

bes der Elektrogurttrommel besteht ein eindeutiger funktionaler Zusammenhang. Die Analyse von Getriebeölproben auf Verschleißteilpartikel kann künftig eine große Bedeutung zur Lösung des Problems der Diagnose von Zahnradgetrieben erlangen. Dazu sind weitere zielgerichtete Untersuchungen erforderlich, wobei die Spektralanalyse zur weiteren Verringerung des Aufwands als Diagnoseverfahren Anwendung finden sollte [6].

### Technische Endoskopie

Die Techno-Endoskopie ist ein subjektives Diagnoseverfahren. Der Erfolg der Diagnose bzw. die Qualität des Diagnosebefundes hängen in einem hohen Maß vom Qualifizierungs- und Erkenntnisstand des Diagnosepersonals ab.

Für starre Endoskope, die z. Z. in Form des Bronchoskops verfügbar sind, bestehen kaum sinnvolle Einsatzmöglichkeiten an stationären Ausrüstungen in Tierproduktionsanlagen [6, 12].

Jedoch könnte u. a. mit dem Einsatz flexibler Endoskope ein Beitrag zur Lösung von Diagnoseproblemen an Gülle-, Heizungs- und Druckanlagen sowie Antriebsaggregaten geleistet werden. Eine konkrete diesbezügliche Aussage bleibt dem Ergebnis weiterer Untersuchungen vorbehalten.

### Einfache mechanische Längenmeßmittel

Häufig läßt sich der Abnutzungszustand von Maschinenelementen über Zustandsparameter bestimmen, die mit einfachen mechanischen Längenmeßgeräten ermittelt werden können. Das betrifft beispielsweise die Laufrollen und Laufschiene von Melkkarussells, die Rundstahlketten von Stetigförderern und andere Maschinenelemente von stationären Maschinen und Anlagen in 2000er-Milchproduktionsanlagen.

Mit Hilfe eines Meßschiebers konnten die Pa-

rameter des Abnutzungsverhaltens der inneren Laufrollen des M 693-40 ermittelt werden, die für eine RND-Prognose weitere Verwendung finden können [6, 13] (Bild 7).

### Auswahl geeigneter Diagnosegeräte und -verfahren

Für einzelne Schadensarten gibt es oft verschiedene Diagnosegeräte zur Bestimmung des entsprechenden Zustandsparameters, von denen jeweils das effektivste Gerät auszuwählen ist. Zur richtigen Entscheidungsfindung ist es erforderlich, nach möglichst objektiven und quantifizierbaren Beurteilungskriterien die Auswahl zu treffen. Sinnvoll erscheint hierbei die Unterscheidung für die Eignung in folgenden drei Diagnosearten [6]:

- Schädigungsdiagnose für die RND-Prognose
- Funktions- und Zustandsdiagnose für die Qualitätskontrolle nach der Herstellung, Instandsetzung und während des Einsatzes für eine Gut-Schlecht-Bewertung sowie für sicherheitstechnische Überprüfungen
- Fehlersuchdiagnose infolge von Störungen oder plötzlichen Ausfällen von Maschinen und Anlagen.

### Zusammenfassung

Anhand ausgewählter Beispiele wurden Möglichkeiten für die Anwendung von Verfahren und Geräten der TD an stationären Ausrüstungsanlagen in der Tierproduktion gezeigt. Im Ergebnis dieser begrenzten Einsatzuntersuchungen kann eingeschätzt werden, daß mit der verstärkten Anwendung der TD ein wesentlicher Beitrag zur Erhöhung des Niveaus und der Effektivität des Instandhaltungsprozesses in Tierproduktionsanlagen geleistet werden kann.

### Literatur

- [1] Landwirtschaftlich-technologischer Teil zum Projekt der Beispielsanlage MPA 2020 Paulinen-

au, Teilprojekt 2: Ökonomik. VEB LIA Nauen, Außenstelle Ferdinandshof, 1974.

