

Mitteilung aus dem
Deutschen Kunststoff-Institut
Darmstadt

Verschleiß an Metalloberflächen, die mit schnell strömenden Kunststoff- schmelzen in Berührung stehen

Cand. mach. Peter Eggering,
Priv.-Doz. Dr. Werner Knappe,
cand. mach. Klaus Stärk

Wear of Metal Surfaces that Come in Contact with Rapidly Flowing Plastics Melts

Usure de surfaces métalliques entrant en contact avec des matières plastiques fondues s'écoulant rapidement

Mit der zunehmenden Verarbeitung füllstoffhaltiger Kunststoffmassen auf Schnecken-Spritzgußmaschinen und Extrudern wird der an Rückströmsperren, Schnecken und Zylindern dieser Maschinen auftretende Verschleiß immer mehr zu einem Problem. Manchmal tritt gemeinsam mit dem Verschleiß auch Korrosion auf. In der vorliegenden Arbeit wird eine Prüfmethode beschrieben, mit der metallische Werkstoffe in Hinblick auf ihre Beständigkeit gegen Verschleiß und Korrosion unter ähnlichen Bedingungen, wie sie beim Spritzgießen vorliegen, vergleichend bewertet werden können. Einige Ergebnisse, vorwiegend mit glasfaserverstärkten Thermoplasten als verschleißende Massen, werden mitgeteilt.

1. Einführung

Verschleißerscheinungen an Preß- und Spritzpreßwerkzeugen bei der Verarbeitung füllstoffhaltiger Duroplaste sind seit langem bekannt. So haben Bauer u. a. [1] eine einfache Prüfmethode entwickelt, mit der man die Verschleißfestigkeit der für den Formenbau verwendeten Stähle vergleichend bewerten kann.

Auch bei der Verarbeitung von füllstoffhaltigen Elastomeren werden Verschleißerscheinungen beobachtet [2].

Große Bedeutung erlangte das Verschleißproblem mit der zunehmenden Verarbeitung glasfaserverstärkter Thermoplaste auf Schnecken-Spritzgußmaschinen [3, 4]. Mehrfach wurde hierbei auf den im Vergleich zu anderen Thermoplasten mit gleicher Glasfaserkonzentration erheblich größeren Verschleiß durch 6,6-Polyamid hingewiesen. Die Vermutung, daß hierbei Korrosion eine Rolle spielt, liegt nahe [5, 6]. Ausgeprägter Verschleiß tritt auch bei der Extrusion von Profilen aus Weich-PVC auf, das ferromagnetische Füllstoffe enthält.

In den meisten Fällen tritt der Verschleiß überwiegend an den Stegen im vorderen Teil der Schnecke und an den Rückströmsperren sowie an den entsprechenden Innenflächen des Zylinders auf. Die dadurch bedingte Vergrößerung des Schneckenspiels führt zu einer wachsenden Leckströmung, welche die Förderung der Schnecke schließlich zum Erliegen bringt. Da die Schneckenstege den Zylinder nur teilweise berühren, ist der Verschleiß auf der Zylinderoberfläche erwartungs-

gemäß geringer als auf den Oberflächen der Schneckenstege. Damit ist auch in Übereinstimmung mit der Erfahrung die Lebensdauer des Zylinders um ein mehrfaches größer als die der Schnecke. In ungünstigen Fällen können die meistens gebräuchlichen gasnitrierten Schnecken bereits nach wenigen Monaten (bei Schnecken-Spritzgußmaschinen nach ca. 30 000 Schuß) unbrauchbar werden.

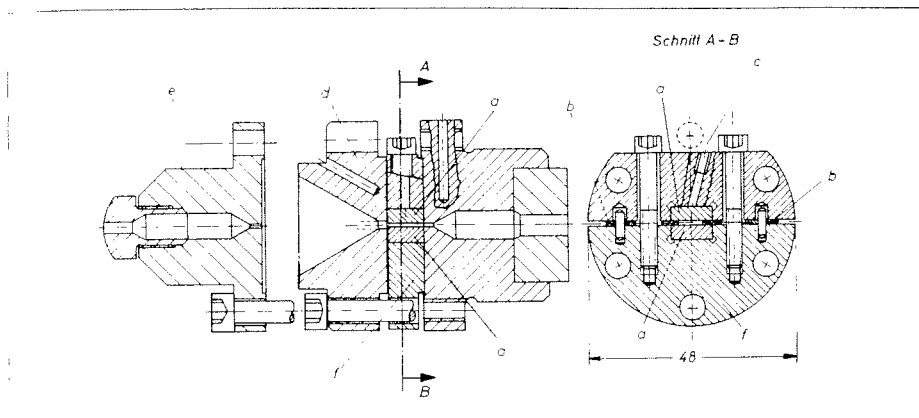
Größere Lebensdauer erzielt man, wenn man anstelle von Zylindern aus Nitrierstahl solche Zylinder verwendet, die mit harten und korrosionsbeständigen Sonderlegierungen ausgestattet sind (Bimetall-Zylinder) [4]. Erfolge bei der Erhöhung der Verschleißfestigkeit der Schnecken wurden vorwiegend durch Aufbringen von Oberflächenschichten aus Titan- und Wolfram-Carbid, Bepanzerung der Schneckenstege mit Hartmetallaufgaben und in den letzten Jahren auch durch Ionitrieren erzielt. Quantitative Angaben über die Erfolge derartiger Maßnahmen sind in Arbeiten von Ladwig und Sommer [7, 8] enthalten, ohne daß jedoch nähere Angaben über die verwendeten Stähle und Oberflächenbehandlungen gemacht werden. Weitere Erfahrungen mit Bimetall-Zylindern, hartverchromten und nitrierten Schnecken sind in einer Arbeit von R. A. Butler [9] zusammengefaßt.

Neuerdings gewinnen auch superharte Boridschichten, siehe zum Beispiel [10], als verschleißmindernde Oberflächenschichten an Interesse.

Die Lebensdauer von Rückströmsperren bei der Verarbeitung von 6,6-Polyamid mit Glasfasern konnte durch polierte Hartchromauflagen wesentlich gesteigert werden [6].

Abschließende durch genügend Versuche gesicherte Erfahrungen liegen noch nicht vor, so daß noch keine eindeutigen Empfehlungen gegeben werden können. Auch über den Zusammenhang zwischen Verschleiß und den Verarbeitungsbedingungen (Drücke, Temperaturen, Strömungsgeschwindigkeiten u. a.) ist noch relativ wenig bekannt. Einen Überblick über die beim Verschleiß von Schnecken maßgeblichen Ursachen haben vor kurzem Merdies und Bassner [11] gegeben.

Da Verschleißversuche an Bauteilen von Kunststoffverarbeitungsmaschinen relativ lange Zeiten und große Mengen an durchgesetzter Kunststoffmasse erfordern, wurde mit dieser Arbeit der Versuch unternommen, eine Prüfmethode zu entwickeln, die ähnlich wie das von Bauer u. a. [1] für Duroplaste entwickelte Verfahren in kurzen Zeiten und mit geringen Durchsätzen Aussagen über den Verschleiß durch verschiedene Kunststoffmassen sowie über die Verschleißfestigkeit verschiedener metallischer Werkstoffe erlaubt.



1: Düse für Verschleißuntersuchungen — Nozzle for investigations on wear — Buse pour examens de l'usure

a Probekörper (Plättchen), b Distanzplättchen, c Bohrung für Thermoelemente, d Vorsatz für das Spritzen ins Freie, e Vorsatz für das Spritzen in eine Form, f Platte zur Halterung der Probekörper

2. Beschreibung des Prüfverfahrens

Plättchenförmige Probekörper (Abmessungen $15_{-0,02} \times 12_{-0,01} \times 5_{-0,01}$ mm) werden in der Düse eines Extruders oder einer Spritzgußmaschine so angeordnet, daß sie einen schmalen Spalt für den Durchtritt der Masse bilden. Der von der durchströmenden Masse verursachte Verschleiß läßt sich leicht durch anschließende Ermittlung der Gewichtsverluste der Plättchen bewerten. Weitere Aufschlüsse liefern Oberflächenuntersuchungen mit dem Raster-Elektronenmikroskop sowie Messungen der Oberflächenrauigkeit. **Abb. 1** zeigt eine Schnittzeichnung der Düse mit den eingebauten Plättchen.

