
- Endkontrolle und Konservieren.

Die Erfahrungen aus dem Einsatz elektronenstrahlgeschweißter Einzelteile belegen die Zuverlässigkeit des Verfahrens und die berechnete Vergleichbarkeit mit Neuteilen. Der Instandsetzungsaufwand beträgt gegenüber dem Neuteilpreis i. allg. 60 bis 80%. Er kann in Ausnahmefällen auch darüber liegen, besonders wenn eine Aufarbeitung aufgrund fehlender Ersatzteillieferungen erforderlich wird.

5.2. Elektronenstrahl-Randschichtbehandlung

Neben der Regenerierung sind weitere Maßnahmen erforderlich, die Einsatzzeiten instand gesetzter Teile zu erhöhen, indem die Hauptverschleißstellen einer zusätzlichen Behandlung unterzogen und so in ihren Eigenschaften gegenüber dem restlichen Bauteil verbessert werden. Das betrifft u. a. solche Funktionsstellen, wie

- Fest- und Gleitlageritze
- Verzahnungen
- Zahn- und Keilwellenprofile
- Nocken und Stoßflächen
- Schaltklauen.

Verfahren der Randschichtbehandlung sollen auf der neuen Elektronenstrahl-Anlage (Hersteller: Forschungsinstitut „Manfred von Ardenne“ Dresden) im VEB LIW Pritzwalk zu rd. 30% angewendet werden. Die ersten Untersuchungen bezogen sich auf das Elektronenstrahl-Härten besonders beanspruchter Stellen an neuen und instand gesetzten Teilen. Ein weiterer Untersuchungskomplex ist auf das Aufschmelzen und Einlegieren vorher aufgebracht Schichten orientiert (Tafel 2) [10].

Zum Komplex Härten (Festphasenprozeß) wurden auf der Anlage ESA 150-MR im Zentralinstitut für Schweißtechnik Halle konkret folgende Untersuchungen durchgeführt [11, 12]:

- Härten von MAG-auftraggeschweißten Keilwellenprofilen (Beispiel: Hohlwelle Geräteträger RS09)
- Härten von Zahnflanken (Beispiel: Anlaseritzel 4,4 kW)
- Härten von Keilriemenauflflächen (Beispiel: Keilriemenscheiben des Feldhäckslers E280 und des Rübenrodeladers KS-6 aus GGL und G-AlSi10Mg)

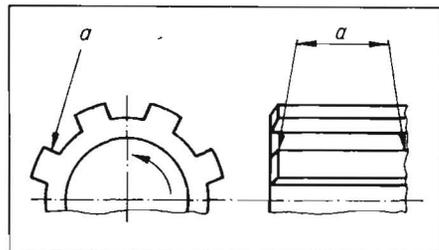


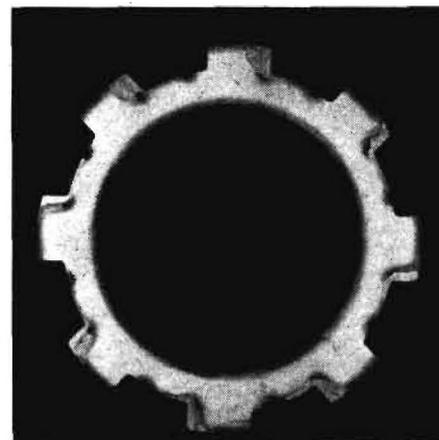
Bild 4. Elektronenstrahl-Führung am Keilwellenprofil [12]; a Elektronenstrahl

Bild 5. Makroschliff einer Hohlwelle mit Keilprofil [12]

- Härten von Bohrungen (Probe).

Die Instandsetzung von Keilwellenprofilen durch MAG-Auftragsschweißen ist ein weitverbreitetes Verfahren. Gegenwärtig wird importierter selbsthärtender Draht (DUR 600) aufgeschweißt und anschließend geschliffen. Die Zielstellung ist, härteren Draht (z. B. 30MnCrTi5) aufzuschweißen, zu fräsen und ohne Nacharbeit zu härten. Beim Elektronenstrahl-Härten wird nur die beanspruchte Flanke gehärtet, wodurch der Wärmeeintrag minimal gehalten wird (Bild 4). So behandelte Bauteile erreichen höhere Standzeiten und entlasten den Instandsetzungskreislauf. Die für metallographische Untersuchungen verwendete Hohlwelle aus Einsatzstahl 16MnCr5 wurde mit 30MnCrTi5 auftragsgeschweißt und elektronenstrahlbehandelt. Der Makroschliff (Bild 5) läßt ein mehrmaliges Auftragsschweißen erkennen. In Tafel 3 sind die Härtewerte der einzelnen Bereiche aufgeführt. Das Elektronenstrahl-Härten der 2. Auftragraupe führt zu einem Härteanstieg auf Werte, die mit dem einsatzgehärteten Neuteil vergleichbar sind.

