



HOESCH Metallurgie GmbH



Abschlussbericht

Zuwendungsempfänger: HOESCH Metallurgie GmbH	Förderkennzeichen: BMBF 01 RW 0413
---	---------------------------------------

Vorhabensbezeichnung:

Schließung des Stoffkreislaufes von Titan – Entwicklung eines Recyclingverfahrens für Schrotte der Gießereien und mechanischen Bearbeitungszentren – TV 4

Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2004 bis 31.12.2007

Berichtszeitraum: 01.08.2004 bis 31.12.2007

Düren, den 9.5.2008

Inhalt

II.	Eingehende Darstellung	4
II.1	Einführung.....	4
II.2	Aufgabenbeschreibung	4
II.3	Arbeitsprogramm.....	4
II.4	Technischer Stand vor Projektbeginn	5
II.5	Darstellung der einzelnen Entwicklungsschritte	5
II.5.1	Charakterisierung der Späne	6
II.5.2	Mechanische Vorbehandlung.....	7
II.5.3	Nasschemische Verfahren	10
II.5.3.1	Batch Verfahren	10
II.5.3.2	Kontinuierliche Verfahren.....	12
II.5.3.3	Anwendung von Beizen	14
II.5.4	Thermische Aufbereitung	14
II.5.4.1	Batch Prozess	15
II.5.4.2	Drehrohrverfahren.....	18
II.5.5	Kompaktierung	20
II.5.5.1	Grundlagen	20
II.5.5.2	Auswahl der Spänepresse	23
II.5.5.3	Ergebnisse der Verpressung.....	25
II.5.5.3.1	Verpressung von Titanspänen ohne Beimischung.....	25
II.5.5.3.2	Verpressung von Titanspänen mit Primärtitan	26
II.5.5.3.3	Verwendung unterschiedlicher Schmierstoffe	27
II.6	Darstellung des Gesamtverfahrens.....	29
II.7	Abschätzung der Wirtschaftlichkeit	30
II.8	Resumée.....	32
II.9	Anhang.....	33

II.9.1	Angaben Fa. Walther Trowal.....	33
II.9.3	Technische Daten der verwendeten Kühlschmierstoffe	35
II.9.3.1	HLP Hydrauliköle der ESSO AG	35
II.9.3.2	Kühlschmierstoffe der Blaser Swisslube	35
II.9.4	Bilder / Ergebnistabellen	36

II. Eingehende Darstellung

II.1 Einführung

Die HOESCH Metallurgie GmbH produziert Legierungszusätze und Vorlegierungen für die Aluminiumindustrie auf Basis von Primär- und Sekundärmetallen. Als Vorstoffe werden dazu Metallpulver, Drahtabschnitte oder Späne eingesetzt. Die Vorbehandlung von Aluminiumspänen, d.h. Brechen, Reinigen und Trocknen wird seit langem bei der HOESCH Granules GmbH am Standort Neuss erfolgreich praktiziert; die Kompaktierung der verschiedenen Metalle in der jeweiligen Konfiguration gehört zum Fertigungs-KnowHow am Standort Düren. Es lag daher nahe, die Erfahrungen aus diesem Prozess auf Titan zu übertragen und damit den entsprechenden Aufgabenbereich innerhalb des Projektes zu übernehmen.

II.2 Aufgabenbeschreibung

Titan wird als Reintitan oder in verschiedenen Legierungen überwiegend in der Luftfahrtindustrie und im Apparatebau verwendet. Die Verarbeitung der erschmolzenen Halbzeuge erfolgt in der Regel spanend unter Verwendung verschiedener Kühlschmierstoffe. Dabei fallen unterschiedlich stark verunreinigte Bearbeitungsrückstände wie Säge-, Dreh- und Frässpäne, Angüsse, Endstücke, usw. an, die ohne weitere Vorbehandlung nicht in den Produktionskreislauf zurückgeführt werden können.

Die HOESCH Metallurgie GmbH hat innerhalb des Projektes die Aufgabe übernommen, ein Verfahren zur Reinigung und anschließenden Kompaktierung von Titanschrotten, vornehmlich Titanspänen zu entwickeln.

II.3 Arbeitsprogramm

Das Arbeitsprogramm ist in 3 Abschnitte untergliedert:

- Vorbehandlung der angelieferten Schrotte
Erfahrungsgemäß können die Titan-Schrotte nicht in der angelieferten Form behandelt werden. Profil- oder Halbzeugschrotte müssen vorzerkleinert werden, Späne kommen oftmals als "wollige" Knäuel, die in dieser Form nicht handhabbar oder förderbar sind. Mischschrotte müssen nach Kontaminierung oder Masse separiert, gegebenenfalls auch nach Analyse getrennt werden.
- Auswahl eines Reinigungsverfahren
Für die Reinigung der Späne – nur diese sind mit Kühlschmierstoffen kontaminiert – kommen dem Grunde nach 2 Verfahren in Frage:

- Thermische Verfahren
Die Schmierstoffe sind heute Öl/Wasser Emulsionen mit Zusätzen von Alkoholen und diversen Additiven. Ein thermisches Verfahren, bei dem die Emulsion gebrochen wird und die Einzelkomponenten verdampft oder bereits am Span oxidiert werden, sollte daher grundsätzlich möglich sein. Dabei muss jedoch die nachfolgende restlose Oxidation der organischen Verbindungen sichergestellt werden.
 - Chemische Verfahren
Alternativ sind chemische Verfahren möglich, bei denen Waschflüssigkeiten (Lösemittel) gesucht werden, welche die Emulsion als Ganzes lösen oder Einzelkomponenten herauslösen. Die früher für derartige Anwendungen genutzten halogenierten organischen Lösemittel sind heute nicht mehr zulässig oder durch entsprechende Auflagen nicht wirtschaftlich einzusetzen.
- Entwicklung eines Kompaktierverfahrens
Nach der Vorbehandlung müssen die Späne in eine Form gebracht werden, die den wirtschaftlichen Wiedereinsatz ermöglicht. Dabei sind die gewünschten geometrischen Abmessungen, Stückgewichte und die physikalischen Eigenschaften (z.B. Festigkeit) zu beachten.

II.4 Technischer Stand vor Projektbeginn

Die Aufbereitung von NE Metallspänen ist in der Industrie grundsätzlich gängige Praxis. Die Abfälle aus der spanenden Verarbeitung z.B. der Aluminium- oder Messinglegierungen werden überwiegend nach einer Vorbehandlung wieder eingeschmolzen. Je nach Bearbeitung enthalten die Abfälle bis zu 20% an Kühlschmierstoffen, die in der Regel durch zentrifugieren auf unter 2% "getrocknet" werden. Dazu gibt es am Markt komplette Aufbereitungsanlagen, die als separate Einheiten in den Stoffkreislauf integriert werden können. Sie bestehen beispielsweise aus einem vor geschalteten Zerkleinerer, einer Zentrifuge und bedarfsweise aus einer Aufbereitungseinheit für die abgetrennten Kühlschmierstoffe. Diese Anlagen sind hier nicht geeignet, da die nach der Behandlung verbleibende Nässe weder nach Qualität noch nach Quantität akzeptabel ist.

Es gibt einzelne Recyclingbetriebe, die Aufbereitungsanlagen für Titanschrotte betreiben; hier sind nach unserer Kenntnis jedoch keine Details veröffentlicht. Die Prozesse werden vielmehr als KnowHow angesehen und sind somit nicht zugänglich.

In der Regel wird die Aufbereitung allerdings nur in Richtung minderwertiger Verwendung betrieben, hier steht vorrangig der Einsatz in der Herstellung von Edelstählen an.

II.5 Darstellung der einzelnen Entwicklungsschritte

Im Folgenden sind die einzelnen Entwicklungsschritte eingehend dargestellt, wobei der Vollständigkeit halber auch die weniger zufrieden stellenden Ansätze noch einmal aufgeführt werden.

Im Verlauf des Vorhabens stellte sich heraus, dass Reintitanspäne kaum verfügbar sind, sämtliche Untersuchungen bezogen sich daher auf Späne aus 90/6/4, d.h. einer Legierung, die neben Titan (90%) noch 6% Aluminium und 4% Vanadium enthält. In der nachfolgenden Tabelle ist die chemische Analyse enthalten.

Ti Späne 90/6/4		
	#1	#2
Ti (rechn.)	< 91,3	< 91,1
Al	4,63	4,80
V	3,48	3,59
Fe	0,17	0,15
Cr	0,02	0,02
Mo	<0,01	<0,01
Ni	0,01	0,01
Si	0,02	0,02
Sn	<0,01	<0,01
Cu	<0,01	<0,01
Mg	0,02	0,02
Mn	<0,01	<0,01
C	0,320	0,262
S	0,004	0,003
H ₂ O	0,06	

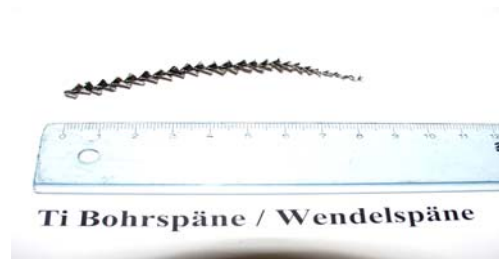
Tabelle 1: Analyse der Ti 90/6/4 Späne

II.5.1 Charakterisierung der Späne

Bei den untersuchten Titanspänen (sämtlich 90/6/4) handelt es sich um verschiedene Formen und Strukturen, was auf die Auswahl und Effizienz der betrachteten Verfahren durchaus von Relevanz ist. Während die Frässpäne der Fa. Tital wollig und zu groß volumigen Ballen verknäuel sind, handelt es sich bei den Spänen der Fa. Lauscher um Einzelspäne. Hier sind verschiedene Formen zu unterscheiden, die nach dem mechanischen Bearbeitungsverfahren benannt werden:



Schlichtspan, gerollter Span,
ca. 10mm lang, eindimensional



Bohrspan, gewendelt
bis zu 100 mm lang, d = 5 mm



Frässpán (Wendeschneidplatte),
dickwandig, gerollt, 3-dimensional
ca. 20mm x 20mm x 5mm



Frässpán (Schruppfräser),
dünnwandig, 3-dimensional,
ca. 10mm x 10mm x 5 mm

Bild 1: Typisierung der Späne

II.5.2 Mechanische Vorbehandlung

Im Lauf des Projektes wurden die oben beschriebenen Spantypen in unterschiedlichen Dimensionen untersucht. Bei der weiteren Verarbeitung zu Kompakten stellte sich eine stark schwankende Verpressbarkeit heraus, die wesentlich von der "Makrogeometrie" des Einzelspans abhängt. Insbesondere die langen spiralförmigen Bohrspäne und die wolligen Drehspäne können in der ursprünglichen Form nicht uneingeschränkt verarbeitet werden. Aus diesem Grund wurden Mahlversuche auf vorhandenen Anlagen durchgeführt, um die Spandimensionen anzugleichen und so günstigere Voraussetzungen für die Entfettungs- und Kompaktierprozesse zu schaffen.