- [2] Eichler, C.; Schiroslawski, W.; Verch, H.: Empfehlungen und Grundsätze für die Instandhaltung von Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion. *agrartechnik* 26 (1976) H. 2, S. 67—70.
- [3] Troppens, D.: Beitrag zur systematischen Entwicklung von Verfahren der Technischen Diagnostik und von Diagnoseeinrichtungen für die Landtechnik. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Dissertation B, 1976 (unveröffentlicht).
- [4] Ullmann, R.: Verfahren zur demontagelosen Überprüfung von Ermüdungserscheinungen in Wälzlagern. Technische Universität Dresden Dissertation, 1974 (unveröffentlicht).
- [5] Ullmann, R.: Technische Diagnostik — Wälzlagerdiagnose. Ingenieurbüro für vorbeugende Instandhaltung Dresden, Forschungsabschlußbericht 1976 (unveröffentlicht).
- [6] Stirl, A.: Beitrag zur Anwendung der Instandhaltung nach Überprüfungen für stationäre maschinentechnische Ausrüstungen in Anlagen der Tierproduktion. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Dissertation 1980 (unveröffentlicht).
- [7] Was wird eigentlich mit Ultraschall nachgewiesen? *Krautkramer GmbH, Köln-Klettenberg, Das echo* 27, 1973.
- [8] TGL 24646/02: Prüfvorschriften für Ausrüstungen zur Gewinnung und Verarbeitung tierischer Erzeugnisse; Pulsationscharakteristik von Melkmaschinen.
- [9] Wohllebe, H.; u. a.: Technische Diagnostik im Maschinenbau. Berlin: VEB Verlag Technik 1978.
- [10] Prospektmaterial AGA Thermovision 750. AGA Infrared Systems AB, Schweden.
- [11] Mundt, M.; u. a.: Demontagefreies Verschleißmeßverfahren für Dieselmotoren. ZEV Brandenburg-Kirchmöser, Leitstelle für Isotopentechnik 1977 Forschungsabschlußbericht, (unveröffentlicht).
- [12] Nessau, B.: Techno-Endoskopie. Ingenieurbüro für vorbeugende Instandhaltung Dresden Forschungsabschlußbericht, 1977 (unveröffentlicht).
- [13] Schiroslawski, W.; Stirl, A.: Anwendung der Instandhaltungsmethode nach Überprüfungen in einer 2000er-Milchproduktionsanlage. *agrartechnik* 29 (1979) H. 3, S. 125—128. A 2894

## Untersuchungen zum Auftragsschweißen rotations-symmetrischer Einzelteile

Dozent Dr.-Ing. G. Kamenarov, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Technologie der Instandsetzung  
Dr.-Ing. P. Wojciechowski, KDT, VEB Kombinat Baumechanisierung Berlin

Die Instandsetzung verschlissener Einzelteile wird immer mehr zur volkswirtschaftlichen Notwendigkeit. Daher sind effektive Lösungen für die Einzelteilinstandsetzung erforderlich [1]. Eine besondere Stellung nimmt deshalb das MAG-Auftragsschweißen an rotationssymmetrischen Teilen ein, da dieses die meisten Besonderheiten aufweist, über die in der Literatur wenig veröffentlicht worden ist.

Der Hauptunterschied zwischen der Schweißung rotationssymmetrischer Einzelteile und der Verbindungsschweißung besteht im Fehlen des quasistationären Zustands, der für das Verbindungsschweißen typisch ist. Die aufgrund der räumlichen Begrenztheit der Teile stattfindende Aufheizung führt in bezug auf die Nahtgeometrie zu Unterschieden zwischen den ersten und den letzten Auftragslagen, die je nach Probenlänge und -durchmesser bis zu

30% betragen können. Hinsichtlich der Spezifik ist die Rundauftragsschweißung mehr mit der Mehrlagenschweißung vergleichbar. Hinzu kommt die Wirkung der Schwerkraft, die besonders bei Teilen mit kleineren Durchmessern ein Auslaufen der Metallschmelze aus dem Schmelzbad bewirkt und damit die Leistungsgrenze festlegt.

