

felleigemaschine 6-SAD-75 oder der Düngerstreuer D028. Ebenso muß neu in die Landwirtschaft eingeführte Grundtechnik noch in weiteren Nachträgen in den Katalog aufgenommen werden.

Der Druck des Katalogs und der gegenwärtige Vertrieb erfolgen durch den VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal. Aus drucktechnischen Gründen konnte die geplante hohe Auflage, um alle LPG-Werkstätten zu erreichen, nicht realisiert werden (Auflage 800 Kataloge).

Grundlage für die Erarbeitung der Einzelteilinstandsetzungstechnologien bilden die von der Landmaschinenindustrie zur Verfügung gestellten „Technischen Angaben zur Einzelteilinstandsetzung“. Die zur Anwendung kommenden Verfahren sind dazu im wesentlichen die bei der Grundtechnik üblichen, wie

- Richten (kalt und warm)
- Auftrag- und Verbindungsschweißen
- Schmieden
- Schrumpfen und Buchsen
- Gewinde nachschneiden
- mechanische Bearbeitung
- Erneuern von Verschleißelementen durch

Einsatz von Regenerierungselementen, die als Ersatzteile geliefert werden

- teilweise Kleben, Gießen, Laminieren.

Metallpulverflamspritzen und WIG-Schweißen, für deren Anwendung spezielle Ausrüstungen erforderlich sind, wurden bisher in den Einzelteilinstandsetzungstechnologien der Grundtechnik noch nicht berücksichtigt. Ebenso muß bei der Erarbeitung weiterer Technologien die Kleb-, Gieß- und Laminieretechnik breiter einbezogen werden, da sich eine Reihe von Anwendungsfällen für die Grundtechnik ergeben und immer mehr LPG die Voraussetzungen für deren Anwendung geschaffen haben.

Die Grundtechnik beansprucht in den LPG-Werkstätten nur einen Teil der Instandsetzungskapazitäten. Die übrige Technik, die operativ oder teilinstand gesetzt wird, benötigt den größeren Aufwand. Auch für diese Technik werden nach den gleichen Organisationsformen und mit den gleichen Verfahren wie für die Grundtechnik Einzelteile in den Ebenen 1 und 2 Instand gesetzt. Bisher gibt es dafür kaum Technologien, und eine Abrechnung erfolgt ebenfalls nicht oder nur unbedeutend.

Da die Effektivität der Instandsetzung in LPG-Werkstätten unter dem Gesichtspunkt einer besseren Nutzung aller Instandsetzungskapazitäten im Rahmen des einheitlichen Instandhaltungsplans zunehmend an Bedeutung gewinnt, gibt es Überlegungen, die Erzeugnisgruppe „Instandsetzung der Grundtechnik“ umzuprofilieren.

Als Erzeugnisgruppe „Teilinstandsetzung in LPG- und KfL-Werkstätten“ würden dann alle Instandsetzungsprobleme in diesen Werkstätten Gegenstand der Erzeugnisgruppenarbeit. Um diese enorme Typenvielfalt bearbeiten zu können, ist es erforderlich, daß die spezialisierten Erzeugnisgruppen weiterhin die Verantwortung für diesen Bereich tragen und die Erzeugnisgruppe „Teilinstandsetzung in LPG- und KfL-Werkstätten“ die Lösung bestehender Probleme organisiert. Unter dieser Voraussetzung wäre es auch möglich, die Frage der gesamten Einzelteilinstandsetzung in LPG-Werkstätten aufzugreifen, um Verbesserungen in Sortimenten, in der Instandsetzungsqualität und in der Abrechnung zu erreichen.

A 5762

## Verbesserung des Verschleißverhaltens bei der Oberflächenveredelung durch Laser

Dozent Dr. sc. techn. A. Uelze, KDT/Dipl.-Ing. P. Gnauk  
Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ Dresden, Sektion Fahrzeugtechnik

### 1. Einleitung

In der DDR werden längsgeströimte CO<sub>2</sub>-Laser mit Nominalleistungen von 400 und 800 W sowie quergeströimte CO<sub>2</sub>-Laser im Leistungsbereich bis etwa 5 kW gebaut. Damit ist die technische Basis für eine breit gefächerte industrielle Anwendung geschaffen worden.