Zur Erhöhung des Verschleißwiderstands instand gesetzter Anlaseritzel, die durch Elektronenstrahl-Anschweißen eines neugefertigten aufgekohlten Ritzels aus 20MnCr5 aufgearbeitet werden [8], ist eine Elektronenstrahl-Behandlung der beanspruchten Zahnstirnseiten und -flanken durchzuführen. Das Einsatzhärten des gesamten Ritzels ist wegen der Maß- und Formabweichungen als Folge hoher Wärmeeinwirkung abzulösen. Im Bild 6 sind Aufkohlungs- und Wärmeeinflusszone infolge Elektronenstrahl-Behandlung



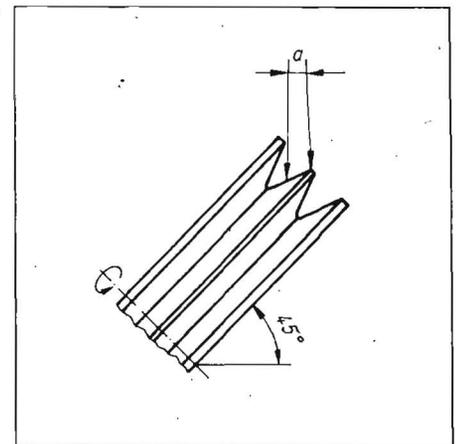
Tafel 2. Möglichkeiten der Elektronenstrahl-Behandlung von Instandsetzungsteilen [10]

Teilegruppe	Verfahren Elektronenstrahl-Härten	Elektronenstrahl-Aufschmelzen/Einlegieren
Zahnräder	Härten von Zahnflanken	Umschmelzen von thermisch gespritzten Schichten zur Bohrungsinstandsetzung
Wellen	Härten von Lager- und Wellendichtringsitzen, Vielkeil- und Zahnwellenprofilen	Umschmelzen von thermisch gespritzten Schichten zur Instandsetzung von Gleit- und Nadellagersitzen
Keilriemenscheiben	Härten von Keilriemenauflflächen	Punktrastr-Schmelzbehandlung an Keilriemenscheiben aus Al-Guß
Hydraulikteile	Härten von Kolbenstangen	Einlegieren spezieller Zusatzwerkstoffe an Dicht- und Gleitflächen

Bild 6 Makroschliff der Verzahnung des Anlaseritzels [12]



Bild 7 Elektronenstrahl-Führung an der Keilriemenscheibe [12]; a Elektronenstrahl



Tafel 3. Mikrohärtewerte des elektronenstrahlgehärteten Keilprofils an der Hohlwelle [12]

Gefügebereich	Tiefe mm	Härte HV 0,05
Grundwerkstoff 16MnCr5	-	275
1. Auftraglage DUR 600	-	940...1 200
2. Auftraglage 30MnCrTi5	1	430...580
Elektronenstrahl-Härtezone	0,6	760...800



Bild 8
Umgeschmolzene
Nutflanke
an der Keilriemen-
scheibe aus GGL

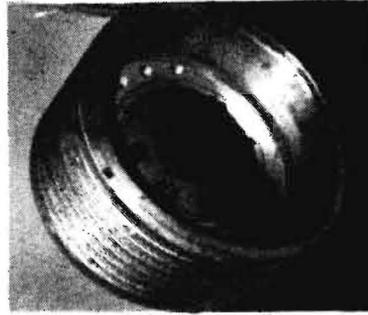


Bild 9
Elektronenstrahl-
Punktraster –
Schmelzbehandlung
bei Keilriemen-
scheiben aus
G-AlSi10Mg [11]



der Zahnstirnseiten zu sehen. Die in den verschiedenen Gefügebereichen gemessenen Mikrohärtewerte sind in Tafel 4 dargestellt. Die erreichten Härtewerte lassen eine hohe Verschleißfestigkeit erwarten.

