

# Wissensbasiertes System zum Auftragschweißen

P. Seyffarth, H. Rudert, A. Scharff, Rostock

## 1. Einleitung

In zahlreichen Industriezweigen kommt es durch den Einsatz bewegter Bauteile im Zusammenhang mit dem umgebenden Medium und den konkreten Einsatzbedingungen zu den unterschiedlichsten Verschleißerscheinungen, insbesondere zu Materialverlusten durch abrasiven Verschleiß.

Die grundsätzlichen Reibungszustände sind dabei die Flüssigkeits-, Misch- und Festkörperreibung. Da diese jedoch auch kombiniert auftreten können und da die Art des reibungsbedingten Verschleißes ganz wesentlich von der Art der in Kontakt stehenden Oberflächen, von der Belastungsgeschwindigkeit, der Temperatur und dem Medium abhängig ist, in dem die tribophysikalischen Vorgänge ablaufen, sind eine Vielzahl unterschiedlicher Fälle zu beachten.

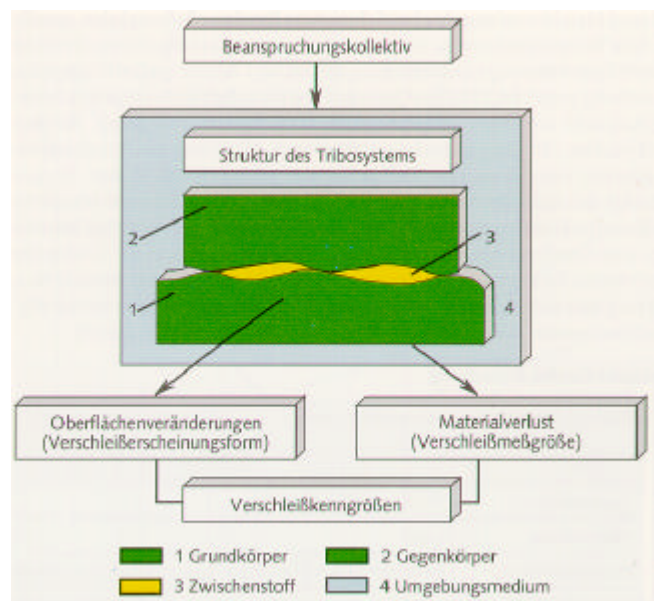
Für einen gezielten Oberflächenschutz gegen Verschleißerscheinungen eignen sich neben anderen Beschichtungsverfahren vor allem Schweiß- und thermische Spritzverfahren.

Bevor jedoch ein Verschleißschutz durch Beschichten vorgenommen wird, müssen die einwirkenden Verschleißmechanismen bekannt sein. Ist das Tribo- bzw. Verschleißsystem eingehend analysiert worden, können schweißtechnische Maßnahmen zur Minimierung der Abnutzung eingeleitet werden. Dabei ist immer zu berücksichtigen, daß der Verschleiß keine werkstoff-, sondern eine systembedingte Eigenschaft darstellt.

Der Umfang der am Markt erhältlichen Schweißzusätze zum Auftragschweißen ist wegen der Vielfalt mechanisch-tribologischer, thermischer und korrosiver Oberflächenbeanspruchungsarten sehr groß. Dadurch ist die Entwicklung optimierter Schweißtechnologien stark erschwert und bleibt fast ausschließlich qualifizierten Spezialisten vorbehalten. Solche sind aber nicht in jedem Fall verfügbar. Rationalisierungen und Personalreduzierungen bewirken, daß heute in vielen Unternehmen von den Ingenieuren ein breites Aufgabenspektrum wahrgenommen werden muß. Auch bei größeren Stahlverarbeitern ist oft nur ein Schweißfachingenieur beschäftigt, der von der Planung, Konstruktion und Berechnung, Fertigung und Kontrolle bis zur Schweißzusatzauswahl alle auftretenden Fragen lösen muß.

