

# Auswahlsystem für das Auftragen von Verschleißschicht

Dr.-Ing. E. Kretzschmar, KDT, Zentralinstitut für Schweißtechnik der DDR Halle (Saale)

## 1. Aufgabenstellung

Die Anzahl der Beschichtungswerkstoffe und -verfahren erhöht sich ständig. Für das Auftragschweißen gibt es z. Z. über 90 Legierungen und 75 Methoden. Für den Technologen und Konstrukteur ist es sehr schwer, entsprechend dem jeweiligen Fall den richtigen Beschichtungswerkstoff und das günstige Beschichtungsverfahren zu ermitteln. Daher wurde ein Auswahlssystem erarbeitet, in dem die Untersuchungsergebnisse des Zentralinstituts für Schweißtechnik (ZIS), die gesammelten praktischen Erfahrungen und die Auswertung der internationalen Veröffentlichungen berücksichtigt wurden.

## 2. Lösung

Das o. g. Auswahlssystem wurde vom Autor im ZIS Halle erarbeitet [1]. Dabei wurde zugrunde gelegt, daß von der Werkstück-Oberflächenbeanspruchung ausgegangen wird. Es wurden Oberflächenbeanspruchungsfälle gebildet, die bei den üblichen auf Abnutzung beanspruchten Werkstücken vorliegen. Die Verschleißerscheinungsformen nach Fleischer [2] erwiesen sich für eine Zuordnung von Beschichtungswerkstoffen als unzuweckmäßig. Sie treten in der Praxis selten einzeln auf, sondern meist wirken mehrere Verschleißarten und Beanspruchungen, wie Korrosion, Temperatur und Temperaturwechsel, gleichzeitig. Bei den aufgestellten 54 Oberflächenbeanspruchungsfällen wurden die Bezeichnungen entsprechend Standard TGL 050320 gebildet, wobei allerdings noch die Angabe der zusätzlichen Beanspruchung, die eine Abnutzung verursacht, erfolgte. Abnutzung ist der Oberbegriff für die unerwünschte Oberflächenveränderung, verursacht durch Verschleiß, Korrosion, thermische Einwirkung und zusammengesetzte Beanspruchungen. Erfasst wurden bei der Einteilung auch die wichtigen Zwischenstoffe und die Belastungen.

Mit Zwischenstoffen und Belastungen wurden Gruppen und dadurch verschiedene Oberflächenbeanspruchungsfälle gebildet. Das erschien notwendig, damit die jeweils geeigneten Zusatzwerkstoffe besser zugeordnet werden können. Im Bild 1 sind die Grundelemente zum Kennzeichnen des Verschleißes dargestellt.

### 2.1. Zuordnung der Zusatzwerkstoffe zu den Oberflächenbeanspruchungsfällen

Nach Auswertung der Labor-Verschleißuntersuchungen im ZIS, der Betriebsuntersuchungen an Bauteilen und der praktischen Erfahrungen nach 25jähriger Beratungstätigkeit auf dem Gebiet des Oberflächenschutzes erfolgte eine Zuordnung der in der DDR verwendeten Legierungen. Diese Übersicht in Tafelform — enthalten in [1, 3, 4] — wird durch weitere Tafeln ergänzt. In diesen sind nach einer umfangreichen Literaturlauswertung die im Ausland verwendeten günstigen Zusatzwerkstoffe den jeweiligen Oberflächenbeanspruchungsfällen zugeordnet. Diese Ergänzung erschien erforderlich, damit bei schwierigen Fällen und nicht ausreichenden eigenen Zusatzwerkstoffen auf ausländische Erfahrungen zurückgegriffen werden kann.