### 1. Durchgeführte Untersuchungen

Für die Untersuchung wurde der in den landtechnischen Maschinen sehr verbreitete niedriglegierte Vergütungsstahl 40 Cr 4 (Achsschenkel, Kurbelwellen u. a.) ausgewählt. Der Durchmesser der Proben lag bei 30 bis 90 mm und entsprach damit den in der Praxis üblichen Abmessungen. Als Hauptparameter wurde die Schweißstromstärke ( $I_s$ ) von 100 bis 210 A und die Schweißgeschwindigkeit ( $v_s$ ) von 0,3 bis

1,0 m/min variiert.

Der Schweißparameterbereich, der in schweißtechnischen und betrieblichen Richtlinien veröffentlicht ist und der keinesfalls einheitlich ist, wurde erweitert, um einerseits die Leistungsgrenzen des Verfahrens und die Beherrschbarkeit zu ermitteln und andererseits den Einfluß auf die Nahtgeometrie und die Kristallisationsbedingungen festzustellen. Der Drahtdurchmesser betrug 1,2 mm, Düsenabstand (freies Drahtende) war 15 mm und die Schutzgasmenge 15 l/min  $CO_2$ . Als Drahtqualität wurde sowohl der Auftragsdraht 30 Mn Cr Ti 5 gewählt als auch der in einigen Betrieben noch benutzte Zusatzwerkstoff 10 Mn Si 8. Die Schweißversuche wurden mit der teilautomatischen MAG-Schweißanlage vom Typ SM—03/K und mit dem Schweißgleichrichter RGSa 315 durchgeführt (Bild 1).

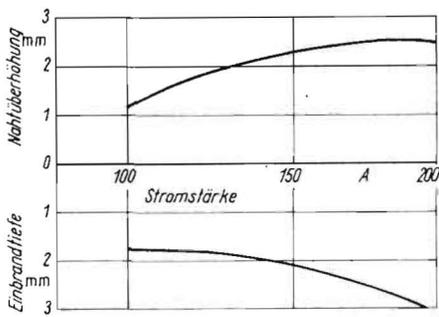


Bild 2. Einbranntiefe und Nahtüberhöhung in Abhängigkeit von der Schweißstromstärke

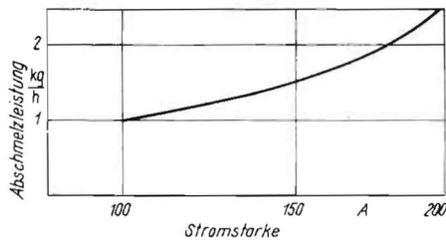


Bild 3. Abhängigkeit der Abschmelzleistung von der Schweißstromstärke

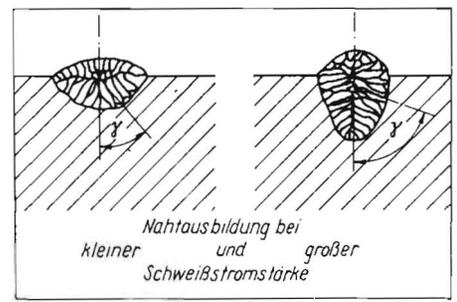


Bild 4. Neigung der Dendriten zur Nahtachse bei verschiedenen Stromstärken (sehr schematisch)

## 2. Untersuchungsergebnisse

### 2.1. Einfluß der Schweißparameter auf die Nahtgeometrie

Die Geometrie der Auftragsnaht (Auftragsraupe) ist sowohl für die Kristallisationsvorgänge in der Naht als auch aus ökonomischen und energetischen Gründen von Bedeutung. Je größer die Nahtüberhöhung ist, desto mehr Werkstoff muß spanend abgearbeitet werden. Die Einbranntiefe, die genau wie die Nahtüberhöhung von beiden Hauptparametern sehr abhängig ist, beeinflusst den Vermischungsgrad und somit die Metallurgie, Wärmebilanz und die Ökonomie des Verfahrens. Im Bild 2 wird die Abhängigkeit der Einbranntiefe und der Nahtüberhöhung von der Schweißstromstärke dargestellt.

