

Die Qualität einer instand gesetzten Schraubenverbindung ist ganz allgemein nach zwei Gesichtspunkten zu bewerten:

- Sicherheit gegen Versagen bei konstruktionsgerechter Nutzung
- Einfluß der gefügten Schraubenverbindung auf Parameter der Fügeverbindung (z. B. durch verschleißbeeinflussende Formabweichungen).

Der Einfluß des Schädigungszustandes von Schraube und Mutter in unterschiedlicher Kombination auf die Bruchkraft der Verbindung (als Ausfallkriterium) am Beispiel der Stiftschraubenverbindung M 14 x 1,5 zur Befestigung des Zylinderkopfes (Motor 4VD) ist im Bild 7 und in Tafel 2 dargestellt.

Deutlich wird, daß durch den Einsatz von Wiederverwendungseinzelteilen und instand gesetzten Einzelteilen der Streubereich der Bruchkraft bei dominierendem Einfluß der Mutter zunimmt. Es bestätigt sich, daß mit wiederverwendeten Muttern der Festigkeitsklasse 8 keine funktionssichere Fügeverbindung zu erzielen ist, während solche mit vergrößerter Mutterhöhe (13 mm bzw. 16 mm) die geforderte Sicherheit gegen Versagen deutlich gewährleisten. Daneben ist für die Instandsetzung die Schadensart „Abstreifer“ von besonderer Bedeutung. Diese „Abstreifer“ dokumentieren auch in anderer Form nachgewiesene Veränderungen in der Gewindegeometrie (Bild 8). Beim Erreichen eines Grenzzustandes der Gewindeprofildeformationen (liegt wesentlich vor dem „Abstreifen“) kommt es zur Aufhebung der Paarungsfähigkeit von Mutter und Schraube (Fressen in der Gewindeverbindung), was gleichbedeutend mit der Begrenzung der erzeugbaren

Vorspannkraft in der Fügeverbindung ist. Zusammen mit abweichenden Gesamtreibungszahlen (Gewinde- und Kopfreibung) untersuchter Elemente von Schraubenverbindungen (NET, WET, IET), mit Arbeitsunauigkeiten der Schraubwerkzeuge sowie mit Formabweichungen der zu fügenden Einzelteile führt dies beim in der landtechnischen Instandsetzung genutzten drehmomentgesteuerten Anziehverfahren zu großen Vorspannkraftstreuungen in der Fügeverbindung. Dagegen steht die Forderung (z. B. bei Gleitpaarungen) nach einem eng begrenzten Vorspannkraftbereich, der nach unten, z. B. durch die zu erreichende Mindestpressung bzw. zur Vermeidung von Schraubendauerbrüchen, und nach oben, zur Vermeidung von Schraubenüberbeanspruchungen oder zur Einengung von Formabweichungen in der gefügten Verbindung, begrenzt ist. Beispiele für die Wirkungsrichtung der angegebenen Einflußfaktoren zeigen Bild 9 und Tafel 3.

Sie veranschaulichen die Bedeutung der Mikro- und Makrogestalt der Einzelteile für die Funktionssicherheit ausgewählter Paarungen und fordern die weitere Vertiefung prozeßbegleitender Qualitätskontrollen. Gleichzeitig werden Grenzen drehmomentgesteuerter Anziehverfahren sichtbar, wengleich durch eine regelmäßige Prüfung und Regulierung der Schraubwerkzeuge, die Festlegung des Montageanzugsmoments auf der Grundlage der Gesamtreibungszahl für die jeweilige Gewindeverbindung sowie durch das Einhalten des vorgegebenen Anzugsregimes Möglichkeiten für eine Verkleinerung des Streubereichs der Vorspann-

kräfte beim derzeitigen Mechanisierungsniveau von Schraubprozessen bestehen.

4. Zusammenfassung

Zur möglichst eindeutigen Beschreibung der Qualität eines instand gesetzten Dieselmotors sind dessen qualitätswirksame Eigenschaften durch meßbare Merkmale zu erfassen. Dazu werden im vorliegenden Beitrag Qualitätsmerkmale für die Instandsetzung von Dieselmotoren vorgestellt und Qualitätskenngrößen abgeleitet. An Beispielen wird der qualitative und quantitative Zusammenhang zwischen der Instandsetzungsprozeßgestaltung und der Ausprägung von Qualitätsmerkmalen dargestellt. Es wird deutlich, daß zukünftige Strategien zur Qualitätsarbeit bei der Grundinstandsetzung von Dieselmotoren stärker auf prozeßbegleitende und prozeßnahe Qualitätskontrollen aufbauen müssen. Das erfordert, neben moderner Fertigungstechnik auch entsprechende Meßtechnik in den Prozeß der Motoreninstandsetzung einzuführen.