Im nächsten Bild ist ein typisches Spangemenge dargestellt, bestehend aus den helixförmigen Bohr- und den wolligen Drehspänen; wobei die Bohrspäne noch sehr ineinander verhakt sind.



Bild 2: Spänegemenge

Für die Zerkleinerung der Späne standen 2 Mahlanlagen zur Verfügung, eine Hammermühle und eine Walzenmühle. Die charakteristischen Daten der Anlagen sind nachstehend zusammengefasst:

Hammermühle

Typ:	Omniplex 63/50
Hersteller:	Hosokawa Alpine, Augsburg
Drehzahl:	1400 U/min
Siebkorb:	Lochdurchmesser 16mm

Walzenmühle

Typ:	Walzenmühle WBP 5/4
Hersteller:	Merz Aufbereitungstechnik, Lauchringen
Friktionsverhältnis:	1,5
Mahlspalt:	2 – 5 mm

Bei der Aufgabe auf die Hammermühle kam es sehr schnell zur Funkenbildung und lokaler Reaktion, die Versuche wurden daher nach kurzer Laufzeit aus Sicherheitsgründen abgebrochen. Die Zerkleinerung auf einer schnell laufenden Maschine muss daher zwingend unter Inertatmosphäre betrieben werden.

Nach Durchgang durch die Walzenmühle ergibt sich folgendes Bild:



Bild 3: Spänezerkleinerung in der Walzenmühle

Wie man erkennen kann, werden die helikalen Ti 90/6/4 Späne gut gebrochen. Die länglich geformten Späne passieren jedoch nahezu unzerkleinert die Walzenmühle. Auch in dieser langsam laufenden Anlage konnte eine Funkenbildung beim Kontakt der Späne mit der Walze der Walzenmühle beobachtet werden, sie war jedoch deutlich geringer als bei der Hammermühle.

Mit dieser Anlage können die Späne in der Form derart homogenisiert werden, dass die nachfolgende Verarbeitung in einer Nasswäsche und in der Kompaktierung begünstigt wird.

II.5.3 Nasschemische Verfahren

II.5.3.1 Batch Verfahren

Der ursprünglich Ansatz war, die Späne in einem Verfahren ähnlich einem Ultraschallbad oder einer Art Waschmaschine im Batch Prozess zu behandeln. Dazu wurden entsprechende Anbieter ausgesucht und Tastversuche jeweils vor Ort durchgeführt.

Die Firma CB-Chemie in Gütersloh beschäftigt sich hauptsächlich mit der Formulierung von Reinigungs- und Pflegemitteln für den industriellen Bereich. Als weiteres Standbein konstruiert und vertreibt man Reinigungsanlagen für die industrielle Teilereinigung (Ultraschallbäder, Waschmaschinen) und Anlagen zur Aufbereitung der Reinigungsabwässer.

Zuerst wurden ca. 5 Kg mit Kühlschmierstoffen kontaminierte Späne in einen Ultraschallbad (Badabmessungen ca. 30 x 50 cm) mit 3 % BioChem Bio Universalreiniger S für 10 Minuten behandelt. Während der Beschallung konnte deutlich ein Ablösen der Verunreinigungen beobachtet werden.

Nach Ablauf der Behandlungszeit wurden die Späne aus dem Bad entfernt, wobei auf Grund der nicht ausreichend funktionierenden Skimming-Vorrichtung eine erneute Kontamination mit den noch auf der Badoberfläche vorhandenen Schmierstoffen erfolgte. Da sich diese Probleme nicht ohne weiteres beheben ließen, wurde diese Versuchsreihe beendet.

Weiterhin wurden Versuche in einer Waschmaschine für die industrielle Kleinteilreinigung Typ HTW durchgeführt. Die Ti-Späne wurden dazu in ein Sieb gegeben, um ein ausspülen der Späne aus der Anlage zu vermeiden. Anschließend wurden die Späne für 5", 10" und 15" bei 60°C Waschwassertemperatur und 3 bar Waschwasserdruck gewaschen. Das Waschwasser wurde mit Fächerdüsen in der Anlage verteilt.

Zusätzlich wurde 3 % BioChem Bio Universalreiniger S dem Waschwasser zugeführt.

Nach Ablauf der Reinigungszeit wurden die Späne jeweils mit destilliertem Wasser abgespült.



*Bild 4: Kleinteilreinigungsanlage Typ HTW der CB Chemie, Gütersloh
Links: Außenansicht
Oben: Siebkorb*

Von den Ti-Spänen wurden am Versuchstag jeweils Proben vor der Reinigung, nach Reinigung ohne Abspülen mit destilliertem Wasser und nach Reinigung und Abspülen mit destilliertem Wasser auf den Kohlenstoff- und Schwefelanteil hin analysiert. Der Kohlenstoff- und Schwefelanteil ist ein Hinweis auf das Vorhandensein von Kühlschmierstoffanhaftungen (Kohlenwasserstoffe).

	Vor Be- handlung	Behandlungszeit 5'' nach		Behandlungszeit 10'' nach		Behandlungszeit 15'' nach	
		Reinigung	Reinigung + Spülung	Reinigung	Reinigung + Spülung	Reinigung	Reinigung + Spülung
C [%]	0,930	0,490	0,149	0,170	0,081	0,113	0,071
S [ppm]	100,0	56,7	23,3	33,3	20,0	30,0	16,6

Tabelle 2: Ergebnisse der Ultraschall-Reinigung

Die Kohlenstoff-Gehalte konnten durch das Verfahren nach 5'' um ca. 84 %, nach 10'' um ca. 91 % und nach 15'' um ca. 92 % reduziert werden. Der Schwefelgehalt fiel jedoch von ca. 100 ppm nur auf Werte zwischen 15 – 25 ppm. Ursache hierfür sind die Tensidreste auf dem Metall.

Die Versuche wurden improvisiert durchgeführt (provisorische Installation eines Spänebehälters in der Waschmaschine). Die Waschmaschinen sind ursprünglich für größere Teile ausgelegt, es besteht immer die Gefahr, dass vereinzelt Späne aus der Maschine ausgefragt werden. Als gravierender Nachteil ist zu sehen, dass die Späne in der Maschine nicht getrocknet werden. Durch das heiße Waschwasser (60°C) verdunstet zwar einiges an Feuchtigkeit, jedoch muss ein Trocknungsschritt separat durchgeführt werden.

Die Firma Matthes Industrietechnik, Velbert, vertreibt ähnliche Maschinen (Hersteller Aqua Clean, SF-Pori), in denen ebenfalls im Batch-Verfahren gewaschen und anschließend getrocknet werden kann.

Diese Anlagen sind dadurch gekennzeichnet, dass die zu behandelnden Teile z.B. in Körben in die Maschine eingebracht und dann mehrstufig bis hin zur Trocknung behandelt werden. Das Waschwasser wird separat aufgefangen und behandelt, es kann somit im Kreislauf gefahren werden.

Nachteilig sind auch hier der relativ hohe, manuelle Aufwand zur Beschickung und Entleerung der Anlage und der unvermeidliche Verlust an Feingut, welches durch das Siebgebe des Transportkorbes ausgefragt wird.

II.5.3.2 Kontinuierliche Verfahren

Die Batchverfahren sind für die Behandlung weniger oder großformatiger Teile gut geeignet, für Massengüter jedoch weniger. Es galt daher ein Verfahren zu finden, das eine einfache Durchführung der relevanten Vorgänge

- Ein- und Ausbringen der Späne
- Lösung der Kühlschmierstoffe
- Trocknung der gewaschenen Späne

ermöglicht.

Für die Behandlung wurde daher ein Verfahren gewählt, das es ermöglicht, die Späne zu transportieren und zu waschen, ohne dass es zu Verstopfungen oder Verlusten von Feinkorn kommt. Hierzu bietet sich die Verwendung von Gleitschleifanlagen an, wie sie z.B. die Firma Walther Trowal in Haan baut.

Bei diesen Anlagen handelt es sich um Vibrationsaggregate (Rund- und Trogvibratoren), die üblicherweise mit Schleif- oder Polierkörpern gefüllt sind. Durch die Vibration wird eine Relativbewegung der Schleif- und Polierkörper zu den, in die Gleitschleifanlage gegebenen Werkstücke erzeugt. Durch diese Relativbewegung werden die Werkstücke geschliffen, entgratet und poliert.

Für den Anwendungsfall der Spänetrocknung wurden die Gleitschleifanlagen derart modifiziert, dass keine Schleifkörper in die Anlagen gegeben wurden; stattdessen wurden die Späne mit Waschdüsen von oben mit einem Reinigungsmittel-Wassergemisch (Trowal KFL) benetzt. Durch die Vibration des Aggregates wurden die Späne ständig umgewälzt, wodurch eine gleichmäßige Benetzung der Späne mit Reinigungsmittel gegeben war. Durch die einstellbare Intensität der Vibration wurden die Späne zugleich aus der Anlage kontinuierlich herausgefördert. Ein Sieb am Austritt ermöglicht die Abtrennung der Späne von der Waschflüssigkeit.

Das Wasser wird in einem geschlossenen System konditioniert, gefiltert und wieder in den Kreislauf eingeschleust.