Aufträge über Auftragschweißarbeiten sind aber nicht permanent vorhanden. Technologische Erfahrungen gehen zwischenzeitlich

verloren. Gelegentlich kommt es auch zum Wechsel des Fachpersonals. Nicht selten handelt es sich außerdem um das Auftragschweißen auf rißempfindliche Gußwerkstoffe oder um harte, rißempfindliche Schweißzusätze. Hier benötigt der Schweißfachingenieur zusätzlich spezielles Wissen zur Schweißbarkeit, Wärmevor- und -nachbehandlung von Substratwerkstoffen und Schweißzusätzen. Gleiches gilt für kleinere Unternehmen oder beratende Ingenieurbüros, die mit derartigen Fragen konfrontiert werden, ohne daß bei ihnen Spezialwissen vorliegt.



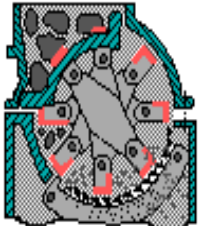
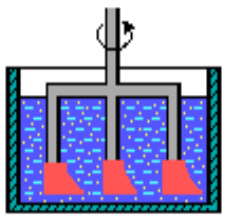
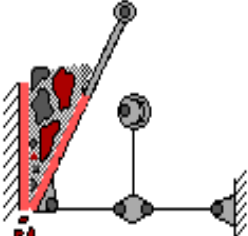

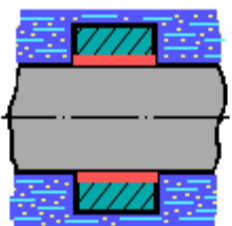
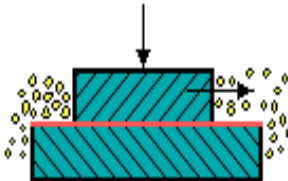
Deshalb wird ein wissensbasiertes System zum Auftragschweißen entwickelt.

## 2. Besonderheiten

Im Unterschied zu vorhandenen Datenbanken und Katalogen erfolgt der nutzerseitige Einstieg in das System über Tribosysteme. Charakteristisch für die Struktur eines Tribosystems gemäß Bild 1 sind seine Elemente Grundkörper, Gegenkörper und Zwischenstoff, deren Stoff- und Formeigenschaften sowie die Wechselwirkungen zwischen diesen Elementen, die sich darstellen lassen über Verschleißmechanismen wie die Abrasion und nachfolgend über Verschleißmeßgrößen. Voraussetzung dafür ist die Beanspruchung durch ein Kollektiv von Eingangsgrößen wie Bewegungsart und -ablauf, Relativgeschwindigkeit und Kontaktdruck sowie Temperatur und Zeit [1].

Bild 1: Tribologisches System nach DIN 50320

## ARBEITSBEDINGUNGEN DER TYPKONSTRUKTIONEN

 <p><b>Stahl-Mineral-Stoß-Gleit-Strahl-Verschleiß</b> (Kugel- und Schlagmühlenteile, Kohlenmühlenschläger Roststäbe für Hammermühle)</p>	 <p><b>Hartes Mineral-Wasser-Gleit-Verschleiß</b> bei niedriger Flächenpressung (Mischmaschinenteile Saugbaggerteile, Gleitringdichtungen)</p>
 <p><b>Stahl-Mineral-Stoß-Gleit-Verschleiß</b> (Brechbacken, Schlagleisten, Stachelbrecher, Bandagen von Walzenbrechern, Mahlringe, Ein- und Auslaufecken)</p>	 <p><b>Hartes Mineral-Wasser-Gleit-Stoß-Verschleiß</b> bei hoher Flächenpressung (Seebaggereimermesse)</p>
 <p><b>Korrosion durch aggressive Flüssigkeiten+Metall-Feststoff Gleit-Verschleiß</b> (Wellenschutzhüllen, Pumpenteile, Gleitringdichtungen)</p>	 <p><b>Stahl-Korn-Gleit-Verschleiß</b> bei mittlerer Flächenpressung (Gleitführungen)</p>

