

STAHLVERSCHLEISS UNTER WIRKUNG VON FLÜSSIGKEIT-STROM MIT WENIG FESTSTOFFGEHALT

J. SINKA*, L. TÓTH** and A. ZALAI***

*Donau Erdölraffinerie

**TU Budapest, Lehrstuhl für Technologie

***Berater für Tribologie

Vorgelegt von: Prof. Dr. J. Takács

Eingegangen: am 25. April 1991

Abstract

Investigation was conducted into the problem of wear and corrosion effect of a carbon-hydrogen fluid stream containing 0.0005 wt. % solid particles (wt. % = weight percent).

The apparatus, specimens and the methods of investigation are presented in this paper. We measured and interpreted the effect of the speed of fluid stream and the impact angle of solid particles, furthermore the influence of steel quality.

It was proved that the measured results of wear and corrosion have given reproducible values.

Keywords: corrosion, wear, fluid containing solid particles, methods.

Einleitung

Der Körnchen, feste Teilchen enthaltende Flüssigkeit-, oder Gasstrom verursacht einen größeren Verschleiß in den Leitungen als ein Fluidum ohne Feststoffgehalt. Die beeinflussenden Faktoren dieses Verschleißes sind:

- die Strömungsgeschwindigkeit,
- der Teilchen Anprall-Winkel an der Rohrwand,
- die Konzentration, Charakteristiken, wie Korngröße, Härte usw. des Feststoff-Teilchens,
- die mechanischen Eigenschaften Härte, chemische Zusammensetzung des Rohrmaterials, usw.

In DIN 50322 Norm sind vier Verschleiß-Mechanismen beschrieben, wie abrasiver, adhesiver, chemischer und oberflächenzerrüttelnder Verschleiß. Im Falle eines feststofffördernden, laminaren Fluidum-Stromes in den geraden Rohr-Abschnitten der abrasive Verschleiß ist charakteristisch.

Ein Strömungsrichtung-Wechsel verursacht eine Änderung in dem Anprall-Winkel der Teilchen. In Rohrkrümmungen, Abzweigungen, Ventilen kann dieser Winkel auch 90° betragen. In diesen Einrichtungen kann ein

oberflächenzerrüttelnder, d.h. Ermüdungsverschleiß durch die Anprallen der Teilchen auch auftreten.

Chemischer Verschleiß, Korrosion der Rohroberflächen tritt sowohl in den geraden, als auch in den gekrümmten Abschnitten, Abzweigungen auf. Die an der Rohrwand auftretende Strömungs-, anprallende und reibende Beanspruchung nennt die vorher genannte DIN-Norm gemeinsam als Erosion-Verschleiß.

In der Literatur werden die bei den hydraulischen und pneumatischen Stofftransporten auftretenden Verschleiß- und Erosion-Vorgänge, Untersuchungsergebnisse beschrieben [1, 2], sowie kritische Bewertungen, Analysen der Versuchsergebnisse [3, 4] von mehreren Autoren durchgeführt.

So z.B. beschreibt Kragelszki die Intensität des erosiven Verschleißes mit der Formel:

$$T_g = kv^m,$$

wo k einen von den mechanischen Eigenschaften der Festkörperteilchen und vom Anprallwinkel abhängenden Faktor, v die Strömungsgeschwindigkeit und m einen mit der Qualität des Rohrmaterials zusammenhängenden Faktor bedeutet. Bei 100 m/s Strömungsgeschwindigkeit hat k bei Weichstahl einen Wert von 2,3, bei gehärtetem Stahl 2,5 und Gußeisen mit weißem Bruch 2,8 [5].

