

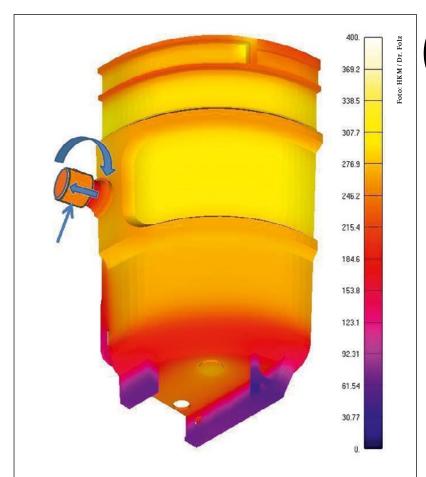
Nachhaltige Zapfenlagerung an Stahl- und Roheisengießpfannen

Sustainable trunnion mounting on steel and pig iron ladles

Auch ohne Schmierung erreicht eine neu entwickelte Vergütungs-/Hartmanganstahl-Gleitpaarung als Zapfenlagerung an Hochleistungsstahl- und Roheisengießpfannen eine Gebrauchsdauer von mindestens zehn bis 12 Jahren. Hingegen liegen die mittleren Gebrauchsdauern bei den tradierten Gleitpaarungen aus ferritischem Stahl und diversen Kupferlegierungen bzw. anderen Stahlmatrizen trotz intensiver periodischer Schmierung nur bei 0,4 bis 0,8 Jahren. Bei der neuen Paarung kann die Schmierung massiv reduziert werden oder entfallen. Der Beitrag beschreibt Betriebserfahrungen aus der Neuausrüstung bei den Hüttenwerken Krupp Mannesmann (HKM) 1999/2000 mit 26 Stahl- und Mischergießpfannen der neuesten Generation und einer Nutzlast von 375 t. Bei der Salzgitter Flachstahl GmbH wurde die neue Lagerung auf die vorhandenen 250-t-Gefäße durch ein nachhaltiges Verbunddesign angepasst. Die inzwischen vorliegenden Betriebserfahrungen bestätigen die Erkenntnisse aus Theorie und Experiment. Die neue reine Stahlgleitlagerung führt in der Sekundärmetallurgie neben großen Kosten- und Ressourceneinsparungen zu einer erheblichen Entlastung der Umwelt und einer nachhaltigen Erhöhung der Betriebssicherheit.

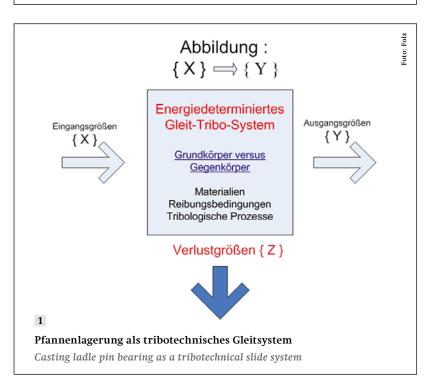
Even without lubrication a newly developed heat-treatable / hardened manganese steel tribological pairing will as a trunnion mounting on heavy duty steel and pig iron casting ladles achieve a service life of at least 10 to 12 years, whereas the average service life of conventional tribological pairings made of ferritic steel and miscellaneous copper alloys or other steel matrices is only 0.4 to 0.8 years despite intensive periodic lubrication. The new pairing makes it possible to significantly reduce the lubrication or render it unnecessary. The article describes operating results from the re-equipment of Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH in 1999/2000 with 26 steel and mixing ladles of the latest generation and a payload of 375 t. At the steelworks of Salzgitter Flachstahl in Germany the bearing arrangement was adapted to the existing 250-t vessels. The findings from theory and experiment are confirmed by the many years' experience available today on the whole. In addition to significant savings in costs and resources, the new steel friction bearing leads to a considerable environmental protection. The operational reliability will also undergo a sustainable increase.