Literatur

- [1] Autorenkollektiv: Qualitätssicherung und Standardisierung. Berlin: VEB Verlag Die Wirtschaft 1987.
- [2] Popov, V. P.: Kačestvo produkcii i ego pokazateli (Die Qualität der Erzeugnisse und ihre Kennzahlen). Mehanizacija i elektrifikacija sel'skogo chozajstva, Moskva 57(1987)6, S. 21-23.
- [3] Stegemann, G., u. a.: Wechselwirkung Grundinstandsetzungsprozeß von Dieselmotoren und deren Zuverlässigkeitsverhalten. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht A1 1987. A 5722

Spanende Bearbeitung aufgetragener Werkstoffschichten

Dozent Dr. sc. techn. G. Hübner, KDT/Dr.-Ing. U. Darge, KDT/Dipl.-Ing. Petra Unterseher, KDT
Dozent Dr.-Ing. M. Jirka, Landwirtschaftliche Hochschule Prag (ČSSR)

Verwendete Formelzeichen

a	mm	Schnitttiefe
A	mm ²	Spannungsquerschnitt
b _L	mm	Spanleitstufenbreite
P _A	kW	Antriebsleistung
Q	cm ³ /min	Spanvolumen
r _E	mm	Eckenradius
s	mm/U	Vorschub
T	min	Standzeit
v	m/min	Schnittgeschwindigkeit
VB	mm	Verschleißmarkenbreite
α	°	Freiwinkel
γ	°	Spanwinkel
ε	°	Eckenwinkel
κ	°	Einstellwinkel
λ	°	Neigungswinkel

Einleitung

Aus der Sicht der Material- und Energieökonomie gewinnt die Instandsetzung von Einzelteilen als sekundärer Fertigungsprozeß zur bedarfsgerechten Versorgung mit Ersatzteilen eine immer größere Bedeutung.

Die Entwicklungsrichtung der Einzelteilinstandsetzung ist deshalb zunehmend auf den Einsatz effektiver Fertigungsverfahren und -technologien gerichtet, um einerseits ein immer breiteres Sortiment in die Instandsetzung einzubeziehen und andererseits eine hohe Qualität instand gesetzter Einzelteile zu sichern [1].

An der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Wissenschaftsbereich Fertigungstechni-

nik, und an der Landwirtschaftlichen Hochschule Prag, Lehrstuhl Material und Technologie, werden seit Jahren in Kooperation die spezifischen Probleme der Instandsetzung wissenschaftlich untersucht. Einen Schwerpunkt dabei bildet die Verfahrensforschung zur Entwicklung und Anwendung progressiver Fertigungsverfahren und Bearbeitungsmöglichkeiten bei der Instandsetzung von Einzelteilen.

Die Verfahrensfolge Auftragschweißen - spanende Bearbeitung ist eine notwendige und auch wirtschaftliche Instandsetzungslösung besonders für solche Einzelteile, die mit anderen Fertigungsverfahren (z. B. Umformverfahren) nicht effektiv instand gesetzt werden können.

Die wissenschaftliche Untersuchung der spanenden Bearbeitung von aufgetragenen harten bzw. verschleißfesten Oberflächenschichten mit geometrisch bestimmter Schneide (besonders durch das Drehen) ist deshalb für die weitere Intensivierung der Einzelteilinstandsetzung besonders bedeutsam. Hinzu kommt noch, daß aus der Sicht der Schneidstoffentwicklung eine Substitution des Schleifens durch das Drehen möglich wird, Prozeßstufen reduziert werden und somit Instandsetzungslösungen eine wesentlich breitere Anwendung finden können.