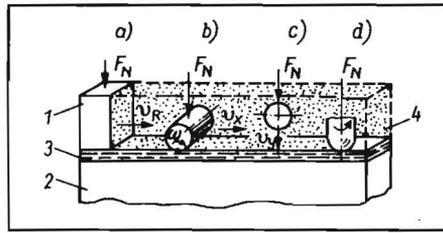
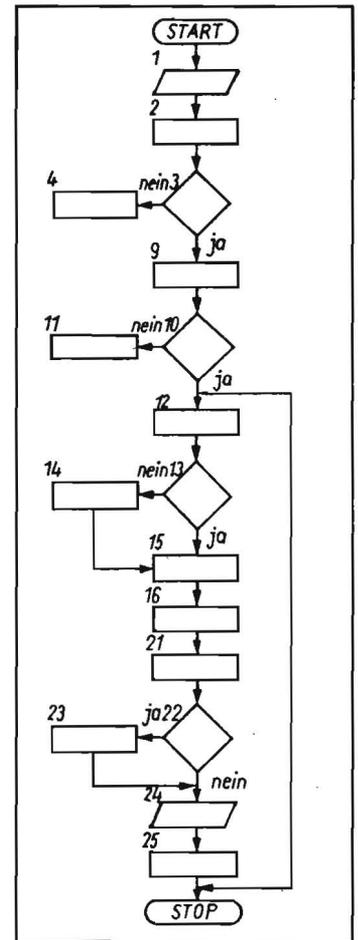


Bild 1. Anfangsbedingungen für Verschleiß [2];

a) Gleiten, b) Rollen, c) Stoßen, d) Bohren; 1 Reibkörper 1, 2 Reibkörper 2, 3 Zwischenstoff (z. B. Schmierstoff), 4 Umgebungsmedium;  $F_N$  Normalbelastung,  $v_R$  Reibungsgeschwindigkeit,  $v_x$  Bewegungsgeschwindigkeit in x-Richtung,  $v_y$  Bewegungsgeschwindigkeit in y-Richtung,  $\omega$  Winkelgeschwindigkeit

Bild 2. Arbeitsschritte für das Auftragschweißen eines Werkstücks;

- 1 Aufgabe
- 2 Bauteilanalyse
- 3 Verzug des Werkstücks möglich?
- 4 bis 8 Auswählen anderer Verfahren, z. B. thermisches Beschichten
- 9 Prüfen der Schweißbarkeit des Grundwerkstoffs
- 10 Darf aufgeschweißt werden?
- 11 Wählen von anderen Verfahren (s. 4 bis 8)
- 12 Analysieren der Oberflächenbeanspruchung und Bestimmen der Auftragschweißlegierungsgruppe
- 13 Bestimmen des Zusatzwerkstoffs nach ökonomisch-technischen Gesichtspunkten, ist ausgewählter Zusatzwerkstoff geeignet?
- 14 evtl. geeignete wählen
- 15 Welcher Mischungsgrad von Auftragschweißwerkstoff und Grundwerkstoff kann zugelassen werden, ist eine Zwischenschicht erforderlich?
- 16 bis 20 Wählen des Auftragschweißverfahrens nach Zusatzwerkstoff, Werkstückmasse, Werkstückform und -fläche, erforderlicher Mindestdicke und anderen Kriterien
- 21 Überprüfen der gewählten Legierung und des Verfahrens hinsichtlich der Nutzungsdauerangaben bei entsprechenden



- Legierungen des Auslands für den jeweiligen Oberflächenbeanspruchungsfall
- 22 Liegen neuere Angaben in der Literatur vor?
- 23 Neue Legierung erproben
- 24 Auftragschweißtechnologie festlegen
- 25 Ermitteln der Nutzungsdauer bei neuen Lösungen und Einarbeiten in das ABZV-System des ZIS

Bemerkung: Die Auswahl erfolgt zu den Arbeitsschritten 4, 12, 13, 15, 16 und 21 nach Tafeln des ABZV-Systems.

leistung, Werkstückform (geometrische Form) und -fläche bzw. -durchmesser sowie mögliche minimale Schichtdicke, wurden in einer weiteren Tafel die jeweils geeigneten Verfahren zugeordnet.