Franz-Josef Folz, Olaf Kleinjan, Bernhard Burchartz und Klaus-Dieter Hueske



Hochverschleiß- und warmfeste Zapfenlagerung an neuer Stahlgießpfanne der Hüttenwerke Krupp Mannesmann mit höherem homogenen Temperaturfeld bei niedrigen Temperaturgradienten

High wear- and heat-resistant trunnion bearing arrangement on new steel ladle design at Hüttenwerke Krupp Mannesmann with higher homogeneous thermal field at lower temperature gradients



rundsätzlich ist bei den zur Stahlproduktion genutzten Pfannentypen zu unterscheiden zwischen Stahl-, Mischer- und Roheisenpfannen älterer Bauart mit Zapfentemperaturen von 160 bis 200 °C ("Kaltzapfen") und neueren "Hochleistungs"-Pfannen, die mit dem Ziel einer größeren Volumenausbringung Ende der 1990er-Jahre entwickelt wurden [1]. Im neuen Design ist das Tragesystem mit Tragringen und Tragzapfenschilden in den Pfannenkörper integriert. Dadurch wird ein homogeneres Erwärmungs- und Abkühlungsverhalten erreicht, mit kleineren Temperaturgradienten, allerdings mit höheren Temperaturfeldern an Gefäß, Ring und Tragzapfen. Auch durch die geänderten Einsatzbedingungen der Stahlgießpfannen (Einsatz als Behandlungsgefäß z.B. in Vakuumanlagen, geänderte Feuerfestzustellungen) steigen die Temperaturen der Gefäße an. So lagen die über einen Pfannenumlauf am Ring gemessenen Temperaturen, über alle Betriebszustände, zwischen 320 und 400 °C ("Heißzapfen") [2]. Die gestiegenen kraft- und thermodynamischen Anforderungen und die Reibungszunahme durch Wärme führen zu einer höheren tribologischen Beanspruchung der Zapfengleitlagerung an Grundmaterial und Kontaktflächen. Schon aus dem Abfall von Zugfestigkeit, Streckgrenze, Bruchdehnung und Härte ab 150 °C bei Kupferlegierungen, z. B. CuSn₁₂C, CuSn₁₀Zn oder CuAl₁₀Ni, ergibt sich der technologische Zwang zur Verwendung von neueren,

Die "Hochleistungs"-Pfannenkonstruktion mit der neuen hartzähen Stahlgleitpaarung hat die in sie gesetzten Erwartungen in qualitativer und quantitativer Hinsicht erfüllt. Zwischenzeitlich wurden die Ergebnisse in weiteren langjährigen Prototypeinsätzen in anderen Stahlwerken bestätigt. Aus der Summe der Lagerungserfahrungen folgt die ökonomische Erkenntnis, dass die neu konzipierte Gleitpaarung mit ihrem hohen Widerstand gegen Warmverschleiß durch körnige Medien in Verbindung mit nicht notwendiger oder geringer Wartung entscheidend zur Produktivität und Tragesicherheit der neuen Pfannen beigetragen hat. Insofern wurde der Stand der Lagerungstechnik auch für Anwendungen mit ähnlicher tribologischer Beanspruchung in der Stahlindustrie fortgeschrieben.

bruchsicheren, verschleißfesten und langfristig ther-

mostabilen Gleitwerkstoffen auf Stahlbasis.

Hochdissipativ beanspruchte Pfannenzapfenlagerung

Der Reibungs- und Verschleißvorgang zwischen Grund- (Zapfenbuchse) und Gegenkörper (Gehänge- oder Schlaufenbuchse) ist durch spezifische Werkstoffkenngrößen nicht erfassbar. Verlauf und Zustand hängen von einer Vielzahl von Strukturparametern des tribotechnischen Systems ab. Dieses wird gebildet durch alle zur Funktionserfüllung notwen-

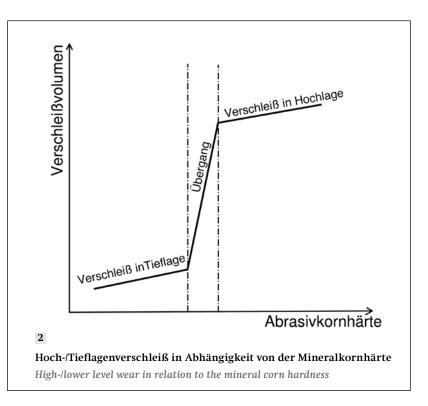
digen Bauteile und den in der Gleitfuge ablaufenden tribologischen Prozessen. Im Wesentlichen ist die Lagerungsfunktion verbunden mit dem kräftemäßigen Einwirken zweier kreisförmig, etwa gleich gekrümmter Oberflächen unter relativer Schwenkbewegung der Zapfenschutz- zur Gehängebuchse. Damit der gegen kerbarme Biegung gerechnete Zapfen vor Verschleiß geschützt ist, sollte in keiner Betriebsphase der Pfanne eine Relativbewegung gegenüber dessen Oberfläche stattfinden.