Die vorliegenden und weiter zu erwartenden Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen stellen eine Erweiterung bzw. eine Ergänzung des Zentralen Schnittwertspeichers der DDR dar. Eine unmittelbare Einordnung in den bestehenden Schnittwertspeicher ist nicht nahtlos möglich, da u. a. folgende Bedingungen bei der Spanung aufgetragener Schichten nicht erfüllt sind:

- homogener Werkstoff
- klassische Zugfestigkeitsprüfung
- Werkstoff gleicher Zusammensetzung
- Variation der Schnitttiefe.

Da bei der Aufbringung des Zusatzwerkstoffs schweißtechnische Auftragverfahren dominieren, konzentrieren sich die Spanbarkeitsuntersuchungen in der ersten Etappe auf schweißtechnisch aufgetragene Schichten.

Eine Untersuchung der Einflüsse einzelner Schweißparameter auf die Spanbarkeit erfolgt in der ersten Untersuchungsetappe nicht. Die in der Instandsetzungspraxis üblichen Schweißparameter wurden angewendet.

Spezifik aufgeschweißter Schichten

Die Spezifik aufgeschweißter Schichten wird durch Einflußgrößen charakterisiert, die wesentlich vielfältiger sind als bei der Spanung herkömmlicher Werkstoffe (Tafel 1).

Die Beeinflussung des Spannungsvorgangs durch die o. g. Größen ist unterschiedlich stark sowie quantitativ oft nicht bekannt und bestimmbar. Die schweißtechnischen Einflußgrößen und die Abkühlbedingungen bestimmen jedoch entscheidend die sich ausbildende Gefügestruktur, die Verteilung der Legierungselemente in der Spannungszone

Tafel 2. Grundwerkstoff-Zusatzwerkstoff-Kombinationen

Grundwerkstoff	Vorbehandlungszustand	Zusatzwerkstoff					
		20MnCrNi7	10MnSi8	45CrSi34	30MnCrTi5	50MnCrTi4	110MnCrTi8
20MnCr5	einsatzgehärtet	x	x	x	x	x	-
20MnCr5/1	ohne	x	x	x	x	x	-
16MnCr5	einsatzgehärtet	x	x	x	x	x	-
42MnV7	vergütet	x	x	-	x	x	-
40Cr4	vergütet	x	x	x	x	x	x
C45	induktionsgehärtet	x	x	x	x	x	-
St38-b2	ohne	x	x	-	x	x	-
St50	ohne	x	x	x	x	x	-

Tafel 1. Spezifik der Spanbarkeit von aufgeschweißten Schichten nach [2]

herkömmlicher Spannungsvorgang	Spannung schweißtechnisch aufgetragener Schichten
Einflußgrößen	Werkstoff
Werkstoff	Werkstoff
	Grundwerkstoff
Erschmelzungs-technologie	Werkstoffart
chemische Zusammensetzung	Wärmebehandlungszustand
Wärmebehandlung bzw. -veredelung	Schädigungszustand, Schädigungsgrad
	technologische Eigenschaften
	- Schweißbarkeit
	- Spanbarkeit
	Zusatzwerkstoff
	chemische Zusammensetzung
	Form bzw. Zustand
	(Draht, Pulver, Paste)
	Auftragstechnologie
	(z. B. MAG-CO ₂)
	Einflußgrößen
	- Stromstärke
	- Spannung
	- Schweißgeschwindigkeit
	- Schweißvorschub
	- Drahtvorschub
	- Abkühlgeschwindigkeit
	- Länge des freien Drahtendes
	- Schutzgasmenge
	- Drahtdurchmesser
	Auswirkungen
	- Vermischungsgrad
	- Überdeckungsgrad
	- Nahtgeometrie
	- Gefügestruktur
	- Wärmebilanz
	- Schweißfehler
Schneidkeilgeometrie	Schneidkeilgeometrie
technologische Parameter	technologische Parameter
- Spanen	- Schweißen
	- Spanen
Schneidstoff	Schneidstoff

Schritte beim Abtragen	
ständig	Abtragen der welligen Oberfläche
wiederholte	Schnitttiefe begrenzt (Schichtgleichbleibende
Schnitttiefe	dicke)
homogener	- ständige Veränderung der
Werkstoff, Belastung der	Schneidenbelastung A ≠ konstant
Schneide konstant	- Inhomogenität des Werkstoffes
	Abtragen des glattgedrehten Auftragwerkstoffes
	- Inhomogenität
	Schnitttiefe begrenzt