F1-Hilfe PgUp-voriges Dia PgDown-nächstes Dia Enter-Auswahl Esc-Ausgang

Das wissensbasierte System verfügt über aufwendig systematisierte, katalogisierte und verknüpfte tribologische sowie schweißtechnologishe Fakten und Regeln. Vom Anwender wird damit zwar ein Um-denken auf die ungewohnten, aber nicht unbekannteren Kategorien der Tribophysik als Ausgangspunkt von Verschleißerscheinungen an Schweißkonstruktionen verlangt, was aber speziell für Instandsetzungsschweißer interessant sein dürfte.

Die Tribosysteme sind, wie *Bild 2* zeigt, in Form von Bildern gespeichert [2]. Damit kann der potentielle Anwender sein Praxisbeispiel sofort getypten Oberflächenbeanspruchungsfällen zuordnen. Davon ausgehend können prinzipiell zwei Lösungswege beschrieben werden:

- Verfügt der Nutzer über keine detaillierten Informationen, d.h., Beanspruchungskollektiv und Struktur des Tribosystems werden nicht näher spezifiziert, erhält er eine „Sofort-Lösung“, die allgemeine Angaben zur möglichen Legierungsgruppe des Auftragschweißwerkstoffes enthält.

*Bild 2: Ausgewählte Tribosysteme in Form von Frame's*

- Verfügt der Nutzer über eine oder mehrere spezielle Informationen hinsichtlich seines Anwendungsfalles, kann er eine konkrete Ergebnisdarstellung zu erforderlichen Schweißzusätzen, Schweißprozessen, Schweißparametern und Schweißfolgen erwarten.

### 3. Auswahl von Schweißzusatz und Schweißtechnologie

Werkstoffe zum Auftragschweißen werden nach [3] in 17 Legierungstypen eingeteilt (*Bild 3*). Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Zusätze mit verbesserten Schweißeigenschaften, die den Markterfordernissen angepaßt worden sind. Darüber hinaus ist aber eine Vielzahl von Schweißzusätzen verfügbar, die zwar nicht genormt sind, aber mit großem Erfolg eingesetzt werden. Es handelt sich dabei beispielsweise um Zusätze zum Auftragschweißen von Gußeisen, aushärtbares Schweißgut oder Kobalhartlegierungersatz. Die Auswahl der Schweißzusätze kann daher nur sicher erfolgen, wenn ihre Beständigkeit gegenüber den vorkommenden Verschleißmechanismen richtig erkannt und ausgelegt wird. Zu diesem Zweck werden in der Literatur Verschleißmechanismen beschrieben und eine Einordnung der Beständigkeit der einzelnen Legierungstypen gegen

die verschiedenen Verschleißbeanspruchungen vorgenommen [3-5].

Leg.-Gr.	Art des Schweißzusatzes bzw. des Schweißgutes
01	unlegiert bis 0,4%C oder niedriglegiert bis 0,4%C und bis bis max. 5% Legierungsbestandteile Cr, Mn, Mo, Ni insges.; unlegiert mit mehr als 0,4%C oder niedriglegiert mit mehr als 0,4%C und bis max. 5% Legierungsbestandteile Cr, Mn, Mo, Ni insgesamt; legiert, mit den Eigenschaften von Warmarbeitsstählen; legiert, mit den Eigenschaften von Schnellarbeitsstählen; legiert mit mehr als 5%Cr und niedrigem C-Gehalt (bis etwa 0,2%C); legiert mit mehr als 5%Cr und höherem C-Gehalt (etwa 0,2% bis 2,0%C); Mn- Austenite mit 11 bis 18% Mn und mehr als 0,5%C und bis 3%Ni; Cr- Ni- Mn- Austenite; Cr- Ni- Stähle (rost-, säure- und hitzebeständig); hoch C- haltig (etwa 2,0 bis 5,0%C) und hoch Cr- legiert (etwa 10 bis 40% Cr) mit und ohne zusätzliche Karbidbildner;
02	
03	
04	
05	
06	
07	
08	
09	
10	
20	Co- Basis, Cr- W- legiert, mit oder ohne Ni und Mo; Karbid- Basis (gesintert, gegossen oder gefüllt); Ni- Basis, Cr- legiert, Cr- B- legiert; Ni- Basis, Mo- legiert mit oder ohne Cr;
21	
22	
23	
30	Cu- Basis, Sn- legiert; Cu- Basis, Al- legiert; Cu- Basis, Ni- legiert;
31	
32	