Lasersysteme sind jedoch noch immer vergleichsweise teure Fertigungseinrichtungen. Ihr Einsatz in der Produktion erfordert eine gründliche Kostenanalyse, und sie verlangen aufgrund ihrer Spezifik eine hohe Präzision bei der Einhaltung technologischer Parameter. Als Vorzüge des Lasereinsatzes haben sich in jedem Fall die Steuerbarkeit der Intensität auf einer örtlich exakt begrenzten Fläche, die Möglichkeiten der weiträumigen Strahlführung und der Strahlmanipulation sowie das Fehlen mechanischer Einwirkungen auf die Bearbeitungszone in dem für die Oberflächenveredelung nutzbaren Intensitätsbereich erwiesen.

Im Bild 1 ist ein einfaches Schema der Laserbehandlung dargestellt. Der Laserstrahl wird mit Hilfe einer Linse oder eines Spiegelsystems so fokussiert bzw. defokussiert, daß die Strahlleistung mit definierter Intensität auf das Werkstück einwirkt. Die Werkstoffoberfläche absorbiert die Strahlung und wandelt sie in Wärme um. Infolge der endlichen Wärmeleitung des Werkstoffs entsteht dabei ein Wärmestau, der für technologische Operationen nutzbar ist.

### 2. Ausgewählte Verfahren der Laser-oberflächenveredelung

#### 2.1. Festphasenhärten

Beim Laserhärten wird infolge extrem kurzer Aufheiz- und Abkühlzeiten eine Härtespur

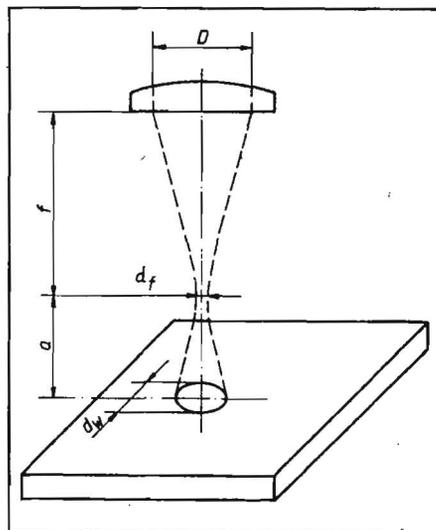
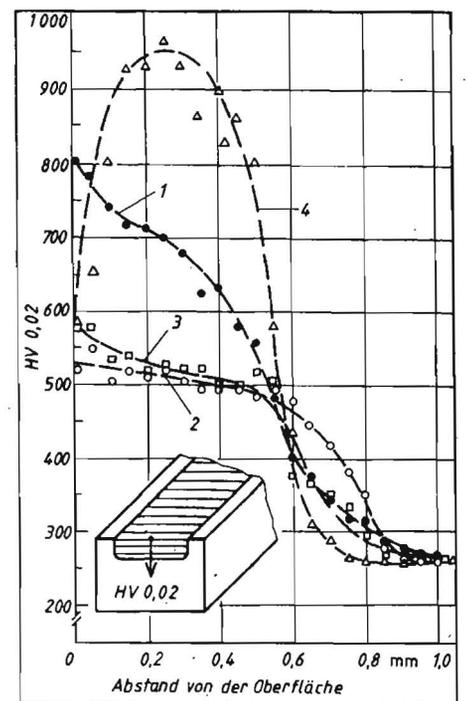


Bild 1. Schema einer einfachen Laserstrahlfokussierung zur Oberflächenveredelung; D Durchmesser des freilaufenden Laserstrahls,  $d_f$  Durchmesser in der Fokalebene, f Brennweite der Linse des Spiegels, a Defokussierung (Fokusabstand),  $d_w$  Wirkdurchmesser der Wärmequelle am Werkstück

Bild 2. Mikrohärteverlauf im Werkstoff C45 nach unterschiedlichen Härteverfahren; 1 Elektronenstrahlhärten (Spurbreite 4,6 mm), 2 Elektronenstrahlhärten (Spurbreite 18,4 mm), 3 Induktionshärten, 4 Laserhärten

begrenzter Tiefe und Breite als Festumwandlungszone erzeugt. Mit Hilfe einer hochfrequenten Oszillation des Laserstrahls senkrecht zur Vorschubrichtung kann ein nahezu rechteckiger Querschnitt der Härtespur erreicht werden [1]. Durch diese Form der Strahlmanipulation erhöht sich die Flächenleistung erheblich. Wesentlich für das Verschleißverhalten ist dabei die Verringerung der Menge angelassenen Gefüges, das bei der Spurüberlappung entsteht.