Abmessungen der Versuchswerkstücke
 Realisierung Realisierung an bestimmtem an einer Welle Durchmesser der Welle, nur mehrere Schnitte 2 Schnitte mit Hilfe eines stufenlosen Drehzahlreglers v = konstant, z. B. Welle von 200 mm Durchmesser mit a = 2 mm auf 50 mm drehen

und somit die Spanbarkeit der Oberflächenschicht. Dabei tritt beim Auftragschweißen rotationssymmetrischer Einzelteile – besonders beim Rundauftragschweißen – kein quasistationärer thermischer Zustand ein, so daß es zu langen Verweilzeiten der Nebennahtbereiche bei Überhitzungstemperaturen kommt. Die Folge sind unterschiedlich ausgebildete Gefügestrukturen und Härteverläufe.

Wie das Bild 1 zeigt, widerspiegelt sich eine am Grundwerkstoff erfolgte Wärmebehandlung (z. B. einsatzgehärtet) in den Eigenschaften der aufgetragenen Schicht. Weiterhin ist es notwendig, die Temperaturbelastung des Grundwerkstoffes auf ein Minimum zu senken und möglichst geringe Vermischungsgrade anzustreben.

Da zunehmend die Forderung nach wiederholter Instandsetzung erhoben wird, ist die

Untersuchung des Einflusses des mehrmaligen Auftragschweißens von Bedeutung, zumal sich auch in Abhängigkeit vom Zusatzwerkstoff unmittelbare Auswirkungen auf den Härteverlauf ergeben (Bild 2) und auch die Beeinflussung der Gefügestruktur zu erwarten ist. Damit wird die Spanbarkeit nicht unwesentlich von der Kombination Grundwerkstoff-Zusatzwerkstoff beeinflusst [3]. Ausgehend von den in der DDR gebräuchlichen Zusatzwerkstoffen für das Auftragschweißen und in der Landtechnik häufig eingesetzten Grundwerkstoffen werden die wissenschaftlichen Untersuchungen zu den in Tafel 2 aufgeführten Grundwerkstoff-Zusatzwerkstoff-Kombinationen durchgeführt.

Untersuchungsergebnisse

Für die Untersuchungen und die Ermittlung der Spanungsrichtwerte werden z. Z. folgende Schneidstoffe getestet:

HS 123 HG 20 HU 515 HT 42
 HS 345 HG 012
 HS 420 HG 412

Die für die Bewertung der Untersuchungsergebnisse herangezogenen Beurteilungskriterien sind für praxisrelevante Aussagen notwendig und ausreichend:

- Freiflächenverschleiß
- Spanform
- Oberflächenqualität
- Spanungskraft.

Untersuchungen belegen, daß bei 3- bis 4maliger Aufschweißung der Vermischungsgrad so gering ist, daß praktisch von „rei-

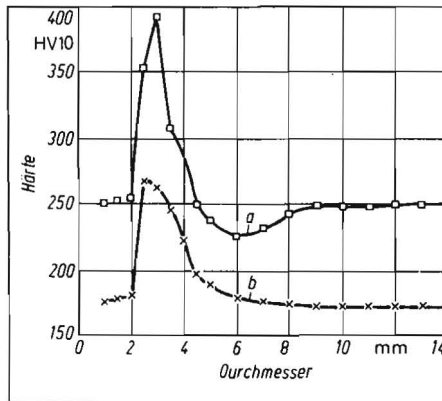
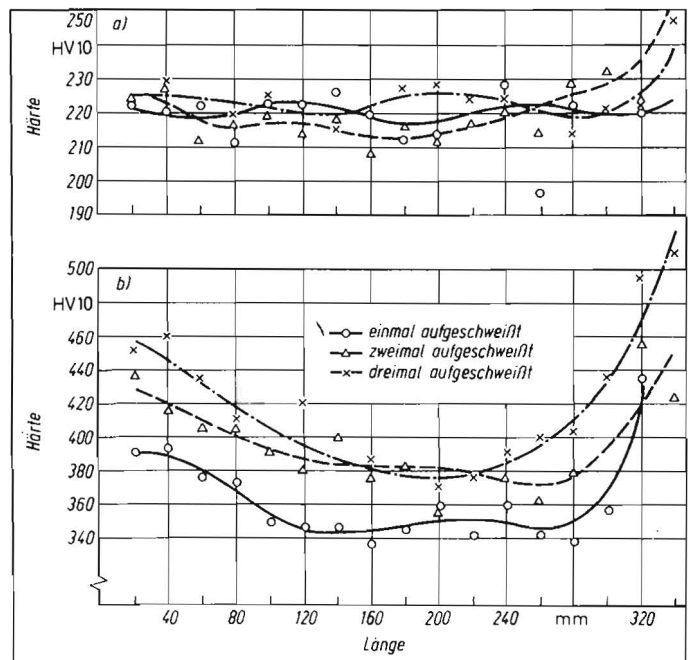


