

Werkstoffschichten wird als Untersuchungsgegenstand vorgestellt, und erste Ergebnisse werden dargelegt. Mit diesen Untersuchungen wird ein wesentlicher Beitrag zur weiteren Erhöhung der Effektivität in der Instandsetzung von Einzelteilen, speziell bei der spanenden Bearbeitung von aufgetragenen Werkstoffschichten, erbracht.

Zu erwartende Effekte sind vor allem:

- Senkung der Bearbeitungszeit durch Anwendung kostengünstiger technologischer Arbeitswerte
- Senkung der Bearbeitungszeiten durch Anwendung geeigneter Wendeschneid-

plattentypen

- Verbesserung der Instandsetzungsqualität
- Erweiterung des Anwendungsbereichs Drehen
- weitere Verbesserung der Einheitlichkeit bezüglich der Instandsetzungsbasis und in der Breitenwirksamkeit
- Komplettierung bzw. Ergänzung des Schnittwertspeichers der metallverarbeitenden Industrie.

Literatur

- [1] Hübner, G.: Untersuchungen zum Einsatz von Fertigungsverfahren in der Instandsetzung von Einzelteilen - insbesondere von Zahn- und Ket-

tenrädern. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Dissertation B 1984.

- [2] Pietrzyk, W.: Untersuchungen zur Spanbarkeit schweißtechnisch aufgetragener Schichten. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Dissertation A 1984.
- [3] Hübner, G.; Darge, U.: Instandsetzung von Einzelteilen, Teilthema: Spanende Bearbeitung aufgetragener Schichten. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Tätigkeitsbericht A3 1988.
- [4] Ellermann, F.: Verfahrens- und werkstoffspezifische Zusammenhänge beim Lichtbogen-Auftragschweißen an rotationssymmetrischen Teilen. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Diplomarbeit 1980.

A 5720

Umformende Instandsetzung – ein Weg zur Qualitätserhöhung instand gesetzter Einzelteile

Dozent Dr. sc. techn. G. Hübner, KDT/Dr.-Ing. F. Leidecker, KDT/Dipl.-Ing. J.-M. Classen, KDT

Einleitung

Die Erhöhung der Zuverlässigkeit und die Verlängerung der Nutzungsdauer landtechnischer Arbeitsmittel werden entscheidend von der Qualität instand gesetzter Einzelteile getragen. Deshalb gewinnen zukünftig solche Aufarbeitungslösungen an Bedeutung, die einen wesentlichen Beitrag zur Qualitätserhöhung in der Einzelteilinstandsetzung leisten. Bei der Sicherung der funktionellen Austauschbarkeit instand gesetzter Einzelteile kommt dem eingesetzten Fertigungsverfahren eine besondere Bedeutung zu. Der Einsatz umformtechnischer Verfahrenslösungen läßt hinsichtlich qualitätsfördernder Wirkungen am instand gesetzten Einzelteil besonders positive Effekte erwarten.

Umfangreiche Untersuchungen zu umformtechnischen Aufarbeitungslösungen durch den Wissenschaftsbereich Fertigungstechnik der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg im Auftrag des VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal bestätigten diese Erwartungen.

Problemstellung

Der Verlust der Gebrauchseigenschaften landtechnischer Arbeitsmittel erfordert Maßnahmen, die darauf gerichtet sind, die für die Funktionsfähigkeit dieses technischen Ar-

beitsmittels notwendigen Gebrauchseigenschaften zu überwachen, zu erhalten und wiederherzustellen. Alle bei der Einzelteilinstandsetzung durchzuführenden Maßnahmen sind deshalb darauf zu richten, die funktionelle Austauschbarkeit des Einzelteils zu gewährleisten. Damit geht es konkret um die konsequente Einhaltung technischer und technologischer Parameter, die im Rahmen der Austauschbarkeit des Einzelteils die Erreichung der Betriebskennwerte des technischen Arbeitsmittels garantieren müssen.

Die Sicherung der funktionellen Austauschbarkeit schließt demzufolge Qualitätsforderungen sowohl hinsichtlich der Maß- und Formgenauigkeit sowie der Oberflächenqualität als auch hinsichtlich der werkstofflichen Eigenschaften ein.