Versuche, Messungen

Versuchseinrichtung

Verschiedene Einrichtungen und vier Probekörper-Typen wurden benutzt. *Abb. 1* zeigt die Einrichtung zur Messung des Rohrwandverschleißes. Es kann mit Flanschen zur Rohrleitung angeschlossen werden, und eignet sich zur Verschleißmessungen bei verschiedenen Strömungsverhältnissen. In die sogenannte Patrone des Apparates können 5 ringförmige Probekörper (c) mit einem inneren Durchmesser von 91 mm und einer Breite von 16 mm eingebaut werden. Die Ringe sind voneinander und von der Einrichtung mit Kunststoff-Einlagen getrennt. Die Oberfläche eines Ringes (c) beträgt $45,4 \text{ cm}^2$. Im Rohr ist der Flüssigkeits-Druck 1,7 bar. Zur Mitte der Einrichtung ist ein geschlossenes Rohr mit Manometer eingebaut. Eine Druckerhöhung bedeutet hier das Lochig werden dieses Rohres, also einen starken Verschleiß. Am anderen Ende des Apparates befindet sich ein zur Erosiven-Verschleiß-Messung dienender Probekörper (e), mit einer Oberfläche von 271 cm^2 , und die Einlage (f) zur Sicherung einer Strömungsrichtung-Ände-

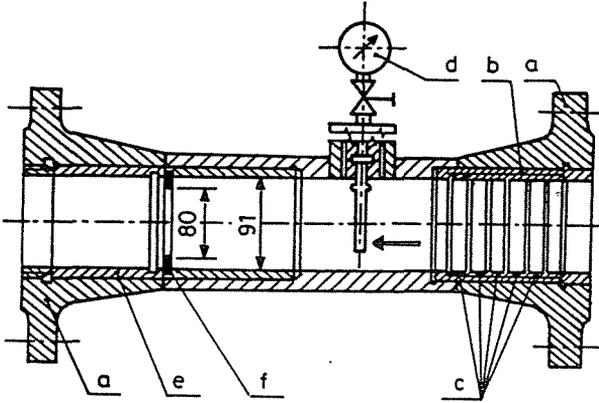


Abb. 1.

zung. Die Engpaß-Einlage mit inneren \varnothing von 65 mm sichert eine turbulente Strömung.

Abb. 2 zeigt die Einrichtung zur Untersuchung der Wirkung des Prallwinkels. Die Sonde enthält den, während des Betriebes aus- und einbaufähigen Probekörper (g), mit einer Ringscheibe-Form und Oberfläche von 7,05 bzw. 7,25 cm². Es kann im Verhältnis zu der Strömungsrichtung mit 30° oder 90° platziert werden.

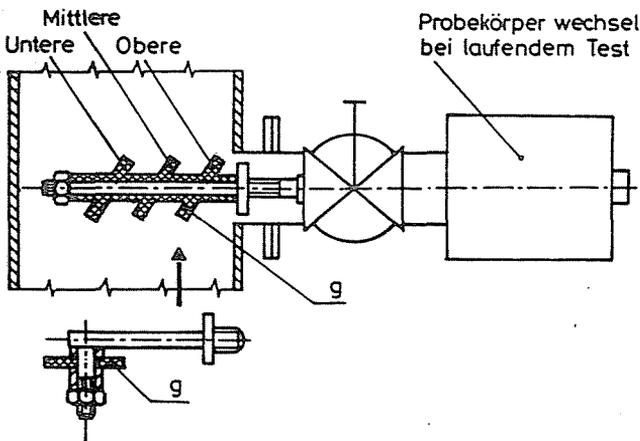


Abb. 2.

