



**7. Fachtagung
Verschleißschutz von Bauteilen
durch Auftragschweißen**

7. und 8. Mai 2008, Halle (Saale)

“Verschleißschutz von Bauteilen durch Auftragschweißen”

Vorträge der 7. Fachtagung

“Verschleißschutz von Bauteilen durch Auftragschweißen”

in Halle (Saale) am 7. und 8. Mai 2008

Veranstalter:

Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Halle GmbH

Beanspruchungskollektive an Verschleißbauteilen und ihre metallkundliche Lösung

Dr. rer. nat. Helmut Riegger, Dipl.-Ing. Dirk Wolf, Ostfildern

1. Einleitung

Da die Verschleißigenschaften eines Werkstoffes keine Material- sondern Systemeigenschaften sind, besteht die richtige Werkstoffauswahl zur Verschleißbekämpfung nicht nur in einem Härtevergleich zwischen dem beanspruchten Maschinenteil und dem zu bearbeitenden, mineralischen Werkstoff, sondern in einer vorgeschalteten Beurteilung des Beanspruchungskollektivs. Deshalb stellt sich für den Werkstoffwissenschaftler nicht so häufig das Problem der Entwicklung neuer Werkstoffe, sondern die richtige Auswahl des wirtschaftlichsten unter den vorhandenen Werkstoffen unter Berücksichtigung der vorliegenden speziellen Verschleißaufgabe.

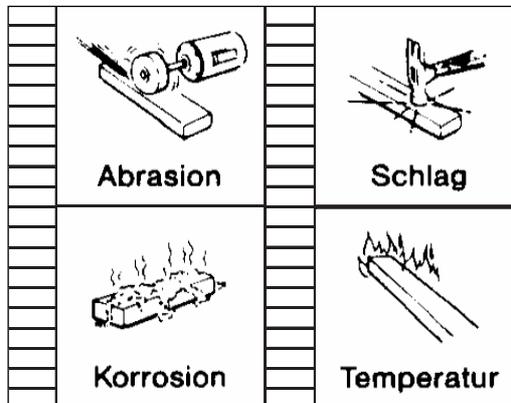


Bild 1: Die 4 Beanspruchungsmöglichkeiten

Im vorliegenden Fall werden 4 verschiedene Verschleißaufgaben, die durch 4 unterschiedliche Beanspruchungskollektive definiert sind, diskutiert und mit den entsprechenden metallkundlichen Lösungen versehen:

- „Reiner“ Abrasionsverschleiß anhand einer Sichter-kaskade innerhalb der Zementindustrie.
- Das Beanspruchungskollektiv Abrasion und schlagende Beanspruchung, wie es bei der Zerkleinerung von Granitsteinen mit Kegelbrechern geschieht.
- Abrasiver Verschleiß im Beanspruchungskollektiv mit höheren Temperaturen, wie es im Stahlwerk bei Rostbal-ken oder Hochofenschurren der Fall ist.
- Ein Beanspruchungskollektiv aus Abrasion und Korrosion, das bei Schneckenförderern im Müllrecycling als vorherrschendes Beanspruchungskollektiv zu verzeichnen ist.

In allen 4 Fällen ist eine Vorprüfung der Härte-differenzen notwendig: Innerhalb des Verschleißsystems sollte das zu bearbeitende oder transportierende Schleißmaterial wesentlich weniger hart sein als das Maschinenbauteil [1-5]. Diese Plausibilitätsprüfung erscheint notwendig, ist jedoch nicht hinreichend für einen Erfolg innerhalb der genannten Beanspruchungskollektive.

2. Verschleiß durch einfache Abrasion

2.1 Aufgabenstellung

Bei der Zementherstellung treten an den verschiedensten Stellen des Prozesses Verschleißerscheinungen auf. Sehr häufig haben diese Verschleißerscheinungen ausschließlich abrasiven Charakter:

- beim Rohmaterialgewinnen an Bohrerkrone, LKW-Pritschen, Umlauftrichtern, Mischgutkratzern und Förder-einrichtungen;
- beim Klinkerbrennen an Transporteinrichtungen, Klinker-rutschen und Entnahmestellen;
- beim Verarbeiten des Klinkers in Sichtern, Zyklonen und Ventilatoren;
- beim Zementversand in Rutschen und Absackmaschi-nen.