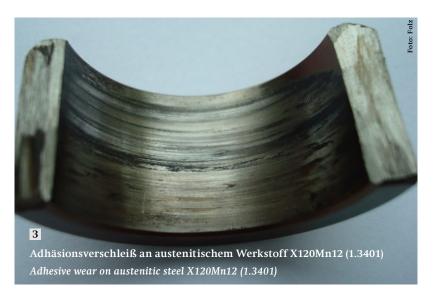
Die Pfannengleitlagerung als energiedeterminiertes, geschlossenes Tribosystem kann als eine Abbildung verstanden werden von Eingangsgrößen ({ X } = (Normal-, Schubspannungskräfte, Gleit-v, Lagertemperatur) in technisch nutzbare Ausgangsgrößen $(\{Y\} = (Drehmoment, Drehbewegung), Bild 1.$ Aus den Effekten von lokalen Kraftwirkungen, kinematischen und thermischen Vorgängen, den Eigenschaften der Gleitwerkstoffe wie Abmessung, Festigkeit, Gefüge, Phasen, Makro-, Mikrohärte, Eigenspannungen, Grenzschichtaufbau, der Umgebungsmedien wie Luft, Feuchtigkeit, Vakuum und der Art und Zuführung von Zwischenstoffen wie Fett, Abrasivkörnern, Verschweißungen und Oxiden resultieren die Verlustgrößen { Z }. Schon geringfügige Änderungen in den Inputs des Tribosystems können gravierende Outputs { Z} in Form von Energie- und Werkstoffdissipation bewirken, Bild 1.

Im rauen und warmen Pfannenbetrieb treten in der großdimensionierten Zapfenlagerung die Verluste durch Energie- und Werkstoffdissipation besonders augenfällig auf.

Energiedissipation

Die Energieeinträge durch Hilfskranhub und Trägheitskräfte induzieren Reibungswärme, die die stationäre Gefäßwärme überlagert und den Gleitwerkstoff in seinem Verschleiß- und Festigkeitsverhalten herabsetzt. Weitere Formen von Energiedissipationen resultieren aus Schwingungen und akustischen Emissionen. Letzere können z.B. im Kippstuhl bei "harten" trockenen Gleitpartnern und nicht genügend fluchtender Rotorführung mit hohen Frequenzen auftreten. Auch kann nach dem Schlackenabwurf und ungünstiger Schwerpunktlage der dynamische Reibungskoeffizient unter Wärme auf den statischen Reibungskoeffizienten ansteigen. Eine Rückstellbewegung der Pfanne wird dann ab einem definierten Winkel durch Haftung blockiert, die Schrägstellung hemmt den weiteren Produktionsablauf. Es ist daher wichtig, die kontaktierenden Grenzschichten in Mikro- und Makrohärtestruktur warmfest und reibungsmindernd auszubilden. Insbesondere die Ausgestaltung der mikrogeometrischen Kontaktflächen in beiden Stahlbuchsen bestimmt die lokalen Spannungsfelder und damit die energetischen Umwandlungen, die letztlich reibungserhöhend sind und zur Zerstörung der Oberflächen führen.





Werkstoffdissipation

Wesentliches Manko der weit verbreiteten Gleitpaarung auf der Basis Baustahl/Kupferlegierung ist der extrem hohe Materialabtrag bereits nach kurzer Betriebszeit. Ursächlich hierfür sind neben dem Abfall der Warmbeständigkeit die geringen Mikro- und Makrohärten mit einem Härteverhältnis von etwa 150 HB / 70HB. Dagegen weisen die in den Stahlwerken anfallenden Abrasivstoffe in Form von Stäuben, Schlacken aus Zuschlägen und Oxiden in der Hauptmasse Mikrohärten von 200 — 600 HV1 auf [3].