## 3. Arbeiten mit dem Auswahlssystem

Das Auftragschweiß-Beanspruchungs-Zusatzwerkstoff-Verfahrens-System (ABZV-System) wurde für das Herstellen von metallischen Oberflächenschutzschichten mit thermischen Auftragverfahren unter Einsatz von Zusatzwerkstoffen erarbeitet. Damit steht den Technologen und Konstrukteuren eine Entscheidungshilfe zur Verfügung, durch die schematische, unproduktive Such- und Versuchsarbeiten eingespart werden sollen. Ingenieurtechnisches, schöpferisches Mitdenken ist bei den Anwendern des Systems erforderlich. Das ABZV-System enthält 25 Arbeitsschritte und als Wissenspeicher 15 umfangreiche Tafeln mit 119 Skizzen. Die Tafeln wurden wegen der

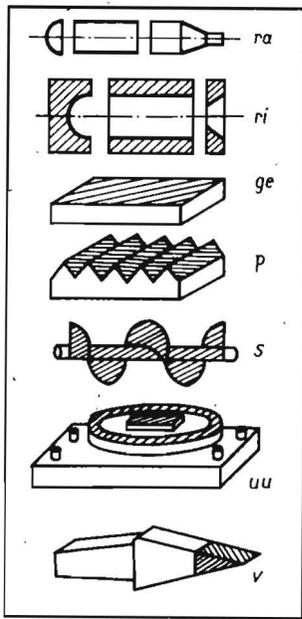
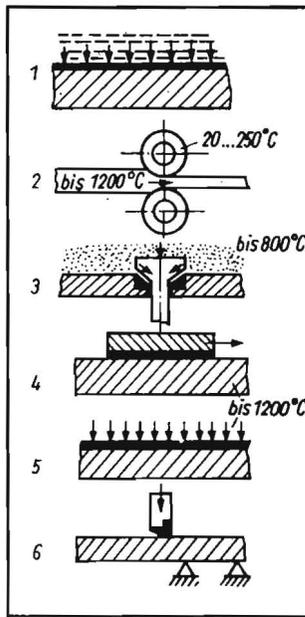


Bild 3  
Aufgliederung der Werkstücke nach der geometrischen Form der aufzuschweißenden Fläche;

- ra rotationssymmetrische Außenauftragung
- ri rotationssymmetrische Innenauftragung
- ge gerade, ebene Fläche
- p gleichmäßig profilierte Fläche
- s schraubenförmig profilierte Fläche
- uu unregelmäßige unebene Fläche
- v Volumenauftragung erforderlich

Bild 4  
Sinnbilder für sechs ausgewählte Oberflächenbeanspruchungsfälle (s. Tafel 1) ▶



und der erforderlichen Mindestdicke einzuschätzen. Diese Kriterien werden für die Verfahrensauswahl benötigt. Hinsichtlich der aufzutragenden Fläche wird z. B. in fünf Abstufungen zwischen Stufe g mit  $>0,5\text{m}^2$  ( $\Delta\phi > 200\text{mm}$ ) und Stufe sk mit  $<0,01\text{m}^2$  ( $\Delta\phi < 30\text{mm}$ ) eingeteilt. Die Werkstückmasse wird in große ( $>10\text{kg}$ ), mittlere (1 bis  $10\text{kg}$ ), kleine ( $\leq 1\text{kg}$ ) und beliebige Masse eingeteilt. Die Einteilung der erforderlichen minimalen Schichtdicke erfolgt in die Stufen  $<1\text{mm}$ , 1 bis  $3\text{mm}$ , 3 bis  $6\text{mm}$  und  $>6\text{mm}$ .

Wichtig sind bei der Bauteilanalyse außerdem noch die Anzahl der beschichteten gleichen Teile je Zeiteinheit und die Frage der anschließenden Bearbeitung. Weiterhin ist zu ermitteln, ob das Werkstück statisch oder dynamisch beansprucht wird. Insgesamt sind sehr viele Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Diese wurden in der ZIS-KDT-Richtlinie R 5.19-81 erfaßt [7]. Die Anwendung dieser Richtlinie ist bei der Rationalisierung des Beschichtens von wichtigen Teilen zu empfehlen. Die Problemerkennungslisten wurden für eine spätere vollständige Eingabe in den Rechner aufgestellt. Mit den die Oberflächenbeanspruchung betreffenden Eingaben kann mit dem Kleinrechner K 1002 des ZIS der jeweilige Fall schnell ermittelt werden. Die 2jährige Arbeit mit dem Rechner zeigte, daß von den Betrieben dem ZIS schwierige Probleme zur Lösung vorgelegt werden. Der Rechner weist auch nach, wenn der betreffende Fall noch nicht eingespeichert wurde. Dadurch konnten oft Forschungsprobleme erkannt werden.