Bild 3: Erläuterung der Legierungsgruppen (DIN 8555)

Diese Einteilungen und Abhängigkeiten wurden in leicht abgewandelter Form in das wissensbasierte System übernommen. Daneben existiert für jeden erfaßten Schweißzusatz ein informativer Teil in der Datenbank, wie er in Bild 4 dargestellt wird.

SZW - Datenbank (informativer Teil)

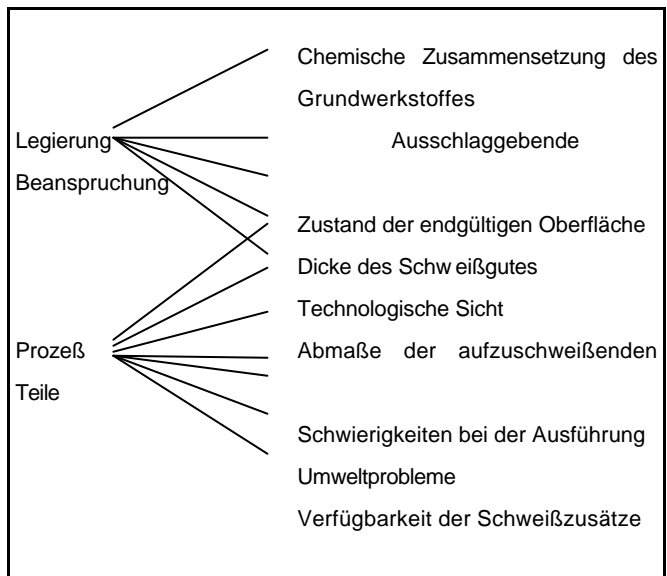
- ⇒ *Bezeichnung*  
KEM-B 3.58
- ⇒ *Typ*  
Fülldrahtelektrode DIN 8555 - MF6 - 60
- ⇒ *Hersteller*  
Kjellberg Elektroden & Maschinen GmbH  
Fensterwalde, BRD
- ⇒ *Chemische Zusammensetzung/ Schweißgutrichtanalyse*  
0.45 % C, 0.6 % Si, 1.60 % Mn, 5.50 % Cr, 0.6 % Mo

⇒ *Betriebseigenschaften*  
Mittellegierter basischer Fülldraht für zähe und abriebfeste Auftragschweißungen an Bauteilen, die starkem Verschleiß unterliegen, wie Baggeteile, Greiferzähne, Brecherbacken und -kegel, Förderschnecken usw. Das Schweißgut ist riß- und porenfrei und widerstandsfähig gegen Stoß- und Schlagbeanspruchung. Die Bearbeitung ist nur durch Schleifen möglich. Härterichtwerte des reinen Schweißgutes im Schweißzustand: 57 - 62 HRC bei Verwendung von CO<sub>2</sub>

⇒ *Schweißtechnologische Merkmale*  
MAG- Schweißen (136); +/- am Draht;  
Schweißpositionen: w, h, q;  
Schutzgas: CO<sub>2</sub> u. Mischgas (82% Ar/18% CO<sub>2</sub>)  
bzw. M21, Verbrauch: 10 - 18 l/min;  
Abmessungen (mm): 1,4; 1,6; 2,0; 2,4;  
keine Angaben zu Schweißparametern;