Die tribologische Beanspruchung bei der Verschleißart Korngleitverschleiß (DIN 50320) erfolgt durch Gleiten oder Wälzen der Abrasivteilchen zwi-

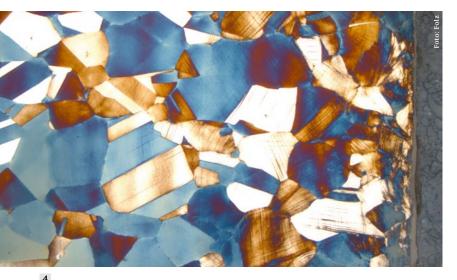
schen den Gleitflächen. In Abhängigkeit des Oberflächenzustandes tritt Verschleiß durch Furchungen (Abrasion) und/oder Intendation (Eindrückungen bei höheren Rollanteilen) ein. Die Stahl/Cu-Paarungen sind zwar gegen adhäsiven Verschleiß ausreichend gewappnet, gegenüber dem wirksamen Hauptverschleißmechanismus Abrasion aber kontraproduktiv ausgelegt. Die von Herstellern verfolgte Konstruktionsstrategie einer geringen Flächenpressung und Abwehr der Abrasivstoffe durch Intensivschmierung ist wenig wirksam. So ist die Schmierwirkung, insbesondere bei Vakuumeinsätzen, durch Verkokung herabgesetzt. Legt man die bekannten Grundsätze über den Dreikörper-Abrasionsverschleiß zugrunde, dann wird unmittelbar deutlich, dass der Verschleiß von Betriebsbeginn an in der Hochlage verlaufen muss. Die Verschleißbilder der Cu-Buchsen mit tiefen Furchungen und Indentationen, aber auch der von anderen z.T. gegossenen eisenmetallischen Werkstoffen höherer Gefügehärte, belegen die Dominanz dieses Verschleißmechanismus in der Pfannenzapfenlagerung. Bei Gehängebuchsen aus Stahlguss werden auch Sprödbrüche festgestellt.

Der Verschleiß der weichen Gehängebuchse greift nach einer gewissen Zeit auf den Gegenkörper über. Der Übertragungsmechanismus beruht auf dem Effekt, dass ein Teil der Abrasivstoffe in der weichen Cu-Matrix arretiert ist. Bei Energieeintrag furcht das Korn mit höherer Härte die Oberfläche der weicheren Zapfenschutzbuchse. Diese wird nach einer gewissen Verschleißmarge aufgewalzt und führt ihrerseits oszillative Bewegungen relativ zum Zapfen durch. Dieser Prozess wird beschleunigt, wenn nach drei bis vier Pfannenjahren die aus thermomechanischer Beanspruchung resultierende unvermeidliche Zapfenschiefstellung zu einer weiteren Konzentration der Flächenpressung zur pfannenzugewandten Lagerseite führt. Die aus dieser Doppelbewegung resultierende Energieaufteilung hat zur Folge, dass der Buchsenverschleiß im Gehänge reduziert wird auf Kosten des verschleißenden Zapfens. Positiv ist die Erhöhung der Gebrauchsdauer der Gehängebuchse, negativ und damit sicherheitsrelevant ist die Verminderung der auf Biegung gerechneten Tragsicherheit des Zapfens durch massive Kerbwirkungen.

Gestaltungsprinzipen der neuen Stahl/Mn-Stahl-Gleitpaarung

Eine tribologische Lageroptimierung muss primär das Ziel haben, dass der Pfannenzapfen als essenzielles Tragorgan, während der gesamten Pfannenlebensdauer verschleißfrei bleibt und sekundär, dass alle Lagerelemente eine möglichst hohe Gebrauchsdauer bei niedrigen Instandhaltungskosten erreichen. Im Verschleißfall sollte nur die einfacher wechselbare Gehängebuchse ausgetauscht werden müssen, die Nutzungszeiten von Zapfenschutzbuchse und Pfanne aber möglichst zusammenfallen. "A priori" muss daher bei der Gestaltung von Material und Wirkflächen eine besondere Aufmerksamkeit den "mechanischen" Verschleißmechanismen, Abrasion und Oberflächenzerrüttung unter hohen Temperaturen und Vakuumbedingungen ("Warmverschleiß") zuteilwerden. Beachtet werden müssen Festigkeiten und Streckgrenzen unter thermischer und stoßartiger Beanspruchung beim beschleunigten Anhub und Absetzen und den damit verbundenen Eingriffsverhältnissen bei elastischer wie auch der später sich einstellenden plastischen Zapfenschiefstellung. Eine Rissbildung durch längerfristige Betriebs- oder gelegentliche Überbeanspruchung muss vermieden

Gemäß dem Stand der Technik ist ein höherer Warmverschleißwiderstand gegen körnige Medien nicht allein durch höhere Härten generierbar; ebenso bedeutsam ist eine ausgewogene Matrixzähigkeit. So können hartphasige Elemente im Gefüge den Verschleiß vermindern, wenn Härte und Verfesti-