Bei der Betrachtung der im Bild 2 vorhandenen Abhängigkeiten und unter Berücksichtigung der Tatsache, daß mit steigender Schweißstromstärke die Abschmelzleistung (ein Maß für die Produktivität, Bild 3) stark ansteigt, werden die gegenläufigen Tendenzen deutlich. Einerseits wird beim Schweißen mit niedrigen Strömen eine gute Qualität der Auftragschweißung erreicht, andererseits führt das Schweißen mit hohen Strömen zu einer hohen Abschmelzleistung und damit zu hoher Produktivität. Die meisten betrieblichen Technologien schreiben eine Überhöhung von 1,5 bis 2 mm vor.

Die Zusammenhänge zwischen Schweißparametern und Nahtgeometrie können folgendermaßen zusammengefaßt werden:

— Die Erhöhung der Schweißstromstärke im Bereich von 100 bis 210 A bewirkt eine Zunahme der Nahtbreite von 1,2 mm. Die

Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit im Bereich von 0,3 bis 1,0 m/min hat eine Verringerung der Nahtbreite um 0,3 mm zur Folge. Der Wechselwirkungseffekt ist sehr gering und somit auch der Einfluß einer Parametergröße auf die Nahtbreite bei jeweils dem Maximalwert der anderen Parametergröße.

- Eine Erhöhung des Schweißstroms im untersuchten Bereich bewirkt die Zunahme der Nahtüberhöhung um 1,2 mm, die Steigerung der Schweißgeschwindigkeit dagegen hat eine Abnahme der Nahtüberhöhung von 0,6 mm zur Folge. Bei höheren Stromstärken (160 bis 180 A) erfolgt der Anstieg der Nahtüberhöhung merklich langsamer und sinkt dann unwesentlich um 0,2 mm.
- Die Zunahme des Schweißstroms führt auch zu einer größeren Einbranntiefe. Diese verändert sich im untersuchten Schweißstrombereich bis 2,7 mm. Die Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit bewirkt im Gegensatz dazu eine Verringerung der Einbranntiefe um 1,2 mm.
- Das Überdeckungsverhältnis ist nur von der Vorschubgeschwindigkeit der Wärmequelle und von der Drehzahl der Schweißteile abhängig und einstellbar. Als Regel für das Überdeckungsverhältnis gilt  $\frac{1}{3}$  der Nahtbreite.
- Das Bestreben, den Grundwerkstoff möglichst wenig thermisch zu belasten und mit wenig Zusatzwerkstoff auszukommen, gleichzeitig aber ökonomisch günstig zu schweißen, führt zu einer Optimierungsaufgabe, die je nach Anwendungsfall einzeln gelöst werden muß.

### 2.2. Einfluß der Schweißparameter auf die Existenzzeit des Schmelzbads und auf die Schweißbadlänge

Die Existenzzeit des Schmelzbads und die Schmelzbadlänge sind für den Ablauf der metallurgischen Reaktionen, für die Erstarrungs- bzw. Kristallisationsvorgänge und für die Beherrschbarkeit des Schmelzschweißverfahrens von Bedeutung.

Die Existenzzeit des Schmelzbads  $t_E$  wird als Quotient der Schmelzbadlänge  $L$  und der Schweißgeschwindigkeit  $v_s$  definiert.

$$t_E = L/v_s$$

Die Schmelzbadlänge nimmt bei Erhöhung der Stromstärke von 100 bis 210 A um 4,5 mm zu, ebenso bei einer Steigerung der Schweißgeschwindigkeit im untersuchten Bereich. Besonders auffallend ist die Zunahme der Existenzzeit des Schmelzbads (gleiche Schweißparameter) bei Proben mit kleinerem Durchmesser.