Bild 1
 Einfluß der Wärmebehandlung des Grundwerkstoffes auf den Härteverlauf über den Durchmesser für die Grundwerkstoff-Zusatzwerkstoff-Kombination 20 Mn Cr 5-10 Mn Si 8;
 a) 20 Mn Cr 5 einsatzgehärtet (690 ± 50 HV Einsatzhärtetiefe 1 mm),
 b) 20 Mn Cr 5 ungehärtet

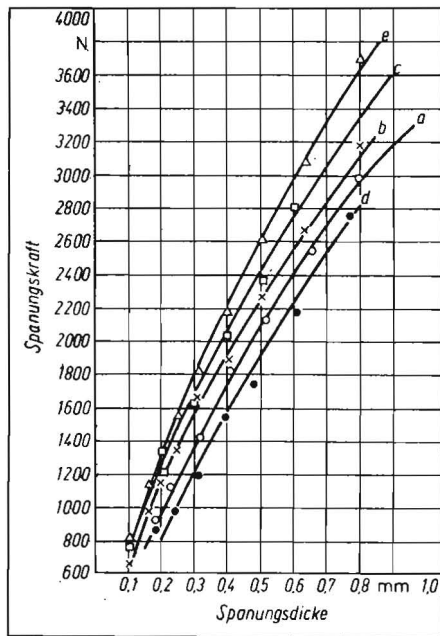
Bild 2
 Härteverlauf über die Probenlänge in der aufgeschweißten Schicht des Achsschenkels (Grundwerkstoff 40 Cr 4);
 Zusatzwerkstoff:
 a) 30 Mn Cr Ti 5,
 b) 110 Mn Cr Ti 8



Grundwerkstoff: 42MnV7	Zusatzwerkstoff: 30MnCrTi5	Schneidstoff: HS 345
Vorwärmtemperatur		
Auftragverfahren: MAG-Auftragschweißen		
Schweißparameter		
400°C	U = 17...19 V I = 110...120 A v = 0,4 m/min s = 3,0 mm/U CO ₂ -Verbrauch = 151 l · min ⁻¹	
Schneidengeometrie		
α = 6°	γ = 9°	ε = 90°
		λ = -6°
		κ = 75°
		r _t = 0,8 mm
		b _t = 2,5 mm
Klemmhalter	CR 71/15 25 25	Wendeschneidplatte SNUG 150408-325
Verschleißkriterium: VB = 0,4 mm		Kühlung: ohne
		Antriebsleistung: 5,5 kW

Spanungsrichtwerte	a in mm		2,0			0,8		
	s in mm/U	0,3				0,8		
	T in min	20 30 60	20 30 60	20 30 60	20 30 60	20 30 60	20 30 60	20 30 60
1. Instandsetzung einlagig aufgeschweißt ZW + GW vermischt	v in m/min	113 94 70	95 79 58	74 61 44				
	P _A in kW	3,1 2,6 2	4 3,3 2,5	4,8 4 2,9				
	Q in cm ³ /min	68 56 42	95 79 58	118 98 70				
mehrmalige Instandsetzung, mind. vierlagig aufgeschweißt, ZW rein	v in m/min	126 111 90	106 93 74	83 72 56				
	P _A in kW	3,5 3,1 2,5	4,5 3,9 3,1	5,4 4,7 3,6				
	Q in cm ³ /min	76 67 54	106 93 74	133 115 90				

Bemerkung: Zerspanung entgegen Schweißrichtung ist kräftemäßig günstiger



nem" Zusatzwerkstoff ausgegangen werden kann. Damit ist bei Mehrfachinstandsetzung erst bei der 4. Aufschweißung mit annähernd konstanten Spanungsbedingungen zu rechnen, was sich auch im Schnittkraftverlauf widerspiegelt (Bild 3). Interessant ist die Tatsache, daß die Spannung entgegen der Schweißrichtung geringere Schnittkräfte hervorruft als in Schweißrichtung. Ursache hierfür könnte die von Ellermann [4] nachgewiesene durchgängige Dendritenbildung in der aufgeschweißten Schicht sein. Das unterschiedliche Spanungsverhalten des reinen Zusatzwerkstoffs und des vermischten Zusatzwerkstoffs drückt sich auch deutlich im Verschleißverhalten aus (Bilder 4 und 5).