Keilriemenscheiben sind ein häufig anzutreffendes Element an Erntemaschinen. Analysen belegen einen erheblichen Verschleiß der Keilriemenaufläufen. Durch Elektronenstrahl-Härtung der Nutflanken sind höhere Laufzeiten erreichbar. Gleichzeitig wird durch geringes Anschmelzen einer dünnen Randschicht die Oberfläche leicht profiliert, wodurch ein Rutschen des Keilriemens verhindert und dem Schlupf bei Belastungswechsel entgegen gewirkt wird.

Es wurden Keilriemenscheiben aus GGL-20 um 45° schräggestellt (Bild 7) und mit oszillierendem Elektronenstrahl behandelt. Beim Aufschmelzen der Oberfläche bildete sich ein ledeburitisches Gefüge mit Härtewerten bis 1800 HV 0,05 heraus, das allerdings sehr rißgefährdet ist. Das Elektronenstrahl-Härten führte zu martensitischen Strukturen, die Härtewerte bis 1400 HV 0,05 aufweisen. Das o. g. leichte Anschmelzen ist zwischen ledeburitischem und martensitischem Gefügestand einzuordnen, und Behandlungsparameter sind so zu wählen, daß die Profilierung der Nutflanke eine Rauheit < 1,0 mm erreicht (Bild 8). Abschließend wird leicht überschleift.

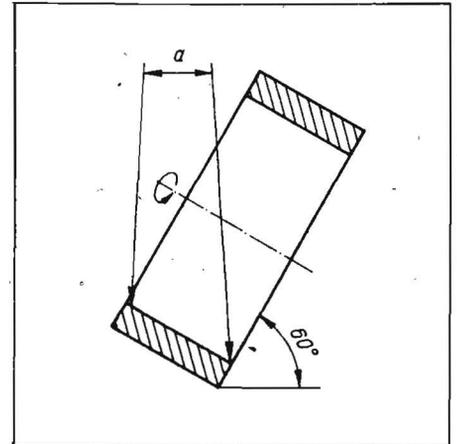
Die Elektronenstrahl-Veredlung der 8fachen Keilriemenscheibe aus G-AlSi10Mg erforderte ein anderes Behandlungsregime. Sowohl Härten als auch Aufschmelzen mit oszillierendem Strahl brachten nicht den gewünschten Effekt. Erfolgreich wurde eine Elektronenstrahl-Punktrasterbehandlung mit leichtem Aufschmelzen angewendet und als Novum patentrechtlich geschützt. Das Bild 9 zeigt die punktwise eingebrachten Umschmelzbereiche an einer Nutflanke. Neben einer leichten Härtesteigerung von 83 auf 104 HV 5 kommt es zu einer bedeutenden Strukturverfeinerung und Homogenisierung und somit zur Erhöhung der Verschleißfestigkeit.

Anhand einer hülsenförmigen Probe aus Einsatzstahl 20MnCr5 wurde das Härten von Bohrungen erprobt. Dieser Versuch bezog sich auf die Instandsetzung von Getrieberä-

Tafel 4. Mikrohärtewerte der elektronenstrahlgehärteten Verzahnung am Anlasserritzel [12]

Gefügebereich	Tiefe mm	Härte HV 0,05
Grundwerkstoff	–	560
Einsatzschicht	0,4...0,6	–
Einsatzhärtezone	0,2	760...800
Elektronenstrahl-Härtezone	0,4...0,6	1 150...1 400

Bild 10. Elektronenstrahl-Führung bei der Bohrungshärtung [12]; a Elektronenstrahl



dem des Traktors ZT300, die in [9] vorgestellt wurde. Anstelle des Karbonitrierens wird nur aufgekohlt, um die durch Wärmeinfluß bedingten Maßabweichungen in Grenzen zu halten. Die Zugänglichkeit des über die gesamte Breite oszillierenden Elektronenstrahls wurde durch Schrägstellen der Hülse gewährleistet, so daß der Strahlauftreffwinkel rd. 60° betrug (Bild 10). Bei einer Probenbreite von 40 mm ergab sich ein Höhenunterschied der Fokusslage von 20 mm, der jedoch vom defokussierten Strahl toleriert werden konnte und einen geringen Unterschied in der bis 0,6 mm reichenden Einhärtetiefe von 0,2 mm ergab. Die ermittelten Mikrohärtewerte lagen im Bereich von 1400 bis 1800 HV 0,05.