Die beiden Probekörper (Plättchen) a werden durch eine Platte f im mittleren Teil der Düse gehalten, vgl. den Schnitt A-B rechts. Die Spaltweite zwischen den beiden Probekörpern wird durch Distanzplättchen b eingestellt. Die Bohrung c dient zur Aufnahme eines Thermoelementes zur Messung der Probekörpertemperatur. An die Platte mit den Probekörpern schließt sich nach links ein Teil d mit trichterförmiger Öffnung für das Spritzen ins Freie an. Für das Spritzen in eine Form dient der links abgebildete Vorsatz e, welcher dann anstelle des Teils d tritt. Anstatt des mittleren Teils f kann auch eine dickere Platte eingesetzt werden, welche die Anordnung von mehreren Probekörperpaaren hintereinander ermöglicht.

Zum Wiegen der Plättchen a vor und nach dem Versuch benutzen wir eine Halbmikrowaage, die bei einem maximal zulässigen Gewicht von 20 g Wägungen mit einer Genauigkeit von $\pm 1 \cdot 10^{-2}$ mg ermöglicht. Der maximale Fehler der von uns zur Bewertung des Verschleißes ermittelten Gewichtsverluste ΔG wird auf $\pm 5 \cdot 10^{-2}$ mg geschätzt. In diesen Fehler gehen auch die von der Reinigung der Plättchen herrührenden Unsicherheiten ein.

Während die Reinigung der Plättchen nach dem Versuch bei duroplastischen Spritzgußmassen ähnlich wie die Reinigung der Formen keine Schwierigkeiten bereitet, muß man bei Thermoplasten Lösungsmittel zu Hilfe nehmen. Vor allem muß durch Vorversuche an unverschlissenen Plättchen sichergestellt sein, daß das gewählte Lösungsmittel nicht das Metall des Plättchens angreift und auf diese Weise einen scheinbar erhöhten Verschleiß verursacht. So ist zum Beispiel die als Lösungsmittel für Polyamide gebräuchliche Ameisensäure für die Reinigung der Plättchen nicht geeignet. Das gleiche gilt auch für das vielfach als Reinigungsmittel empfohlene Handelsprodukt KONTROX H 12 (Hersteller: Kluthe, Heidelberg).

Tab. 1 enthält eine Zusammenstellung der wichtigsten in dieser Arbeit verwendeten glasfaserverstärkten Thermoplaste, ebenso Angaben der verwendeten Lösungsmittel, der Temperaturen und der Zeiten der Lösungsmittelinwirkung. Zur Reinigung werden die im warmen Zustand ausgebauten Plättchen zuerst mit einem Hartholzschaber schonend gesäubert. Für die anschließende Reinigung in siedendem Lösungsmittel verwenden wir einen Dreihalskolben mit aufgesetztem Rückflußkühler. Die Plättchen werden durch einen seitlichen Kolbenhals mit der Pinzette eingeführt und auf die im Kolben befindlichen Siedesteinchen gelegt.

Zur Durchführung unserer Versuche diente eine Schnecken-Spritzgußmaschine (Hersteller: Ankerwerke Gebr. Goller, Nürnberg, Typ V 14 — 60), die mit ihrem Hochdruck-Zylinder äußere Spritzdrücke bis zu 1100 kp/cm^2 erlaubt. Mit einer gleichartigen Düse und Plättchen mit den gleichen Abmessungen wie in **Abb. 1** wurden ferner bei den Chemischen Werken ALBERT¹ Verschleißversuche mit duroplastischen Spritzgußmassen durchgeführt. Angaben über die verwendete

Tab. 1: Zusammenstellung der verwendeten Thermoplaste

Lfd. Nr.	Thermoplast	Glasfaserkonz. (Gewichts-%)	Hersteller	Handelsname und Type	Abkürzung	Lösungsmittel, Temperatur und Zeit der Einwirkung
1	Styrol-Acrylnitril-Copolymer	35	BASF	Luran KR 2517	SAN - 35 % GF	Aceton, Zimmertemp., 15 min
2	Polycarbonat	30	Bayer	Makrolon GV 30	PC - 30 % GF	Chloroform, Siedetemp., 15 min
3	6,6-Polyamid	35	BASF	Ultramid A3 WG7	6,6 PA - 35 % GF	m - Kresol, Siedetemp., 15 min
4	6,6-Polyamid	0	BASF	Ultramid A3	6,6 PA	
5	6,6-Polyamid	15	BASF	Ultramid A3 WG3	6,6 PA - 15 % GF	
6	6,6-Polyamid	25	BASF	Ultramid A3 WG5	6,6 PA - 25 % GF	
7	6,6-Polyamid	50	BASF	Ultramid A3 WG10	6,6 PA - 50 % GF	

Schnecken-Spritzgußmaschine und die Verarbeitungsbedingungen sind in der Bildunterschrift zu **Abb. 4** aufgeführt. Schließlich wurde eine weitere Düse mit auswechselbaren Plättchen für Verschleißmessungen während der Produktion verwendet².

Gegenüber andersartig geformten Probekörpern haben rechteckige Plättchen folgende Vorteile:

1. In dem von den Plättchen gebildeten Spalt herrschen einfache Strömungsverhältnisse.
2. Die für eine genaue Messung erforderlichen Gewichtsverluste von wenigen mg verändern die Spaltweite und damit die Strömungsverhältnisse nur unwesentlich. Ein Gewichtsverlust von 1 mg entspricht einer Dickenverminderung der Plättchen um etwa 1 µm.
3. Die Oberfläche der Plättchen bietet die Möglichkeit, Änderungen in der Oberflächenstruktur mit den in der Materialprüfung gebräuchlichen Methoden der Rauheitsmessung sowie mit dem Mikroskop und dem Raster-Elektronenmikroskop zu untersuchen.
4. Die paarweise symmetrische Anordnung der Plättchen ermöglicht die gleichzeitige Prüfung zweier Probekörper unter gleichen Bedingungen. Durch Drehen um 180° lassen sich mit einem Plättchen zwei Versuche durchführen.

Als Meßgröße für den Verschleiß, im folgenden kurz als Verschleiß bezeichnet, wird der durch die überströmte Fläche F dividierte Gewichtsverlust $\Delta G/F$ verwendet. Erwartungsgemäß wurde der größte Verschleiß, bezogen auf die durchgesetzte Kunststoffmasse, mit kleinen Spaltweiten ($\delta < 1$ mm) und hohen äußeren Spritzdrücken p_a erzielt. Die kleinen Spaltweiten haben zur Folge, daß auch bei den größten äußeren Spritzdrücken der Durchsatz so niedrig bleibt, daß sich die Form zu langsam füllt und der Füllvorgang infolge vorzeitiger Abkühlung der Masse vor der vollständigen Füllung der Form zum Erliegen kommt. Um trotzdem die kleinen Spaltweiten und großen Drücke auszunutzen, spritzten wir ins Freie. Auf diese Weise war es möglich, mit 5 bis 10 kg durchgesetzter Kunststoffmasse bereits Gewichtsverluste der Plättchen von einigen mg zu erzielen.