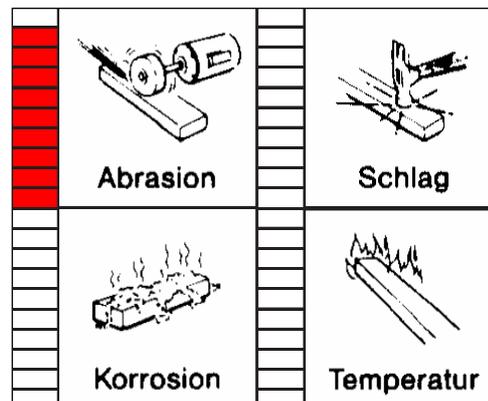


Bild 2: Einfache Abrasion ohne weitere Beanspruchung in statischen Bauteilen (plakative Darstellung)

Ist das angreifende Material innerhalb des Zementher-stellungsprozesses weicher als der metallische Werkstoff der Maschine, so tritt nur wenig Verschleiß auf. Man befindet sich in der so genannten Tieflage des Ver-schleißsystems.

Ist dagegen das angreifende Mineral härter als der ge-wählte metallische Grundkörper, so tritt erheblicher Ver-schleiß auf. Man spricht in diesem Fall von der so ge-nannten Hochlage [1, 6].

In Bereichen, in denen die Härten von Grundkörper und Gegenstoff ungefähr gleich groß sind, erfolgt der Steilan-stieg. In diesem Bereich verursachen schon kleine Ver-änderungen innerhalb des Verschleißsystems, z.B. met-allkundliche Verbesserung des Grundkörpers, beträcht-liche Standzeitverlängerungen [5]. Im Falle einer Sich-terkaskade bei der Herstellung von Zement kommt es nicht unbedingt auf die absolute Härte des Werkstoffes für den verschleißgefährdeten Grundkörper an, sondern auf die Härte-differenz zum angreifenden Medium.



Bild 3: Teile einer Sichterkaskade in der Zementindustrie
Im vorliegenden Bild besitzt das angreifende Medium eine Vickershärte zwischen 450 und 580 HV [1].

2.2 Metallkundliche Lösung

In diesen Fällen wird schon seit Jahrzehnten die übliche übereutektische Hochkohlenstoff-/Hochchromsonderlegierung eingesetzt. Sie enthält primäre Chromkarbide mit einer Mikrohärtigkeit von mindestens 2.400 Vickers [1], eingebettet in eine eutektische Matrix, bestehend aus Austenit und sekundären Chromkarbiden. Diese sekundären Chromkarbide leisten ebenfalls einen Beitrag zur Verschleißfestigkeit des gesamten Systems. Sehr häufig werden zu diesen bereits sehr erfolgreichen Chromkarbiden auch noch zusätzlich Niobkarbide eingesetzt. Diese in der metallographischen Analyse deutlich sichtbaren „Niobkarbidsternchen“ führen zu einer Erhöhung der Standzeit des Bauteils, da sie mit einer noch höheren Mikrohärtigkeit von 2.500 Vickers die Härte­differenz zum bearbeitenden Zementwerkstoff vergrößern.

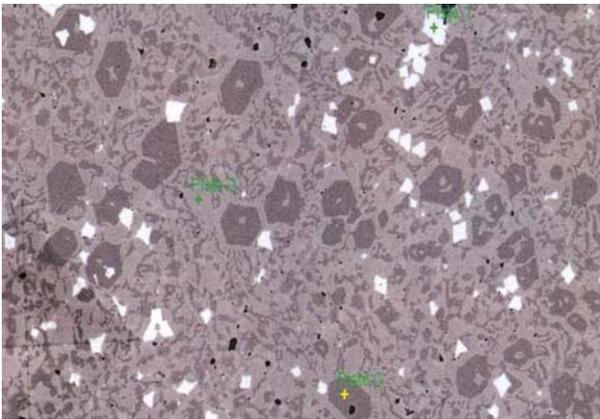


Bild 4: Niobkarbide in einer Fe-Cr-C-Legierung (EDAX-Analyse eines Schliffbildes)

Außerdem verkürzen die Niobkarbide aufgrund der feinen Verteilung die Risslänge dieser ansonsten rissbehafteten Sonderlegierung, sodass eine moderate schlagende Beanspruchung ebenfalls von diesem klassischen Abrasionswerkstoff ertragen werden kann [7].