Untersuchungen zu ausgewählten Eigenschaften von solchen behandelten Oberflächen, besonders deren Verschleißverhalten, sind u. a. an der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ Dresden durchgeführt worden. Im Bild 2 sind die durch Laser-, Elektronenstrahl- und Induktionshärten im Oberflächenbereich eines Werkstoffs C45 erzielten Härten dargestellt. Für die Strahltechnologie zeigen die Kurven den Mikrohärteverlauf in der Spurmittle. Der Spurbreite ist so groß gewählt worden, daß ein Überlappen der Spuren, d. h. ein Anlassen umgewandelter Gefügebereiche, nicht erfolgt ist. Die sichtbaren Unterschiede sind sowohl verfahrensspezifisch als auch parameterabhängig zu werten, wobei die vorliegenden Verläufe den jeweils wirksam gewesenen thermischen Zyklus widerspiegeln. Die Unterschiede beim Elektronenstrahlhärten mit verschiedenen Spurbreiten unterstreichen die Beeinflussbarkeit des Härteprofils durch die Parameterwahl.

Für die Praxis ist die Härte jedoch nicht der qualitätsbestimmende Parameter. Vielmehr ist dies die Verschleißfestigkeit unter bestimmten Beanspruchungsbedingungen. Zu ihrer Ermittlung sind die Proben einer gleichenden Untersuchung auf der Basis des Schmier-Gleitverschleißes unterzogen worden. Dazu wurde ein Prüfstand genutzt, der eine definierte Einstellung von Flächenbelastung, Ölstrom und Drehzahl gestattet (Bild 3). Der Verschleiß wurde als Masseverlust der Probenkörper gemessen. Die Ergebnisse der Untersuchung sind im Bild 4 zusammengefaßt. Beim Elektronenstrahlhärten sind unterschiedliche Spurbreiten verwendet worden. Die mit der größeren Spurbreite behandelten Proben wurden dabei ungeschliffen und geschliffen dem Verschleißtest zugeführt. In der Darstellung sind deutlich die Phasen des Einlaufverschleißes und des linearen Verschleißverhaltens zu erkennen. Die Höhe des ermittelten Masseverlustes korreliert mit der im Bild 2 dargestellten Oberflächenhärte. Die lasergehärten Proben weisen die geringste Verschleißintensität und einen kaum wahrnehmbaren Einlaufverschleiß auf. Von besonderem Interesse ist, daß die Verschleißwerte induktionsgehärteter Proben annähernd den günstigsten Werten elektronenstrahlgehärteter Proben entsprechen haben. Hinsichtlich eines technologischen Variantenvergleichs muß hierbei die hohe Leistungsfähigkeit von Induktionshärteanlagen berücksichtigt werden. Der wirtschaftliche Einsatz des Laserhärtens mit seiner vergleichsweise geringen Flächenleistung ist u. a. dann möglich, wenn sich Anordnung und Anzahl der Härtespuren der Verschleißbeanspruchung anpassen lassen und mit Hilfe einer Verringerung der zu härtenden Fläche ein höherer Teiledurchsatz möglich wird.

## 2.2. Laserumschmelzen von thermisch gespritzten Schichten

Mit Hilfe des spurweisen Umschmelzens können das Verschleißverhalten und die Haftfestigkeit thermisch gespritzter Schichten verbessert werden. Im Bild 5 sind die geometrischen Verhältnisse nach dem Umschmelzen dargestellt. Von den untersuchten Spritzwerkstoffen auf Eisenbasis war der Werkstoff 110MnCrTi8 besonders für die nachträgliche Laserbehandlung geeignet [2]. Im Bild 6a ist der Verschleiß gespritzter