Um verschiedene Kunststoffmassen hinsichtlich ihrer Verschleißwirkung miteinander vergleichen zu können, gingen wir wie folgt vor:

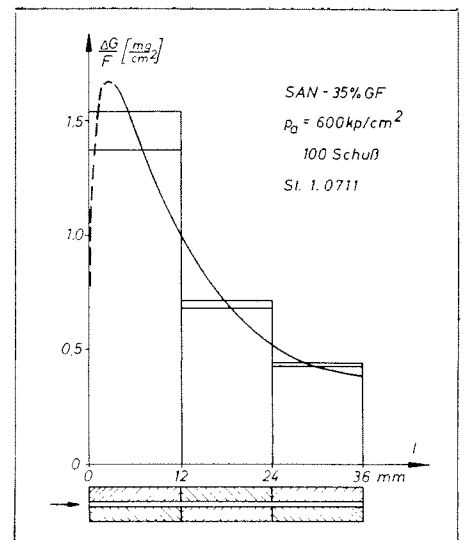
Bei konstantem Schußvolumen V_S und konstantem äußerem Spritzdruck p_a stellten wir die Temperaturen am Zylinder der Spritzgußmaschine so ein, daß sich bei unverändertem Arbeitszyklus eine konstante Spritzzeit (in den meisten Fällen 6 sec) ergab. Der Verschleiß wird dann nach Verspritzen einer vorgegebenen konstanten Menge bestimmt. Auf diese Weise wird die periodische Abhängigkeit der Belastung der Plättchen von der Zeit und die Lastspielzahl konstant gehalten. Unter diesen Bedingungen können auch Plättchen aus verschiedenen Metallen hinsichtlich ihrer Beständigkeit gegen Verschleiß miteinander verglichen werden, wenn man ein und dieselbe Kunststoffmasse verwendet.

Tab. 2 faßt Angaben über die in dieser Arbeit verwendeten Stähle zusammen. Der an erster Stelle aufgeführte Automatenstahl (St. 7011) hat erwartungsgemäß die geringste Beständigkeit gegen Verschleiß, und man erhält schon bei relativ geringem Verbrauch an Kunststoff merkliche Effekte. Dieser Stahl wurde deshalb für einige Vorversuche verwendet.

¹ Den Chemischen Werken ALBERT danken wir für die Möglichkeit, auf diese Weise auch duroplastische Formmassen in unser Arbeitsprogramm einzubeziehen. Die in Abb. 4 zusammengefaßten Ergebnisse wurden uns freundlicherweise von Herrn Dipl.-Phys. G. Zieschank mitgeteilt.

² Der H. Römmler G. m. b. H., Groß Umstadt/Odenwald, verdanken wir die Möglichkeit, derartige Versuche in ihrem Betrieb vorzunehmen.

2: Verschleiß über der Düsenlänge 1, gemessen mit 3 hintereinander angeordneten Plättchenpaaren —
Wear over the length of the nozzle 1 measured with three pairs of patelets arranged in series — Usure dans la longueur de la buse 1, mesurée à l'aide de 3 paires de lamettes disposées l'une derrière l'autre
Spaltweite $\delta = 0,6$ mm, äußerer Spritzdruck $p_a = 600$ kp/cm², weiteres s. Text



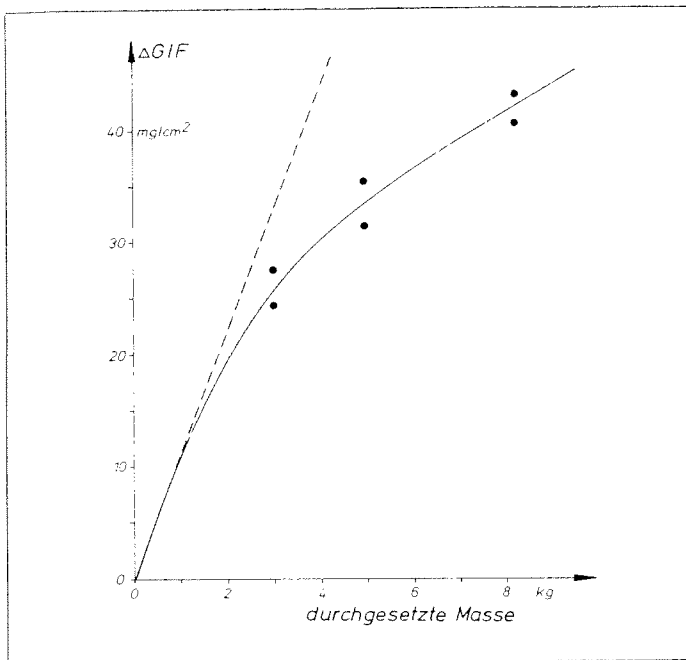
Sämtliche Plättchen wurden mit der Flächenschleifmaschine auf die vorn angegebenen Abmessungen geschliffen. Die mittlere Rauhtiefe betrug durchweg $\approx 2,5$ µm. Tafel 2 enthält ferner Angaben der Mikrohärtigkeit (HV 0,5). Nach sämtlichen Verschleißversuchen wurde erneut die Mikrohärtigkeit gemessen, um sicherzustellen, daß infolge der Erwärmung der Plättchen während des Versuchs (maximale in Betracht kommende Massetemperatur bis zu 350°C) keine Änderung der Härte eingetreten war.

3. Ergebnisse

Nimmt man an, daß bei gleicher Zusammensetzung der untersuchten Spritzgußmasse nur die Wandschergeschwindigkeit bzw. die Wandschubspannung von maßgeblicher Bedeutung für den Verschleiß ist, so sollte man, wenn man in einer Düse nach Abb. 1 statt einem Paar Plättchen mehrere Paare hintereinander anordnet, bei allen Plättchenpaaren den gleichen Verschleiß finden. Damit wäre es möglich, mehrere verschiedene metallische Werkstoffe gleichzeitig unter gleichen Bedingungen auf Verschleiß zu untersuchen und die Zahl der erforderlichen Versuche gegenüber der Anordnung mit nur einem Plättchenpaar zu verringern. Zur Überprüfung verwendeten wir Plättchen aus dem in Tab. 1 an erster Stelle aufgeführten Automatenstahl. **Abb. 2** faßt die Ergebnisse eines Spritzversuchs mit SAN 35% GF zusammen (100 Schuß zu je 82 g). Dabei wurde der Verschleiß als Funktion der Entfernung vom Düseneinlauf aufgetragen. Der für jedes Plättchen gemessene Wert wurde jeweils über der Ortskoordinate

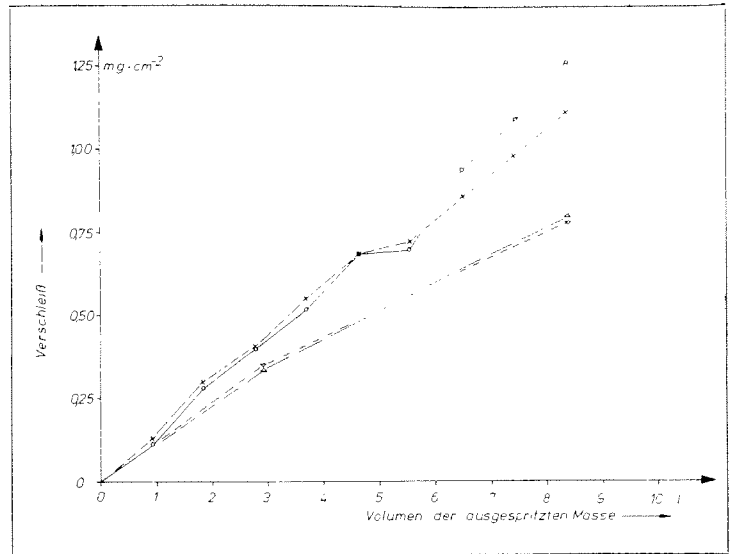
Tab. 2: Zusammenstellung der untersuchten Stähle

Lfd. Nr.	Bezeichnung nach DIN 17007	Kurzbezeichnung nach DIN 17006	Behandlung	Mikrohärtigkeit HV 0,5 (kp/mm ²)
1	1.7011	9 S 20 K	unbehandelt	150
2	1.2601	X 165 CrMoV 12	unbehandelt	250
		"	gehärtet	810
3	1.8550	34 CrAlNi 7 (V)	badnitriert	980
		"	ionitriert 1	1010
		"	ionitriert 2	1050
		"	ionitriert 3	1220
4	1.8519	31 CrMoV 9	gasnitriert	690
5	1.4122	X 35 CrMo 17	unbehandelt	260