In den Bildern 5 und 6 sieht man die metallographische Struktur der beiden bekannten Lösungen im Lichtmikroskop: im einen Fall eine reine Eisen-Chrom-Kohlenstoff-Legierung mit einer Gesamthärte von ca. 61 HRC (Bild 5), im zweiten Fall eine Eisen-Chrom-Niob-

Kohlenstofflegierung mit einer Gesamthärte von 64 Rockwell. Die Niobkarbide verstärken den bereits mit mehr als 60 Rockwell ausgestatteten klassischen Eisen-Chrom-Kohlenwerkstoff (Bild 6).

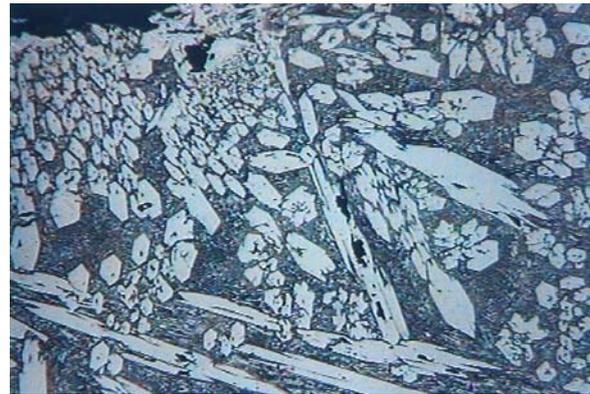


Bild 5: Lichtmikroskopische Aufnahmen des klassischen Werkstoffs gegen reinen Abrasionsverschleiß, die FeCrC-Legierung

Beide Werkstoffe werden seit Jahrzehnten in vielen Anwendungen, nicht nur in der Zementindustrie, mit großem Erfolg angewandt.

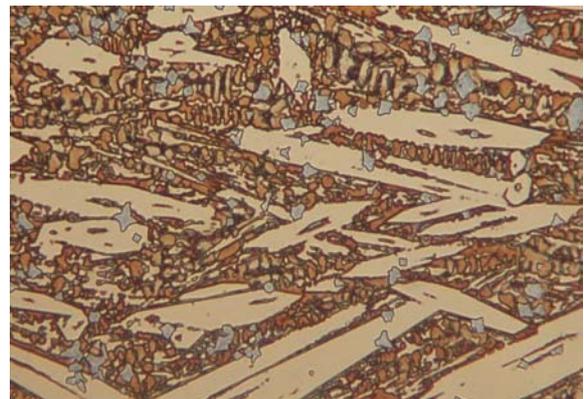


Bild 6: Lichtmikroskopische Aufnahme des häufig verwendeten Werkstoffs gegen Abrasionsverschleiß und moderaten Schlag, die FeCrNbC-Legierung

Gegenüber dem Einsatz von Feinkornbaustählen bieten beide Werkstoffe eine 7- bis 8-fache längere Lebensdauer bei gleicher Dicke oder Konstruktion des Verschleißbauteils.

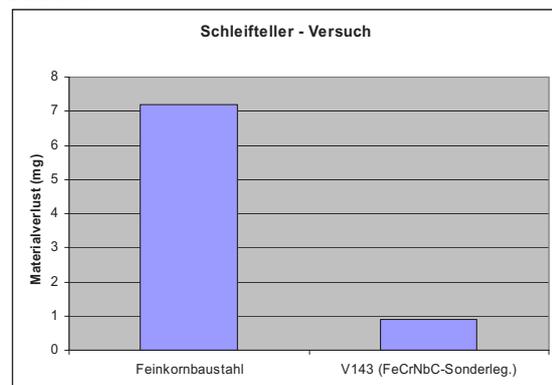


Bild 7: Gegenüberstellung von Schleiftellerversuchen an Feinkornbaustahl und FeCrNbC-Legierungen

3. Verschleiß durch Abrasion in Verbindung mit Schlag

3.1 Aufgabenstellung

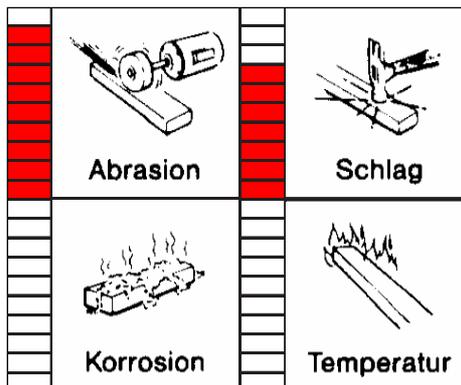


Bild 8: Plakative Darstellung des Beanspruchungskollektivs Abrasion und Schlag, wie es in Vertriebsbroschüren Anwendung findet