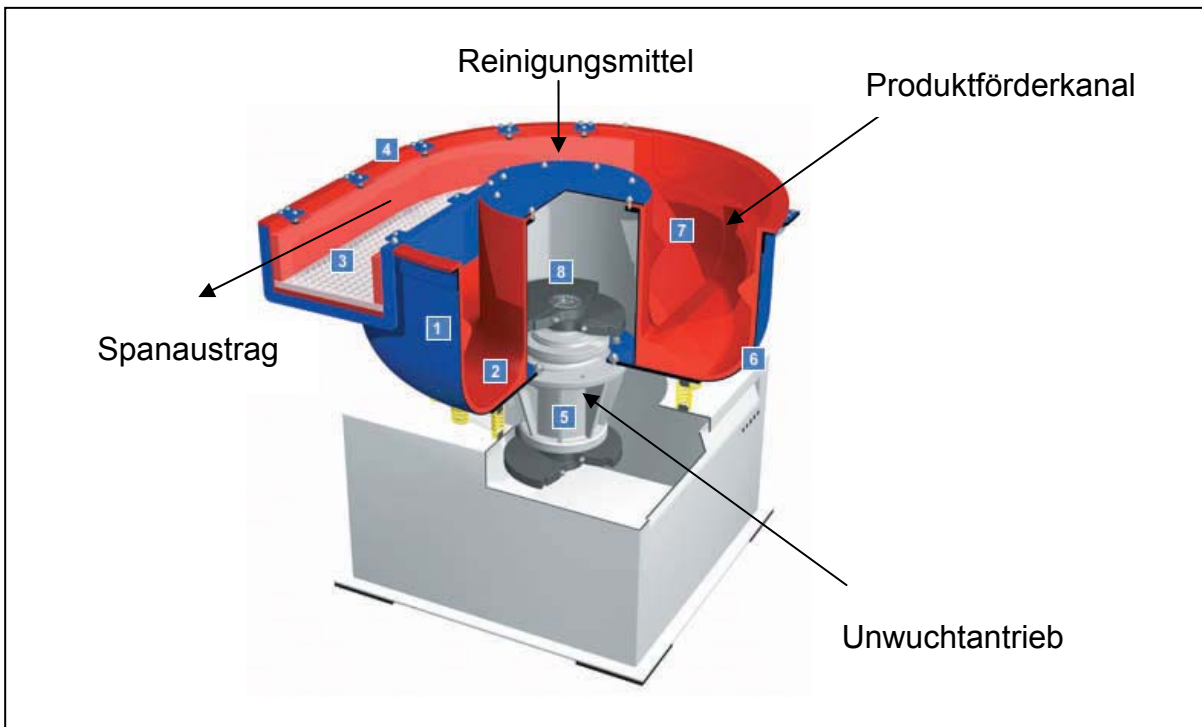
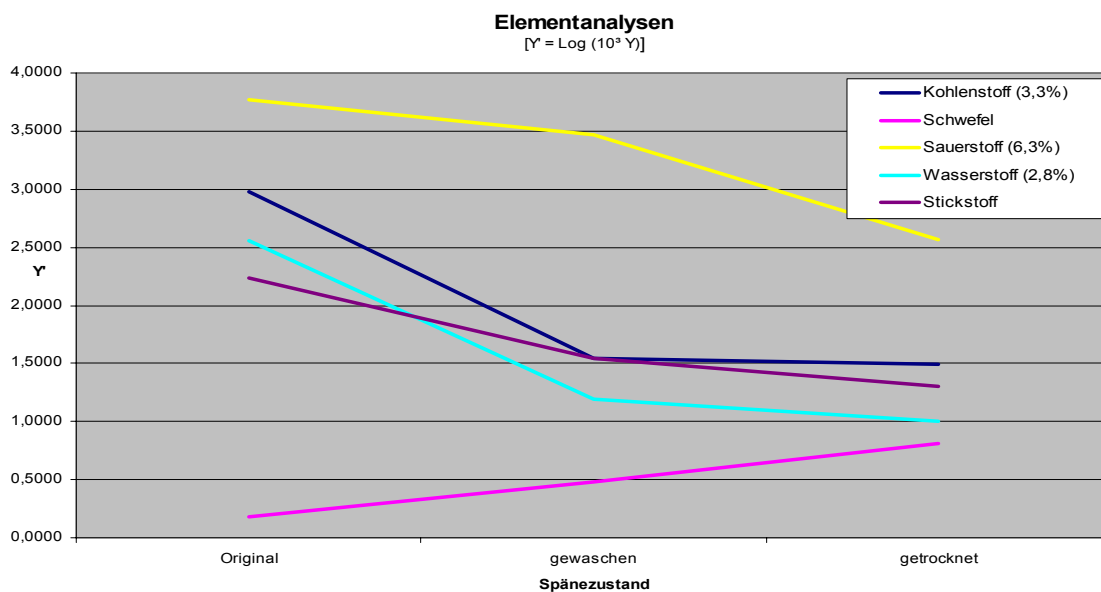


Bild 5: Schematische Darstellung eines Trogvibrators der Fa. Walther Trowal, Haan

Nach Durchgang der Späne durch oben skizzierte Reinigungsanlage wurden sie kontinuierlich in einen Trockner gefördert. Bei dem Trockner handelte es sich ebenfalls um einen modifizierten Rundvibrator, der über einen beheizten Produktförderkanal verfügt. Durch den innigen Kontakt der Ti-Späne mit der warmen Oberfläche bei gleichzeitiger regelmäßiger Umschichtung wurden die nassen Späne getrocknet.

Die Qualität der Behandlung wurde auch hier durch Messung von C, S, O₂, H₂ und N₂ (Elementanalysen, Leco Methode) ermittelt:



Die Reinigung der Späne funktioniert prinzipiell. Es wurden folgende Reduktionsraten ermittelt:

Kohlenstoff: 96 %

Wasserstoff: 96 %

Sauerstoff: 94 %

Stickstoff: 88 %

Feuchtigkeit: 99 %

Der Anstieg des Schwefelgehaltes ist vermutlich auf die Verwendung eines weniger geeigneten Waschmittels zurückzuführen. In den Vorversuchen mit einem anderen Mittel wurde auch eine deutliche Reduktion des Schwefelwertes festgestellt.

Mit diesem Verfahren besteht die Möglichkeit, Späne der hier vorliegenden Form in einem kontinuierlichen, 2-stufigen Verfahren schonend zu reinigen und zu trocknen. Die Prozessparameter sind jedoch je nach Eigenschaften der Späne zu modifizieren.

II.5.3.3 Anwendung von Beizen

In einer weiteren Versuchsreihe sollte der Einsatz chemischer Methoden zur Dekontamination der Titanspäne untersucht werden. Zielsetzung war hierbei die Entfernung der Oxidschicht bzw. die Entfernung von Hartmetallkontamination. Die Späne wurden dazu am IME mit Ethanol entfettet und mit 3 verschiedenen Beizlösungen (HNO_3 / HF in H_2O) behandelt. Aus den anschließenden Analysen der Lösungen ergab nur eine äußerst geringe, unkritische Konzentration an Wolfram. Kobalt, Eisen und Nickel lösten sich zunehmend mit steigender Säurekonzentration, Molybdän ebenfalls, hier jedoch sank die Konzentration durch Ausfällung mit der Zeit wieder ab. Weitere Versuche wurden nicht durchgeführt.

II.5.4 Thermische Aufbereitung

Aluminiumspäne werden traditionell in Drehrohtrocknern thermisch behandelt, die anhaftenden Kühlschmierstoffe werden bei Temperaturen um 450°C nahezu rückstandsfrei verdampft, es werden Restfeuchten unter 0,1% erzielt. Es lag nahe, dieses Verfahren auch bei den Titanlegierungsspänen zu testen.

Bei den Ti 90/6/4 Spänen, die für diese Versuche benutzt wurden, handelte es sich um bereits extern gereinigte, d.h. von anhaftenden Kühlschmiermitteln befreite, und getrocknete Späne. Diese Späne wurden nachträglich mit einem Kühlschmiermittel (wässrige Lösung von Esso Kutwell 40, Datenblatt s. Anhang) kontaminiert, um eine reproduzierbare Ausgangskontamination zu erhalten. Für die Versuche wurden drei unterschiedliche wässrige Lösungen mit 4 Volumenprozent und 10 Volumenprozent Kutwell 40 hergestellt. Diese Kutwell 40 Lösungen entsprechen, gemäß dem Produktdatenblatt zu Kutwell 40, dem üblichen Konzentrationsbereich für allgemeine Fertigungsverfahren (4 – 10 Vol-%).

Zur Kontamination wurden die Späne, auf einem 5 mm Sieb liegend, mit jeweils 10 Litern, der oben genannten wässrigen Kutwell 40 Lösungen kontaminiert. Über das Sieb konnten die überschüssigen Mengen an Kühlschmiermittel ablaufen, so dass eine industrielle Kontaminationssituation simuliert werden konnte.

II.5.4.1 Batch Prozess

Im ersten Versuch zur thermischen Spänereinigung und -trocknung wurden ein gasbeheizten Ofen verwendet, in dem üblicherweise auch die Feuchte von Aluminiumspänen ermittelt wird. In diesen Ofen wurde ein Blech installiert, auf dem die Materialprobe (1 Kg Ti 90/6/4 Späne) von unten her gleichmäßig durch Gasflammen erhitzt wurden. Die Flammen hatten keinen direkten Kontakt zu den Spänen, um eine Kontamination der Späne mit Verbrennungsprodukten der Erdgasverbrennung zu vermeiden.

Über die Gasmenge können verschiedene Temperaturen bis etwa 350 °C eingestellt werden.



Bild 6: Batchofen zur Ermittlung der Feuchte

Zur Durchführung der Versuche wurden jeweils 1.000 g der zu reinigenden Ti 90/6/4 Späne, in der Blechwanne liegend, über der Gasflamme auf Versuchstemperatur erhitzt und über die Versuchsdauer auf der jeweiligen Temperatur gehalten. Um eine räumlich ungleichmäßige Erhitzung der Blechwanne zu minimieren, wurde es nach der Hälfte der Versuchsdauer um 180° gedreht und wieder in den Ofen eingesetzt.