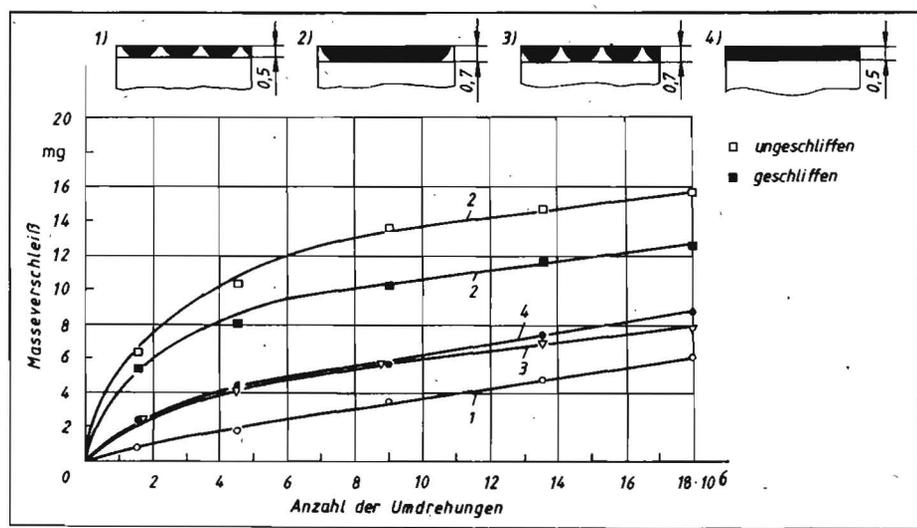


Bild 4. Masseverschleiß unterschiedlich gehärteter Proben; 1) Laserhärten: Leistung 1030 W, Vorschubgeschwindigkeit 25 mm/s, Defokussierung 24 mm, Spurbreite 4 mm; 2) Elektronenstrahlhärten: Flächenenergie 1400 Ws/cm<sup>2</sup>, Temperaturhaltezeit 0,29 s, Vorschubgeschwindigkeit 20 mm/s, Spurbreite 18,4 mm; 3) Elektronenstrahlhärten: Flächenenergie 1200 Ws/cm<sup>2</sup>, Temperaturhaltezeit 0,26 s, Vorschubgeschwindigkeit 20 mm/s, Spurbreite 4,6 mm; 4) Induktionshärten: Anodenspannung 7,2 kV, Anodenstrom 5 A, Hochfrequenzspannung 5 kV, Induktorabstand 2 mm

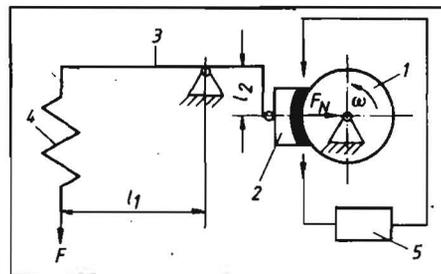


Bild 3. Prüfprinzip der Schmier-Gleitverschleißuntersuchung ( $l_1, l_2 = 10:1$ ); 1 Probe, 2 Gegenkörper, 3 Winkelhebel, 4 Federsystem, 5 Öltaggregat

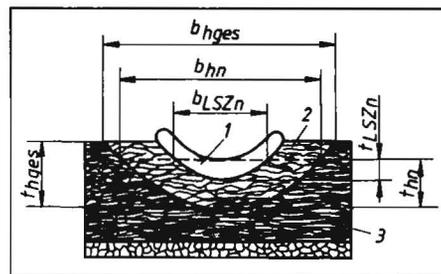


Bild 5. Schema der Spurgeometrie beim Laserumschmelzen thermisch gespritzter Schichten [ $t_{hges}$  Gesamthärtespurtiefe,  $t_{hn}$  nutzbare Härtespurtiefe,  $t_{LSzn}$  nutzbare Tiefe der Laserschmelzzone,  $b_{hges}$  Gesamthärtespurbreite,  $b_{hn}$  nutzbare Härtespurbreite,  $b_{LSzn}$  nutzbare Breite der Laserschmelzzone]; 1 Laserschmelzzone, 2 Festphasenwandlungszone, 3 Grundgefüge

Schichten und der dazugehörigen Lager-schalen als Reibpartner für unterschiedliche Spritzwerkstoffe dargestellt. Die Ergebnisse wurden unter Bedingungen erzielt, wie sie auch für die kompakten Werkstoffe angewendet wurden. Dabei hat sich herausgestellt, daß der Spritzwerkstoff 45CrSi34 bei den gegebenen Beanspruchungsbedingungen zum Fressen neigt und für geschmierte Gleitverschleißpaarungen ausfällt. Werden die gespritzten Schichten einer Laserumschmelzbehandlung unterzogen, bilden sich