Tabelle 1
Daten der Stahlprobe-Körpern

DIN (andere) °N	St 52.0	(Fe 430 ISO)	RSt 37/2	St 33	Ck 45	×6 CrNiTi 18 11	MSz 2666-76	16 MnCr 5	Cr AlMo 7
Beschreibung	Unleg.	Unleg.	Unleg.	Unleg.	Gelass.	Austen.	Feder St.	Cement.	Nitrid St.
C Gehalt, %	0,19	0,22	0,17	0,13	0,43	0,06	0,61	0,16	
Mn Gehalt, %	1,3	0,45	0,4	0,17	0,7	2,0	1,3	1,2	
Si Gehalt, %	0,3	0,1		0,1	0,32	1,0	1,4	0,33	
Legier. Elem.	-	-	-	-	-	Cr 18.0 Ni 11.0 Ti 0,6	-	Cr 1.1 Al 1.0	Cr 1.55
Härte, BH	180	172	131	145	190	280	340	187	229
Ther. Beh.	Geglüht	Geglüht	Geglüht	Geglüht	Geglüht	Rekrist.	Rekrist.	Geglüht	Rekrist.
Verwendet in Versuch.	c/1/2,3,5 c/11/3 g/1/C e/1	c/11/1 c/11/4	c/111/3 c/111/4 c/111/5	c/IV/1,2 c/IV/3 2 e/IV g/IV/U,C,L	c/II/2g/1/L 2 c/II/5g/111/90°	g/11/90°	g/1/U	g/111/C	

Die Probekörper aus Stahl wurden aus warmgewalzten Stangen bzw. Rohren an der Drehbank hergestellt. In der *Tabelle 1* ist die chemische Zusammensetzung, die Härte, die Wärmebehandlung der Probekörper beschrieben.

Testmethoden

Verschleiß und Korrosion an den Probekörpern wurde durch Gewichtsverlust ermittelt. Nach den Testen enthalten die Probekörper eine Korrosionsschicht. Diese wurden mit 2% Salzsäure Inhibitor versehene 10%-ige Salzsäure entfernt. Nach Abwaschen und Trocknen gemessenes Probekörpergewicht wurde mit dem der Ungenutzten verglichen. Ein Gewichtsverlust wurde in einigen Fällen auch vor der Behandlung mit Salzsäure bestimmt. Gewichtsmessung erfolgte bei (c) und (g) Probekörpern mit der analytischen Waage, bei (e) mit Präzisionswaage.

Probestück-Rauhigkeiten wurden vor den Testen und nach der Salzsäure-Behandlung (einige male auch vor der Salzsäure-Behandlung) mit einem Perthometer Typ S6P gemessen. Es wurden die R_a , S_m und P_t Werte bestimmt.

Von den ausgeschnittenen Teilen der Probekörper wurden mit einer Neophot 25 Einrichtung Aufnahmen mit einer Vergrößerung von 250 gemacht. Die Aufnahmen zeigen milderen bis stärkeren Verschleiß, Pitting, Kratzer und Korrosion.

Versuchsergebnisse und Auswertung

Es wurde der Verschleiß, verursacht durch einen 0,0005% Feststoff enthaltenden Kohlenwasserstoff-Strom untersucht. Die Untersuchungsangaben des Fluidums sind in der *Tabelle 2* aufgeführt. Der Feststoff enthielt hauptsächlich Teilchen von 5 bis 30 μm Durchmesser.

Es wurden 4 Versuchsserien durchgeführt. Pro Versuch strömte 60 000–287 000 t Flüssigkeit durch die Messapparatur. Maximal wurden pro Versuch 10 Testkörper bewertet. Die Ergebnisse sind in der *Tabelle 3* zusammengefaßt. Das Zeichen der einzelnen Versuche zeigt die Probekörperform (c, e, g) deren Platzierung (1–5, 90° U, C, L) und die Nummer der Versuchsserien (I–IV).

Tabelle 2
Angaben des Fluidums

Flüssigkeit: Kohlenwasserstoff (Benzin Komponent)	
Spez. Gewicht bei 20°C	750 kg/m ³
Schwefelgehalt	0,04%
Inhibitor Gehalt	5-7 p.p.m
Feststoffgehalt	0,0005%
Temperatur im Rohr	60°C
Druck im Rohr	1,7 bar
Feststoff	Eisenoxid + SiO ₂
Teilchen Größe Verteilung:	
5-15 µm	25%
> 15 µm	75%