Der Untersuchungskomplex Aufschmelzen und Einlegieren mit dem Elektronenstrahl ist noch nicht abgeschlossen. Die ersten Ergebnisse betreffen Umschmelzversuche vorher aufgebraachter Schichten [12], wobei als Depositionsverfahren das Widerstandsauftragsschweißen von Pulver MPA550 und Wolframkarbid sowie das Lichtbogendrahtspritzen mit 110MnCrTi8 zur Anwendung kamen. Das Lichtbogendrahtspritzen ist eine sich immer weiter verbreitende Instandsetzungstechnologie, besonders für Lagersitze an rotationssymmetrischen Einzelteilen, und könnte in Verbindung mit anschließendem Umschmelzen ein breiteres Anwendungsgebiet erschließen. Das Ziel, diese Schichten vollständig umzuschmelzen, wurde jedoch mit den Elektronenstrahl-Behandlungsvarianten Linienscan oder Punktraster nicht erreicht. Solche Eigenschaften, wie Porosität und hoher Oxidgehalt, behindern die Wärmeleitung in thermisch gespritzten Schichten und somit das Eindringen des Elektronen-

strahls. Die hohe Leistungsdichte führt zu starkem Materialabtrag durch Wegspritzen und Verdampfen des Spritzwerkstoffs, ohne nennenswerte Eindringtiefen zu erreichen. Bei einer 0,5 mm dicken Spritzschicht betrug die Schichtdicke nach der Elektronenstrahl-Behandlung < 0,3 mm, wobei 0,1 bis 0,2 mm tief umgeschmolzen wurde. Das nachfolgend erforderliche Schleifen würde den Umschmelzbereich vollständig entfernen. Eine Elektronenstrahl-Punktrasterbehandlung an Proben führte zum Versintern der metallgespritzten Schicht, verbunden mit einer gewissen Homogenisierung, Strukturverfeinerung und Verminderung der Porosität. Die gemessenen Härtewerte lagen bei 1150 bis 1200 HV 0,05 gegenüber einem Streubereich von 680 bis 1200 HV 0,05 bei unbehandelten Spritzschichten. Nach dieser Technologie wurden Verschleißproben behandelt, die auf dem Prüfstand des VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal getestet wurden. Für die Regenerierung von Nadellagersitzen konnte jedoch der notwendige Verschleißschutz nicht erreicht werden.

Im Rahmen weiterer Versuche werden plasmagespritzte Schichten auf ihre Eignung zum Einlegieren untersucht. Eine Weiterentwicklung der Behandlung mit oszillierendem Elektronenstrahl stellt die HSS-Technik dar [10], die im Jahr 1984 im Forschungsinstitut „Manfred von Ardenne“ Dresden entwickelt wurde und auf neueren Elektronenstrahl-Anlagen zur Oberflächenmodifikation zur Anwendung kommt.

6. Zusammenfassung

Technologische Vorversuche für den Einsatz einer neuen Elektronenstrahl-Anlage im Bereich der landtechnischen Instandsetzung er-

Kleb-, Gieß- und Laminieretechnik im Landwirtschaftsbetrieb

Dipl.-Ing. R. Puttscher, KDT/Dozent Dr.-Ing. J. Stibbe, KDT, VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal

Einleitung

Die Verwendung Instand gesetzter Einzelteile hat sich volkswirtschaftlich bewährt und ist in bezug auf den Neuteileinsatz eine wesentliche Methode zur Senkung des Material-, Zeit- und Energieaufwands. Verschlossene Einzelteile werden im wesentlichen durch Verfahren des Metallauftrags Instand gesetzt. Hierzu gehören die Verfahren Auftragschweißen, thermisches Spritzen und galvanische Metallabscheidung.

Aber auch Verfahren der Platanwendung haben Bedeutung. Etwa 10% aller reparablen Verschleißteile in mobilen Landmaschinen sind durch Platanwendung Instandsetzbar [1].

Zu den Verfahren der Platanwendung zählen Plastpulver-Auftragverfahren (z. B. manuelles und mechanisiertes Streuen von Epoxidharzpulver Epilox RZ 50-71 zur Instandsetzung von Einzelteilen mit Festlagersitzen).