Das Beanspruchungskollektiv Schlag und Abrasion kommt besonders beim Brechen von mittelharten bis härtesten Werkstoffen mit Hilfe von Kegelbrechern vor. Als Aufgabegut für Kegelbrecher kommen in Frage: Gesteine aller Art, Kies, Erze, Schamott, Schlacke sowie andere Hartgesteine wie Feldspat (Härte nach [1]): 600 – 750 HV10 und Flint (Härte nach [1]): 800 – 1000 HV10.



Bild 9: Schnitt durch eine Kegelbrecherkonstruktion

Die Kegelbrecher der konventionellen Bauart sind vorwiegend aus Hartmanganstahl, der sich bei schlagender und verschleißender Beanspruchung selbst aushärtet und sich so druck- und verschleißresistent innerhalb eines gewissen Standzeitbereichs verhält.



Bild 10: Kegelbrecherdarstellung im rauen Betrieb

In den Bildern 9 und 10 wird die Aufgabenstellung verdeutlicht. Das Material des jeweiligen Steinbruchs oder Abraums wird auf die gewünschte Korngröße gebrochen.

3.2 Metallkundliche Lösung

Eine grundsätzliche Veränderung der Konstruktion von Kegelbrechern besteht darin, auf den vorhandenen Kegelbrechern aus Hartmanganstahl oder Stahlguss einen duktilisierten Auftragschweißwerkstoff aufzubringen.



Bild 11: Auftraggeschweißtes Werkzeug eines Kegelbrechers

Der Auftragschweißwerkstoff wird mit einer Dicke von mehr als 50 mm aufgetragen und verhält sich gegenüber Verschleiß im Kollektiv mit starken Schlägen um ein Vielfaches besser als Hartmanganstahl und ist aufgrund seiner Zusammensetzung schlag- und druckresistent.

Der Auftragschweißwerkstoff besitzt ein untereutekisches abrieb- und schlagfestes Schweißgut, vergleichbar mit dem weißen Gusseisen.

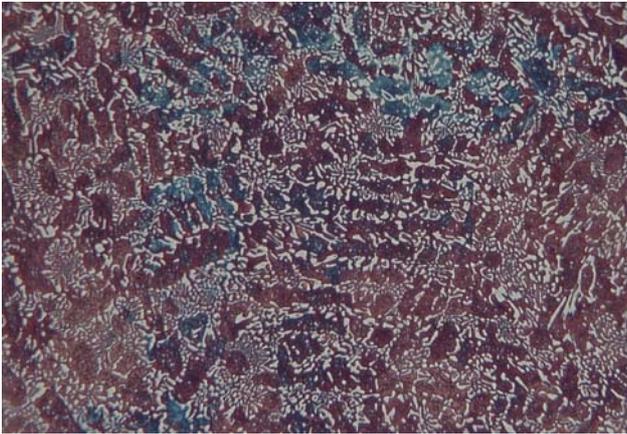


Bild 12: Lichtmikroskopische Analyse des untereutektischen Panzerwerkstoffs für Kegelbrecherwerkzeuge

Das Schweißgut ist im Schweißzustand nicht mehr überdrehbar. Eine spanende Bearbeitung sollte deshalb im angelassenen Zustand durchgeführt werden, sofern dies notwendig ist. Das Schweißgut ist aufgrund seiner Härte von 55 HRC immer noch leicht rissbehaftet.

Die Bilder 13 und 14 zeigen den stehenden und rotierenden Teil des Kegelbrechers, wobei beide Werkzeuge mit dem Auftragschweißwerkstoff beschichtet wurden. Gegenüber dem bereits sehr erfolgreichen Hartmanganstahl werden bei der vorliegenden Konstruktionsveränderung, die bei Neuteilen, aber auch beim Regenerieren durchgeführt werden kann, Standzeitverlängerungen um das 2- bis 5fache beobachtet.