Tabelle 3
Erleuterungen

ø = Rohrdurchmesser, mm;	t = Flüssigkeitsmenge, Tonne;
d = Versuchsdauer, Tage;	c, e, g = Versuchs-Stück-Bezeichnung;
I, II, III, IV = Versuchs N°;	1, 2, 3, 4, 5, 90°;
U, C, L, = Versuchs-Stück-Position;	M = 220 000 t/69 d;
N = 60 350 t/50 d;	P = 58 000 t/69 d;
R = wie c/I;	T = wie c/IV;
x = 16 MnCr 5;	y = x 6 CrNiTi 18 11;
z = CrAlMo 7;	v = MSz 2666-76

Wirkung der Strömungsgeschwindigkeit

Das Fluidum hatte eine Geschwindigkeit zwischen 2,1-4,2 m/s. Diese Differenzen verursachten in dem Verschleiß und in der Erosion keine solche Änderung, die eindeutig auf die Differenzen in der Strömungsgeschwindigkeit zurückzuführen waren.

Wirkung des Anprall-Winkels

Die Ergebnisse der Versuchen, durchgeführt mit Stahl St 33, bei 30° und 0° Anprall-Winkel sind in der *Tabelle 4* zusammengefaßt. Bei einem Anprallwinkel von 30° ist der Verschleiß 7,6-mal größer als bei 0°. Die Rauigkeit (R_a) verringerte sich bei 30°. Bei 0° war die Änderung nicht charakteristisch.

In der *Tabelle 5* sind die Resultate der Versuche durchgeführt mit x 5 CrNiTi 18 11 Stahl Probekörpern, bei 90° und 30° und mit ungarischer

Tabelle 3
Versuchs-Parameter und Ergebnisse

Versuchs N°	c/I/2	c/I/3	c/I/5	c/II/1	c/II/2	c/II/3	c/II/4	c/II/5	c/VI/2/	c/VI/4	c/VI/5
Stahl, DIN N° (Andere N°)	St 52,0			(Fe430)	Ck 45	St 52,0	(Fe 430)	Ck 45	St 33		
Versuchs-Parameter	136 722 t/142 d ø91			6835t/50 d ø91					143 400 t/34 d ø91		
Strömungsgeschwindigkeit, m/s	2,4			3,0					4,2		
Verschleiß, $g \cdot 10^{-3} / cm^2 \times 100\,000\ t$	0,96	1,4	1,01	1,85	1,75	1,8	1,9	2,0	0,20	0,14	0,15
Rauhigkeit, μm											
R_a vor dem Versuch	3,19	6,26	12,1	6,44	7,13	8,3	6,22	9,15	3,6	1,8	6,0
R_a nach dem Versuch	3,53	4,60	8,76	6,12	6,08	8,03	6,27	7,59	7,61	1,04	5,13
S_m vor dem Versuch	197	140	151	167	151	145	163	148	-	-	-
S_m nach dem Versuch	238	140	145	175	150	148	201	154	333	114	286
P_f vor dem Versuch	19,8	25,25	41,0	28,2	34,0	36,2	26,5	36,7	-	-	-
P_f nach dem Versuch	27,4	26,30	36,8	38,2	38,0	38,5	44,7	38,6	49,6	10,7	37,4

Versuchs N°	c/III/3	c/III/5	g/I/U	g/I/l	g/III/C	g/IV/U	g/IV/C	g/IV/L	g/II/90	g/III/90	c/l	c/IV
Stahl, DIN N° (Andere N°)	St 37-2		x	y	z	St 33			v	y	St 52	St 33
Versuchs-Parameter	58000 t/69 d ø91		138500t/144 d ø81		ø150 M	286.000 t/84 d; ø150			ø81 N	ø81 P	ø81 R	ø81 T
Strömungsgeschwindigkeit, m/s	2,1		3,0		3,0	2,9			3,1	2,7	2,4	4,2
Verschleiß, $g \cdot 10^{-3} / cm^2 \times 100\,000\ t$	0,69	0,47	3,4	0,08	1,0	1,57	0,87	1,19	5,8	1,05	3,74	1,03
Rauhigkeit, μm												
R_a vor dem Versuch	3,04	4,12	2,87	0,79	2,5	8,0	12,7	14,9	3,05	1,42	2,10	4,07
R_a nach dem Versuch	3,46	3,79	4,5	0,67	2,76	8,62	7,02	12,2	3,50	1,44	3,65	4,32
S_m vor dem Versuch	613	667	163	234	457	400	667	1000	205	140	154	200
S_m nach dem Versuch	244	235	622	245	368	285	571	1000	126	146	667	186
P_f vor dem Versuch	35,9	44,5	20,7	6,33	24,5	60	73,0	121	20,1	11,4	16,1	30,7
P_f nach dem Versuch	25,0	42,2	56,8	6,0	34,0	44,2	36,6	107	16,0	14,6	40,0	34,3