Bisherige Aufarbeitungslösungen, besonders die schweißtechnische Aufarbeitung, können gerade den stofflichen Aspekt qualitativ nicht genügend sichern, was eine Verschlechterung des Ausfallverhaltens instand gesetzter Einzelteile bewirkt [1, 2, 3].

Bild 1
Ausgewählte
Verfahrensbeispiele

Verfahren	Werkstück	Verfahrensprinzip
Warmformpressen	Zahnrad	
partielles Warmformpressen	Kugelzapfen	
Weiten	Kugelzapfen	
Warmformpressen	Klemmplatte	
thermoplastisches Weiten	Kolbenbolzen	

Tafel 1. Erreichte Werkstückmaße beim Warmformpressen im Gesenk

Objekt/ Bezugsgröße	Werkstück Fertigmaß	Schmiede- maß	Gesenk Gravurmaß	Herstellung
Abtriebsrad ZT 300/ Kopfkreis [4]				spanend
Abmessung in mm	103,1 ± 0,04	104,5 + 1,0 - 0,3	105,0 + 1,28 + 0,84	
Genauigkeitsklasse	IT 9	IT 16	IT 13	
Kugelzapfen A 35 × 20/ Kugeldurchmesser [5]				erosiv
Abmessung in mm	35,0 + 0,0 - 0,39	35,0 + 0,6 + 0,3	35,94 ± 0,01	
Genauigkeitsklasse	IT 8	IT 13	IT 7	
Kettenrad Z = 12/ Fußkreis [6]				draht- erosiv
Abmessung in mm	82,25 + 0,0 - 0,35	82,31 + 0,14 - 0,09	82,4 ± 0,02	
Genauigkeitsklasse	IT 12	IT 12	IT 8	

Qualitätserhöhung in der Einzelteilinstandsetzung muß zukünftig damit beginnen, daß das auszuwählende Fertigungsverfahren sowohl der bisherigen „Fertigungsgeschichte“ des Instand zu setzenden Einzelteils als auch dem unmittelbaren Schädigungszustand angepaßt werden muß. Damit ergeben sich 2 Problemkreise, die jedoch im Komplex gelöst werden müssen:

- Durch die Neufertigung in das Einzelteil eingebrachte positive Eigenschaften (z. B. durch umformende Verfahren) müssen bei der Instandsetzung dieses Einzelteils weitgehend erhalten bleiben.
- Das zur Anwendung kommende Fertigungsverfahren in der Einzelteilinstandsetzung muß die Nutzungsdauer des Instand gesetzten Einzelteils positiv beeinflussen.

Aus bisherigen Erkenntnissen bei der Neufertigung und der Einzelteilinstandsetzung durch Anwendung von Umformverfahren läßt sich schlußfolgern, daß umformende Aufarbeitungslösungen positive Wirkungen auf die Qualitätserhöhung und damit auf die Zuverlässigkeit und die Nutzungsdauer Instand gesetzter Einzelteile haben.

Qualitätsuntersuchungen zu beispielhaft ausgewählten umformtechnischen Verfahrenslösungen in der Aufarbeitung von Einzelteilen sollen einen Einblick geben, inwieweit durch die umformende Instandsetzung ein Beitrag zur Qualitätserhöhung Instand gesetzter Einzelteile geleistet werden kann.

Qualitätsanalyse

Einige ausgewählte umformtechnische Verfahrenslösungen sind im Bild 1 dargestellt.

Um mögliche unterschiedliche Wirkungen der Beanspruchungsart beim Umformen erfassen und nachweisen zu können, wurden als Umformvarianten das Warmformpressen, das Weiten mit Dorn und das thermoplastische Weiten in die Analyse einbezogen und differenziert bewertet.

Für die Instandsetzung ist die notwendige und hinreichende Bedingung zu erfüllen, daß aus den gefertigten Zwischenformen qualitätsgerechte Fertigformen hergestellt werden können, die sich in ihren geometrischen und stofflichen Eigenschaften nicht – oder nur örtlich begrenzt zugelassen – von den Neuteilen unterscheiden dürfen.

Bei der Herstellung der Zwischenform in der Aufarbeitung durch Warmformpressen haben die Herstellungsgenauigkeit und die Ab-

nutzung der Werkzeuge sowie die Temperaturführung einen entscheidenden Einfluß auf die erreichbare Qualität der Zwischenform.