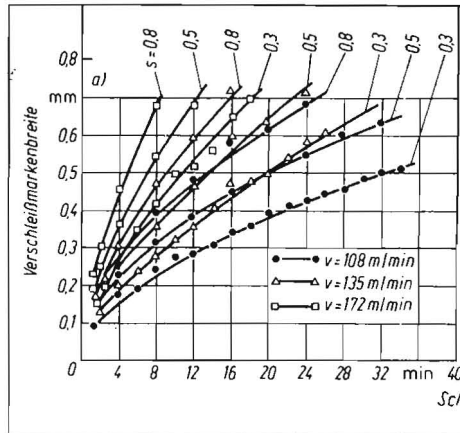


Bild 3. Schnittkraftverlauf beim Drehen ohne Spanleitstufe nach [2] (Schnittwerte: v = 85 m/min, Schneidstoff HS 345, a = 2 mm, κ = 75°, α = 6°, γ = 9°); a) 30 Mn Cr Ti 5/42 Mn V 7, b) 16 Mn Cr 5, c) 30 Mn Cr Ti 5/16 Mn Cr 5, d) 42 Mn V 7, e) 30 Mn Cr Ti 5

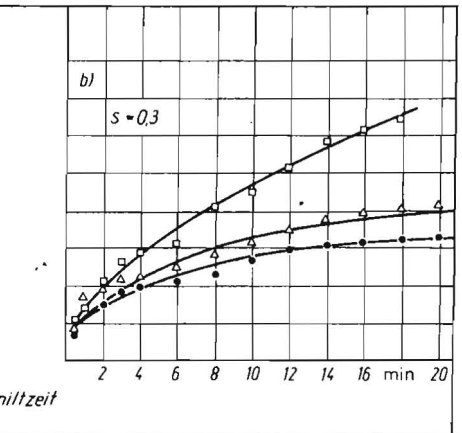
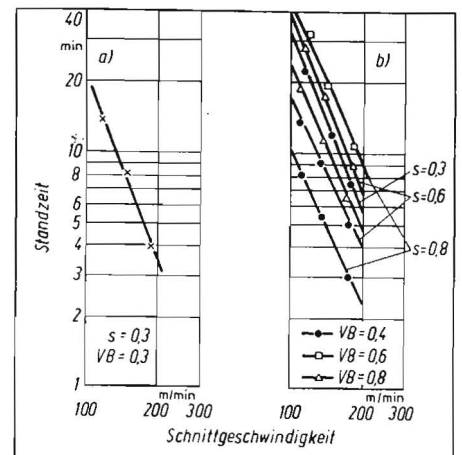


Bild 4. Verschleißverlauf als Funktion der Zeit (a = 2 mm, α = 6°, γ = 9°, κ = 75°); a) 30 Mn Cr Ti 5/42 Mn V 7, b) 30 Mn Cr Ti 5

Bild 5. Standzeitfunktionen nach [2] (a = 2 mm, α = 6°, γ = 9°, κ = 75°); a) 30 Mn Cr Ti 5, b) 30 Mn Cr Ti 5/42 Mn V 7

Die weitere Erhöhung der Effektivität der spanenden Bearbeitung aufgetragener Werkstoffschichten ist also eng mit der zielgerichteten Untersuchung der Spanbarkeit verbunden. Die Bereitstellung von kostengünstigen technologischen Arbeitswerten für die Bearbeitung dieser Schichten ist eine ökonomisch notwendige Forderung der Instandsetzungspraxis. Um eine schnelle praxiswirksame Anwendung der Ergebnisse zu sichern, wird in der ersten Überførungsstufe ein Verfahrenskennblatt angeboten (Tafel 3). Die rechentechnische Aufbereitung ist vorgesehen.

Zusammenfassung
Die spanende Bearbeitung aufgetragener



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	