Tabelle 4
Vergleich des Verschleißes bei 0° und 30° Anprallwinkel

Versuchs N°	g/IV/U, C, L	C/IV/2, 4, 5
Stahl		St 33
C %		0,13
Mn %		0,17
Si %		0,1
Anprallwinkel °	30	0
Verschleiß, ($g \times 10^{-3} / \text{cm}^2 \times 100\,000\text{ t}$)	1,21	0,16
Verschleiß (relativ)	7,6	1

Standard, MSZ 2666-76 Stahl Probekörper bei 90° Anprallwinkel gezeigt. Bei 90° erzielten wir ein 13-mal intensiveren Verschleiß als bei 30°. Die Rauigkeit-Veränderung war klein.

Tabelle 5
Vergleich des Verschleißes bei 30° und 0° Anprallwinkel

Versuchs N°	g/III/90	g/I/L	g/II/90
Stahl	x 6 CrNiTi 18 11		MSz 2666-76
C %		0,06	0,61
Mn %		2,0	1,3
Si %		1,0	1,4
Cr + Ni + Ti %		29,6	—
Härte HB	280		340
Anprallwinkel °	90	30	90
Verschleiß ($g \times 10^{-3} / \text{cm}^2 \times 100\,000\text{ t}$)	1,05	0,08	5,8
Verschleiß (relativ)	13	1	—

Der MSZ 2666-76 Stahl gab bei 90° ebenfalls große Verschleißwerte.

Zwischen den Probekörpern von 4 verschiedenen Formaten werden die mit *c* und *e* bezeichneten in 0°, mit *g* bezeichneten in 30°, und die mit *g/90* markierten in 90° Stellung im Verhältnis zu der Strömungsrichtung eingesetzt. Strömt die gleiche Menge Flüssigkeit (100 000 t) über die Probekörper, so ist die Anprall-Zahl pro Oberflächeneinheit größer an 90° und 30° Position als bei 0°. Weil der Anprallwinkel einen erheblichen Einfluß auf dem Verschleiß hat, so dürfen wir den Effekt der anderen Parameter nur mit aus identischem Anprallwinkel durchgeführten Versuchen gewonnenen Ergebnissen ermitteln.

Wirkung der Stahlqualität

Es wurden Versuche mit 5 ringförmigen (c) Probekörpern, hergestellt aus unlegiertem Stahl, bei 0° Anprallwinkel durchgeführt. St 52.0, R St 37-2 und Fe 430 sind nahtlose Rohrstahtqualitäten mit einem Mn-Gehalt 0,4-1,3%. St 33 ist eine unlegierte Konstruktions-Stahl, Ck 45 aber eine veredelbare Stahlqualität. Die Proben wurden aus normalisierten Materialien hergestellt.

Tabelle 6
Versuche mit unlegiertem Stahl (Anprallwinkel 0°)

Versuchs N°	c/IV/2, 4, 5	c/III/3, 5	c/I/2, 3, 5 c/II/3	c/II/1 c/II/4	c/II/2 c/II/5
Stahl	St 33	RSt 37-2	St 52.0	Fe 430 (ISO)	Ck 45
C %	0,13	0,17	0,19	0,22	0,43
Mn %	0,17	0,40	1,3	0,45	0,7
Si %	0,1	—	0,3	0,1	0,32
Härte HB	145	131	130	172	190
Verschleiß $g \times 10^{-3}/cm^2 \times 100\,000\ t$ (Durchschnitt)	0,16	0,58	1,29	1,88	1,9