Die Ursachen hierfür sind in erster Linie im geringeren Temperaturgradient, d. h. in der schnellen Volumenerwärmung zu suchen. Die gekrümmte Form des Schmelzbads bringt auch einige Besonderheiten hinsichtlich der Strömungs- und Kristallisationsverhältnisse in der Naht mit sich.

### 2.3. Einfluß der Schweißparameter auf die Kristallisation

Alle bisherigen Betrachtungen üben einen Einfluß auf die Kristallisation des Schmelzbads aus. Ein sehr wesentlicher und bisher unerwähnt gebliebener Einfluß ist der Grund- und Zusatzwerkstoff. Die Anwendung von Zusatzwerkstoffen, die mit karbidbildenden Elementen versehen sind, führen zu einer heterogenen Keimbildung und zu einer Verfeinerung des Nahtgefüges.

Beim Schweißen mit dem Zusatzwerkstoff 10 Mn Si 8 sind einige Besonderheiten festzustellen, auf die hier näher eingegangen wird. Die Aufschmelzlinie der Schweißnaht stellt eine Isotherme dar. Die bereits angeschmolzenen Kristallite (Körner) des Grundwerkstoffs sind die Keime für das Wachstum der Dendriten, und zwar bevorzugt für diejenigen Kristallite, deren kristallographische Wachstumsrichtung mit der Richtung der größten Wärmeableitung zusammenfällt.

Da der Temperaturgradient beim Rundauftragsschweißen klein ist, erfolgt ein orientiertes Aufeinanderwachsen der Dendriten. Diese Kristallisationsart wird als epitaxiales Wachstum bezeichnet und ist für die spätere Verschleißbeanspruchung von großer Bedeutung. Je tiefer das Schmelzbad ist, desto größer wird der Winkel zwischen den Dendriten und der Mittelachse der Naht (Bild 4).

Die Abhängigkeit des Neigungswinkels  $\gamma$  in

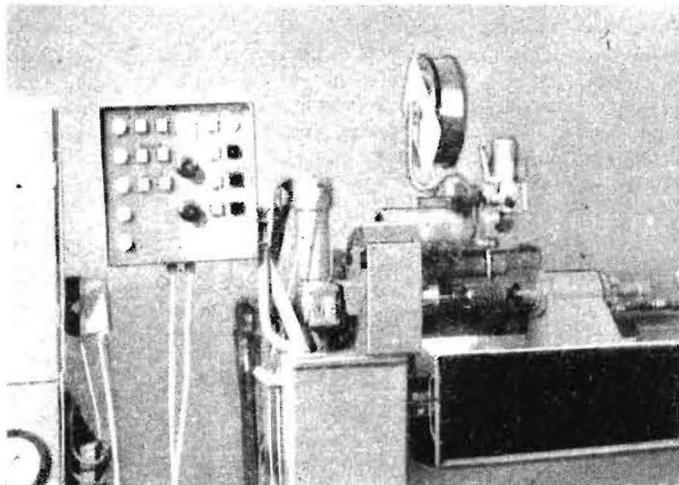


Bild 1. MAG-Schweißanlage Typ SM-03/K

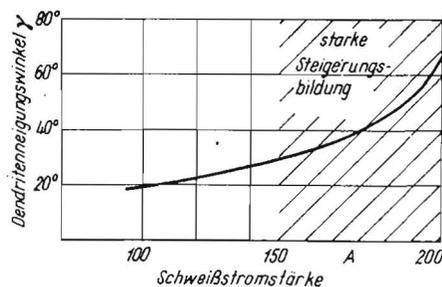


Bild 5. Abhängigkeit der Dendritenneigung zur Nahtachse von der Schweißstromstärke

Abhängigkeit von der Schweißstromstärke ist im Bild 5 dargestellt.