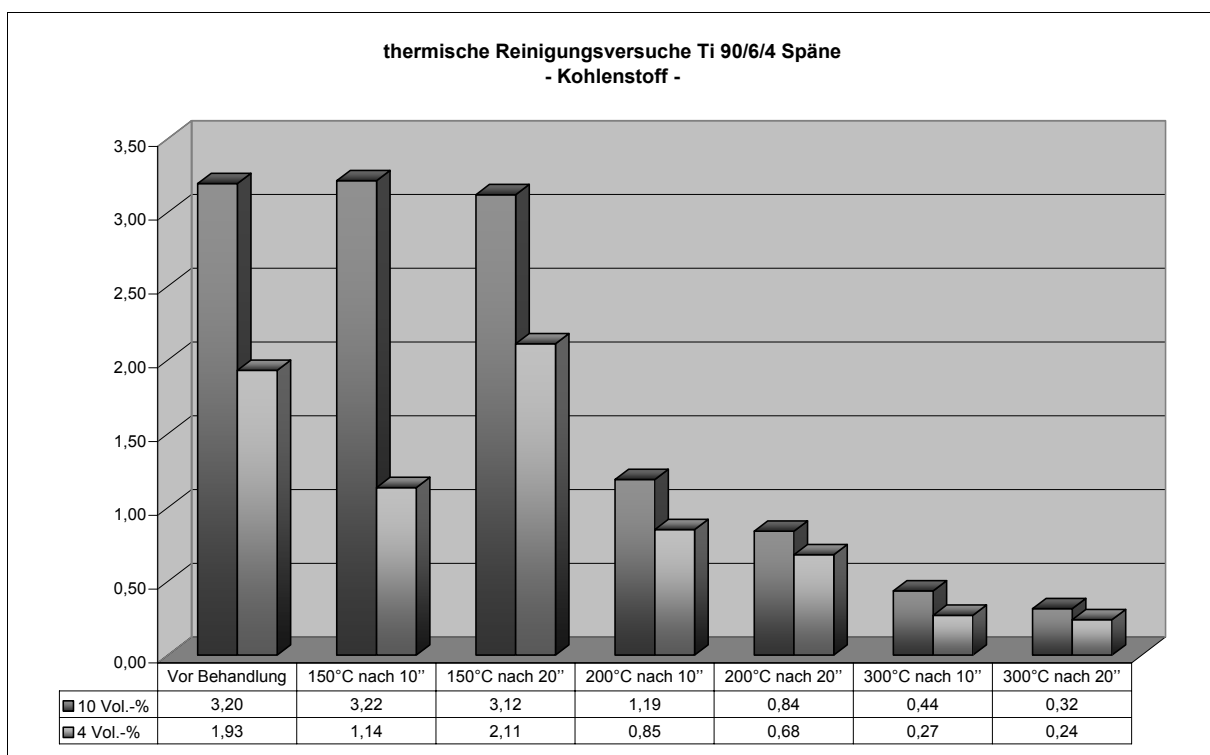
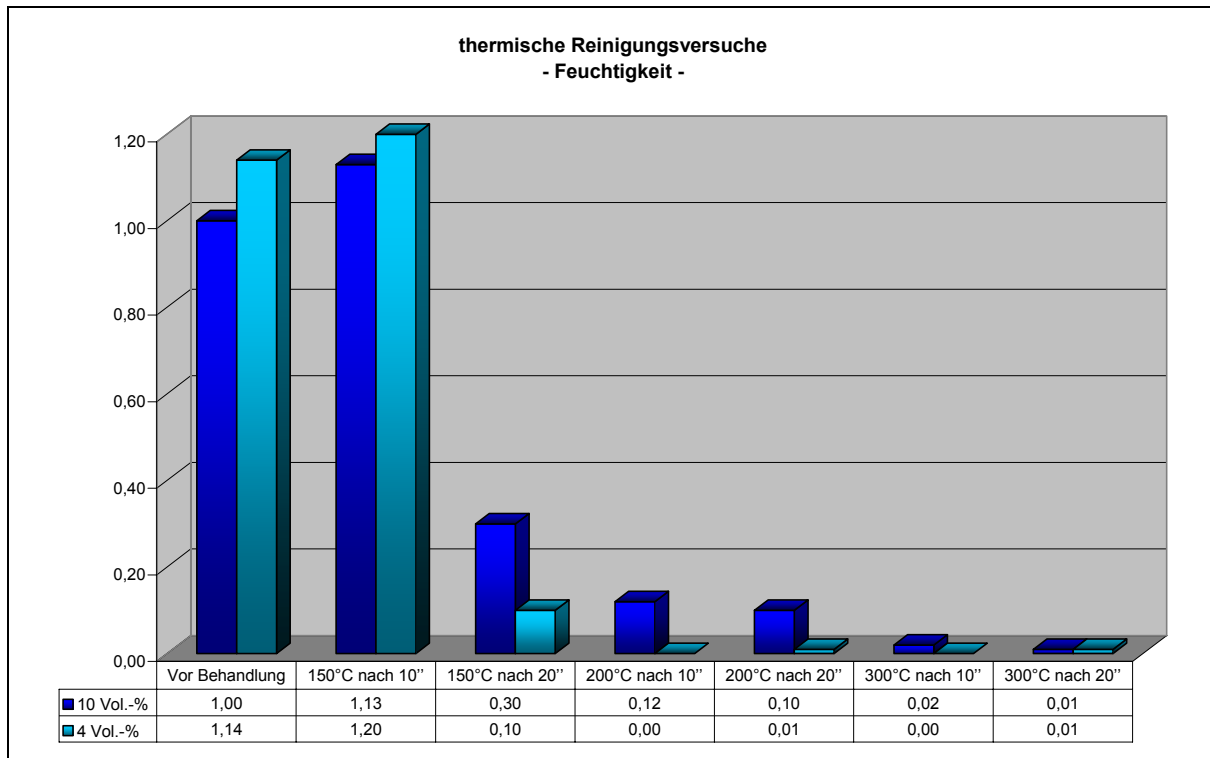
Die Temperaturmessung erfolgte in der Mitte der Blechwanne, direkt auf dem Blech über ein Kontaktthermoelement (BEHA Digital Kontaktthermometer 93402 Typ K).

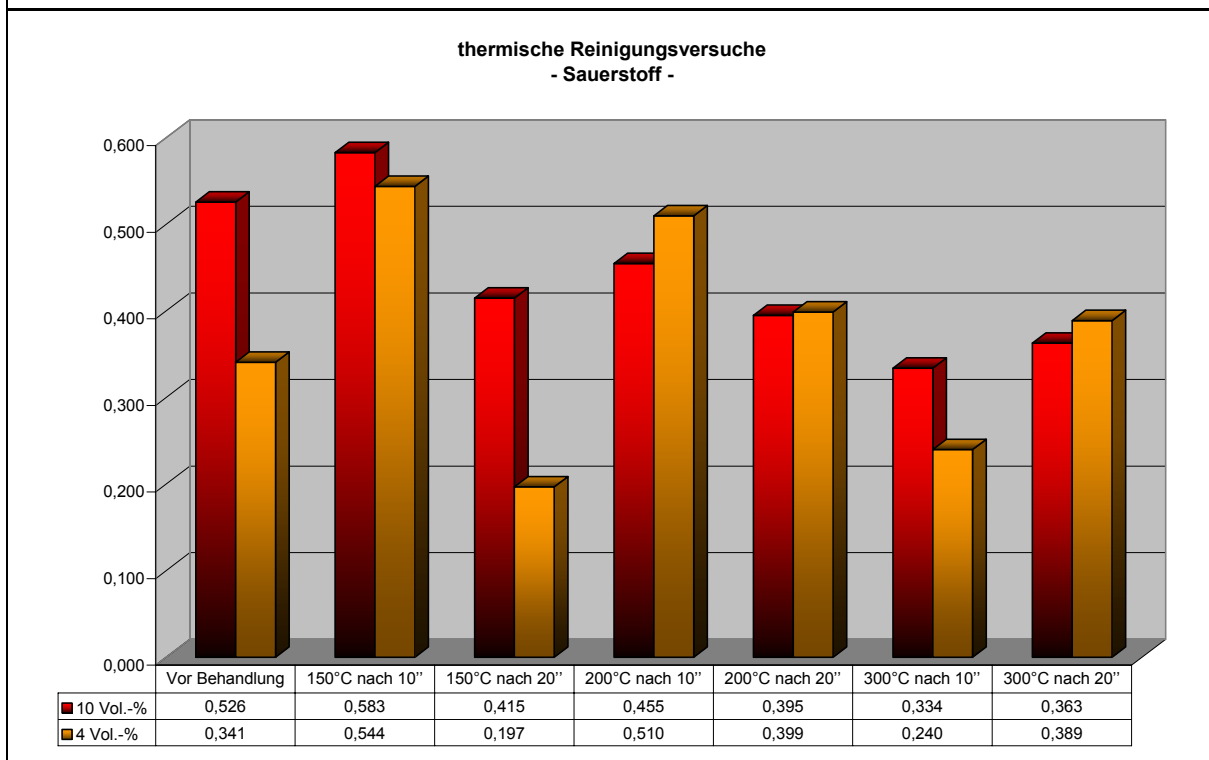
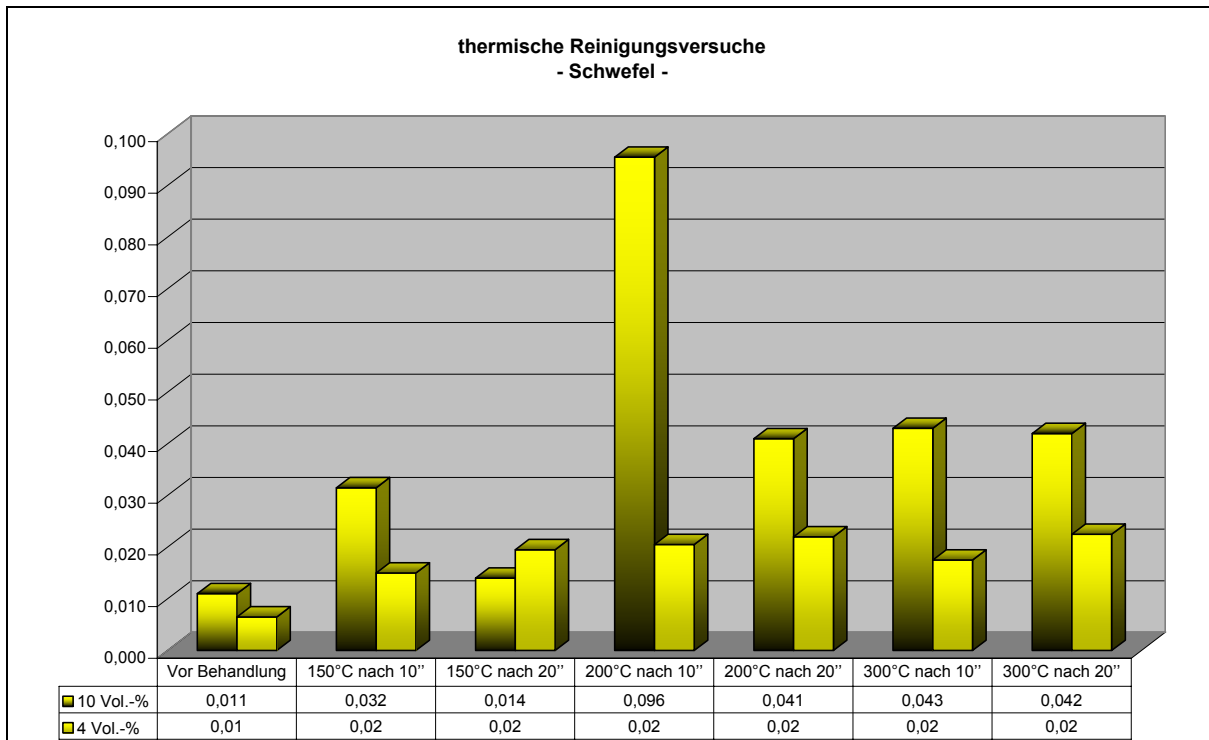
Die für die chemische Analyse notwendigen Spänenproben wurden aus der Wannenmitte entnommen. Nach jeder Probennahme wurden die Späne kurz gemischt, um Temperaturgradienten innerhalb der Späneschüttung zu minimieren.