Die handwerklichen Varianten der Kleb-, Gieß-, Laminier-(KGL-) und Beschichtungstechnik sind in den landtechnischen Instandsetzungsbetrieben weit verbreitet.

Ende 1988 waren 82 Betriebe des Ministeriums für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft, größtenteils VEB Kreisbetrieb für Landtechnik und VEB Landtechnisches Instandsetzungswerk, zur Ausführung festigkeitsbeanspruchter Klebstoffanwendung zugelassen [2]. Etwa 160 Betriebe wenden insgesamt Klebstoffe und Beschichtungspulver an. Eine extensive Erweiterung zeichnet sich gegenwärtig auf der Ebene der Landwirtschaftsbetriebe ab. Die Einbeziehung von Betrieben des technischen Vorleistungsbereichs des Ministeriums für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft wird folgen.

Anwendungsmöglichkeiten der KGL- und Beschichtungstechnik im Landwirtschaftsbetrieb

Es bestehen u. a. folgende Anwendungsmöglichkeiten der KGL- und Beschichtungstechnik im Landwirtschaftsbetrieb [3]:

- Instandsetzen von figurellen Teilen mit Rissen, Durchschlägen und Anbrüchen
 - Motorengehäuse
 - Getriebegehäuse
 - Ölwannen
 - Schwimmer aus PVC-hart für Tier-Tränkeanlagen

- Formteile aus GUP oder Blech
- Ausspachteln von verschlissenen Paßflächen und Gleitbahnen
 - Dichtflächen an Motoren- sowie Getriebegehäusen und sonstigen Gehäusen
 - Führungsbahnen an Maschinen
- Ausspachteln verschlissener Bohrungen
 - ohne Paßwelle
 - mit Paßwelle (Instandsetzen auf Originalmaß ohne mechanische Nachbearbeitung)
- Verbinden von Einzelteilen durch Einkleben von Wälzlagern, Verschleißbuchsen, Schrauben, Bolzen in figurelle Einzelteile
- Instandsetzen beschädigter Förderbänder und Gummitteile, wenn Scheuerstellen, Einrisse bzw. Ablösungen einzelner Schichten vorhanden sind
- Instandsetzen von durchgerosteten und eingerissenen Blechen durch Spachteln und Laminieren
 - Karosserieteile
 - Verkleidungen
- Herstellen von Neuteilen in Kleinserie
 - Gießen von Bedientöpfen.

Kombinierte Verfahren der Instandsetzung haben auch ihre Berechtigung:

- Kleben/Schrauben
 - Kleben zum Sichern der Schraubverbindung
- Schweißen/Laminieren
 - Kraftübertragung durch Schweißverbindung, Laminieren zum Erreichen von Dichtigkeit
- Kleben/Schrumpfen
 - höhere Festigkeit als bei Anwendung der einzelnen Verfahren, da hydrostatischer Druck in der Klebfuge [4]
 - bis 6fache Wiederholbarkeit der Instandsetzung möglich [5].

Viele Arbeiten können oftmals ohne bzw. bei nur teilweiser Demontage ausgeführt werden. Das betrifft z. B. das Laminieren von figurellen Einzelteilen beim Schadensfall Riß oder Durchschlag.

Erfolgt das Einkleben, z. B. von Kugellagern, während der Montage einer Baueinheit, kann eine gute Fixierwirkung erreicht werden.

Das Laminieren von GUP-Druckbehältern, das Aufkleben von Reibbelägen sowie die Anwendung der KGL- und Beschichtungstechnik bei Sicherheitsteilen ist in den LPG grundsätzlich auszuschließen. Diese Arbei-

ten bleiben den dafür spezialisierten Instandsetzungsbetrieben vorbehalten.

Klebstoffe

Nachgenannte kalthärtende, flüssige bzw. pastöse Mehrkomponentensysteme auf Epoxidharzbasis sind anwendbar [3]:

- Epilox T 19-20/Härter DPTA-technisch bzw. H 10-58
- Epilox A 19-00/Härter DPTA-technisch bzw. H 10-58
- Epasol EP1
- Epasol EP2
- Epasol EP4
- Epasol EP6
- Epasol EP9
- Epasol EP11
- Epasol FV/ZIS 939
- Epasol Spachtelmasse SP 125.