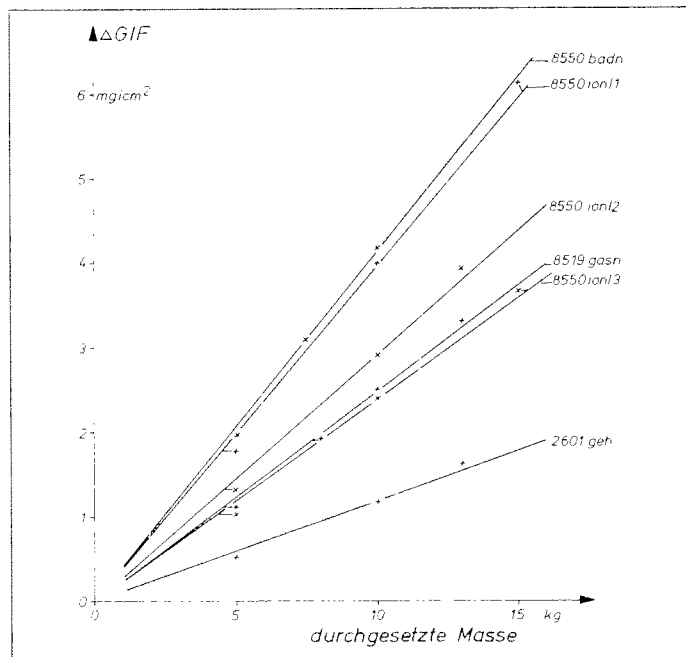
3: Verschleiß von St. 7011 in Abhängigkeit von der durchgesetzten Menge 6,6 PA-35 % GF — Wear of type 7011 steel as a function of the throughput of nylon 66 containing 35 % glass fibres — Usure de l'acier 7011 en fonction de la quantité de PA 6,6-35 % fibre de verre

$\delta = 0,2 \text{ mm}$, $p_0 = 1\,100 \text{ kp/cm}^2$, Masstemperatur $\approx 325^\circ \text{ C}$



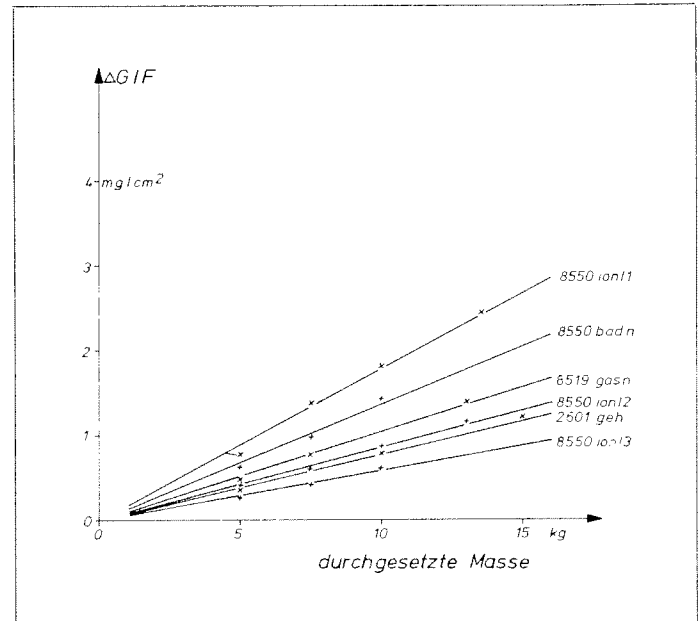
4: Verschleiß beim Spritzen von Duroplasten (Formmasse 31 — 1500 Charge 18799 der Chemischen Werke ALBERT, Wiesbaden-Biebrich) — Wear caused by injection moulding thermosetting plastics (Moulding compound No. 31 - 1500 Batch No. 18799 supplied by Chemische Werke Albert, Wiesbaden-Biebrich — Usure causée par l'injection de matières thermodurcissables (matière à mouler 31 — 1500 lot 18799 des Chemische Werke Albert, Wiesbaden-Biebrich)

Verwendete Spritzgußmaschine: Bucher TS 100, Schnecke 36 Φ , 80 U/min, $p_0 = 1\,750 \text{ kp/cm}^2$, Staudruck 30 kp/cm^2 , Düse 100° C , Förderzone 75° C , Dosiervolumen ca. 100 cm^3 . Spritzen ins Freie mit 1,6 bis 1,8 sec Spritzzeit, $\delta = 1,5 \text{ mm}$. Obere Kurven: St. 2601 ungehärtet, Zykluszeit 55 sec. Untere Kurven: St. 2601 gehärtet (HV 0,5: 810 kp/mm^2), Zykluszeit 42 sec



5: Verschleiß verschiedener Stähle (s. a. Tafel 2) beim Spritzen von 6,6 PA-35 % GF. Die Meßpunkte sind Mittelwerte aus mindestens 2 Verschleißwerten (je ein Plättchenpaar). Die Bezeichnung an den Kurven gibt die DIN-Nr. des Stahls und die Art der Oberflächenbehandlung an — Wear of various steels (cf. Table 2) caused by injection moulding of 6,6 PA-35 % GF. The points of measurement are average values obtained from at least two values for the wear (one pair of platelets each). The nomenclature on the curves indicates the DIN No. of the steel and the nature of surface treatment — Usure de divers aciers (voir aussi tableau 2) par l'injection de 6,6 PA-35 % fibre de verre. Les points de repère sont les valeurs moyennes d'au moins 2 indices d'usure (2 paires de lamettes chaque fois). La désignation des courbes indique le N° DIN de l'acier et le genre de traitement de la surface

$\delta = 0,2 \text{ mm}$, $p_0 = 1\,100 \text{ kp/cm}^2$, Spritzzeit 6 sec, Schlußgewicht 34 g, Masstemperatur ca. 310° C



6: Verschleiß der gleichen Stähle wie auf Abb. 5 beim Spritzen von SAN - 35 % GF. Die Meßpunkte sind Mittelwerte aus mindestens 2 Verschleißwerten (je ein Plättchenpaar). Die Bezeichnung an den Kurven gibt die DIN-Nr. des Stahls und die Art der Oberflächenbehandlung an — Wear of the same steels as in Fig. 5 caused by injection moulding of SAN containing 35 % glass fibres. The points of measurement are average values obtained from at least two values for the wear (one pair of platelets each). The nomenclature on the curves indicates the DIN No. of the steel and the nature of surface treatment — Usure des mêmes aciers que sur la figure 5 par l'injection de SAN - 35 % fibre de verre. Les points de repère sont les valeurs moyennes d'au moins 2 indices d'usure (2 paires de lamettes chaque fois). La désignation des courbes indique le N° DIN de l'acier et le genre de traitement de la surface

$\delta = 0,2 \text{ mm}$, $p_0 = 1\,100 \text{ kp/cm}^2$, Spritzzeit 6 sec, Schlußgewicht 40 g, Masstemperatur ca. 250° C

in Balkenform angegeben, siehe auch die unterhalb des Diagramms in Abb. 2 eingezeichnete Anordnung der Plättchen. Die Balkenhöhe gibt den größten Verschleiß wieder, der horizontale Querstrich darunter den Verschleiß des zweiten zu je einem Paar gehörenden Plättchens. Beide Werte streuen relativ wenig, wobei die Streuung mit abnehmendem Verschleiß geringer wird. Aus Abb. 2 folgt eine deutliche Abnahme des Verschleißes mit zunehmender Entfernung vom Düsenanlauf. In das Balkendiagramm wurde eine Kurve für den mutmaßlichen Verlauf des Verschleißes eingezeichnet. Der linke, gestrichelte Teil dieser Kurve deutet einen bei fast allen Probekörpern beobachteten Abfall des Verschleißes in der Einlaufzone an, wie er zum Beispiel aus mikroskopischen Beobachtungen und aus Messungen der Oberflächenrauigkeit hervorgeht.