Von den Ti 90/6/4 Spänen wurden am Versuchstag jeweils Proben vor der Reinigung, nach 10 Minuten thermischer Reinigung und nach 20 Minuten thermischer Reinigung ent-

nommen. Die entnommenen Proben wurden im HM Labor mittels Elementaranalysatoren auf die Kontamination mit Stickstoff, Sauerstoff, Wasserstoff (ELTRA ONH 2000), Kohlenstoff und Schwefel (ELTRA CS 800) hin untersucht.

In den nachfolgenden Diagrammen sind die Ergebnisse detailliert wiedergegeben:





Die Kohlenstoff- und Feuchtegehalte nehmen offensichtlich mit steigender Temperatur und Verweilzeit deutlich ab. Während die Restfeuchte dabei bis auf 0,01% absinkt, wird der Kohlenstoffgehalt nur bis auf ca. 0,25% reduziert. Da sich auch die Schwefelgehalte nicht wesentlich ändern, kann man davon ausgehen, dass nur das Wasser verdampft, während die organische Komponente am Span zurückbleibt.

Der Sauerstoffgehalt bleibt offensichtlich stabil; da bei diesen Versuchen keine Funkenbildung beobachtet wurde, deutet auch das auf die Nichtzersetzung der organischen Komponente hin.

Die thermische Trocknung kontaminierter Titanspäne verbunden mit einer nahezu vollständigen Zersetzung der organischen Komponente kann nur im indirekten Verfahren durchgeführt werden. Zur Erzielung einer ausreichenden Reinheit sind für die hier verwendeten Kühlschmierstoffe jedoch Temperaturen deutlich oberhalb von 300°C erforderlich.

II.5.4.2 Drehrohrverfahren

Trotz der eher negativen Ergebnisse aus den Vorversuchen wurden noch einige Untersuchungen in einem Drehrohr durchgeführt.

Bei dem Drehtrommelofen handelt es sich um ein drehbar gelagertes Stahlrohr mit einem Durchmesser von ca. 1 m und einer Länge von 4 m.

In dem Rohr sind Schikanen eingeschweißt, die für einen kontinuierlichen Transport des zu trocknenden Gutes durch den Drehtrommelofen sorgen. Die Beheizung des Rohres erfolgt direkt mit einem Öl / Druckluftbrenner (siehe Fotos).



Bild 7: Drehrohtrockner

Um reproduzierbare Versuchsbedingungen zu schaffen, wurden die aus anderen Versuchen vorhandenen trockenen Ti 90/6/4 Späne wieder mit Kühlschmiermittel künstlich kontaminiert. Dazu wurden 10 Kg der Späne mit dem Kühlschmiermittel Kuttwell 40 von Esso (Daten s. II.9.3.1) in einem Betonmischer für 10 Minuten gemischt, um eine homogene Kontamination der Späne zu erhalten.

Es wurden zwei Versuche durchgeführt:

- Kontamination der Späne mit 3 % Kuttwell 40 unverdünnt
- Kontamination der Späne mit 3 % Kuttwell 40, mit Wasser im Verhältnis 1:10 verdünnt.

Von den Ti-Spänen wurden jeweils vor und nach den Versuchen eine Probe genommen und wie zuvor auf Sauerstoff, Kohlenstoff, Schwefel, Stickstoff und Feuchte hin analysiert.

	H ₂ O (IR) [%]	C [%]	S [ppm]	O [%]	N [%]
Vor Kontamination	0,34	0,36	53,5	0,55	0,031
Nach Kontamination	0,51	2,56	149,5	0,48	0,073
Nach thermischer Behandlung	0,12	0,16	83,5	0,22	0,003
Δ	0,39	2,41	66,0	0,26	0,07
Reduktion [%]	76,5	93,9	44,2	54,2	95,9

Tabelle 3: Ti-Späne kontaminiert mit 3 % Kühlschmierstoff Kuttwell 40 (unverdünnt)

In einer weiteren Versuchsreihe wurden die Späne mit verdünntem Kühlschmierstoffgemisch (3%, Verdünnung 1:10) behandelt, die Ergebnisse waren tendenziell gleich.

Zusammengefasst kann man festhalten, dass das Ergebnis für bestimmte technische Anforderungen ausreichend sein könnte, für die hier betrachtete Aufgabenstellung jedoch ungenügend ist.

Im Drehrohrprozess konnten die Kohlenstoff-, Feuchte- und Stickstoffgehalte deutlich reduziert werden (bis zu 96%). Der Sauerstoffgehalt konnte ebenfalls reduziert werden, jedoch sind bei der thermischen Behandlung vermutlich Ti-Oxide entstanden. Der Nachweis konnte nicht geführt werden, das Flammenbild ließ jedoch darauf schließen. Der Schwefelgehalt stieg durch die thermische Behandlung sogar an. Dies kann zum einen am Schwefelgehalt des Kühlschmiermittels liegen (Na-Alkylarylsulfonat), welches durch die thermische Behandlung nicht vollständig eliminiert wurde, oder an den Verbrennungsprodukten des verwendeten Heizöls.

Obwohl eine Reduzierung der Kontamination gemessen werden konnte, erscheint das direkt beheizte Drehrohr weniger geeignet. Die relativ niedrigen Temperaturen von ca. 110°C reichen nicht aus, die Schmierstoffe vollständig zu zersetzen. Da aber bereits bei diesem Niveau eine deutlich sichtbare Oxidation des Titan stattfindet, ist eine Temperaturerhöhung nicht angeraten. Apparativ bedingt konnten andere Parameter wie Temperatur und Verweilzeit nicht variiert werden. Eventuell können die Späne im indirekt beheizten Reaktor effektiver behandelt werden; die apparativen Voraussetzungen dazu konnten im Rahmen dieses Projektes nicht geschaffen werden.

II.5.5 Kompaktierung

II.5.5.1 Grundlagen

Im zweiten Schritt des Vorhabens sollte ein Verfahren entwickelt werden, mit dessen Hilfe die zuvor aufgearbeiteten Titanspäne in Kompaktate überführt werden. Diese Presslinge sollen in weiteren Verfahren derart behandelt werden, so dass die mechanischen und physikalischen Eigenschaften die weitere Raffinierung ermöglichen müssen.

Neben den aus der mechanischen Bearbeitung stammenden Ti 90/6/4 Spänen wurde auch Titan Schwammpulver verwendet, um die Festigkeit der Presslinge zu erhöhen. Das Ti-Schwammpulver fungiert als Haftvermittler für die Ti 90/6/4 Späne. Es wurde Ti 2A4 mit der HOESCH Chargennummer 453-3540 verwendet. Bei diesem Material handelt es sich um Primär-Titan 2A4.



Bild 8: Titan Schwammpulver 2A4

	Ti Schwammpulver 2A4	
	#1	#2
Ti (rechn.)	> 99,0	> 99,0
Al	0,01	< 0,01
V	< 0,01	< 0,01
Fe	0,01	0,01
Cr	0,01	0,01
Ni	0,01	0,01
Si	< 0,01	< 0,01
Cu	< 0,01	< 0,01
Mg	0,02	0,02
C		0,021
S		0,001
O		0,12
H ₂ [ppm]		31
H ₂ O		0,02

Tabelle 4: Chem. Analyse des Ti Schwammpulvers

Die Kornverteilung wurde im Siebturm wie folgt ermittelt:

Kornklasse [µm]	Anteil Ti Schwammpulver 2A4 [%]
< 63	0,37
63 – 2.000	16,14
2.000 – 3.150	51,47
3.150 – 4.000	24,61
> 4.000	7,41

Tabelle 5: Korngrößenanalyse Ti Schwammpulver 2A4



Zusätzlich wurden feine Späne aus Ti 90/6/4 verwendet, um den Einfluss der Kornverteilung auch bei den Spänen zu ermitteln. Die Kornverteilung wurde wie folgt bestimmt:

Bild 9: Späne aus Leg 90/6/4, feine Qualität

Kornklasse	Anteil
< 63	0,09
63 - 250	10,74
250 - 500	36,82
500 - 850	34,64
850 – 1.000	4,10
1.000 – 2.000	11,39
> 2.000	2,22

Tabelle 6: Kornverteilung der feinen Leg.-Späne

Um ein möglichst einfaches Kriterium für die Bewertung der Festigkeit der Briketts zu erhalten, wurden Falltests mit den Briketts durchgeführt. Der Falltest wird wie folgt durchgeführt:

Ermitteln des Brikettgewichtes vor dem Falltest (m_0)

Dreimaliges Stürzen des Briketts aus einer Höhe von 90 cm in eine Edelstahlwanne auf einen Betonfußboden.