Die Erreichung geforderter Abmessungen des in der Instandsetzung umgeformten Werkstücks ist weitestgehend realisierbar. Die meßtechnische Auswertung umgeformter Werkstücke zeigt, daß Schmiedemaße erreicht werden, die z. T. im Toleranzbereich der Fertigmaße liegen bzw. eine minimale Bearbeitungszugabe sichern (Tafel 1).

Die Genauigkeit der Schmiedemaße ist entscheidend von folgenden Parametern abhängig:

- Genauigkeit der Werkzeugherstellung (Werkzeuggenauigkeit etwa 4 IT-Genauigkeitsklassen höher als die geforderten Schmiedemaße)
- Temperaturführung des Werkzeugs und des Werkstücks im Schmiedeprozess
- Änderungen der Gravurmaße infolge des Werkzeugverschleißes (Bild 2).

Auch bei einem zwangsgeführten Schmiedeprozess ist zu erwarten, daß der Werkzeugverschleiß etwa 60% des Toleranzfeldes beansprucht. Eine Abhilfe könnte durch eine rechnergesteuerte, gezielt veränderte Werkstück- und Werkzeugtemperatur erreicht werden. Zum Nachweis der verfahrensbedingten Einflüsse auf die Haltbarkeit der

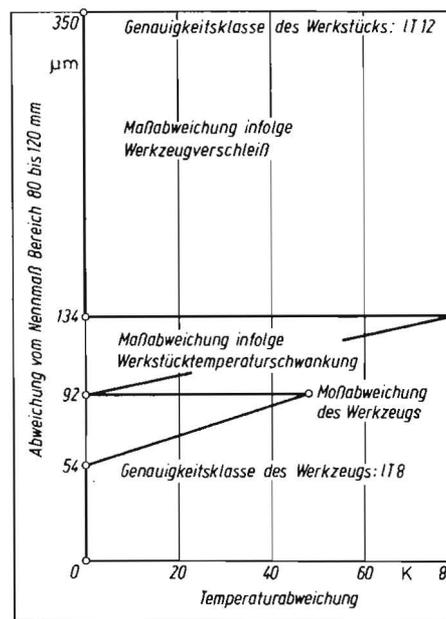


Bild 2 Erreichbare Werkstückgenauigkeit durch Temperaturführung (nach [4])

durch Warmformpressen aufgearbeiteten Zahnräder wurden vergleichende Haltbarkeitsuntersuchungen der aufgearbeiteten und der neuen Zahnräder durchgeführt.

Prüfbedingungen und -ergebnisse der vergleichenden dynamischen Prüfung der Prüfwerkstücke sind in Tafel 2 aufgeführt. Die Versuche beim Belastungshorizont 3 brachten bei einer maximalen Belastung von $M_{dmax} = 3660$ Nm mehrfach Torsionsbrüche der Aufnahmewellen zwischen $2,65 \cdot 10^5$ bis $7,83 \cdot 10^5$ Lastspielzahlen. Damit wurde die Grenze der Beanspruchung der Zahnrad-Welle-Paarung erreicht. Die Prüfuntersuchungen bestätigen, daß die Instand gesetzten Zahnräder ebenso wie die neuen Zahnräder im Zeitfestigkeitsbereich das Mehrfache der vom Hersteller angegebenen Belastung ohne Schädigung ertragen [4].

Zum Nachweis der Qualitätsentwicklung der mit den Verfahren Warmformpressen und Weiten regenerierten Kugelpapfen eignen sich besonders die vergleichenden dynamischen Prüfuntersuchungen. Auf der Grundlage des Lastkollektivs des NKWL60 wurden neue und regenerierte Kugelpapfen nach dem Wöhlerversuch bei Biegewechselbeanspruchung in 4 Horizonten geprüft. Aus dem Wöhlerlinienverlauf (Bild 3) ist erkennbar, daß die durch Warmformpressen regenerierten Kugelpapfen im Zeitfestigkeitsbereich, trotz vorheriger Beanspruchung im Betriebs-einsatz, kaum nennenswerte Abweichungen gegenüber den neuen Kugelpapfen aufweisen. Die Kugelpapfen dieser Position erreichen eine Betriebsdauer von 267000 km [5]. Die Wöhlerlinie der aufgeweiteten Kugelpapfen weist merkbar geringere Bruchschwing-spielzahlen auf, was dem Aufbohren und dem prozessbedingten Normalglühen zugeschrieben werden könnte.