Bild 4: Abgespeicherte Zusatzinformationen am Beispiel einer Fülldrahtelektrode

Für die Wahl der Auftragschweißlegierung und des Schweißprozesses ergeben sich die nachfolgenden Auswahlkriterien:



Bundesweit sind ca. 24 Hersteller von Schweißzusätzen mit diesen inhaltlichen Vorstellungen bekannt gemacht worden. 60% davon haben ihr Informationsmaterial zur Verfügung gestellt, das zur Zeit entsprechend ausgewertet und in die Datenbank übernommen wird.

Parallel zur Werkstoffdatenbank gibt es ein Klassifikationsschema für die Verschleißteile, das drei große Gruppen umfaßt:

- rotationssymmetrische Bauteile,
- ebene Bauteile,

- komplizierte Bauteile.

Wie Bild 5 entnommen werden kann, wurden z.B. die rotationssymmetrischen Bauteile wiederum unterteilt in zylindrische, konische und solche, die über eine plane Stirnseite verfügen. Diese werden bereits näher beschrieben durch ihre Achslage während des Auftragschweißens (horizontal oder vertikal) und den Ort der Auftragschweißung (innen oder außen).

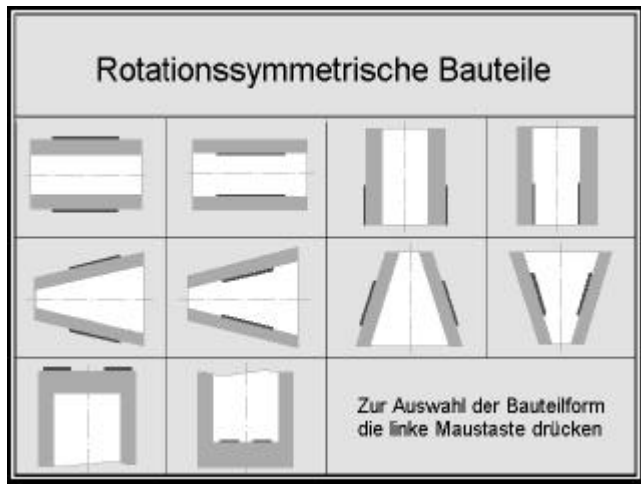


Bild 5: Klassifizierung der rotationssymmetrischen Bauteile

Damit der Anwender des wissensbasierten Systems Informationen zum Schweißprozeß bekommen kann, ist u.a. eine genaue Bemessung der Verschleißteile erforderlich (Bild 6). Diese dient dem Regelwerk des Systems im Zusammenhang mit Angaben zur erforderlichen Schichtdicke der Auftragschweißung beispielsweise zur Entscheidung darüber, ob unter den gegebenen Umständen manuell oder automatisiert geschweißt werden kann.

Für alle im System erfaßten Lichtbogenschmelzschweißprozesse wurden zunächst drei für das Auftragschweißen von rotationssymmetrischen Bauteilen typische Schweißfolgen hinterlegt:

- schraubenförmige Raupen oder ringförmige Raupen mit schrittweisem seitlichem Versatz,
- kreuzweise versetztes Schweißen der Raupen,
- breite ringförmige Raupen mit querschlagender Elektrode.