Die Ergebnisse zeigen, daß nicht allein die Wandschergeschwindigkeit für den Verschleiß verantwortlich gemacht werden kann. Da der Druck in der Düse vom Einlauf her bis zum Düsenende hin annähernd linear abfällt, ist zu vermuten, daß fallender Druck auch zu einer Verringerung des Verschleißes führt. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, daß auch die zunehmende Zerkleinerung der Glasfaser beim Durchströmen des Spalts zum Abfall des Verschleißes beiträgt. Da somit der Verschleiß von hintereinandergeschalteten Probekörpern entgegen der Erwartung nicht gleich ist, beschränkten wir uns bei den meisten der von uns durchgeführten Versuche auf die Prüfung eines Plättchenpaares gemäß Abb. 1.

Um die Zunahme des Verschleißes mit der durchgesetzten Menge Kunststoff festzustellen, verspritzten wir 6,6 PA — 35 % GF (Ilfde. Nr. 3 in Tab. 1) durch einen Spalt von $\delta = 0,2$ mm mit einem äußeren Spritzdruck $p_0 = 1100$ kp/cm². Die Ergebnisse sind in **Abb. 3** zusammengefaßt. Die beobachteten Gewichtsverluste sind beträchtlich und damit auch die aus dem Abtrag der Oberflächen resultierenden Vergrößerungen der Spaltweite nicht mehr vernachlässigbar. Erwartungsgemäß führt die Erweiterung des Spaltes zu einer Verringerung des auf die durchgesetzte Menge Kunststoff bezogenen Verschleißes. Im Bereich geringen Verschleißes ($\Delta G/F < 10$ mg/cm² in Abb. 3) kann man mit einem linearen Anstieg des Verschleißes mit der Menge an durchgesetztem Kunststoff rechnen.

Die aufgrund von Abb. 3 zu vermutende Linearität wird recht gut durch die in **Abb. 4 bis 6** zusammengefaßten Ergebnisse an verschleißfesten Stählen bestätigt. Abb. 4 zeigt Ergebnisse, die beim Spritzgießen von Duroplasten erzielt wurden¹. Hierzu wurde mit einem Schußvolumen von 100 cm³ ins Freie gespritzt. Jeder Meßpunkt entspricht einer Messung an ein und demselben Plättchen. Nach der Wägung wurden die Plättchen wieder in der gleichen Weise eingebaut und der Versuch fortgesetzt. Die Meßwerte für die beiden Plättchen liegen besonders bei den unteren beiden Kurven (St. 2601 gehärtet) sehr dicht beieinander. Die verschleißmindernde Auswirkung der Härtung des Stahles 2601 kommt deutlich zum Ausdruck.

Eine lineare Zunahme des Verschleißes mit zunehmender Menge an durchgesetztem Kunststoff erhält man auch beim Verspritzen von SAN — 35 % GF (Abb. 6). Die aufgetragenen Meßpunkte sind jeweils Mittelwerte aus dem Verschleiß der beiden am Versuch beteiligten Plättchen. Deutlich zeigen sich Unterschiede zwischen den verschiedenen Stählen und ihren Behandlungsarten³. Bemerkenswert ist, daß sich

durch verschiedene Bedingungen beim Ionitrieren (ion 1, 2 und 3) beträchtliche Unterschiede im Verschleiß ergeben.

Um einen Vergleich verschiedener Formmassen hinsichtlich ihrer Verschleißwirkung durchzuführen, hielten wir die Spaltweite sowie alle weiteren Verarbeitungsbedingungen (äußerer Spritzdruck, Zeiten des Arbeitszyklus) bis auf die Masse-temperatur konstant. Diese wurde so eingestellt, daß bei konstantgehaltenem äußeren Spritzdruck sich stets eine Zeit von ca. 6 sec für den Vorlauf der Schnecke (Spritzzeit) ergab. Demnach wurden die Masse-temperaturen so verändert, daß die plastifizierten Massen die gleiche Viskosität aufwiesen.

Wie ein Vergleich von Abb. 5 und Abb. 6 zeigt, führt das Verspritzen von glasfaserverstärktem SAN zu wesentlich vermindertem Verschleiß gegenüber glasfaserverstärktem 6,6-Polyamid, obwohl beide Massen die gleiche Glasfaserkonzentration aufweisen. Auch ist die Reihenfolge der Kurven in Abb. 6 anders als in Abb. 5.

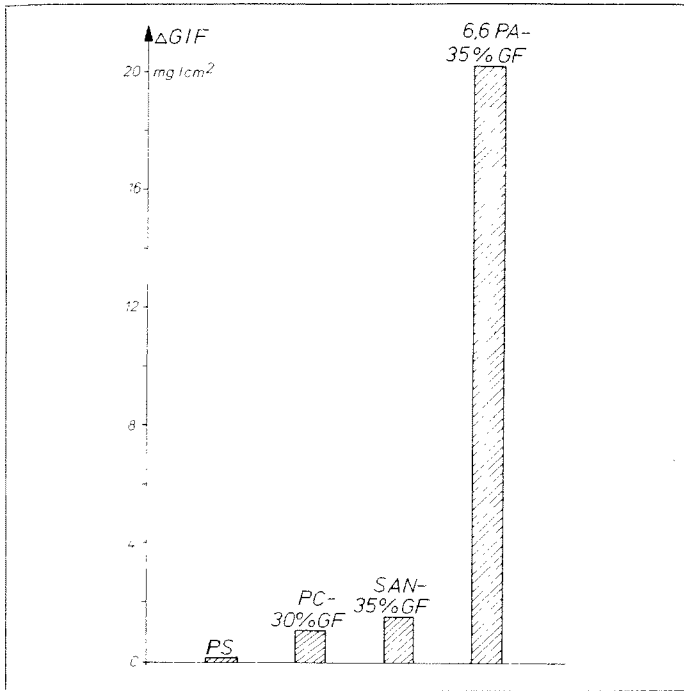
Viel größer werden die Unterschiede zwischen der Verschleißwirkung von glasfaserverstärktem 6,6-Polyamid und den anderen in dieser Arbeit verwendeten Thermoplasten, wenn man den für die Vorversuche benutzten wenig korrosionsbeständigen Automatenstahl (St. 7011, siehe Tab. 2) unter gleichen Bedingungen, wie zuvor beschrieben, verschleißt. **Abb. 7** faßt die Ergebnisse in Form eines Balkendiagramms zusammen. Trotz annähernd gleicher Glasfaserkonzentration ist der Verschleiß durch 6,6-Polyamid um mehr als den Faktor 10 größer als der durch die anderen Thermoplaste. Zum Vergleich wurde auch Standard-Polystyrol ohne Glasfasern verspritzt (links in Abb. 7). Die gemessenen Gewichtsverluste liegen erwartungsgemäß niedrig, wenn auch oberhalb der vorn angegebenen Fehlergrenze von 0,05 mg.

Die Ergebnisse von Abb. 5, 6 und 7 stehen in Übereinstimmung mit Beobachtungen aus der Praxis, wonach der durch glasfaserverstärktes 6,6-Polyamid verursachte Verschleiß erheblich größer als der durch glasfaserverstärktes Polycarbonat und andere glasfaserverstärkte Thermoplaste ist. Wie aus Abb. 5, 6 und 7 hervorgeht, ist der Unterschied zwischen 6,6-Polyamid und den übrigen hier untersuchten Thermoplasten bei dem wenig korrosionsbeständigen Automatenstahl St. 0711 wesentlich größer als bei den anderen Spezialstählen. Das deutet darauf hin, daß beim Verschleiß durch glasfaserverstärktes 6,6-Polyamid neben der abrasiven Wirkung der Glasfasern auch ein korrosiver Angriff eine Rolle spielt. Diese Vermutung ist schon mehrfach in der Fachliteratur geäußert worden [5, 6, 11].