Die statischen und dynamischen Prüfunter-

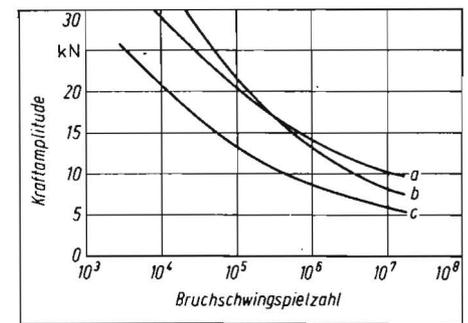


Bild 3. Wöhlerlinienfeld Kugelpapfen A 35 x 20; a neue Kugelpapfen, b Instandsetzung durch Warmformpressen, c Instandsetzung durch Weiten mit Dorn

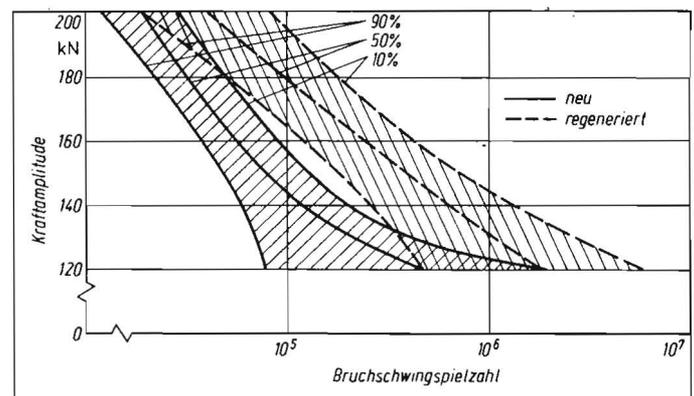
Bild 4. Wöhlerlinienfeld Kolbenbolzen 45 x 26 x 96 (nach [8])

Tafel 2. Dynamische Prüfergebnisse Zahnräder

Abtriebsrad ZT 300	Bela-stungs-horizont	Belastung M_{dmax} Nm	F_{max} kN	F_{min} kN	Lastspielzahl	Schädi-gung
neu	1	1 564,8	26,08	2,5	$2,55 \cdot 10^6$	keine
	2	2 346	39,1	3,9	$2,15 \cdot 10^6$	keine
	3	3 660	60,0	6,0	$2,43 \cdot 10^6$	keine
instand gesetzt (einsatz-gehärtet)	1	1 566	26,1	2,5	$2,05 \cdot 10^6$	keine
	2	2 340	39,0	3,9	$2,45 \cdot 10^6$	keine
	3	3 660	61,0	6,0	$2,15 \cdot 10^6$	keine
instand gesetzt (karbonitrier-gehärtet)	1	1 566	26,1	2,5	$2,0 \cdot 10^6$	keine
	2	2 346	39,1	3,9	$2,15 \cdot 10^6$	keine
	3	3 660	61,0	6,0	$2,55 \cdot 10^6$	keine

Prüfbedingungen

Prüfwerkstück: Abtriebsrad ZT 300 mit einem übertragbaren Drehmoment $M_{dmax} = 930$ Nm; Prüfmaschine: servohydraulische Prüfmaschine, MTS-System, USA; Prüffrequenz: 35 Hz; Belastung: auf Zahnradpaar bezogen; Prüfum-fang: 4 Zahnräder je Belastungshorizont



suchungen an Klemmplatten, die durch Warmformpressen mit nachfolgender Wasserabschreckung instand gesetzt wurden, zeigen gleichwertige Festigkeitseigenschaften wie neue Klemmplatten [7]. Die zusätzlich durchgeführten werkstofftechnischen Untersuchungen, wie chemische Analysen, Härteprüfungen, makro- und mikroskopische Untersuchungen, weisen ebenfalls die hohe Instandsetzungsqualität nach.

Im Ergebnis dieser Untersuchungen wurden so instand gesetzte Klemmplatten für den Einbau in Betriebsgleisen der Deutschen Reichsbahn zugelassen.