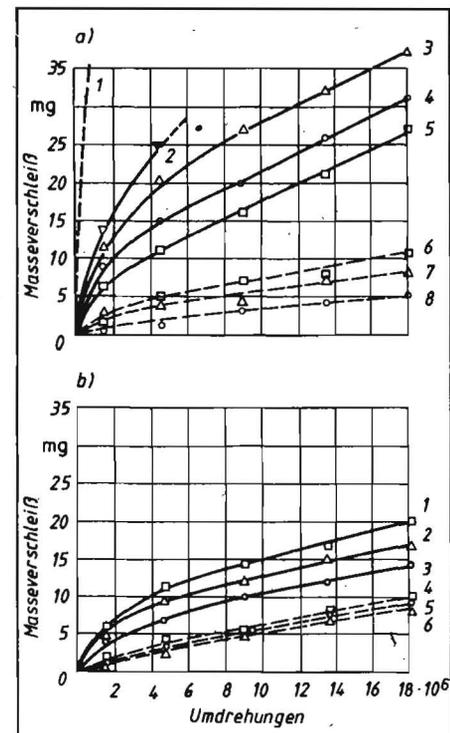


Bild 6. Masseverschleiß a) thermisch gespritzter Schichten (Lagerwerkstoff AlSn20) [2] 1 45CrSi34 (Lager), 2 45CrSi34 (Ring), 3 30MnCrTi5 (Ring), 4 110MnCrTi3 (Ring), 5 10MnSi6 (Ring), 6 10MnSi6 (Lager), 7 30MnCrTi5 (Lager), 8 110MnCrTi8 (Lager) b) lasernachbehandelter Spritzschichten (Laser Feha LGL200, Vorschubgeschwindigkeit 10 mm/s, Defokussierung 1 mm) [2] 1 10MnSi6 (Ring), 2 30MnCrTi5 (Ring), 3 110MnCrTi8 (Ring), 4 10MnSi6 (Lager), 5 110MnCrTi8 (Lager), 6 30MnCrTi5 (Lager)

eine Schmelzspur und eine darumliegende Festphasenumwandlungszone, die zu einem erheblichen Absinken der Verschleißintensität führen (Bild 6b). Die im linearen Bereich ermittelte Verschleißintensität hat sich beim

Werkstoff 110MnCrTi8 um 66%, beim Werkstoff 30MnCrTi5 um 40% und beim Werkstoff 10MnSi6 um 50% verringert. Der Verschleiß der Lagerschalen hat sich bei 2 Werkstoffpaarungen geringfügig erhöht [2].

Eine vergleichende Untersuchung laser- und elektronenstrahlungsgeschmolzener Spritzschichten aus Werkstoff 110MnCrTi8 ergab in jedem Fall eine Verringerung der Verschleißintensität (Bild 7). Mit Hilfe einer zweimaligen Elektronenstrahlbehandlung, d. h. einem Härten des bereits umgeschmolzenen Gefüges, hat sich der Verschleiß gegenüber den einfach behandelten Proben nochmals verringert. Der geringste Verschleiß ist bei den durch Laser umgeschmolzenen Schichten erzielt worden. Als Ursachen sind ein scharfer thermischer Zyklus bei der Laserbehandlung und eine Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Schmelze beim Elektronenstrahlungsmelzen zu nennen.

Ein weiterer Vorzug des Laserumschmelzens besteht in einem Anwachsen der Haftscherfestigkeit, das abhängig von den technologischen Parametern zwischen 15% und 47% nachgewiesen worden ist. Die erreichbare Flächenleistung steigt dabei gegenüber der eingesetzten Laserleistung progressiv. Sie hat für 1 kW 0,22 m<sup>2</sup>/h betragen und kann bei einer Strahlleistung von 2 kW auf etwa 0,6 m<sup>2</sup>/h erhöht werden [2].