Bild 13: Gepanzerter Satz Kegelbrecher vor dem Einbau



Bild 14: Gepanzerter Satz Kegelbrecher nach dem Einsatz im Steinbruch

Der Einsatz von Hartmanganstahl als Grundmaterial erfordert eine geeignete Temperaturführung beim Auftragschweißen. Wird jedoch ein normaler Konstruktionsbaustahl verwendet, stellt das Auftragschweißen am rotierenden Drehtisch keine außergewöhnlichen Anforderungen an die Schweißtechnik. Auch hier ist die Härte­differenz zwischen dem zu brechenden Stein und der Hartauftragschweißung am Kegelbrecher entscheidend für die Verlängerung der Standzeit.

4. Verschleiß durch Abrasion in Verbindung mit erhöhter Temperatur

4.1 Aufgabenstellung

Die Beschickung von Hochofen mit Erzen, Kohle und Zuschlägen erfolgt über unterschiedliche Konstruktionen. Am häufigsten werden Hochofenglocken und Rinnen oder Schurren verwendet, über die die gesamte Mül­lerung gleitet. In jedem Fall unterliegen diese Konstruktionen einer starken abrasiven Beanspruchung, die durch Strahlungswärme oder warmes Gichtgas bei höheren Temperaturen zwischen 500 und 850°C stattfindet.

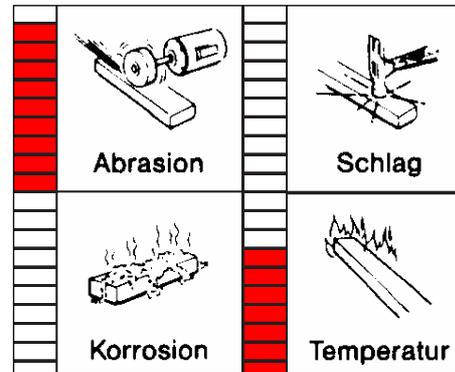


Bild 15: Plakative Darstellung des Beanspruchungskollektivs Abrasion und Temperatur wie es in Vertriebsbro­schüren Anwendung findet

Klassische Auftragschweißungen in einlagiger Ausführung haben dabei zu nicht genügend hohen Standzeiten geführt. Es sind deshalb Hartpanzerungen mit wesentlich höherer Warmhärte und mehrlagiger Auftragschweißungen erforderlich. Konstruktiv wurden diese Lösungen insofern verbessert, dass mehrere auftraggeschweißte, verformte Bleche übereinander verwendet werden, die sich schindelförmig überdecken, sodass die ausnutzbare Verschleißdicke wesentlich größer wird. Zusätzlich haben die Konstrukteure Höcker zum autogenen Verschleißschutz eingeführt, die ebenfalls mit einem hochwarmfesten Auftragschweißwerkstoff versehen werden müssen.



Bild 16: Hochofenschurre

4.2 Metallkundliche Lösung

Eine seit längerer Zeit bekannte metallkundliche Lösung ist der Einsatz von Wolfram, Vanadin, Molybdän und Niobkarbiden in der bereits bekannten eutektischen Matrix aus Austenit und Chromkarbiden. Diese Karbide führen zu einer höheren Warmhärte, sodass der Einsatz dieser sehr hochwertigen Auftragschweißwerkstoffe durchaus erfolgreiche Hochofenglocken und Schurren ermöglichte.



Bild 17: Lichtmikroskopische Analyse des Auftragsschweißwerkstoffs mit W-, V- und Nb-Sonderkarbiden zur Anwendung bei erhöhter Temperatur

Auf der Basis von innovativen Gusslegierungen [8] kann jedoch auch ein wesentlich kostengünstiger, hochwarmfester Auftragschweißwerkstoff entwickelt werden. Dieser Auftragschweißwerkstoff enthält bis zu 40% Chrom und über 5% Kohle [9]. Diese Zusätze führen zu wesentlich härteren Chromkarbiden, da das Eisen in den Mischkarbiden aus Chrom, Eisen und Kohlenstoff zurückgedrängt wird [9]. Außerdem entsteht ein höheres Volumen dieser harten, primär ausgeschiedenen und relativ reinen Chromkarbide. Das ternäre Zustandsdiagramm Eisen-Chrom-Kohlenstoff verläuft an dieser Stelle steil zu höheren Temperaturen, was zusätzlich auch eine höhere Warmhärte erklärt.