Ermittlung des Gewichtsverlustes nach jedem Sturz (m_1 bis m_3)

Berechnung der Massen-Gewichtsdifferenz aus dem Brikettgewicht vor dem Falltest (m_0) und nach dem dritten Sturz (m_3): $\Delta m = m_0 - m_3$ [g]

Berechnung der prozentualen Gewichtsverlustes aus dem Brikettgewicht vor dem Falltest und nach dem dritten Sturz: $\Delta m = \frac{m_3 * 100}{m_0}$ [%].

Bildung des Reziprokwertes der prozentualen Gewichts­differenz als Festigkeitsindex, d.h. je höher der Zahlenwert ist, desto geringer war der Gewichtsverlust durch den Falltest und desto höher ist die Brikettfestigkeit: $FI = \frac{1}{\Delta m}$

Als Anhaltspunkt für die Kompaktierbarkeit der Späne wurde zusätzlich die Pressdichte als Kennzahl für die Brikettierung herangezogen. Die Pressdichte PD der Briketts wird aus dem Quotienten von Masse zu Volumen berechnet:

$$PD = \frac{4 * m}{\pi * h * d^2}$$

II.5.5.2 Auswahl der Spä­ne­presse

Zur Auswahl der optimalen Spä­ne­presse wurden Maschinen verschiedener Hersteller getestet. Diese Pressen sind im Bereich Aluminium üblich, sie werden auch dort im Spä­ne­recycling eingesetzt. Man nutzt dabei auch die gleichzeitige Entölung aus, die Briketts können mit dem erzielbaren Restölgehalt von ca. 1,5% wieder eingeschmolzen werden.

In ersten Versuchen wurden die Titanspä­ne auf Pressen der Firmen Höcker Polytechnik, Hilter (Type Brikstar CM) und der Co.Ma.Fer, Brescia (Metalpress 400) verarbeitet. Beide Pressen sind jedoch zu schwach, um die Titanspä­ne auch nur zu annähernd formstabilen Presslingen zu verarbeiten. Die erreichbaren Presskräfte liegen unter 2000 Kg/cm², was für Aluminium ausreicht, sich für Titan jedoch als zu niedrig herausgestellt hat.

Bei der am besten geeigneten Presse handelt es sich um eine hydraulisch betriebene, horizontal wirkende Spä­ne­presse der Firma RUF (Typ R 22/5000/60). Die Presse besitzt einen Presszylinder und verdichtet das zu verpressende Material gegen eine fixierte Stahlplatte.

Die Presse kann mit einem maximalen Pressdruck von 30 MPa (300 bar) betrieben werden und verfügt dann über eine Presskraft von 5.000 Kg/cm². Die Presse liefert zylindrische Briketts mit einem Durchmesser von ca. 60 mm. Die elektrische Anschlussleistung beträgt ca. 22 KW (Hydraulikbox).

Es wurden folgende Maschinenparameter, die unmittelbaren Einfluss auf die Beschaffenheit der Briketts haben, während der Versuche variiert.

Vorverdichter Druck: 5 – 30 MPa (50 – 300 bar)

Pressdruck: 5 – 30 MPa (50 – 300 bar)

Maximale Beschickungszeit des Vorverdichters (Laufzeit der Trogschnecke): 0,1 - ∞ Sekunden. Aus den diversen Versuchsreihen wurden die optimalen Maschinenparameter wie folgt eingestellt:

Vorverdichterdruck (VVD): 5 MPa (50 bar)

Pressdruck: 30 MPa (300 bar)

Eilgangdruck:	8 MPa (80 bar)
Multidruck:	28 MPa (280 bar)
Minimale Beschickungszeit VVD:	0,1 sec.
Maximale Beschickungszeit VVD:	1,0 sec.
Presszyklen zwischen Formschmierungen:	1
Dauer der Formschmierung (= Ölmenge):	0,1 - 2,0 sec.

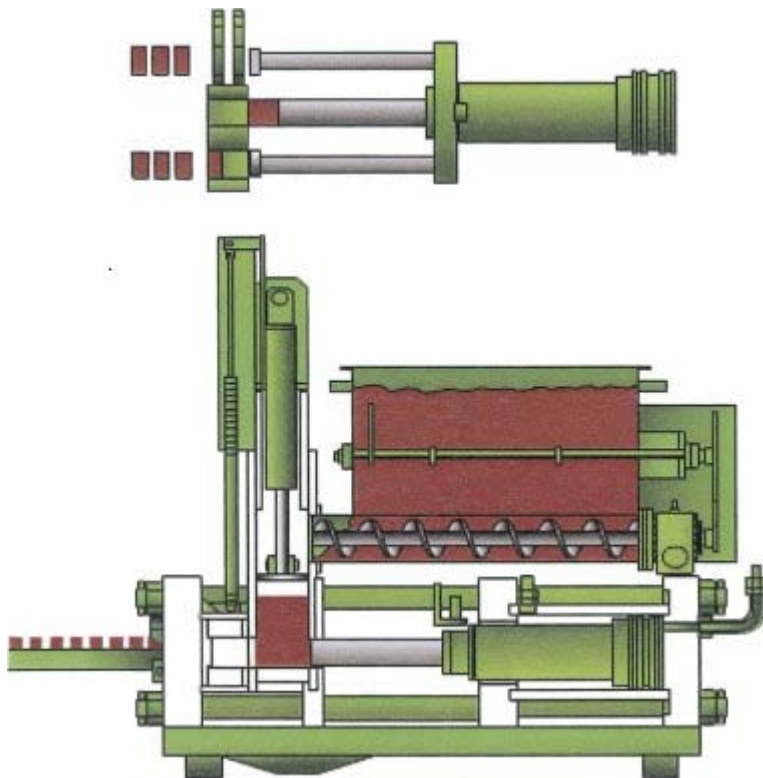


Bild 10: Spänepresse Fabrikat RUF

Das zu brikettierende Material wird über die Förderschnecke in den Vorverdichter transportiert.

Der Vorverdichter verdichtet das Material.

Der Hauptpresszylinder presst das Brikett in seine Endform.

Die Wechselform verfährt und der Ausstoß des Briketts erfolgt über einen Dorn. Parallel dazu wird ein neues Brikett gepresst.

II.5.5.3 Ergebnisse der Verpressung

II.5.5.3.1 Verpressung von Titanspänen ohne Beimischung

In den Vorversuchen hatte sich herausgestellt, dass sich die Titanspäne alleine zwar verpressen lassen, die Briketts wiesen jedoch keine ausreichende Festigkeit auf. Die Presskörper sind an den Enden aufgeweitet, Späne brechen leicht aus dem Verbund heraus. Die Oberfläche ist uneben, die offene Spänestruktur bleibt sichtbar (Bild 9.4.1).

Das Ergebnis ändert sich nur geringfügig, wenn das h/d Verhältnis reduziert wird (Bild 9.4.2, 9.4.3). Bei diesen Briketts wurde ein h/d von 1,06 bzw. 0,93 gegenüber 1,65 im ersten Versuch eingestellt.

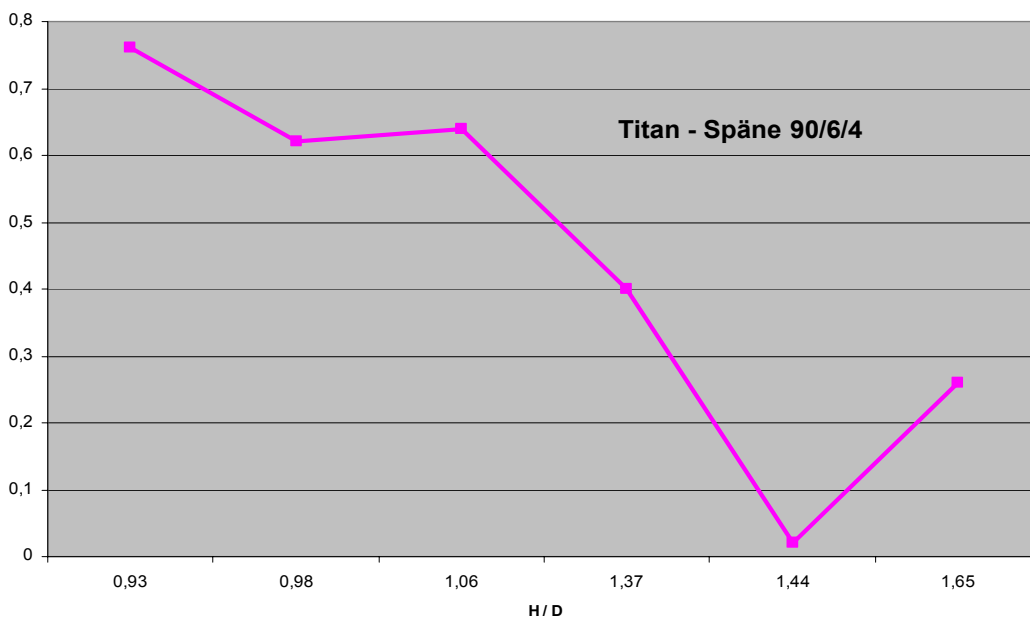
Die Späne wurden außerdem ohne Pressenschmierung verarbeitet. Dabei wurden folgende Beobachtungen gemacht:

- Der Pressvorgang verläuft unter lautem "Quietschen"
- Das Brikett erwärmt sich sehr stark ($> 60^{\circ}\text{C}$)
- Nach dem Ausstoß wird eine Reaktion mit dem Luftsauerstoff beobachtet (Stichflamme und weißer Rauch)

Schon bei den ersten Versuchen wurde deutlich, dass die Presse nicht längere Zeit ungeschmiert betrieben werden kann.

In einer weiteren Versuchsreihe wurden Legierungsspäne (3.7164) aus einer anderen Quelle verpresst. Diese Späne waren deutlich feiner als die zuvor betrachteten Späne. Aus dieser Charge wurden Briketts mit den Original- (verölt) und mit entölt Spänen hergestellt. Die Fotos sind im Anhang unter 9.4.4 enthalten; während der Öl haltige Pressling einen relativ guten Festigkeitsindex aufweist, ist der aus den saubereren Spänen hergestellte Körper mit den ersten Presslingen vergleichbar.

Bereits bei den ersten Versuchen wurde eine in erster Näherung lineare Beziehung zwischen dem H/D – Verhältnis und dem Festigkeitsindex gefunden:



Ein Verhältnis $H/D \leq 1$ war daher für alle folgenden Versuche die angestrebte Variante.