Zähharter martensitischer Gleitwerkstoff mit reibungsvermindertem Overlay

 $Tough-hard\ martensitic\ sliding\ contact\ material,\ overlay\ with\ lower\ coefficient\ of\ friction$



5 Gleitverschleißfester warmstabiler Verbundwerkstoff, Basis: Mn-Stahl

High wear and warm resistance of composite material based on Mnsteel



6a

Zapfenschutzbuchse aus S355J2H mit Furchungen nach drei Monaten

Pin protection bushing made of steel showing deep scoring



6b

Gehängebuchse aus Cu-Legierung mit Fressern/ Furchungen nach drei Monaten

Ladle suspension bushing made of copper alloy showing seizure after three months



6c

Eingelaufene Zapfenschutzbuchse Ost; Schmierung einmal pro Monat

Well run-in pin protection bush east site; one relubrication per month



64

Zapfenschutzbuchse West; Schmierung zwei- bis dreimal pro Jahr

Pin protection west site; relubrication two to three times per year



6e

Neue Gehängebuchse nach wartungsfreiem Betrieb

New ladle suspension bushing after maintenance-free operation

gungsfähigkeit der Metallmatrizen mit Zähigkeit kombiniert sind. Notwendig und hinreichend ist somit eine optimale Kombination aus diesen gegenläufigen Werkstoffeigenschaften mit einem ausreichenden thermostabilen Härteverhältnis aller am Korngleitverschleiß teilhabenden Gleitelemente. Der Materialabtrag bei Abrasivstoffimmission sollte mit stark geminderter Verschleißgeschwindigkeit allein auf die Schlaufenseite verlagert sein. Die "Funktionsweise" der "hart/hart-zäh"-Paarung mit einem Härteverhältnis von 750 HV1 / 650 HV1 bei rollenden, wälzenden oder fixierten Abrasivkörnern resultiert aus der Wechselwirkung der Kontaktpartner bei statisch/dynamischer Kraftwirkung, wodurch im Mikro- und Makrokontakt mechanische Effekte wie Zerkleinern, Mahlen und in weitaus geringerem Maße auch Einbetten auftreten.

Eine technologische Grundlage der "Gesetzmäßigkeit", wonach der Verschleiß um ein Vielfaches ansteigt, wenn die Abrasivkornhärte die des Gleitwerkstoffes erreicht oder übersteigt, liefert das Hoch-/Tieflage-Diagramm, Bild 2. Der Sprung in die Hochlage tritt ein, wenn die Abrasivkornhärte 40 bis 60 % über dem Gleitwerkstoff liegt.

Die Erkenntnisse sind grundlegend, müssen jedoch ergänzt werden um weitere experimentelle Arbeiten. So kann bei hoher Adhäsionsneigung der Gleitpartner, insbesondere im Grenzreibungszustand, eine "milde Abrasivität" durch geeignete Körner den Verschleiß sogar senken [4]. Austenitische Manganhartstähle sind i. A. als Gleitwerkstoffe ungeeignet, da eine Neigung zu kurzfristigen "Fressern" (Austenitkleben) besteht. In einem firmeninternen Gleitversuch wurden die Geometrien von zylindrischen Buchsen der Sorte X120Mn12 so gewählt, dass

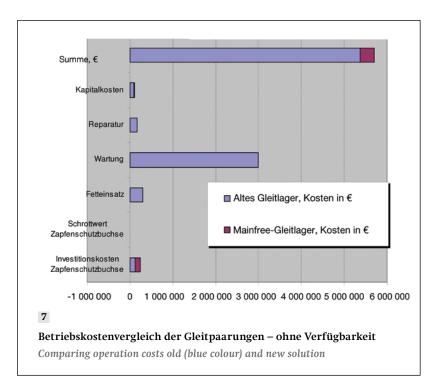
hohe Kantenpressungen entstehen. Die reibungsinduzierte martensitische Aufhärtung bis 600 HV1 verhinderte dort den Adhäsionsverschleiß, dagegen ist über den gesamten Gleitweg aus dem mittigen Austenitgefüge (nur 300 HV1) Material übertragen worden, Bild 3.