Beim Arbeitsschritt 3 (Verzug des Werkstücks möglich?) ist zu überdenken, ob durch Wärmeeinwirkung Schäden am Bauteil entstehen können. Verzug ist beim Auftragschweißen nur durch Richten auszugleichen. Führen Wärmeeinwirkungen zu Schäden, dann sind die im ABZV-System angeführten anderen Verfahren zum Beschichten und Oberflächenveredeln auf Eignung zu untersuchen. Dieser Abschnitt soll bei einer im Jahr 1982 geplanten Überarbeitung des ABZV-Systems erweitert werden. Dazu gehört die Beschaffung genauer Angaben für die einzelnen Verfahren. Für den Arbeitsschritt 9 (Prüfen der Schweißbarkeit des Grundwerkstoffs) sind im System Tafeln über ungeeignete, bedingt schweißbare Werkstoffe sowie über Vorwärmtemperaturen in Abhängigkeit vom Werkstückquerschnitt und Wärmeeintrag (Elektrorendurchmesser) enthalten. Das Kohlenstoffäquivalent  $C_A$  muß in einer Zwischenrechnung nach der chemischen Zusammensetzung des Grundwerkstoffs bestimmt werden.

Das Analysieren der Oberflächenbeanspruchung und das Bestimmen des Zusatzwerkstoffs (Arbeitsschritte 12 und 13) werden mit einer ausführlichen Tafel vorgenommen. Ein stark gekürzter Auszug mit schematischer Darstellung des Falls ist im Bild 4 wiedergegeben. Für jeden Oberflächenbeanspruchungsfall werden geeignete Legierungsgruppen und Zusatzwerkstoffe angeführt (Tafel 1). In Tafel 2 werden z. B. für den Oberflächenbeanspruchungsfall 3 die geeigneten Zusatzwerkstoffe nach Form, Kosten, Nutzungsdauer und Bearbeitbarkeit der Auftragschweißschicht, erforderlichem Vorwärmen und Beschaffbarkeit des Zusatzwerkstoffs eingeteilt. Der Ingenieur hat für sein betreffendes Werkstück die Auswertung vorzunehmen. Nach der technischen Entscheidung über den Zusatzwerkstoff hat eine ökonomische Überprüfung zu erfolgen. Es ist zu klären, ob ein Auftragen aus ökonomischen Gesichtspunkten

Übersichtlichkeit auf das Format A4 reproduziert. Zum Aufstellen des Systems wurden insgesamt 225 Arbeiten ausgewertet. Ein Auszug aus dem Manuskript des ABZV-Systems ist in [4] enthalten.

Im Bild 2 sind die erforderlichen Arbeits-

schritte für das Auftragen einer Schutzschicht als gekürzter Ablaufplan dargestellt. Beim Arbeitsschritt 2 (Bauteilanalyse) ist das Werkstück vor allem hinsichtlich der geometrischen Form (Bild 3), der aufzutragenden Fläche (bzw. Volumen), der Werkstückmasse

Tafel 1. Auftragschweiß-Legierungsgruppen und -Zusatzwerkstoffe für Oberflächenbeanspruchungsfälle nach Bild 4