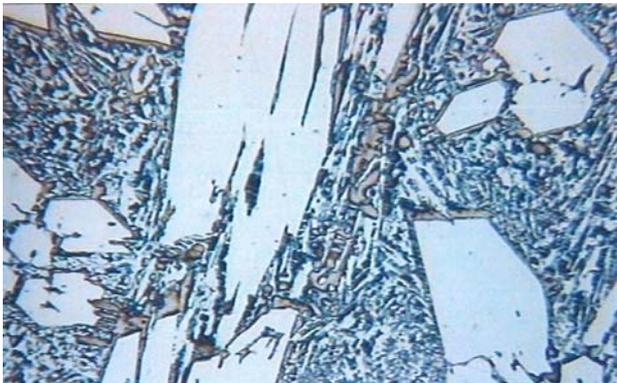


Bild 18: Lichtmikroskopische Analyse des ternären Werkstoffs mit 5% C und 40% Cr

Der Einsatz dieses ebenfalls aus der Gusslegierung abgeleiteten Auftragschweißwerkstoffes führte zu denselben Standzeiten wie der hochwarmfeste Auftragschweißwerkstoff mit Wolfram- und Sonderkarbiden, ist aber wesentlich kostengünstiger. Dies ist ein wichtiger Aspekt, zumal in den letzten Jahren die Rohstoffpreise für fast alle an diesen Auftragschweißwerkstoffen beteiligten Elemente dramatisch gestiegen sind.

Substituiert werden die Werkstoffe Molybdän, Wolfram, Niob und Vanadin; es kommt jedoch wesentlich mehr Chrom zum Einsatz. Obwohl auch dieses Legierungselement in den letzten Monaten einen dramatischen Preisanstieg zu verzeichnen hat, ergibt eine Kalkulation immer noch eine kostengünstigere Lösung. Die Standzeiten sind nach bisherigen Beobachtungen gleich lang.

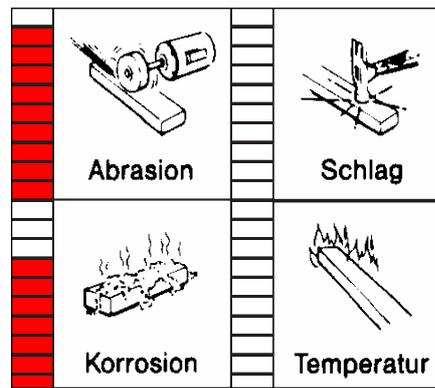


Bild 19: Plakative Darstellung des Beanspruchungskollektivs Abrasion und Korrosion wie es in Vertriebsbrochüren Anwendung findet

5. Verschleiß durch Abrasion in Verbindung mit Korrosion

5.1 Aufgabenstellung

Eine 14 m lange Transportschnecke für den Transport von Restmüll unterliegt im Betriebsfall einer starken Abrasion und einer zusätzlichen korrosiven Beanspruchung. Der Restmüll ist eine undefinierbare Materie; sie besteht aus Textilien, Papier, Plastik und organischen Rückständen. Sie enthält auch härtere Elemente wie Glas und Metallschrott; die Restmüllschlämme besitzen einen PH-Wert von 4,5. Eine Analyse ergab eine hohe Konzentration von Essigsäure und Ameisensäure sowie gelöste Chlorid- und Sulfationen.



Bild 20: Beispiel einer Transportschnecke

Eine einfache Lösung mit rostsicherem, austenitischem Material ist für diese Zwecke nicht abrasionsbeständig genug und auch die Lösung mit relativ abrasionsbeständigen Feinkornbaustählen liefert nicht genügend Korrosionsbeständigkeit für dieses schwierige Beanspruchungskollektiv. Es wurde deshalb eine Schnecke aus einem Duplexstahl als Grundmaterial mit einem abrasions- und korrosionsbeständigen Auftragschweißwerkstoff entwickelt.

5.2 Metallkundliche Lösung

Es ist bekannt, dass der klassische Eisen-Chrom-Kohlenstoffwerkstoff gegen Abrasion keine Beständigkeit gegen korrosive Angriffe aufweist. Das Auftreten von primären Chromkarbiden lässt die übrige Matrix an Chrom verarmen. Ein Korrosionsangriff erfolgt deshalb schon bei PH7 und „normalen“ Wetterbedingungen.