### 2.3. Laserauftragschweißen

Beim Laserauftragschweißen wird in die Wirkzone des Laserstrahls ein Zusatzwerkstoff eingebracht und geschmolzen. Die Methoden der Bereitstellung des Zusatzwerkstoffs sind vielfältig (z. B. vorheriges Auftragen von Pasten oder kontinuierliches Zuführen von Bändern oder Drähten). Die u. a. energetisch optimale Variante besteht im Einstreuen pulverförmiger Werkstoffe. Hierbei wird parameterabhängig ein Wärmewirkungsgrad zwischen 0,5 und 0,7 erreicht. Ein solcher Wert ist beachtlich, da im Fall des Laserauftragschweißens der Wärmewirkungsgrad annähernd dem Absorptionskoeffizienten entspricht [3].

Werden pulverförmige Zusatzwerkstoffe verwendet, so können auch heterogene Legierungen mit bis zu 50% (Volumenanteil) Hartstoffen (WC, TiC u. ä.) aufgeschweißt werden. Die Hartstoffteilchen gehen dabei nahezu ungeschmolzen in den Schichtverbund über. Solche hartmetallähnlichen Gefüge weisen eine hervorragende Verschleißfestigkeit bei abrasiver Beanspruchung auf [3].

Ein weiterer Vorzug des Auftragschweißens mit Laser ist der äußerst geringe Vermischungsgrad von Schicht- und Grundwerkstoff. Bei einer optimierten Wärmeleitung kann dieser trotz einer Schmelzverbindung bis an die Nachweisgrenze reduziert werden. Der Vermischungsgrad ist unter anderem Ausdruck dafür, daß das Laserauftragschweißen Eigenschaften des Lötens und des Schweißens vereint [3]. Die Haftfestigkeit solcher Schichten ist außerordentlich hoch. Bei Haftzuguntersuchungen ist die Werkstofftrennung überwiegend in der Schicht erfolgt. Für NiCrBSi-Legierungen sind dabei ertragbare Flächenbelastungen zwischen 260 und 360 MPa, für eine Co-Hartlegierung 508 MPa gemessen worden [3]. Einen Eindruck von der tribologischen Belastbarkeit der auf diese Weise erzeugten Schichten vermittelt die Verschleißerprobung von ge-

Bild 7 Masseverschleiß elektronenstrahl- und laserumgeschmolzener Spritzschichten aus 110MnCrTi8; a) Elektronenstrahlungsmelzen (High Speed Scan Technik, Flächenenergie 2400 Ws/cm<sup>2</sup>, Vorschubgeschwindigkeit 10 mm/s, Spurbreite 18,4 mm), b) Laserumgeschmelzen (Leistung 1040 W, Vorschubgeschwindigkeit 25 mm/s, Defokussierung 11 mm, Spurbstand 3 mm) 1 unbehandelte Spritzschicht, 2 elektronenstrahlungsgeschmolzene Spritzschicht, 3 elektronenstrahlungsgeschmolzene Spritzschicht (nachgehärtet), 4 laserumgeschmolzene Spritzschicht

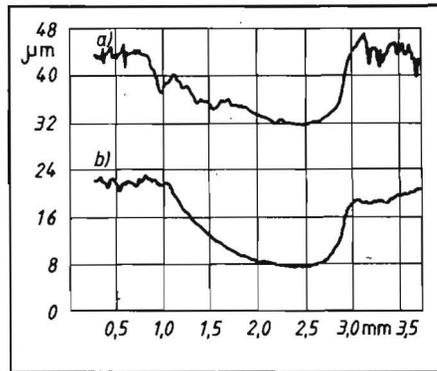
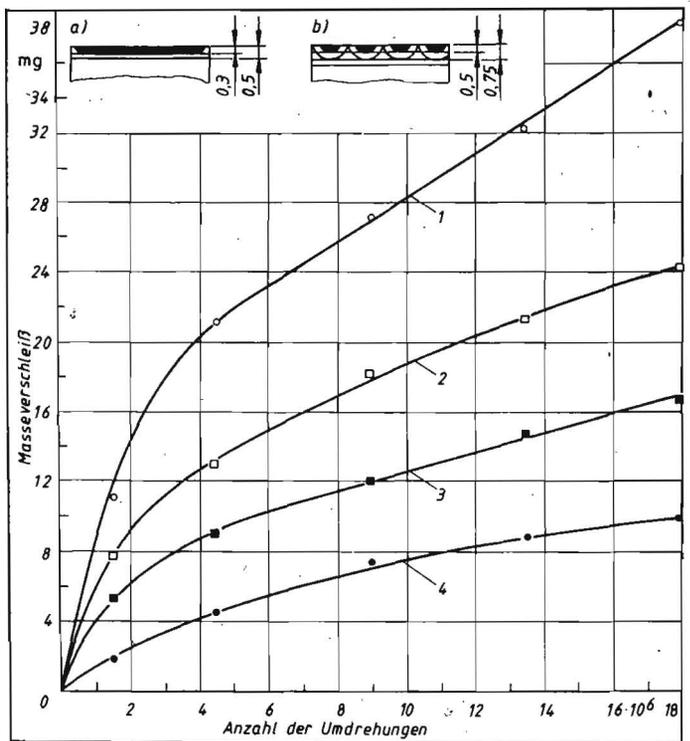