Die Relation Abrasivkorn-/Gleitwerkstoffhärte ist in der neuen Pfannenlagerung für beide Lagerteile unter größtmöglicher Zähigkeitsausnutzung realisiert. Als Werkstoffgrundlage dient ein modifizierter Manganstahl, der durch Verarbeitung, Wärmebehandlung und Oberflächentechnik im oberflächennahen Bereich die notwendigen mechanischen Eigenschaften zum Verschleißwiderstand aufbringt. Das Konzept beachtet, dass die Kontaktflächen im notwendigen Härteverhältnis zu den Kornhärten stehen. Gleichzeitig weist der Gleitwerkstoff als Verbundwerkstoff neben erhöhter Festigkeit und martensitischer Härte bzw. Zwillingsbildung einen niedrigeren dynamischen Reibungskoeffizient auf, der auch unter Wärme Bestand hat, Bilder 4 und 5.

Trotz des weiten Spektrums der Abrasivkornhärten läuft der Verschleiß in der Praxis von HKM planungsmäßig in der Tieflage ab mit Werten von 1 bis 2 mm über 10 bis 12 Jahre. Die Lagerung ist dauer- und ermüdungsfest und damit bruchsicher. Eine Gefügeuntersuchung zeigt nach zehn Jahren hoher thermomechanischer Beanspruchung nur ein geringes Wachstum von Korngrenzenkarbiden der globularen Art auf. Auch gegen Oberflächenzerrüttung unter Wärme ist die Lagerung nachhaltig gerüstet. Auch nach 12 Jahren mit ca. 900 Umläufen pro Jahr und periodischen Einsätzen zur Vakuumentgasung konnte eine durchgehende Rissbildung nicht festgestellt werden.

Ergänzender Theorie- und Praxisvergleich. Weil alle Verschleißbilder auf Dreikörper-Abrasionsverschleiß hinweisen, kann mit der scheinbaren Reibungsenergiedichte e^* nach Fleischer [5] eine Paarungs-Gebrauchsdauerkennziffer unter Vernachlässigung des minimalen Verschleißes der Zapfenschutzbuchse abgeschätzt werden. Diese Verschleißkenngröße gibt an, welche Reibungsenergie notwendig ist, um ein definiertes Werkstoffvolumen abzutragen. Je größer die Reibungsenergiedichte ist, desto größer ist die Beständigkeit gegen Abrasionsverschleiß. So muss eine größere Reibarbeit verrichtet werden bei gleichem Abtragvolumen. Mit der rotativen Reibungsarbeit W_R (Nm) und dem gemessenen Verschleißvolumen V_V (mm³) kann über das Drehwinkelintegral der Reibmomentenfunktion, bei über alle Pfannenzustände über den Winkel annähernd als konstant angenommenem Gleitreibungskoeffizient, die Fleischer-Formel erweitert werden.

Eine solche Vergleichsbetrachtung mit einem Gleitpaarquotienten aus spezifischen Reibungs-

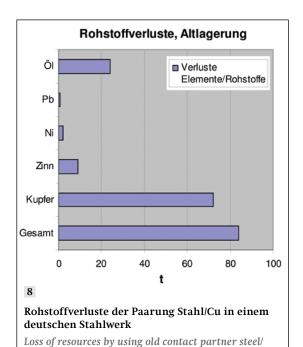


energiedichten bestätigt auch analytisch deutlich die Überlegenheit der neuen Gleitpaarung, siehe Gleichung (1), mit einem wesentlich höheren spezifischen Reibungsenergiewert. Bei gleichen Normalkräften und Drehwegen variieren nur die Reibungskoeffizienten und die Verschleißvolumina. Die Reibungswerte hängen von den Pfannenzuständen und den dabei wirksamen Flächenpressungen, Gleitgeschwindigkeiten. Temperaturen, Schmierzuständen ab und wurden aus z.T. experimentell bestimmten Werten gemittelt. Die gemessenen Verschleißvolumina beziehen sich auf die Laufzeit von 0,6 Jahren der Cu-Paarungen. Die Rechnung zeigt qualitativ eine ca. 200-fach höhere Verschleißbeständigkeit gegenüber der früheren Baustahl/CuSn₁₂-Paarung bei HKM auf.