Die mittlere Wöhlerlinie (50 % Überlebenswahrscheinlichkeit) der durch thermoplastisches Weiten regenerierten Kolbenbolzen (Bild 4) ist gegenüber der Wöhlerlinie der neuen Kolbenbolzen zu höheren Bruchschwingspielzahlen verschoben. Die Streuung der Bruchschwingspielzahlen der regenerierten Kolbenbolzen ist erkennbar größer, wobei deren Wöhlerlinie für 90 % Überlebenswahrscheinlichkeit noch über der gleichen Wöhlerlinie der neuen Kolbenbolzen liegt.

Die Ursache dieser Tendenz könnte in einer positiven Beeinflussung der inneren Oberflächenschicht des Kolbenbolzens oder in der

Erzeugung günstig wirkender Druckeigen-
spannungen bei der Regenerierung zu finden sein [8].

Zusammenfassung

Die Qualitätserhöhung instand gesetzter Einzelteile erfordert eine gezielte Verfahrensauswahl.

Die mit jedem Fertigungsverfahren verbundene Beeinflussung von Geometrie und Werkstoff eines Einzelteils muß dabei im Zusammenhang mit seiner „Fertigungsgeschichte“ betrachtet werden. Positive Wirkungen auf die Nutzungsdauer instand gesetzter Einzelteile durch das angewandte Fertigungsverfahren im Instandsetzungsprozeß sind eine weitere Forderung. Im Beitrag werden für die umformtechnische Aufarbeitung von Einzelteilen qualitätsbewertende Untersuchungen vorgestellt und damit die Eignung der Umformverfahren für eine Qualitätserhöhung instand gesetzter Einzelteile nachgewiesen.

Literatur

[1] Hübner, G.: Untersuchungen zum Einsatz von Fertigungsverfahren in der Instandsetzung von Einzelteilen – insbesondere von Zahn- und Ket-

tenrädern. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Dissertation B 1984.

[2] Neumann, P.: Der dynamische Tragfähigkeitsverlust instand gesetzter Einzelteile. agrartechnik, Berlin 37(1987)5, S. 219–221.

[3] Petersohn, H.-J.: Einbeziehung von Haltbarkeitsuntersuchungen in die Festlegung von Regenerierungsvarianten für Einzelteile. agrartechnik, Berlin 35(1985)4, S. 174–177.

[4] Leidecker, F.: Untersuchungen zur Anwendung des gratlosen Gesenkschmiedens in der Instandsetzung von Zahn- und Kettenrädern. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Dissertation A 1983.

[5] Penne, U.: Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Verfahren Weiten mit Dorn, Warmformpressen und Querwalzen mit Rundwerkzeugen bei der Instandsetzung zylinder- und kugelförmiger Formelemente. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Dissertation A 1989.

[6] Hoffmann, D.: Analyse der Maß-, Form- und Lageabweichungen umgeformter Einzelteile in der Instandsetzung. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Diplomarbeit 1987.

[7] Klemmplatzenaufarbeitung – 1986. Zentrales Forschungsinstitut des Verkehrswesens, Institut für Eisenbahnwesen Halle, Abschlußbericht A4 1986.

[8] Prüfprotokoll – Schwingfestigkeitsuntersuchungen an Kolbenbolzen 45 × 26 × 96. Zentralinstitut für ökonomischen Metalleinsatz Dresden 1988. A 5721

Möglichkeiten der energiereduzierten schmelzschweißtechnischen Aufarbeitung in der Einzelteilinstandsetzung

Dr.-Ing. F. Ellermann, KDT

1. Problemstellung

Die Bedeutung der Einzelteilinstandsetzung für die Bereitstellung von Ersatzteilen ist besonders im Bereich der landtechnischen Instandsetzung sehr groß. Der Anteil instand gesetzter Einzelteile (IET) gegenüber neuen Einzelteilen (NET) nimmt gegenwärtig noch zu. Der besondere Effekt der Einzelteilinstandsetzung besteht im wesentlich geringeren Energieaufwand der Aufarbeitung, der im Durchschnitt 10 bis 50 % der Neuteilherstellung ausmacht [1]. Die Verwendung von aufgearbeiteten Einzelteilen bewirkt weiterhin einen bis zu 25 % geringeren Materialaufwand der Instandsetzung, der aber nur dann ökonomisch nutzbar ist, wenn die Lebensdauer der instand gesetzten Einzelteile nicht wesentlich hinter der von neuen Einzelteilen zurückbleibt. Fällt sie dagegen unter 75 % ab, treten Materialverluste ein [1]. Eine Effektivitätssteigerung in der Einzelteilinstandsetzung ist somit sowohl an Maßnahmen zur werkstoffgerechten wie auch zur energieökonomischen Gestaltung von Aufarbeitungstechnologien geknüpft.