Bild 8. Verschleißprofile von Ventildichtflächen nach der Erprobung [3]; a) regeneriertes Ventil (Ausgangsrauhentiefe 5,3 µm) b) neues Ventil (Ausgangsrauhentiefe 2,7 µm)

panzerten Auslaßventilen, Nocken und verschiedenen Messern zum Schneiden von Plastmaterialien. Auslaßventile eines LKW-Dieselmotors (LIAZ) sind mit der NiCrBSi-Legierung MPA551 als Regenerierungsvariante aufgeschweißt und nachfolgend einem vergleichenden Verschleißtest mit Neuteilen in einem Prüfmotor unterzogen worden. Die Prüfdauer betrug 300 h. Mit Hilfe periodischer Belastungszyklen ist ein Fahrtrieb des Motors simuliert worden. Das Bild 8 zeigt repräsentative Oberflächenprofile eines neuen und eines regenerierten Ventils. Bei jeweils vier um 90°C versetzten Tastschnittmessungen je Ventil haben die mit der MPA551 aufgeschweißten Dichtflächen geringfügig flachere Verschleißmarken aufgewiesen. Risse oder Schichtablösungen als Folge der Verschleißbeanspruchung sind in keinem Fall beobachtet worden [3].

### 3. Zusammenfassung

Die dargestellten Möglichkeiten der Laseroberflächenveredelung haben bezüglich einer Fertigbearbeitung der Bauteile unterschiedliche technologische Konsequenzen. Bei Präzisionsbauteilen muß nach dem Festphasen-

härten eine neue Oberfläche durch Schleifen hergestellt werden. Das ist einerseits notwendig, um Verbrennungsprodukte zu beseitigen. Andererseits haben die Umwandlungsvorgänge eine Erhöhung der Oberflächenrauigkeit zur Folge, die durch das Schleifen zu entfernen ist.

Für umgeschmolzene Spritzschichten ist die gleiche Schleiftechnik wie zur Bearbeitung unbehaltener Schichten einsetzbar.

Die Bearbeitbarkeit auftragsgeschweißter Schichten richtet sich nach dem jeweiligen Werkstoffsystem. Die Ni- und Co-Hartlegierungen konnten bei eng toleriertem Härten um 500 HV 0,05 spanend von Hartmetallwerkzeugen mit geometrisch bestimmter Schneide bearbeitet werden (Drehen und Fräsen) [3]. Größere Härten, besonders aber heterogene Auftragwerkstoffe erfordern beim Schleifen superharte Schneidstoffe.

Während das Festphasenhärten und das Umschmelzen von Spritzschichten mit relativ geringen Laserleistungen durchführbar sind (> 200 W), ist für das Auftragschweißen eine Mindestleistung von 1 kW notwendig. Zur Gewährleistung wirtschaftlicher Effektivität sollte in der Praxis bei allen Technologien eine Laserleistung von 2 kW nicht unterschritten werden.

### Literatur

- [1] Völlmar, S.; Pompe, W.; Junge, H.: Homogene Laserstrahlhärtung mittels hochfrequenter Strahloszillation. Neue Hütte, Berlin 31(1986)11, S. 414-418.
- [2] Nowotny, S.: Veredeln thermisch gespritzter Schichten durch Nachbehandlung mittels CO<sub>2</sub>-Laser. Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ Dresden, Dissertation 1986.
- [3] Gassmann, R.: Technologische Untersuchungen zum Laserauftragschweißen verschleißbeanspruchter Bauteile. Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ Dresden, Forschungsbericht 1989 (unveröffentlicht). A 5751