II.5.5.3.2 Verpressung von Titanspänen mit Primärtitan

Da die erzielte Brikettfestigkeit mit Ti 90/6/4 nicht befriedigend ausfiel, wurden weitere Versuche mit unterschiedlichen Gemischen von Ti 90/6/4 Spänen und Ti Schwammpulver (2 – 4 mm) durchgeführt. Bei dem Ti-Schwammpulver handelt es sich um ein Primärtitan, welches gut zu kompaktieren ist. Das Ti-Schwammpulver sollte als Haftvermittler zwischen den Ti 90/6/4 Spänen dienen, wobei der Anteil an Ti-Schwammpulver aus ökonomischen Gesichtspunkten möglichst gering sein sollte. Die folgende Tabelle zeigt, welche Versuche durchgeführt wurden (die während der Versuche geänderten Rezepturparameter bzw. Maschinenparameter sind gelb markiert), im Anhang sind unter 9.4.51 einige Fotos enthalten:

Versuch:	#2	#15	#3	#18	#4	#20	#5	#21
Ti 90/6/4 Späne [Gew.-%]	50,0	50,0	75,0	75,0	87,5	87,5	87,5	87,5
Ti Schwamm 2A4 [Gew.-%]	50,0	50,0	25,0	25,0	12,5	12,5	12,5	12,5
Beschickungszeit VVD [sec.]	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	0,7
Vorverdichterdruck [MPa]	20	5	20	5	20	5	20	5
Pressdruck [MPa]	30	30	30	30	30	30	30	30
Schmierung Presse:	√	√	√	√	√	√	√	√
H/D	1,14	0,82	1,41	0,9	1,46	1,02	1,46	1,1
Festigkeitsindex	22,52	29,78	1,12	2,19	2,99	2,02	3,08	1,78

Tabelle 7: Verpressung Ti 90/6/4 mit Ti Schwamm Ti 2A4 (2 - 4 mm)

Bei diesen Versuchen wurde in den Pressraum Schmiermittel (sog. Minimalschmierung) eingespritzt.

Die hinsichtlich der Festigkeit besten Briketts lassen erwartungsgemäß sich mit dem höchsten Anteil Schwammpulver (50%) erreichen. Dieses Ergebnis war auf Grund der vorliegenden Erfahrung zu erwarten; das Titanschwammpulver lässt sich auch in reinem Zustand sehr gut kompaktieren. Die gefundenen Schwankungen bei 25% bzw. 12,5% Schwammpulver sind nicht sehr groß, so dass die Zugabe von 12,5% als ausreichend angesehen werden kann.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde ein Teil des Primärtitans durch eine weitere feinere Spänetype ersetzt. Dabei ergaben sich jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den feinen und den gröberen Spänen: Die Formen bzw. die Abmessungen der Späne sind nur bedingt relevant für die Festigkeit der Briketts; entscheidend ist, dass ein bestimmter

Gehalt an Schwammpulver zur Herstellung ausreichend formbeständiger Presslinge zugegeben wird.

II.5.5.3 Verwendung unterschiedlicher Schmierstoffe

Bei den ersten Pressungen wurden handelsübliche Hydrauliköle der ESSO AG (HLP 32 bzw. HLP 46; Physikalische Daten s. unter II.9.3) verwendet. In der nach geschalteten Vakuumentölung zeigt sich, dass diese Schmierstoffe nur bedingt ausgetrieben werden und daher als Schmierstoff in der Brikettpresse weniger geeignet sind.

Für die späteren Versuche wurde daher ein niedrig siedendes Schmieröl gesucht, ausgewählt wurden schließlich 2 Typen der Fa. Blaser Swissslube (Vasco 1000 bzw. Blasocut BC 25) ausgewählt. Beide Sorten wurde als wässrige Lösung mit einem Anteil von 7% eingesetzt. Die Schmierstoffmenge wird an der Presse über die Dauer der Einspritzung eingestellt; die Zeit wurde gemäß der Vorgabe "Minimalschmierung" auf 0,1 s gesetzt.



Bild 11: wollige Titanspäne





Bild 12: Titanspäne aus früheren Versuchen

Für die hier beschriebenen Pressversuche wurde ein wolliges Material (Bild 11, vergleichbar mit Stahlwolle) verwendet, welches sich deutlich von dem Material früherer Pressungen (Bild 12) unterscheidet.

Kühlschmierstoff: Vasco 1000

Bei diesem Pressversuch wurden die Ti-Späne / Ti-Wolle pur verpresst. Die Schmierung der Pressenwerkzeuge wurde mit einer 7 Vol-% Mischung aus VASCO 1000 mit Leitungswasser (0,7 l VASCO 1000 auf 9,3 l Leitungswasser) realisiert. Die für die Schmierung relevanten Maschinenparameter sind der obigen Tabelle 1 zu entnehmen. Es konnte beobachtet werden, dass beim Verschieben der Pressenmatrize auf die Ausstoßposition der Briketts, keine Stichflamme und Rauch- / Dampfentwicklung (weiß) beobachtet wurde. Bei den Versuchen in 04/2006 war dies jedoch fast ausnahmslos der Fall. Aber auch bei den aktuellen Versuchen wurde eine sehr starke Erwärmung der Briketts durch den Pressvorgang beobachtet, wobei die Briketts unmittelbar nach der Verpressung kaum noch ohne Schutzhandschuhe angefasst werden konnten. Auch bei den aktuellen Pressversuchen wurde der Pressvorgang durch ein deutlich vernehmbares quietschen begleitet.

Bei beiden Versuchsreihen wurden keine Zuschlagstoffe (Schwammpulver) benötigt. Dies ist jedoch nicht auf die Schmiermittel, sondern allein auf die Beschaffenheit der Späne zurück zu führen.

In allen Fällen waren die Briketts sehr gut ausgeprägt, die Festigkeitsindices lagen im Bereich zwischen 7 und 20. Auf die Presslinge bezogen betrug die eingespritzte Schmierstoffmenge ca. 0,7%. Unter II.9.4.6-7 sind Bilder der Briketts enthalten.

In den nachfolgenden Entölungsschritten in der Vakuumanlage konnte ein akzeptabler Restölgehalt erreicht werden, so dass diese Schmierstoffe als geeignete Hilfsstoffe für die Brikettpresse angesehen werden können.

Mit diesen Ergebnissen kann der Prozessschritt Pressen als abgeschlossen betrachtet werden. Die hier vorgestellte Brikettierpresse ist in Verbindung mit den niedrig siedenden Kühlschmierstoffen der Fa. Blaser zur Herstellung formstabiler Presslinge geeignet. Im Einzelfall muss geprüft werden, ob die zur Verfügung stehenden Titanspäne allein oder nur durch Einmischung eines Hilfsstoffes, z.B. Titanschwammpulver, verpresst werden können. Ein ähnlicher Effekt lässt sich auch durch Zugabe von Aluminiumgrieß erreichen. Da dieses Projekt jedoch eine andere Zielrichtung hat, wurden hierzu lediglich einige "Tastversuche" gemacht.

II.6 Darstellung des Gesamtverfahrens

Für das gesamte Verfahren, ausgehend von den kontaminierten Rohspänen bis hin zu den fertigen Presslingen, sind folgende Prozessschritte notwendig:

- Vorzerkleinerung
- Entfettung / Entölung
- Trocknung
- Kompaktierung

Zu diesen "Grundoperationen" gehören als Peripherie folgende Elemente:

- Vorratsbox für die Rohspäne
- Aufgabevorrichtung vor der Zerkleinerung
- Dosieranlagen zwischen den jeweiligen Prozessschritten (idealerweise Steilförderbänder)
- Dosierstation zur Einmischung von Schwammpulver (wenn erforderlich)
- Aufnahmestation für die fertigen Briketts

Das Blockfließbild sieht wie folgt aus:



HOESCH Metallurgie GmbH

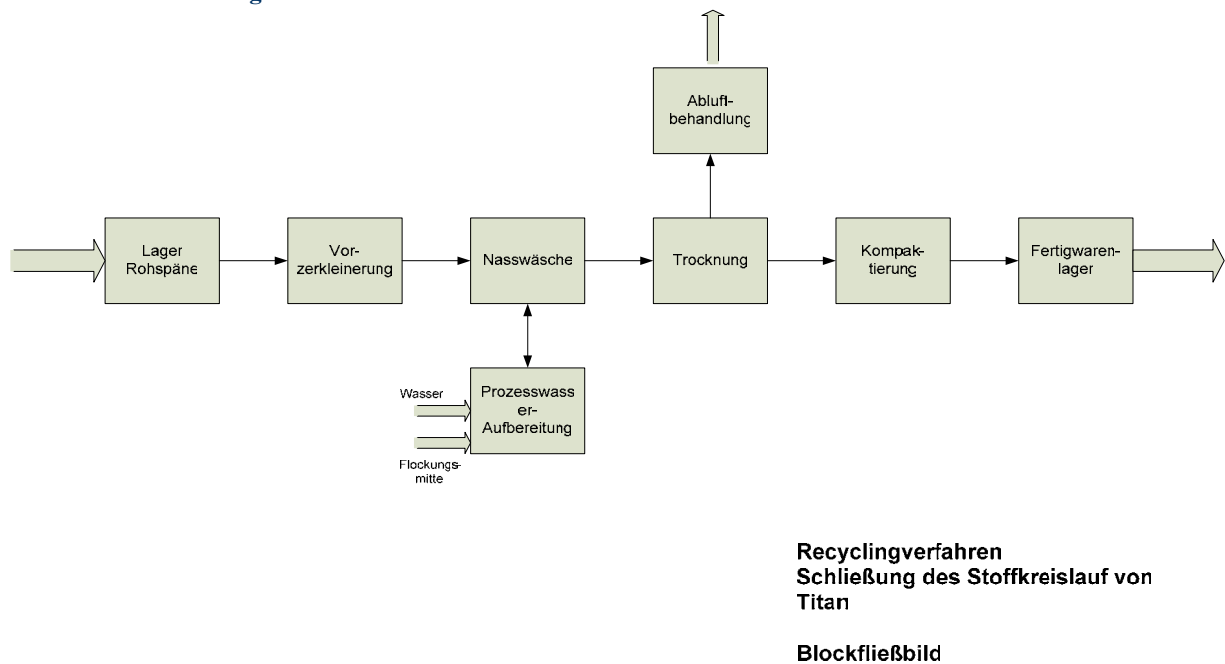


Bild 13: Blockfließbild

II.7 Abschätzung der Wirtschaftlichkeit

Im Vordergrund des Projektes stand die Entwicklung eines technischen Prozess, mit dessen Hilfe aus „verölten“ Spänen handhabbare Presskörper hergestellt werden, die in weiteren Prozessen soweit raffiniert werden, dass der Stoffkreislauf geschlossen werden kann. Der Vollständigkeit halber wird nachfolgend eine Abschätzung der Investitions- und der Betriebskosten durchgeführt.