2. Energiereduzierte Auftragschweißung

2.1. Erkenntnisstand

Bei der Aufstellung von Schweißtechnologien werden neben der Angabe konkreter Schweißparameter zusätzliche Vorwärm- bzw. Wärmenachbehandlungsmaßnahmen vorgegeben.

Die Notwendigkeit des zusätzlichen Energieeintrags besteht im Verringern der Abkühlungsgeschwindigkeit bzw. im Beseitigen kritischer Gefüge- und Spannungszustände nach der Schweißausführung. Die Höhe der

empfohlenen Vorwärmtemperatur sollte durch die Intensität des Wärmeeintrags (Streckenenergie), die geometrisch beeinflussten Wärmeableitungsbedingungen sowie die aus gebräuchlichen Schweiß-Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Schaubildern zu entnehmenden kritischen Abkühlungsgeschwindigkeiten des Werkstoffs bestimmt werden.

Im Ergebnis der schweißtechnischen Bearbeitung werden Gefügestandards besonders in der Wärmeeinflusszone gefordert, die über ein bestimmtes Verformungsvermögen und eine daraus resultierende geringe Spröbruchanfälligkeit verfügen. Zur Beschreibung dieses Zustands bedient man sich häufig der Härtemessung und orientiert sich an einem maximalen Grenzhärtewert von 350 HV.

Die kompromißlose und sehr oft unbegründete hohe Festlegung der Vorwärmtemperaturen kann sehr große und vielfach irreversible Nachteile für das Bauteilverhalten mit sich bringen. Dabei wird der angestrebte Effekt positiver Gefügebeförderung durch unverhältnismäßig starke Grobkornbildung infolge Überhitzung und sehr langsamer Abkühlung in das Gegenteil verkehrt. Untersuchungen zur differenzierten Wirkung von Vorwärmmaßnahmen haben ergeben, daß neben ihrer nachteiligen Wirkung auf überhitzungsempfindliche Gefügestrukturen (Vergütungsgefüge), die mit umfassenden Festigkeitsverlusten über den gesamten Querschnitt verbunden sind [2], auch Bedingungen für ein ausgeprägtes Austenitkornwachstum geschaffen werden [3]. Die daraus resultierende indirekte Stimulierung einer Martensitbildung wirkt dem Grundanliegen der

Vorwärmung entgegen. Die der Vorwärmung zugeschriebenen günstigen Einflüsse auf die Wasserstoffentgasung des Schweißgutes und eine daraus resultierende Vermeidung der Wasserstoffversprödung sind durch eine spezielle Zusatzwerkstoffbehandlung und den Einsatz von Schutzgasen ebenso wirksam zu erreichen.

Die durch Vorwärmmaßnahmen ausgeprägteren Schweißbadabmessungen und damit größeren Bereiche partiell plastisch deformierter Zonen beeinflussen die Eigenspannungszustände nachteilig [4].

Positive Erfahrungen im Umgang mit energiereduzierten Schweißtechnologien können der Literatur in größerer Anzahl entnommen werden. Einheitlich bestand das Interesse bei der Einführung derartiger technologischer Variationen darin, die primären Vorteile geeigneter Werkstoffzustände mit ökonomischen Effekten zu verknüpfen. So werden in [5] technologische Maßnahmen zur sinnvollen Ausnutzung der Prozeßwärme vorgeschlagen, um auf diese Weise zusätzliche Energieaufwendungen durch Vorwärmen zu vermeiden bzw. zu reduzieren. Dazu zählen solche Techniken wie Mehrdraht- oder Tandemschweißen, die bewußte Einstellung der Lagenanfangstemperatur beim Mehrlagenschweißen und eine Variation der Streckenenergie in Abhängigkeit von geometrischen Bedingungen. In diesem Zusammenhang muß auch die Möglichkeit einer partiellen Vorwärmung erwähnt werden, um die Abkühlungsverhältnisse unmittelbar am Schweißbeginn unkritisch zu gestalten, für den weiteren Prozeßverlauf aber die Eigenwärme auszunutzen. Andere Untersuchungsergebnisse [4, 6] stellen Lösungen zur