Oberflächenbeanspruchungsfall	geeignete Legierungsgruppen	geeignete Zusatzwerkstoffe
1	9  5 (bei Gefahr von Spannungsrisskorrosion)	X 5CrNiNb 25.13, X 5CrNiMoNb 19.11 X 5CrNiNb 20.10, X 12CrNi 22.12 X 8CrTi 18 X 12CrNi 25.4 (oder entsprechende Elektroden)
2	3  (20) (8)	X 45WCrV 8.3, Ferrodur Cr 3 20 WCrV 17.10, X 35CrMoCoV 3.3.2-SB CoCrWBC — FD X 12CrNiMn 19.9
3	20 (Betriebstemperatur bis 750 °C) 22 (Betriebstemperatur bis 575 °C)  (5) (Betriebstemperatur bis 575 °C)	EB 20/55 czt, CoCrNiWBC-Leg.  NiCr18B3Si4-Leg. (MPA 551, VUZ-K 55) NiCr10B2Si4-Leg. (MPA 552, VUZ-K 40) X 8CrTi 18, X 12CrNi 25.4
4	4 20 10 (a) 10 (b) 3 *	EB(R) 4/60 (65 w) s ERR(B) 20/40 czt EB 10/40 (60 w) rs EB 10/65 rz 20 WCrV 17.10, Ferrodur Cr 3 EB(R) 3/50 (60 w) ts X 35CrMoCoV 3.3.2.1-SB
5	5 (Betriebstemperatur bis 1150 °C) 9  (bis 950 °C) (bis 800 °C) (bis 700 °C)	X 8Cr 30 (geeignet für SO <sub>2</sub> -haltige Atmosphäre) X 12CrNi 26.20, EB(R)/CrNiNb 23.12 X 5CrNiNb 20.10 X 5CrNiMoNb 19.11 X 5CrNiNb 25.13 (oder entsprechende Elektroden)
6	10 (a)  20 4 6	EB 10/40 (60 w) EB 10/40 (60 w) rsz EB 20/55 czt EB 4/60 (65 w) EB 6/55, 45 CrSi 34

befürwortet werden kann. Das Auftragen ist ökonomisch günstig, wenn folgende Bedingung erfüllt wird:

$$\frac{T_A}{T_N} \cdot \frac{K_A}{K_N} \geq 1; \quad (1)$$

$T_A$  Nutzungsdauer des Werkstücks nach dem Auftragschweißen  
 $T_N$  Nutzungsdauer des neuen Teils oder des Vergleichsteils  
 $K_A$  Kosten des Werkstücks nach dem Auftragschweißen  
 $K_N$  Kosten des neuen Teils oder des Vergleichsteils.

Die Nutzungsdauer kann dabei in h, m<sup>3</sup>, km oder Anzahl der angefertigten Teile zugrunde gelegt werden.

Der Arbeitsschritt 15 (Welcher Vermischungsgrad ist zulässig, ist Zwischenschicht erforderlich?) ist nach den Angaben in zwei Tafeln auszuführen. Es sind die Fälle aufgeführt, bei denen Zwischenschichten erforderlich sind.

Für die Auswahl des Auftragschweißverfahrens enthält eine große Tafel im ABZV-System für 54 Verfahren und Varianten 14 Kriterien. Ein Kriterium für die Verfahrensauswahl wird bereits durch die Zusatzwerkstoffauswahl bestimmt. Für weitere Kriterien wurden im Abschn. 2.2. entsprechende Hinweise gegeben.

Die Arbeitsweise mit dem ABZV-System wird nachfolgend am Beispiel „Auftragen einer Schutzschicht auf Förderschnecken“ dargestellt.

#### Arbeitsschritt „Bauteilanalyse“:

Grundwerkstoff X5 CrNiMoNb 19.9, Abnutzung entsteht infolge von Verschleiß durch Feststoffe in Chemikalien, und durch die Chemikalien entsteht Korrosion. Das Werkstück hat eine profilierte Fläche von ≈ 0,4 m<sup>2</sup>. Es ist eine 1 mm dicke Schicht erforderlich, 5 St. mit einer Masse von je 8 kg sind zu beschichten.

#### Arbeitsschritt „Zusatzwerkstoffauswahl nach Bestimmen des Oberflächenbeanspruchungsfalls“:

Im ABZV-System ist die vorliegende Beanspruchung im Fall 51 enthalten. Es kann mit 11 Zusatzwerkstoffen der Legierungsgruppe 22 und evtl. 20 gearbeitet werden. Entscheidend für die Zusatzwerkstoffauswahl ist die hohe Nutzungsdauer der Legierung und deren Verfügbarkeit. Es wurden die NiCr18B3Si4-Legierung MPA 551 und VUZ—K 55 gewählt.