Die Untersuchungsergebnisse sind in der *Tabelle 6* zu sehen. Bei Stählen mit größerem Kohlenstoffgehalt, größerem Mn-Gehalt, größerer Härte erhielten wir einen größeren Verschleiß, was auch aus den *Abbildungen 3, 4* und *5* folgt. Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit der von Kragelszki festgelegten Verschleiß-Intensität-Formel. Wir ermittelten auch einen wenigeren Verschleiß mit Stählen von kleinerer Härte, kleinerem Kohlenstoff- und Mn-Gehalt.

2 Versuche liefen mit Probekörpern *e* bei 0° Anprallwinkel und mit Strömung beeinflussenden Verengung (*f*). Dadurch erhöhte sich die Zahl der Anprallungen und auch der Gewichtsverlust ist größer, verglichen mit dem Verlust gemessen bei laminarer Strömung. Ergebnisse sind in *Tabelle 7* gegeben. Mit höherem C- und Mn-Gehalt und größerer Härte wächst der Gewichtsverlust auch in diesen zwei Testen. Unlegiertes St 33 Konstruktionsstahl zeigt einen kleineren Verschleiß als die unlegierte nahtlose Stahlrohr Qualität.

Durch Vergleichen der durchschnittlichen Verschleiß-Werte der Versuche *e/IV* und *c/IV, 2,4,5* durchgeführt mit St 33 Stahl, sowie *e/I* und *c/I,2,3,5 + c/II* Teste durchgeführt mit St 52.0 konnte bei 0° Anprall-

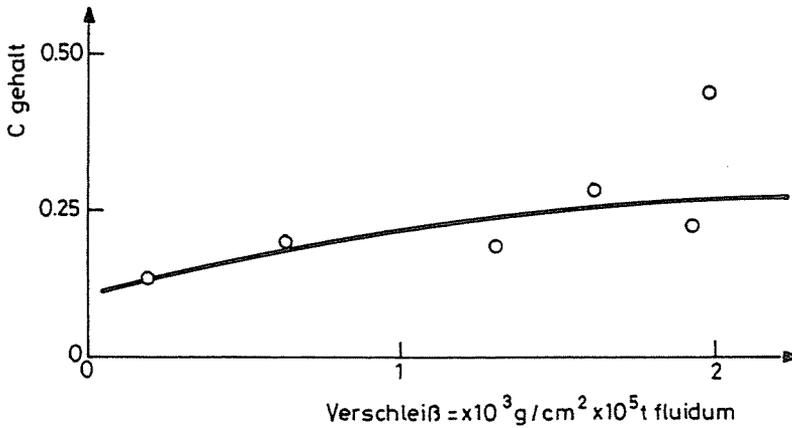


Abb. 3.

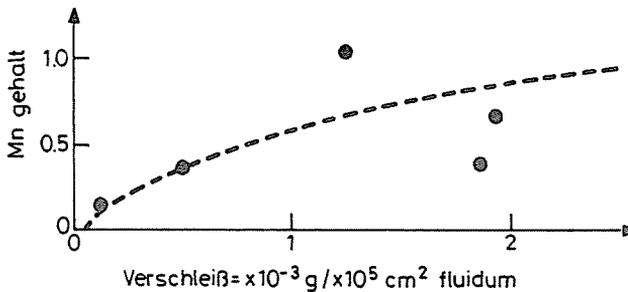


Abb. 4.

winkel eine dreifache Verschleißerhöhung wahrgenommen werden bei der turbulenten Strömung im Verhältnis zu laminaren.