Eine weitere stahlwerkspraktische Erfahrung konnte aus einem Vergleichsversuch Stahl- versus Kupferlegierung in der Sekundärmetallurgie der Salzgitter Flachstahl GmbH gewonnen werden (Kaltzapfen ≈ 200 °C). 2003 wurde an zwei tribotechnisch gleichartig beanspruchten 250-t-Stahlgießpfannen ein sechs Monate dauernder Vergleichsversuch gefah-

$$\frac{e_{r,St/Mn-St}^{*}}{e_{r,St/Cu}^{*}} = \frac{\frac{0.4 \sum\limits_{Lastspiele} \left\langle \int\limits_{0}^{\varphi(0,6)} F_{N}(\widetilde{\varphi}) \cdot r(\widetilde{\varphi}) \cdot d\widetilde{\varphi} \right\rangle}{V_{V(St/Mn-St)}}}{0.24 \sum\limits_{Lastspiele} \left\langle \int\limits_{0}^{\varphi(0,6)} F_{N}(\widetilde{\varphi}) \cdot r(\widetilde{\varphi}) \cdot d\widetilde{\varphi} \right\rangle} \approx \frac{\frac{0.4 \text{ Nm}}{0.05 dm^{3}}}{0.24 Nm} = 200$$

Gleichung 1



copper alloy in a German steelworks



Stahl-

Deutsche Stahlindustrie, Kosteneinsparungen in der Pfannenwirtschaft durch Lagerungswechsel

40 120 100

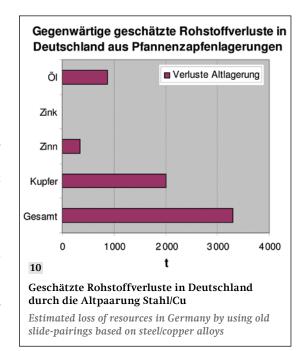
> Roheisengießpfannen

Mio €

ren. Eine Pfanne wurde mit der Paarung S355/Cu-Legierung, eine zweite Pfanne in der neuen zähharten Mn-Stahlversion in Verbunddesign ausgerüstet. Bei letzterer Pfanne sollte ergänzend an einer Zapfenseite (Ost) ein wartungsfreier Betrieb, hingegen an der anderen Zapfenseite (West) eine Schmierung/Monat, unter sonst gleichen Betriebsbedingungen getestet werden. Die Betriebsweise führt zu 900 Umläufen pro Jahr bei einem Schlackekippwinkel von 165° und einer Kippstuhlbewegung bis 135°. Nur zum Zweck der Geräuschdämpfung im Kippstuhl sollte die trockene Lagerseite zwei bis drei Mal pro Jahr geschmiert werden.

Bereits nach drei Monaten musste der Versuch mit der Stahl/Kupferlegierungs-Paarung wegen zu großer Wanddickenabnahme durch Furchungen und Eindrücken gestoppt werden, Bild 6a und 6b. Dagegen zeigte sich an den Zapfenschutzbuchsen der Stahl/Mn-Stahl-Paarung, Bild 6c, außer dem üblichen Einlaufverschleiß mit Glättung der Rauheitsspitzen kein Verschleiß. An der thermisch höher beanspruchten trockenen Zapfenschutzbuchse ist eine Blauverfärbung ohne besondere Verschleißspuren erkennbar, Bild 6d. Offensichtlich wirkt sich erwartungsgemäß eine moderate Schmierung nicht nur auf die "Leichtgängigkeit", sondern auch positiv auf die Energieumsetzung aus.

Die Testlagerung ist bis heute noch, nach zehnjährigem Betrieb, problemlos im Einsatz. Der nach acht Jahren gemessene Verschleiß liegt nach 7 000 Umläufen bei ca. 1 bis 1,5 mm an der Gehängebuchse. Die Zapfenschutzbuchse ist weiterhin fest fixiert am Zapfen und weist nur einen minimalen Verschleiß auf. Zwischenzeitlich wurde im gleichen Stahlwerk eine Roheisenpfanne mit bisher 20-fach



Kosteneinsparung, €

höherer Gebrauchsdauer ebenfalls positiv erprobt. Damit decken sich Formeltheorie und Praxiserfahrung mit den Erkenntnissen aus der Praxis bei den Hüttenwerken Krupp Mannesmann.

Ökonomischer und ökologischer Nutzen. Rechnet man die Verfügbarkeit und die wegen Stillstand erforderlichen Neuinvestitionen an Pfannen hinzu, resultiert aus dem verschleißintensiven Einsatz von Stahl/Cu-Paarungen über die Jahre in der Sekundärmetallurgie ein beträchtlicher Kostenfaktor in Millionenhöhe. Dagegen kann mit der neuen Gleitlagerung der periodisch hohe Kapital- und Personaleinsatz für halbjährliche Ersatzinvestitionen sowie ständige Reparatur- und Schmierkosten

stark reduziert werden. Die Einführung der neuen Gleitpaarung in Hochleistungspfannen im gesamten Stahlwerk hat zu Kosteneinsparungen in Höhe von über 5 Mio. € in 12 Jahren geführt, Bild 7. Die Umrüstung einer Stahl-, Roheisen- oder Mischerpfanne amortisiert sich bereits nach drei bis vier Monaten. Die Schlaufenbuchse kann nach Gebrauch unmittelbar im Stahlwerk recycelt werden — während einer Pfannenlebensdauer dürfte dies maximal nur einmal sein. Der Kostenaufteilung in Bild 7 basiert auf der realistischen Annahme, dass die Zapfenschutzbuchse nie gewechselt werden muss.