Als kalthärtende, flüssige Mehrkomponentensysteme auf Polyesterbasis sind z. B. im Einsatz:

- Polyester UP AS2333/Cyklohexanonperoxidpaste/Kobaltbeschleuniger
- Mökodur L5001/Härter 16.

Der Vorteil von Epoxidharzen gegenüber Polyesterharzen besteht in der höheren Verbundfestigkeit und der geringen Schrumpfung des Klebstoffs während der Härtung. Die Vorteile von Polyesterharzen treten u. a. bei deren Verarbeitung auf (Vernetzungskatalysator und Beschleuniger lassen sich getrennten Ansätzen des Harzes zumischen, die dann im Anwendungsfall nach relativ langer Lagerungsdauer gemischt werden können).

Innerhalb der Epoxidharze haben Epasol gegenüber Epilox-Klebstofftypen einfach beherrschbare Mischungsverhältnisse (z. B. 1:1, 2:1, 4:1).

Aufgrund niedriger Viskosität bei ausreichender Thixotropie ist Epasol EP9 nicht nur als Kleb- und Gießharz, sondern auch als Laminierharz gut einsetzbar. Epasol EP2 und Epasol FV/ZIS939 sind ebenfalls dafür verwendbar. Aufgrund der höheren Viskosität kann bei unregelmäßigen Formen (Kanten, Rundungen) zum Erleichtern des Laminierens ein Vorwärmen der Einzelteile oder im Fall des mit niedriger Reaktionsgeschwindigkeit härtenden Klebstoffs Epasol FV/ZIS939 ein Vorwärmen des Klebstoffs auf eine Temperatur von etwa 40°C erfolgen.

Epasol EP1, EP6 und EP11 haben eine hö-

folgten anhand von Probekörpern und eines ausgewählten Teilesortiments. Neben dem bewährten Elektronenstrahl-Schweißen werden Verfahren der Randschichtbehandlung angewendet, die noch weiterentwicklungsfähig sind.

Literatur

- [1] Schiller, S.; Heisig, U.; Panzer, S.: Elektronenstrahltechnologie. Berlin: VEB Verlag Technik 1976.
- [2] Eichhorn, F.: ELS-Schweißen - Kosten sparen mit dem Einsatz fortschrittlicher Technologien. Industrieanzeiger, Essen 107(1985)50, S. 23-27.
- [3] Schulze, K.-R.: Vielfalt der ELS-Technologien

- Empfehlung für eine breitere Anwendung. ZIS-Mitteilungen, Halle 27(1985)1, S. 10-22.
- [4] Ehrhardt, H.: Konstruktive Gestaltung und Bauteilvorbereitung beim ELS-Schweißen. Schweißtechnische Information aus dem ZIS Halle (1988) M 8/36.
- [5] Panzer, S.: Thermische Randschichtveredelung mit ELS. Schweißtechnik, Berlin 37(1987)12, S. 547-549.
- [6] Bartel, R.; Müller, M.: Oberflächenschmelzbehandlung mit ELS. Schweißtechnik, Berlin 36(1986)11, S. 489-491.
- [7] Keitel, S., u. a.: Lokale Oberflächenmodifikation mit dem ELS. ZIS-Mitteilungen, Halle 28(1986)1, S. 53-61.
- [8] Ehrhardt, H.: Industrielle Regenerierung von Getriebeteilen mit Hilfe des ELS-Schweißens.

- ZIS-Mitteilungen, Halle 27(1985)1, S. 44-50.
- [9] Kulwatz, H.; Stibbe, J.: Instandsetzung von Zahn- und Kettenrädern - Ergebnisse und Erfahrungen. agrartechnik, Berlin 35(1985)11, S. 483-486.
- [10] Kulwatz, H.; Kloth, G.: Sortimentserweiterung zur Zahn- und Kettenradinstandsetzung. VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal, Abschlußbericht 1987 (unveröffentlicht).
- [11] Kulwatz, H.: Elektronenstrahl-Oberflächenmodifikation (ELS-OFM). VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal, Bericht A 4 1988 (unveröffentlicht).
- [12] Schulze, K.-R.; Keitel, S.: ELS-OFM für ausgewählte ETI-Sortimente. Zentralinstitut für Schweißtechnik Halle, Zwischenbericht 1988 (unveröffentlicht). A 5776