Im Laufe der Versuche mit den ringscheibeförmigen *g* benannten Probestkörpern wendeten wir drei verschiedene legierte Stahl-Qualitäten an:

- normalisierten, einsetz-hartbaren 16 MnCr 5, Stahl mit 1,1% Cr-Gehalt;
- temperen, vergütbaren zum Nitridieren geeigneten mit 1,55% Cr und 1,0% Al-Gehalt. (CrAlMo 7);

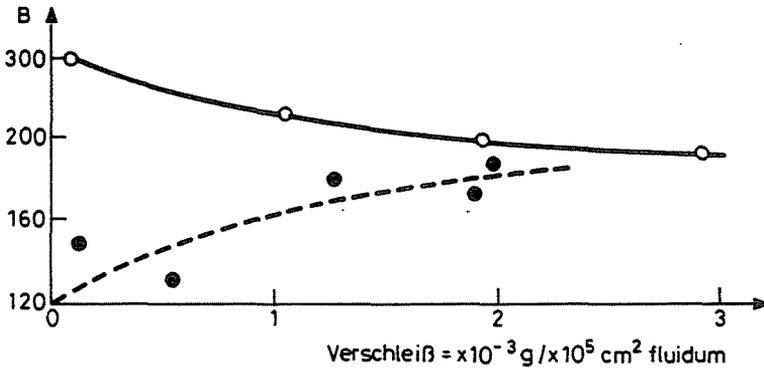


Abb. 5.

Tabelle 7

Versuche mit turbulentem Strom und mit Probekörpern e

Versuchs N°	e/IV	e/I
Stahlsortiment	St 33	St 52.0
C %	0,13	0,19
Mn %	0,17	1,30
Si %	0,1	0,3
Härte HB	145	180
Verschleiß: $g \times 10^{-3} / \text{cm}^2 \times 100\,000 \text{ t}$	1,03	3,74

- temperen, austenitischen, nichtrostenden x 6 CrNiTi 18 11 Stahl mit 18% Cr, 11% Ni, 0,6% Ti-Gehalt.

Tabelle 8

Versuche mit legiertem Stahl (Vergleich mit unlegiertem Stahl)

Versuchs N°	g/I/U	g/III/C	g/I/L	g/IV/U, C, L
Stahl	16 MnCr 5	CrAlMo 7	x 6 CrNiTi 18 11	St 33
C %	0,16	0,41	0,06	0,13
Mn %	1,2	0,5	2,0	0,17
Si %	0,33	0,32	1,0	0,1
Legierung %	1,1	2,55	29,6	—
Härte HB	187	229	280	145
Verschleiß:				
$g \times 10^{-3} / \text{cm}^2 \times 100\,000 \text{ t}$	3,4	1,0	0,08	1,21

Ergebnisse sind in der *Tabelle 8* und in dem oberen Teil der *Abb. 5* zu sehen. Der Gewichtsverlust der Probekörper hat mit dem, durch Legierung erzielten Härte-Zuwachs der Legierung abgenommen. Diese Erfahrungen sind im Einklang mit denen der Literatur. 1% Cr-Gehalt scheint noch wenig zu sein. Cr-Gehalt bei cca. 1,5% zusammen mit 1% Al sichert schon einen günstigen Verschleiß-Widerstand. Die auf Grund großer Mengen von Cr und Ni sich ergebende Austenit-Struktur sichert eine signifikante verschleißmindernde Wirkung. Mit Hilfe der Versuche mit *g* Probekörpern ist möglich die Ergebnisse mit legierten und unlegierten Stücken zu vergleichen. Das beste Resultat ergab sich mit unlegiertem Stahl der St 33 Qualität deren Verschleißwert ist kleiner als der des 16 MnCr 5 Stahles und nur mit wenig bleibt es zurück im Vergleich mit dem Stahl CrAlMo 7.

Verhältnis von Verschleiß und Korrosion

Das Verhältnis zwischen erosiven und korrosiven Verschleiß wurde aus Gewichtsmessungen an den ringförmigen Probekörpern *c* vor und nach Abwaschen mit Salzsäure ermittelt.