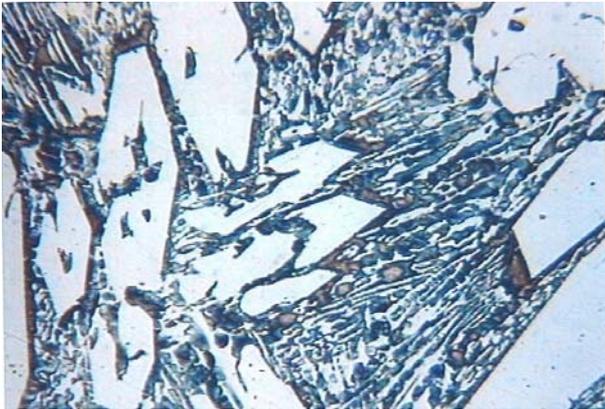


Bild 21: Die bekannte FeCrC-Legierung, die für korrosiven Angriff nicht geeignet ist

Diese korrosionsanfällige Matrix kann jedoch durch Zusätze von Nickel und Molybdän korrosionsbeständig gemacht werden. Der Einsatz von Auftragschweißwerkstoffen erlaubt eine Flexibilität in der Legierungsauswahl, sodass die erforderlichen Chrom-, Nickel- und Molybdänlegierungsbestandteile in das Pulver des Fülldrahtes oder des Auftragschweißverfahrens eingebracht werden können. Im vorliegenden Fall wurde dies mit Erfolg durchgeführt. Durch die primär auftretenden Austenite entstand ein korrosionsbeständiger Werkstoff, der in einer abrasionsbeständigen Matrix aus Chrom-Nickel-Molybdän-Austeniten und Chromkarbiden besteht.

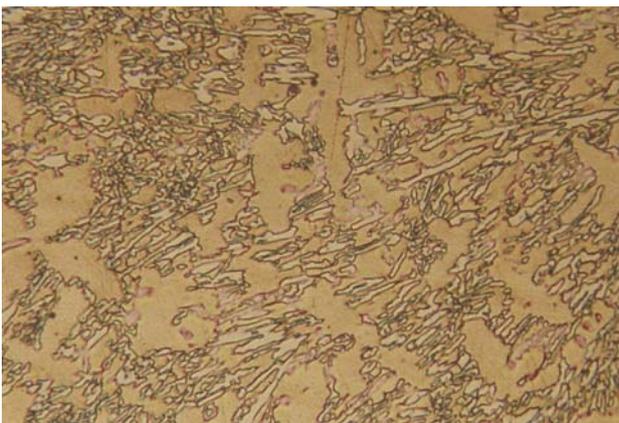


Bild 22: Gefüge eines korrosions- und abrasionsbeständigen Werkstoffs auf FeCrNiMoC-Basis

Im vorliegenden Fall wurden Segmente aus unterschiedlichen Werkstoffen in eine Transportschnecke eingepasst und eingeschweißt. Zu den verschiedenen Werkstoffen gehören Feinkornbaustähle, Duplex-Stähle, FeCrC-Hartauftragungen und eben der gegen Korrosion verstärkte FeCrNiMoC-Panzerwerkstoff. In Bild 23 ist die Versuchsanordnung der Transportschnecke wiedergegeben.



Bild 23: Transportschnecke mit verschiedenen Versuchswerkstoffen

Die Ergebnisse waren sehr eindrucksvoll: War bei den normalen Eisen-Chrom-Kohlenstoffauftragschweißwerkstoffen die Abtragsrate auf 1/5 der Abtragsrate des Feinkornbaustahls zurückgegangen, so entsteht bei gegen Korrosion beständigem Auftragschweißwerkstoff fast kein Abtrag in der oben beschriebenen Transportschneckenkonstruktion. Die Hartauftragungen verloren nur die Farbe; sie zeigten wie bei Schleißblechen in Müllwagen keinen nennenswerten Verschleiß.



Bild 24: Verschleißplatte nach über 1.000 h im Einsatz

Im Gegensatz zum vorangegangenen Beanspruchungskollektiv Abrasion und Temperatur ist beim Beanspruchungskollektiv Abrasion und Korrosion eine teurere Lösung entstanden. Die beschriebene Lösung ist mehr als doppelt so teuer als der Auftragschweißwerkstoff gegen einfache Abrasion, sie zeigt jedoch trotz korrosivem Medium keinen nennenswerten Abtrag im Einsatzfall. Man befindet sich durch diesen Werkstoff in der Tieflage des Verschleißes in Verbindung mit Korrosion.