Eine Entlastung der Umwelt von Ölen als Bestandteil des Fettes sowie Ressourcenschonung von preisvolatilen Buntmetallen wie Kupfer, Zinn und Nickel in einem Stahlwerk über 12 Jahre zeigt Bild 8. Annähernd 50 bis 70 t an Rohstoffen, insbesondere an Buntmetallen, könnten eingespart werden. Auch unter volkswirtschaftlichen Aspekten ist der hohe Kupfer- und Zinnverbrauch in Pfannenlagerungen im rohstoffarmen Deutschland nicht sinnvoll.

Fazit

Die Bilanzierungen beziehen sich auf 10 bis 12 Jahre Betriebserfahrungen bei den Hüttenwerken Krupp Mannesmann und Salzgitter Flachstahl mit zusammen einer Jahresproduktion von ca. 12 Mio. t Rohstahl. Bei einer Jahreserzeugung von ca. 42 Mio. t Rohstahl über alle deutschen Stahlwerke würde sich die ökologisch-ökonomische Rendite vervielfachen. Eine Einsparung von über 200 Mio. € an Betriebskosten und von über 2 000 t Buntmetallen in 12 Jahren allein in der Sekundärmetallurgie deutscher Stahlwerke ist denkbar, Bilder 9 und 10.

Notwendig ist die Bereitschaft, tribotechnische Erkenntnisse insbesondere über das Verhalten von wartungsfreien/-armen Reibpaarungen unter Abrasionsbedingungen und hoher thermomechanischer Beanspruchung vermehrt zur Kenntnis zu nehmen und zu nutzen. Da in der europäischen/internationalen Stahlindustrie ähnliche Lagerungsbedingungen herrschen und i. W. die gleichen tribologisch kontraproduktiven Lagerwerkstoffe eingesetzt sind, folgte eine Potenzierung der Kosten- und Rohstoffeffizienzen. Damit verbunden wäre – aus nicht notwendigen Gewinnungs-, Reinigungs- und Herstellungsarbeiten und Transporten — auch eine erhebliche Senkung von CO2-Emissionen. Der in der Stahlwerkspraxis häufige Zapfenverschleiß entfiele und die Betriebssicherheit würde erhöht. Somit stellt die nunmehr ausreichend erprobte neue Stahlgleitpaarung eine nachhaltige Zapfengleitlagerung sowohl in ökonomisch-ökologischer als auch in sozialer Hinsicht dar.

Dr.-Ing. Franz-Josef Folz, Design & Entwicklung, Dr.-Ing. Folz Gleitlagertechnik GmbH, Püttlingen; Dr.-Ing. Olaf Kleinjan, Geschäftsführer, Asku-Scholten GmbH, Duisburg; Dipl.-Ing. Bernhard Burchartz, Neubauabteilung, Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH, Duisburg; Dipl.-Ing. Klaus-Dieter Hueske, ehemals Betriebsleiter Stahlwerk, Salzgitter Flachstahl GmbH, Salzgitter.

drfolz@gleitlagertechnik-folz.de

LITERATUR

- Schwalenstoecker, G.; Gohres, H. G.; Kleinjan, O.: stahl u. eisen 122 (2002) Nr. 9, S. 41/47.
- [2] Noglik, E.: Modifikation einer bestehenden Stahlgießpfanne nach neuheitlichen Erkenntnissen, Universität Duisburg-Essen, 2003 (unveröff.).
- [3] Abrasivstoffe in der Pfannenmetallurgie, Dr.-Ing. Folz Gleitlagertechnik GmbH, Püttlingen (unveröff. Studie).
- [4] Czichos, H.: Tribologie u. Schmierungstech. 31 (1984) Nr. 2, S. 260.
- [5] Fleischer, G.: Tribologie u. Schmierungstech. 31 (1984) Nr. 3.