#### Arbeitsschritt „Zwischenschichtauswahl“:

Im System wird in der entsprechenden Tafel für den Zusatz- und Grundwerkstoff keine Zwischenschicht gefordert.

#### Arbeitsschritt „Verfahrensauswahl“:

Nach der Zusatzwerkstoffform (Pulver: 11 Verfahren), der geometrischen Form und der Fläche (profiliert p, 0,4 m<sup>2</sup> ≙ Stufe m — geeignet sind 10 Verfahren), der erforderlichen Schichtdicke (1 mm: 9 Verfahren geeignet) und den Verfahrens- bzw. Anlagenkosten (niedrig: 4 Verfahren gewährleisten dies) erscheinen nur 2 Verfahren viermal als geeignet, nämlich das Flammpulverauftragen und das Flammstrahlen mit nachfolgendem Aufschmelzen der Schicht. Welches von beiden Verfahren nun tatsächlich verwendet werden soll, ist durch weitere Kriterien zu entscheiden.

Tafel 2. Entscheidungshilfe zur Bestimmung der Auftragschweißlegierung für Oberflächenbeanspruchungsfall 3 nach Tafel 1

Nr.	Auftragschweiß-Zusatzwerkstoff-Legierungsgruppe	Form <sup>1)</sup>	Kosten <sup>2)</sup>	Nutzungsdauer <sup>3)</sup>	Bearbeitbarkeit <sup>4)</sup>	Vorwärmern <sup>5)</sup>	Beschaffbarkeit <sup>6)</sup>
20.2	EB 20/55 czt	E	4	1	3	4	1
20.7	CoCr28C1W9B2Ni13 (SF6)	P	4	1	3(4)	4	4(3)
22.1-3.	NiCr18B3Si4 MPA 551 o. VUZ-K 55 o. Borotec 10009	P	4	2	3(4)	4	1
5.2	X 8CrTi 18	D	1	4	1	2	1
5.4	X 12CrNi 25.4	D	2	4	1	2	1

1) E Elektrode, P Pulver, D Draht, FD Fülldraht, SB Sinterband

2) 1 niedrig, 2 mittel, 3 hoch, 4 sehr hoch

3) 1 > 4fach, 2 4- bis 2fach, 3 2- bis 1fach, 4 wie Stahl (Vergleichswerkstoff)

4) 1 Drehen, 2 Drehen mit Elbor R, 3 Schleifen, 4 Schleifen mit Diamantschleifkörper

5) 1 ohne, 2 ≤ 300°C, 3 300 bis 600°C, 4 > 600°C

6) 1 ohne Schwierigkeiten, 4 große Schwierigkeiten

In diesem Fall muß die profilierte Fläche gleichmäßig beschichtet werden. Eine Nacharbeit soll vermieden werden. Es ist also mechanisiert zu beschichten. Dies ist nur durch Aufspritzen mit nachfolgendem Einschmelzen zu erreichen und aus der Tafel „Verfahrensauswahl“ des ABZV-Systems zu ersehen. Der schmale Steg (s. a. Bild 3, s) ist durch Flammpulverauftragen zu beschichten. Beim Arbeitsschritt „Liegen neuere Angaben in der Literatur vor?“ — der Ingenieur ist immer verpflichtet, sich über neue Erkenntnisse auf seinem Gebiet zu informieren — war im Beispielfall ein Patent zu beachten. Ein weiterer Schritt vor dem endgültigen Festlegen der Technologie ist die Wirtschaftlichkeitsrechnung. Diese gibt Auskunft, ob die als technisch günstig ermittelte Technologie tatsächlich auch aus ökonomischen Gründen verwendet werden kann.