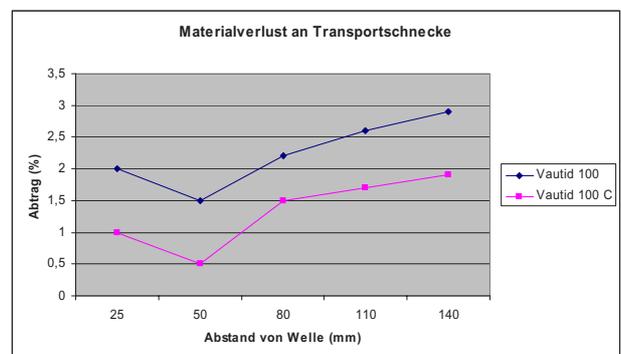


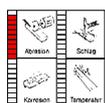
Bild 25: Vergleich der Werkstoffe mit und ohne Korrosionsbeständigkeit.

6. Zusammenfassung

Mit Hilfe des Portfolios für die Verschleißbeanspruchung wird an 4 Beispielen gezeigt, dass es für ein Beanspruchungskollektiv nach vorgegebenem Portfolio entsprechende metallkundliche Lösungen gibt, die als Auftragschweißwerkstoff hergestellt werden können und für die einzelne Anwendung benutzt werden müssen.

Zusammenfassung

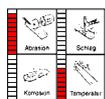
VAUTID



FeCr(Nb)C, übereutektisch



FeCrC, untereutektisch



FeCrC, weit übereutektisch



FeCrC mit Ni, Mo, untereutektisch

5. W. Wahl; Verschleißschutz bei Abrasivschäden, VDI-Bericht-Nr. 1231 (1995) 15-39

6. W. Wahl; Neue Möglichkeiten des Verschleißschutzes in der Zementindustrie, Zement-Kalk-Gips 40 (1987) 41-43

7. H. Riegger, W. Wahl; Die Verschleißverbundplatte – das Halbzeug zum erfolgreichen Einsatz gegen Abrasion, Aufbereitungstechnik 47 (2006) 6-16

8. M. Feltz; Verwendung eines legierten Gusseisens als Werkstoff für verschleißfeste Bauelemente; Patentschrift 2230864, Deutsches Patentamt, Ausgabebetrag: 14.12.1978

9. P. Villars et al.; Handbook of ternary alloy phase diagrams; Materials Park, Ohio, ASM International, Volume 5

8. Danksagung

Die Autoren danken allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Vautid GmbH, sowie den Partnern, die zu dieser Arbeit einen Beitrag geleistet haben.

Bild 26: Zusammenfassung der metallkundlichen Lösungen

- Für reinen Abrasionsverschleiß empfiehlt sich der Werkstoff FeCrC mit oder ohne Niobzusätze.
- Für Abrasionsverschleiß mit zusätzlicher schlagender Beanspruchung wird in Anlehnung an Hartgusswerkstoffe eine untereutektische FeCrC-Legierung vorgeschlagen.
- Muss der Abrasionsverschleiß bei erhöhten Temperaturen durchgeführt werden, wird die bekannte ternäre Legierung FeCrC bei höheren Chromgehalten zum Einsatz kommen.
- Im Falle der zusätzlichen Korrosion sollte die austenitische Matrix mit Zusätzen von Ni und Mo verstärkt werden.

Die Flexibilität von Fülldrähten oder Elektroden wird dabei zur Legierungsherstellung ausgenutzt.

Die vorgeschlagenen Lösungen liefern entweder einen kostengünstigeren Werkstoff oder eine erhöhte Standzeit des abrasiv beanspruchten Bauteils, was ebenfalls zu niedrigen Kosten führt, wenn man Instandhaltung und Stillstandzeiten der Maschinen mit einrechnet.

7. Schrifttum

- H. Uetz (Hrsg.) et al.; Abrasion und Erosion; Carl Hanser Verlag, München (1986) 1-59
- H. Riegger, W. Wahl; Verschleißschutz in der Ziegelindustrie; Ziegelindustrie International 5 (2005)
- H. Wahl, G. Kantenwein, L. Rzepka; Hartzerkleinerung und Verschleiß; Aufbereitungstechnik 4 (1963) 47-58 und 91-111
- W. Wahl; Verbesserung des Verschleißschutzes der Mahlwalzen von Walzenschüsselmühlen; Zement-Kalk-Gips 47 (1994) 206-210