Dem steht allerdings der Befund entgegen, daß die Verarbeitung von 6,6-Polyamid ohne Glasfasern erfahrungsgemäß kaum zu Korrosionserscheinungen führt. In **Abb. 8** wird die Verschleißwirkung von 6,6-Polyamid mit verschiedenen Glasfaserkonzentrationen miteinander verglichen. Jeder Meßpunkt wurde mit einem Durchsatz von 5 kg gewonnen. Oberhalb von 15 Gewichts-% Glasfasergehalt ergibt sich ein annähernd linearer Anstieg des Verschleißes mit dem Glasfasergehalt. Eine Extrapolation auf die Glasfaserkonzentration Null führt aber zu Gewichtsverlusten, die erheblich größer als die gemessenen sind. Das trifft besonders bei dem badnitrierten Stahl (untere Kurve in Abb. 8) zu. Die mit reinem 6,6-Polyamid gemessenen Gewichtsverluste sind bei dem unbehandelten Stahl St. 2344 trotzdem noch beträchtlich im Gegensatz zu den badnitrierten Proben, wo sich die Gewichtsverluste schon den Fehlergrenzen des Verfahrens nähern. Eine Erklärung der hier beobachteten Erscheinungen kann

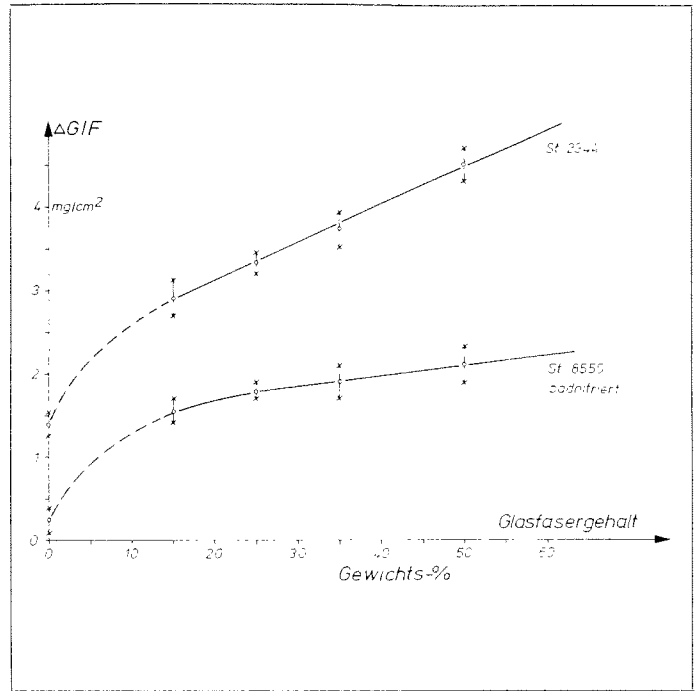
³ Der Firma DEGUSSA, Wolfgang b. Hanau/Main, Abt. Durferit, danken wir für die Durchführung der Badnitrierungen, der Firma Klöckner-Ionon G. m. b. H., Köln, für die Ionitrierungen. Alle weiteren Behandlungen der Stähle, Härte-

messungen, Aufnahmen mit dem Raster-Elektronenmikroskop u. a., wurden freundlicherweise in der Staatlichen Materialprüfungsanstalt Darmstadt ausgeführt.



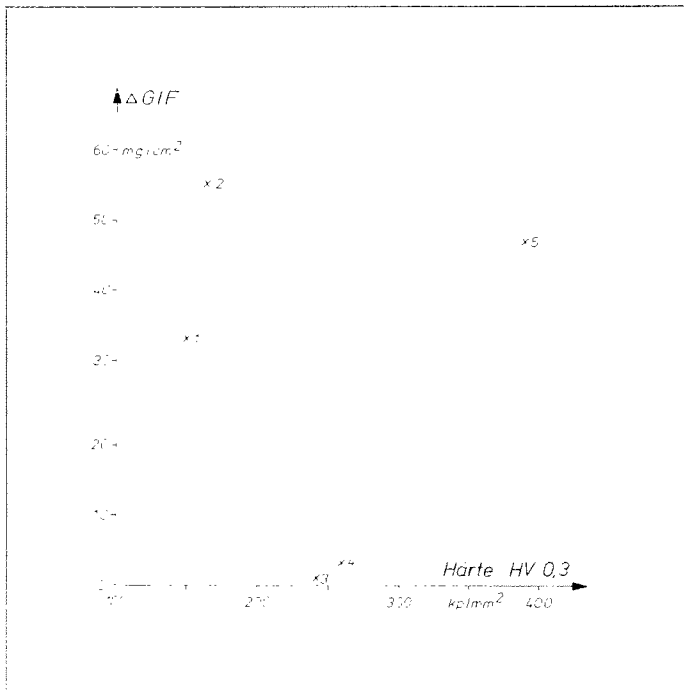
7: Verschleiß von St. 7011 beim Spritzen verschiedener glasfaserverstärkter Thermoplaste und Standard-Polystyrol (Polystyrol 165 H der BASF) — Wear of type 7011 steel caused by injection moulding glass-reinforced thermoplastics and general-purpose polystyrene (Polystyrol 165 H supplied by BASF) — Usure de l'acier 7011 par l'injection de divers thermoplastiques renforcés de fibre de verre ainsi que de polystyrène standard (polystyrène 165 H de la BASF)

$\delta = 0,5 \text{ mm}$, $p_a = 600 \text{ kp/cm}^2$, Spritzzeit 24 sec, je 100 Schuß zu 69 cm^3



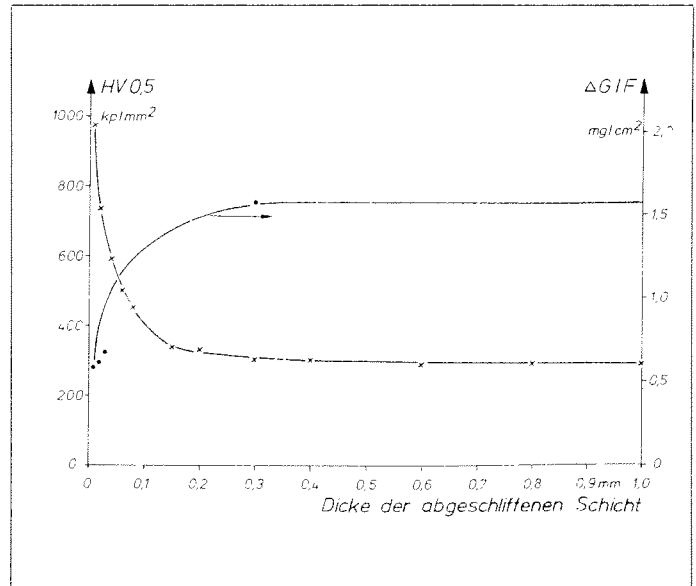
8: Verschleiß in Abhängigkeit von der Glasfaserkonzentration bei 6,6-PA. Verwendete Thermoplaste s. Tafel 1 — Wear as a function of the concentration of glass fibres in nylon 66. For thermoplastics used, see Table 1 — Usure en fonction de la concentration de fibre de verre dans la PA 6,6. En ce qui concerne les thermoplastiques utilisés, voir tableau 1

$\delta = 0,2 \text{ mm}$, $p_a = 1100 \text{ kp/cm}^2$, Spritzzeit 6 sec, durchgesetzte Masse je 5 kg (150 Schuß)



9: Verschleiß und Härte bei verschiedenen Werkstoffen unter gleicher Beanspruchung beim Spritzen von 6,6 PA - 35 % GF — Wear and hardness of different materials under identical conditions on injection moulding nylon 66 with 35 % glass fibres — Usure et dureté de divers matériaux soumis aux mêmes conditions lors de l'injection de PA 6,6 - 35 % fibre de verre