Tabelle 9
Verteilung vom Verschleiß, Erosion und Korrosion

Versuchs N°	c/I/1	c/I/2	c/I/3	c/I/4	c/I/5	Durchschnitt	%
Gew. Verlust vor Lösen (Erosion), g	0,3409	0,3997	0,3109	0,3061	0,3807	0,3489	54
Gew. Verlust nach Lösen (Summa), g	—	0,6359	0,6788	—	0,6264	0,6470	100
Gew. Verlust durch Lösen (Korrosion), g	—	0,2362	0,3679	—	0,2457	0,2981	46

Die Resultate sind in der *Tabelle 9* zu ersehen. Durchschnittlicher Gewichtsverlust nach der Lösung mit Salzsäure (Verschleiß+Erosion) war 0,6470 g. Dieser Wert nennen wir 100% Verlust. Ohne Salzsäure Behandlung, also der reine Verschleiß war 0,3489 g, 54% Verlust.

Das inhibitierte 10%-ige Salzsäure greift das Eisen nicht an, löst aber die Korrosionsprodukte. Aufgrund dieser Messungen stellen wir fest, daß in unseren Versuchen aus den gesamten Gewichtsverlust 50–60% als Erosion

und 40–50% als Korrosion angenommen werden kann. Laut Rauchigkeit Teste durch die Salzsäurebehandlung änderte sich P_t nicht charakteristisch, das S_m hat sich verkleinert und das R_a wesentlich zugenommen. Die nahe liegenden kleineren Spitzen sind durch die Salzsäurebehandlung frei geworden, deshalb R_a wurde tiefer und dichter.

Reproduzierbarkeit der Messwerte

In vier, mit den aus selben Stahlqualitäten und mit identischer Form hergestellten Probekörpern durchgeführten Testen /c/I/2,3,5 und c/II/3 waren die Gewichtsverluste 0,98, 1,40, 1,01, 1,80 g. $10^3/\text{cm}^2 \times 100\,000\text{ t}$ Fluidum. Der Verschleiß ist in der obigen Dimension durchschnittlich 1,30, 0,5–0,34 (Tabelle 10). Wir halten diese Reproduzierbarkeit als annehmbar, auch wenn wir vor Auge halten, daß die Ausgangs R_a -Werte der Probekörper, abhängig von der Bearbeitungsprozess genügend verschieden waren, d.h. 3,19–12,1 μm betragen. S_m und P_t änderten sich bei dem Probekörper zwischen 140–200 μm bzw. 20–41 μm .

Tabelle 10
Reproduzierbarkeit

Versuchs N°	Verschleiß $\text{g} \times 10^{-3} / \text{cm}^2 \times 100\,000\text{ t}$	Durchschnitt
c/I/2	0,96	1,3 $\begin{matrix} +0,5 \\ -0,34 \end{matrix}$
c/I/3	1,40	
c/I/5	1,01	
c/II/3	1,80	

Gute Reproduzierbarkeit zeigen auch die Resultate der c/II/2 und c/II/3 sowie die der c/II/1 und c/II/4 Versuche.

Literatur

1. ENGEL, A. P.: Impact Wear of Materials. Amsterdam. Elsevier Publ. Comp. 1978. p. 200.
2. SCHEURELL, H-B.: Verschleißschätzung bei der hydraulischen Feststoff-Förderung durch Rohrleitungen. *Aufbereitungstechnik* Vol. 9 (1985) pp. 505–512.
3. ZALAI, A. – KOZMA, M.: Szilárd részecskék szállítás csövezeték kopása. *Gépgyártás-technológia*, Vol. 29 (1989) (1) pp. 34–44.
4. MARCUS, R.: Wear in Freight Pipelines — a Limiting Factor? *South African Mech. Engineer*, Vol. 34 (1984) pp. 80–86.

5. KRAGELSZKI, I. V.: Trenije Iznasivaniye i szmazka. *Masinosztrojenije*, Moskau, 1978.
pp. 323-336.

Addresses:

J.SINKA
Donau Erdölraffinerie
Szászhalombatta, Kőolajfinomító

Dr. L. TÓTH
TU. Budapest. Lehrstuhl für Technologie
1118 Budapest, Somlói u. 5

Dr. A. ZALAI
Berater für Tribologie
1085 Budapest, József krt. 51