Verschiedene Untersysteme übernehmen die Aufgaben, in Abhängigkeit vom Grundwerkstoff die Notwendigkeit von Pufferschichten und einer Vorwärmung zu bestimmen. Außerdem werden die Abkühlbedingungen nach dem Schweißen festgelegt. Zur Auswahl der konkreten Schweißparameter ist u.a. eine Schnittstelle zum schweißtechnologischen Beratungssystem „weldware“ [6] vorgesehen, das der Kalkulation der

Wärmeführung beim Schweißen von Stahlwerkstoffen dient. Es verfügt über werkstoffunabhängige und

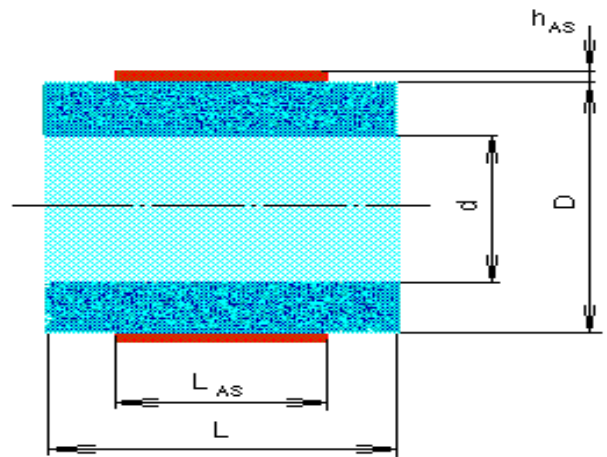


Bild 6: Verschleißteil mit zylindrischer Oberfläche - horizontale Bauteillage, Auftragschweißung außen.

-abhängige Module, die z.B. bei Vorgabe des Grundwerkstoffes mechanische Kennwerte und Gefügezusammensetzungen ausgeben, wie diese in der Wärmeinflusszone einer Auftragschweißung zu erwarten sind. Davon ausgehend können für ein konkretes Schweißproblem optimierte Abkühlzeitbereiche und nachfolgend Schweißparameter festgelegt werden.

#### 4. Zusammenfassung

Das beschriebene wissensbasierte System zum Auftragschweißen soll Praktikern ein Werkzeug in die Hand geben, mit dem sie schnell und unkompliziert über wichtige Fragen beim Auftragschweißen von

Verschleißteilen entscheiden können. Dazu gehören vor allem die Bestimmung der Schweißeignung des Grundwerkstoffes sowie die Auswahl eines geeigneten Auftragschweißzusatzes, die Ermittlung von Vorwärmtemperaturen und kostengünstigen Schweißprozessen. Der Schweißfachmann soll für ein anstehendes Verschleißproblem in angemessener Zeit eine für sein Unternehmen praktikable Lösung finden können. Neben der Standzeiterhöhung der Bauteile durch Auftragschweißen kann darüber hinaus Nutzen hinsichtlich der Maschinenproduktivität, der Produktgüte und der Ersatzteillagerhaltung gezogen werden. Das wissensbasierte System ist schwerpunktmäßig für Instandsetzungspraktiker gedacht, kann aber auch durch Füge-techniker in der Neufertigung zur konsequenten Durchsetzung des Verschleißschutzes eingesetzt werden.

## Literatur

- [1] DIN 50320:1979 „Verschleiß (Begriffe, Systemanalyse von Verschleißvorgängen, Gliederung des Verschleißgebietes)“
- [2] E. Kretzschmar: „Oberflächenschutz durch thermisches Auftragen.“ TWA des ZIS Halle, Nr. 119, 2. Auflage, 1982
- [3] DIN 8555:1983 „Schweißzusätze zum Auftragschweißen“
- [4] M. Oechsle, U. Szieslo: „Auswahl von Zusatzwerkstoffen zum Auftragschweißen als Oberflächenschutzschichten.“ VDI-Zeitschrift, Bd. 127(1985)5 - März (I), S. 153-158
- [5] W. Mühlfried (Hrsg.) u.a.: „Auftragschweißwerkstoffe der RGW-Länder.“ TWA des ZIS Halle, Nr. 131, 1980
- [6] P. Seyffarth, A. Scharff, S. Klinckhardt: „Prediction of Weld Data with Computer Aided WELDWARE-System“. IW-Doc. XII-1256-91.