Die konstitutionelle Unterkühlung nimmt zur Schmelzbadmitte zu. Diese begünstigt die heterogene Keimbildung, da außerdem in dieser Zone viele fremde Wachstumskeime existieren. Ab 140 A wird diese mit seigernden Elementen angereicherte Zone schmaler, dafür nimmt aber der Gehalt an Verunreinigungen stark zu (Bild 6).

### 3. Einfluß der Nahtspezifik auf die Qualität der Schweißverbindung

Die in Abschn. 2.3. festgestellte Seigerungszone wird bei kleineren Neigungswinkeln  $\gamma$  bzw. bei kleineren Stromstärken ( $<140$  A) zur Nahtoberfläche gedrängt und in die Breite verteilt. Diese Zone weist meist andere mechanische Eigenschaften als der übrige Nahtbereich auf. Das macht sich jedoch beim späteren Einsatz des aufgeschweißten Teils nicht mehr bemerkbar, da dieser Bereich spanend abgearbeitet wird. Ein anderes Verhalten ergibt sich dagegen beim Vorhandensein der schmalen und sich durch die Nahtmitte erstreckenden Seigerungszone (Bild 6). Durch den mechanischen Abtrag wird diese nur teilweise beseitigt. Diese partiell bis an die Oberfläche reichende Seigerungszone wirkt sich sehr ungünstig gegenüber einer Verschleißbeanspruchung aus. Dabei kommt es zur Riefenbildung, ein Ansatz für schnell fortschreitenden Verschleiß.

Die Nahtgeometrie, die sehr von den Schweißparametern abhängig ist, übt einen großen Einfluß auf die Verschleißfestigkeit der Auftragsschicht aus. Die Lage der Dendriten, die sich nach der Endbearbeitung der Teile an der Metalloberfläche befinden, ist hierbei von großer Bedeutung. Die Dendriten weisen in sich eine hohe Atomdichte auf, zeichnen sich durch eine gute Reinheit und durch relativ wenig Subbereiche aus. Ihre Korngrenzenbereiche sind allerdings durch eine vielfach geringere Festigkeit gekennzeichnet. Diese Richtungsabhängigkeit der Eigenschaften muß bei der schweißtechnischen Fertigung berücksichtigt werden.

Wie aus dem Bild 7 zu entnehmen ist, erfolgt die Belastung bei der Verschleißbeanspruchung im Fall a sehr günstig. Die Dendriten werden so beansprucht, daß ihre Eigenfestigkeit voll zum Tragen kommt.

Im Fall b wirkt sich der Rollverschleiß sehr

Bild 6. Starke Seigerung in der Mitte der Schweißnaht ( $I_s = 160$  A)

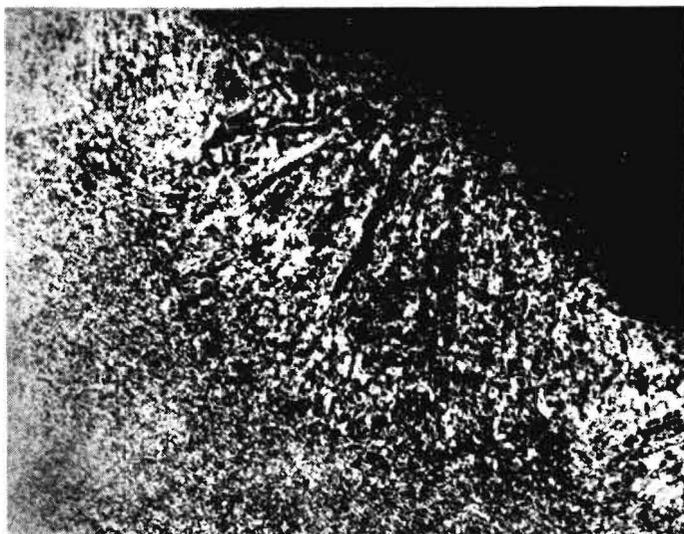
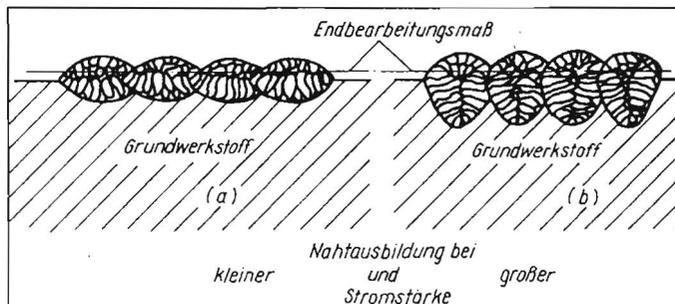