$\delta = 0,2 \text{ mm}$, $p_a = 1100 \text{ kp/cm}^2$, Massetemperatur ca. 320° C , je 191 Schuß zu $20,4 \text{ cm}^3$, 1 : St. 7011, 2 : Grauguß GG-20, 3 : St. 2601 ungehärtet, 4 : St. 4122 unbehandelt, 5 : Titanlegierung Nr. 3.7164



10: Härtetiefenverlauf und Verschleiß in Abhängigkeit von der Dicke der abgeschliffenen Schicht bei badnitriertem St. 8550 nach dem Verspritzen von je 5 kg SAN - 35 % GF mit 152 Schuß. Die Meßpunkte für den Verschleiß sind Mittelwerte aus je 2 Meßwerten (1 Plättchenpaar) — Hardness depth and wear as functions of the thickness of the abraded layer in bath-nitrated type 8550 steel after injection moulding of 5 kg of SAN with 35 % glass fibres in 152 shots. The points of measurement of wear are average values derived from two measured values each (1 pair of platelets) — Allure de la profondeur de trempage et usure en fonction de l'épaisseur de la couche enlevée de l'acier 8550 nitruré au bain après l'injection de 5 kg de SAN - 35 % fibre de verre par moulage 152 fois répétée. Chaque point de repère pour l'usure est la valeur moyenne de 2 valeurs mesurées (1 paire de lamettes)

$\delta = 0,2 \text{ mm}$, $p_a = 1100 \text{ kp/cm}^2$, Massetemperatur ca. 250° C

noch nicht gegeben werden. Dabei läßt sich nicht ausschließen, daß bei der vermuteten Korrosion das vom Polyamid absorbierte Wasser, möglicherweise in Wechselwirkung mit dem auf der Oberfläche der Glasfasern aufgetragenen Haftmittel, eine Rolle spielt.

Durch Versuche mit gleichen Mengen glasfaserverstärktem 6,6-Polyamid unter gleichen Spritzbedingungen stellten wir fest, daß bei verschiedenartigen metallischen Werkstoffen kein Zusammenhang zwischen der Härte und dem Verschleiß besteht. **Abb. 9** faßt die Ergebnisse zusammen. Auffällig ist, daß auch die hochfeste Titan-Legierung ($\sigma_B \approx 100 \text{ kp/mm}^2$) einen überaus großen Verschleiß aufweist. Doch liegen die hier erfaßten Härten noch weit unter den Werten von Nitrierschichten und ähnlichen verschleißfesten Oberflächenschichten.

Bei gleichem Werkstoff und unterschiedlicher Härte infolge verschiedenartiger Oberflächenbehandlung ergibt sich hingegen eine monotone Abnahme des Verschleißes mit zunehmender Härte. In **Abb. 10** ist sowohl der Härte/Tiefenverlauf für den badnitrierten Stahl 8550 als auch der unter gleichen Bedingungen mit 5 kg SAN — 35 % GF an verschiedenen weit abgeschliffenen Probekörpern gemessene Verschleiß aufgetragen. Beide Kurven gehen mit zunehmender abgeschliffener Schichtdicke monoton in die Werte für den unbehandelten Stahl über.

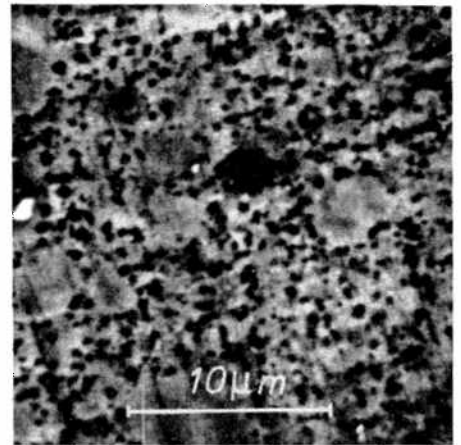
Geht man bei den hier beschriebenen Versuchen von Plättchen mit geringerer Rauftiefe aus, als sie sich durch die Bearbeitung mit der Flächenschleifmaschine ergibt, so findet man erwartungsgemäß auch einen geringeren Verschleiß. Das beweisen Versuche mit polierten Plättchen aus gehärtetem Stahl (St. 2601). Die mittlere Rauftiefe der polierten Plättchen war $< 0,1 \mu\text{m}$. Nach dem Verspritzen von 10 kg Masse bei einer Spaltweite $\delta = 0,2 \text{ mm}$ und $p_a = 1100 \text{ kp/cm}^2$ konnten kein merklicher Gewichtsverlust ($\Delta G < 0,05 \text{ mg}$) und auch keine Veränderung der Oberfläche festgestellt werden.

Deutliche Änderungen der ursprünglich hochglänzenden und im Raster-Elektronenmikroskop strukturlosen Oberfläche ergaben sich aber, nachdem die Plättchen 20 Stunden in einer unter einem Druck von 1000 kp/cm^2 stehenden Schmelze von 6,6 PA — 35 % GF ($t = 280^\circ \text{ C}$) gelagert waren, siehe **Abb. 11**. Mit diesem Vorversuch sollte geprüft werden, ob sich unabhängig vom abrasiven Verschleiß auch Korrosionserscheinungen in der stehenden Schmelze nachweisen lassen. Nach dem Versuch war die Oberfläche der Plättchen deutlich matt geworden. Im Raster-Elektronenmikroskop wies die Oberfläche deutlich zahlreiche kleine runde Vertiefungen auf, **Abb. 11**.

Die mit dem Raster-Elektronenmikroskop beobachteten, durch den Verschleiß verursachten Erscheinungen fallen für die einzelnen hier untersuchten Stähle verschieden aus, was anhand der **Abb. 12 bis 15** belegt werden soll. **Abb. 12** zeigt die geschliffene Oberfläche im Ausgangszustand, die für alle hier untersuchten Stähle etwa gleichartig aussieht. Deutliche in Strömungsrichtung verlaufende Spuren, die anscheinend von den Glasfasern herrühren, weist die Oberfläche des weichen Automatenstahls (St. 7011) auf, **Abb. 13**. Derartige Spuren fehlen erwartungsgemäß auf den harten Nitrierschichten, wie **Abb. 14** anhand einer ionitrierten Oberfläche auf St. 8550 zeigt. Ungewöhnlich erscheint die Oberfläche von gasnitriertem St. 8519, die auf einen schollenartigen Abtrag der Oberflächenschichten hinweist, **Abb. 15**. In allen Fällen war die Strömungsrichtung senkrecht zu den Schleifriefen.

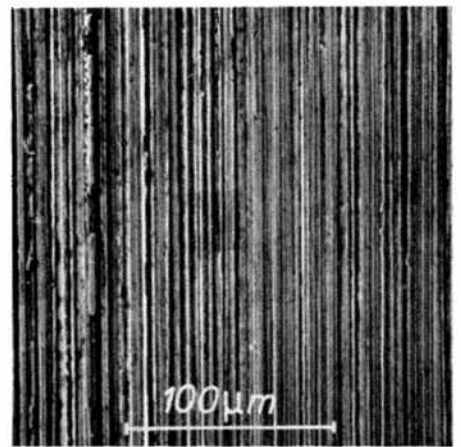
Abschließend sei noch auf das Ergebnis eines bei der Firma Römmler während der Produktion durchgeführten Verschleiß-

11: St. 2601 gehärtet und poliert nach 20stündiger Lagerung in 6,6 PA - 35 % GF unter einem Druck von 1 000 kp/cm². Aufnahme mit dem Raster-Elektronenmikroskop — Type 2601 steel hardened and polished after 20 hours in nylon 66 with 35 % glass fibres under a pressure of 1 000 kgf/cm². Scanning electron microscope photograph — Acier 2601 durci et poli après un séjour de 20 heures dans de la PA 6,6-35 % fibre de verre avec une pression de 1 000 kg/cm². Photographié à l'aide d'un microscope électronique à balayage