Es wird empfohlen, mit dem Kostenvergleichskoeffizienten  $K_{KA}$  in M/St. zu arbeiten:

$$K_{KA} = \frac{K_N}{T_N} - \frac{K_A}{T_A}; \quad (2)$$

$K_N$  Kosten des Neu- oder Vergleichsteils

$K_A$  Kosten des aufgeschweißten Teils

$T_N$  Nutzungsdauer des Neu- oder Vergleichsteils

$T_A$  Nutzungsdauer des aufgeschweißten Teils

$$K_N = K_{NT} + K_{NE} + K_{NP}; \quad (3)$$

$K_{NT}$  Teilkosten

$K_{NE}$  Kosten für den Einbau

$K_{NP}$  Kosten für den Produktionsausfall.

Für die Erfassung der Kosten durch Auftragschweißen  $K_A$  sind folgende Bestandteile zu berücksichtigen:

$$K_A = K_{AT} + K_{AE} + K_{AP} + K_{AL} + K_{AZW} + K_{AB} + K_{AA} + K_{AR} + K_{AM} + K_{AS}; \quad (4)$$

$K_{AL}$  Lohnkosten

$K_{AZW}$  Zusatzwerkstoffkosten

$K_{AB}$  Betriebsstoff- und Energiekosten

$K_{AA}$  Kosten für Abschreibung der Anlage

$K_{AR}$  Reparaturkosten für die Anlage

$K_{AM}$  Bearbeitungskosten für Vor- und Nacharbeit

$K_{AS}$  Kosten für sonstige Arbeiten, wie Glühen und Prüfen.

#### 4. Zusammenfassung

Im Beitrag werden die Gründe für die Erarbeitung eines Auftragschweiß-Oberflächenbeanspruchungs-Zusatzwerkstoff-Verfahrens-Auswahlsystems angeführt.

Durch Vorgabe der Arbeitsschritte wird gewährleistet, daß für die jeweilige Aufgabe (Auftragung einer Schutzschicht auf ein vorliegendes Werkstück) eine exakte Bauteilanalyse erfolgt, der vorliegende Oberflächenbeanspruchungsfall und der dafür geeignete Auftragwerkstoff bestimmt werden. Von der Zusatzwerkstoffform und den Kriterien des Bauteils, wie geometrische Form, aufzutragende Fläche (bzw. zu ersetzendes Volumen), Werkstückmasse, erforderliche Schichtdicke, Anzahl der zu beschichtenden Werkstücke, wird das günstigste Auftragsverfahren ermittelt. Die Arbeitsweise mit dem ABZV-System des ZIS Halle wird an Beispielen und mit Auszügen aus Tafeln des Systems erläutert.

#### Literatur

- [1] Kretzschmar, E.: Beitrag zum Rationalisieren des Auftragschweißens — Auswahl von Auftragschweißlegierungen und -verfahren. TU Dresden, Dissertation 1977 (unveröffentlicht).
- [2] Fleischer, G.: Ergebnisse auf dem Gebiet Reibung, Schmierung und Verschleiß. Schmierungstechnik 9 (1978) H. 8, S. 228—234.
- [3] Kretzschmar, E.: Auftragschweiß-Beanspruchungs-Zusatzwerkstoff-Verfahrens-System (ABZV). ZIS Halle, Manuskript 1977.
- [4] Kretzschmar, E.: Oberflächenschutz durch Thermisches Auftragen — Ausbildungsunterlage. Techn.-wiss. Abhandlung des ZIS Halle Nr. 119, Halle 1979.
- [5] Richert, M.: Optimale Daten für Auftragschweißverfahren. TH „Otto von Guericke“ Magdeburg, Sektion Technologie der metallverarbeitenden Industrie, Ingenieurbeleg 1973 (unveröffentlicht).
- [6] Winkler, B.: Auftragschweißverfahrenskennwerte, Tafel 8 des ABZV-Systems. VEB Bandstahlkombinat „Hermann Matern“ Eisenhüttenstadt, 1977.
- [7] Kretzschmar, E.: Problemerkennungsliste für die Beschichtung mit thermischen Auftragsverfahren auf Abnutzung beanspruchter Bauteile. Schweißtechnik 31 (1981) H. 2, S. 72—75. A 3047