Bild 7. Lage der Dendriten an der Oberfläche nach der Endbearbeitung (schematisch)



ungünstig aus. Die schwächere Bindung der Korngrenzenbereiche führt zum leichten Herausreißen von einzelnen Dendriten. Da die Einbettfähigkeit für die herausgerissenen Dendriten nicht gegeben ist, erfolgt der Verschleiß relativ schnell.

Günstiger wirkt sich die Verwendung von Zusatzwerkstoffen mit karbidbildenden bzw. kornverfeinernden Elementen aus, wie der Zusatzdraht 30 Mn Cr Ti 5.

Nur bei erhöhten Anteilen an Karbiden wird das epitaxiale Kristallwachstum geschwächt. Die Richtungsabhängigkeit der Kristallite in der Naht wird abgebaut, was schließlich zur Verbesserung des Verschleißwiderstands führt.

### 4. Zusammenfassung

Die durchgeführten Untersuchungen tragen zur Klärung der werkstoffspezifischen Zusammenhänge beim MAG-Auftragsschweißen an rotationssymmetrischen Teilen bei. Dabei wurde der Einfluß der Schweißparameter auf die Ausbildung der Nahtgeometrie und die Kristallisationsvorgänge dargestellt.

Diese Ergebnisse sollten in der Praxis Berücksichtigung finden, da bei der Auswahl der Schweißparameter gegenläufige Tendenzen wirken.

Das Schweißen mit hohen Stromstärken und damit mit hoher Produktivität verschlechtert die Qualität der Auftragsschweißung.

Fragen der Materialpaarung, der gesteuerten Wärmeleitung, der Einfluß des Grundwerkstoffs auf das Schweißgutgefüge und die Auswirkung der Schweißparameter auf den Grundwerkstoff sind Gegenstand weiterer Untersuchungen.

### Literatur

- [1] Stübbe, J.: Neue Lösungen für die Einzelteilinstandsetzung mit hoher Qualität der Erzeugnisse. *agrartechnik* 30 (1980) H. 9, S. 389—392.
- [2] Kastner, G.: Schweißtechnische Richtlinien für die Instandsetzung von Einzelteilen landtechnischer Arbeitsmittel. Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal.
- [3] Eichler, Chr.: Instandhaltungstechnik. Berlin: 1979 Verlag Technik.
- [4] Verfahrenskennblatt Auftragsreparaturschweißen und Lichtbogenmetallspritzen. VEB Rationalisierung Landtechnische Instandsetzung Neuenhagen, 1979.
- [5] Mertens, G.: Verfahrens- und werkstofftechnische Untersuchungen beim Instandsetzen von Achsschenkeln. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Dipl.-Arbeit 1979 (unveröffentlicht).
- [6] Machnenko, V.: Theoretische und technologische Grundlagen der Auftragsschweißung. Akademie der Wissenschaften der Ukrainischen SSR, Kiew 1977.
- [7] Ellermann, F.: Verfahrens- und werkstoffspezifische Zusammenhänge beim Lichtbogen-Auftragsschweißen an rotationssymmetrischen Teilen. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Dipl.-Arbeit 1980.