11

12: Plättchen im Ausgangszustand. Aufnahme mit dem Raster-Elektronenmikroskop — Platelets in the original state. Scanning electron microscope photograph — Lamettes à l'état de départ. Photographié à l'aide d'un microscope électronique à balayage



12

13: St. 7011, Verschleiß von 8,3 mg/cm² durch 6,6 PA - 35 % GF. Aufnahme mit dem Raster-Elektronenmikroskop. Schleifrichtung vertikal, Strömungsrichtung horizontal — Type 7011 steel. Wear of 8.3 mg/cm² caused by nylon 66 with 35 % glass fibres. Scanning electron microscope photograph. Direction of grinding: vertical; direction of flow: horizontal — Acier 7011, usure de 8,3 mg/cm² par la PA 6,6 - 35 % fibre de verre. Photographié à l'aide d'un microscope électronique à balayage. Direction de l'abrasion: verticale; direction de l'écoulement: horizontale

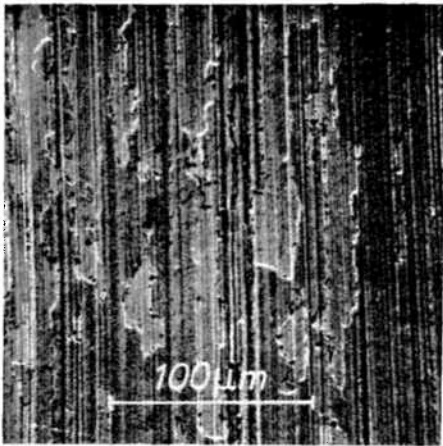


13

14: St. 8550 ionitriert, Verschleiß von 0,6 mg/cm² durch SAN - 35 % GF. Aufnahme mit dem Raster-Elektronenmikroskop. Schleifrichtung vertikal, Strömungsrichtung horizontal — Type 8550 steel ionitriated. Wear of 0.6 mg/cm² caused by SAN with 35 % of glass fibres. Scanning electron microscope photograph. Direction of grinding: vertical; direction of flow: horizontal — Acier 8550 nitruré par échange d'ions, usure de 0,6 mg/cm² par SAN - 35 % fibre de verre. Photographié à l'aide d'un microscope électronique à balayage. Direction de l'abrasion: verticale; direction de l'écoulement: horizontale



14



15: St. 8519 gasnitriert, Verschleiß von 0,8 mg/cm² durch SAN - 35 % GF. Aufnahme mit dem Raster-Elektronenmikroskop. Schleifrichtung vertikal, Strömungsrichtung horizontal — Type 8519 steel gas-nitrated. 0.8 mg/cm² wear caused by SAN with 35 % of glass fibres. Scanning electron microscope photograph. Direction of grinding: vertical; direction of flow: horizontal — Acier 8519 nitruré au gaz, usure

de 0,8 mg/cm² par SAN - 35 % fibre de verre. Photographie à l'aide d'un microscope électronique à balayage. Direction de l'abrasion: verticale; direction de l'écoulement: horizontale.

versuchs hingewiesen. Verspritzt wurde ein 6-Polyamid mit 35 Gewichts-% Glasfasern. Nach 17000 Schuß zu 166 g (ca. 2800 kg Durchsatz) fanden wir an den beiden in der Düse mit 2 mm Spaltweite angeordneten Plättchen aus gehärtetem St. 2601 Werte des Verschleißes von 197 und 205 mg/cm². Beachtenswert sind die großen Gewichtsverluste, die einer Dickenänderung von etwa 0,2 mm entsprechen. Die Streuung der beiden Meßwerte ist erfreulich gering.

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, daß die hier vorgeschlagene Methode mit relativ geringem Aufwand aussagekräftige Resultate liefert. Die Reproduzierbarkeit hängt im wesentlichen von der gleichmäßigen Beschaffenheit sowohl der Probekörper als auch der verschleißenden Kunststoffmasse und der Genauigkeit und Konstanz der Verarbeitungsbedingungen beim Spritzgießen ab. Bei Wiederholung von Verschleißversuchen mit dem gleichen Metall und der gleichen Charge der Spritzguß-

masse lagen die Abweichungen vom vorherigen Ergebnis im Mittel bei $\pm 5\%$.

Grundsätzlich erscheint es möglich, mit der hier beschriebenen Versuchsanordnung auch die Einflüsse von Wandschergeschwindigkeit, Temperatur und ähnlicher wichtiger Parameter zu untersuchen. Allerdings wäre bei derartigen Untersuchungen die Extrusion vorzuziehen, welche eine bessere Konstanz der Temperatur ermöglicht; Temperaturschwankungen beim Spritzgießen siehe zum Beispiel [12]. Weitere Versuche werden sich systematisch mit diesen Parametern befassen. Darüber hinaus sollen aber auch noch weitere Stähle, Legierungen und abrasive Kunststoffmassen mit der hier beschriebenen Methode untersucht werden.

Dem Land Baden-Württemberg danken wir für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit.

Literaturverzeichnis:

- [1] Bauer, W., K. Eichler und W. John: Verfahren zum Prüfen der Verschleißwirkung von Preßmassen (Verschleiß eines Stahlprüfkörpers). *Kunststoffe* 57 (1967) 53/55
- [2] Findlay, T. C.: Alloys for processing of abrasive plastics and rubbers. *Rubbers and Plastics Age* 48 (1967) 1307/08
- [3] Lucius, W.: Die Verarbeitung verstärkter Thermoplaste. *Industrie-Anzeiger* 91 (1969) Nr. 6, 21/23
- [4] McCandless, W. W., und G. Wahrburg: Verschleißfeste und korrosionsbeständige Zylinder und Schnecken für Kunststoffmaschinen. *Industrie-Anzeiger* 91 (1969) Nr. 25, 25/29
- [5] Olmsted, B. A.: How glass-fiber fillers affect injection machines. *SPE-Journal* 26/2 (1970) 42/43
- [6] Ireland, R.: Injection-machine screw wear. *British Plastics* 43 (1970) 75/80
- [7] Ladwig, H.: Versuche zur Erhöhung der Verschleißfestigkeit von Zylindern und Schnecken bei der Verarbeitung von glasfaserverstärkten Polyamiden auf Schnecken-spritzgießmaschinen. *Plastverarbeiter* 21 (1970) 259/260
- [8] Ladwig, H., und F. Sommer: Bericht über Versuche zur Erhöhung der Verschleißfestigkeit von Zylindern und Schnecken bei der Verarbeitung von glasfaserverstärkten Polyamiden auf Schnecken-spritzgießmaschinen. *Kunststoff-Rdsch.* 17 (1970) 211/213
- [9] Butler, R. A.: Injection machine screw and barrel wear. *British Plastics* 43/6 (1970) 139/41
- [10] Superharte Boridschichten auf Stahl. Mitteilung aus dem Institut für Härtereitechnik, Abhandlung 132. *VDI-Nachrichten* 24 (1970) Nr. 12 (Sonderbeilage)
- [11] Meridies, R., und F. Bassner: Verschleiß an Schnecken von Spritzgießmaschinen bei der Verarbeitung von Kunststoffen. *Plastverarbeiter* 21 (1970) 617/623
- [12] Geibel, H., W. Knappe und R. Wilke: Messung der Massetemperatur beim Spritzgießen. *Kunststoffe* 57 (1967) 378/384

In der nächsten Ausgabe der „kunststofftechnik“ werden unter anderem folgende Themen behandelt:

- Calculation of the Thermohydrodynamic Process in the Extrusion of Thermoplastics
- Ermittlung der rheologischen Werte zur Charakterisierung des Fließverhaltens
- Zeitsparende Formenberechnung für Rotationshohlkörper
- Gummi-Spritzpresse mit Schnecken-Vorplastifizierung