Zur Dimensionierung und zur späteren Kostenrechnung wird eine Leistung von 100 Kg/h Input zugrunde gelegt. Bei 5-Tagebetrieb (24 h) und einer Verfügbarkeit von 90% ergibt sich daraus eine Jahresleistung von etwas mehr als 500 t.

Unter Berücksichtigung üblicher Zuschlagsätze für Stahlbau und Montage ergeben sich Investitionskosten in Höhe von ca. 750 TEUR. Diese Rechnung ist eher konservativ, bei detaillierter Betrachtung sollten die Kosten eher niedriger liegen.

	<u>Investitionssumme</u>
Vorzerkleinerer	60
Rundvibrator (Entölung)	60
Vibrationstrockner	90
Schälzentrifuge	60
Spänepresse	125
Diverse Förderer	50
Elektrische Steuerung	50
Zwischensumme	495
Stahlbau (10%)	50
Mech Montage (15%)	74
Elektrische Montage (15%)	74
Sonstiges (10%)	50
Investitionssumme	743

Tabella 8: Investitionskosten

Jahresdurchsatz	518,4	t/a
Investition	742.500	EUR
Kapazität:	100	Kg/h
Betriebszeit:	5.184	h

	Bedarf		Kosten / Einheit	Einheit	Kosten	
Personalkosten	3		35000	EUR/a	105000	EUR/a
Energiekosten						
Elektr. Energie (KW)	100		8	ct/KWh	41472	EUR/a
Wasser (l/h)	5		5	EUR/m³	389	EUR/a
Flockungsmittel (Kg/h)	0,1	Kg/h	0,21	EUR/h	3266	EUR/a
Instandhaltung (% von Invest)	5			%	37125	EUR/a
Abschreibung (8 J, linear)	8			a	92813	EUR/a
Zinsen (6% auf halbe Invest)	6			%	22275	EUR/a
Sonstige Betriebskosten					20000	EUR/a
			Summe		322339	EUR/a
			Kosten pro t Späne		621,80	EUR/t

Tabella 9: Betriebskosten

Unter den getroffenen Annahmen ergeben sich Betriebskosten in Höhe von ca. 620 EUR/t Späne. Dies erscheint im ersten Moment hoch; bedenkt man aber, dass TG 90 Qualität (99,7% Ti) heute mit 15-16\$/t gehandelt wird und die TGTV Qualitäten (97-98%Ti) bei 7-8\$/t liegen, kann eine aufwendige Aufbereitung durchaus wirtschaftlich sein.

II.8 Resumée

Im Rahmen des Gesamtprojektes "Schließung des Stoffkreislauf für Titan – Entwicklung eines Recyclingverfahrens für Schrotte der Gießereien und mechanischen Bearbeitungszentren" wurden bei der HOESCH Metallurgie GmbH Untersuchungen zur Reinigung und Kompaktierung der Schrotte (Späne) durchgeführt. Dabei wurden die relevanten Prozessschritte Zerkleinern, Entölen, Trocknen und Kompaktieren mittels gängiger Apparate untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass die einzelnen Verfahrensschritte beherrschbar sind und sich ausreichende Reinheiten erzielen lassen. Dabei wird berücksichtigt, dass für eine produktionstechnische Umsetzung noch Detailprobleme zu lösen sind. Für die Kompaktierung sind dabei Form und Beschaffenheit der Späne relevant: wollige Typen lassen sich ohne Beimischung von Titanpulver verpressen, grobe Drehspäne erfordern dagegen einen bestimmten Anteil an Pulver, um eine ausreichende Formstabilität zu erhalten.

In einer ersten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde gezeigt, dass dieses Verfahren bei einer gewissen Jahrestonnage durchaus wirtschaftlich betrieben werden kann. Die Betriebskosten wurden ohne Berücksichtigung von Infrastrukturkosten und zusätzlichen Rohstoffkosten für Schwampulver zu etwa 620 EUR/t abgeschätzt.

II.9 Anhang

II.9.1 Angaben Fa. Walther Trowal

Walther Trowal GmbH & Co. KG

Rheinische Straße 35-37
D-42781 Haan

Die Firma Walther Trowal ist seit einem dreiviertel Jahrhundert in der Oberflächenbearbeitung tätig. Meilensteine sind nach eigenen Angaben die Erfindung des Gleitschleifvibrators und der Formschleifkörper. Das Unternehmen ist heute spezialisiert auf die Oberflächenbearbeitung von metallischen Bauteilen.

Der in dieser Arbeit eingesetzte Rundvibrator der Baureihe CB ist ursprünglich als Maschine zum Druckentgraten und Kugelpolieren vorgesehen.

Durch die Nutzung der ebenfalls angebotenen Wasseraufbereitungsanlage kann das verunreinigte Prozesswasser durch Flockung und Filtration aufbereitet werden.



II.9.2 Angaben Fa. RUF

RUF GmbH & Co. KG

Hausener Str. 101

86874 Zaisertshofen



Das Unternehmen wurde 1969 als Familienbetrieb mit dem Schwerpunkt Holzverarbeitung gegründet und 1990 in die RUF Maschinenbau GmbH & Co. KG umgewandelt. Das Unternehmen liefert heute den Weltmarkt mit Pressen für organische und anorganische Reststoffe.

Bei der in dieser Arbeit eingesetzten Presse handelt es sich um die Type 22/5000/60; damit sind Antriebsleistung (22 KW), Presskraft (5000 Kg/cm²) und Brikettdurchmesser (60mm) charakterisiert.

II.9.3 Technische Daten der verwendeten Kühlschmierstoffe

II.9.3.1 HLP Hydrauliköle der ESSO AG

Bei den Hydraulikölen der Type HLP handelt es sich um Mineralöl basierte Schmierstoffe, die mit speziellen Zusätzen zur Erhöhung des Verschleiß- und Korrosionsschutz unter hohen mechanischen Belastungen. Oxidationsinhibitoren erhöhen die Alterungsstabilität und verlängern die Einsatzzeit.

Bei Kutwell 40 handelt es sich um einen Kühlschmierstoff auf Basis von Grundölen, der in Wasser emulgiert werden kann.

Typische Produktdaten:

Type:	HLP 32	HLP 46	HLP 68	Kutwell
Dichte bei 15°C (Kg/m ³)	870	872	882	920
Kinem. Viskosität bei 40°C (mm ² /s)	32,7	46	68	55
Flammpunkt (°C)	222	240	250	>105
pH Wert		8,7 – 9,2		9,2
Siedebereich (°C):		315 – 570		n.a.

II.9.3.2 Kühlschmierstoffe der Blaser Swisslube

VASCO 1000

Hierbei handelt es sich um einen chlorfreien, wassermischbaren Hochleistungskühlschmierstoff auf der Basis natürlicher Ester (Rapsöl). Er ist universell einsetzbar in der mittleren bis schwersten Zerspanung und beim Schleifen. Das Produkt eignet sich für alle Werkstoffe. Das Produkt hat einen pH-Wert von 8,3 – 9,0. Das Produkt wurde für die Versuche in einer Mischung von 7 Vol-% mit Leitungswasser eingesetzt.

Blasocut BC 25

Hierbei handelt es sich um einen chlorfreien Universalkühlschmierstoff ebenfalls auf Basis Mineralöl, welcher sich durch eine hohe Schneidleistung und ein erhöhtes Spülvermögen auszeichnet. Das Produkt ist einsetzbar in der leichten bis mittelschweren Zerspanung. Das Produkt hat einen pH-Wert von 8,5 – 9,2. Das Produkt wurde für die Versuche in einer Mischung von 7 Vol-% mit Leitungswasser eingesetzt.

Zu diesen Schmierstoffen lagen keine weiteren physikalischen Daten vor.

II.9.4 Bilder / Ergebnistabellen



Bild 9.4.1: Pressling aus Titanspänen ohne Beimischungen



Bild 9.4.2: Pressling aus Titanspänen ohne Beimischung, jedoch $h/d = 1,06$



Bild 9.4.3: Titanspänepressling wie zuvor, jedoch $h/d = 0,93$

Versuch:	#1	#9	# 12	# 13	# 22	# 24
Ti 90/6/4 Späne vermahlen und trocken [Gew.-%]	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
VVD Beschickungszeit [sec.]:	2,0	1,0			1,0	1,0
VVD Druck [MPa]:	20	5			5	10
Pressdruck [MPa]:	30	30	30	30	20	30
Schmierung Presse:	X	√	√	√	√	√
Briketthöhe [cm]	10,90	6,65	5,80	6,15	9,00	8,55
Brikettdurchmesser [cm]	6,60	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25
Brikettgewicht [g]	868,02	538,65	506,71	534,93	610,00	724,04
Pressdichte [g/cm ³]	2,33	2,64	2,85	2,84	2,21	2,76

h/d [cm]	1,65	1,06	0,93	0,98	1,44	1,37
Einwaage Brikett [g]	867,28	528,83	488,44	513,90	573,21	710,66
Nach erstem Fall [g]	860,54	525,97	486,35	508,99	542,00	705,74
Nach zweitem Fall [g]	853,18	522,04	483,66	508,16	530,65	698,24
Nach drittem Fall [g]	834,14	520,63	482,02	506,05	335,18	692,76
Δm [g]	33,14	8,20	6,42	7,85	238,03	17,90
Δm [%]	3,82	1,55	1,31	1,53	41,53	2,52
Festigkeitsindex	0,26	0,64	0,76	0,65	0,02	0,40

Tabelle 9.4.1: Presslinge aus Titanspänen, Zusammenstellung der Ergebnisse

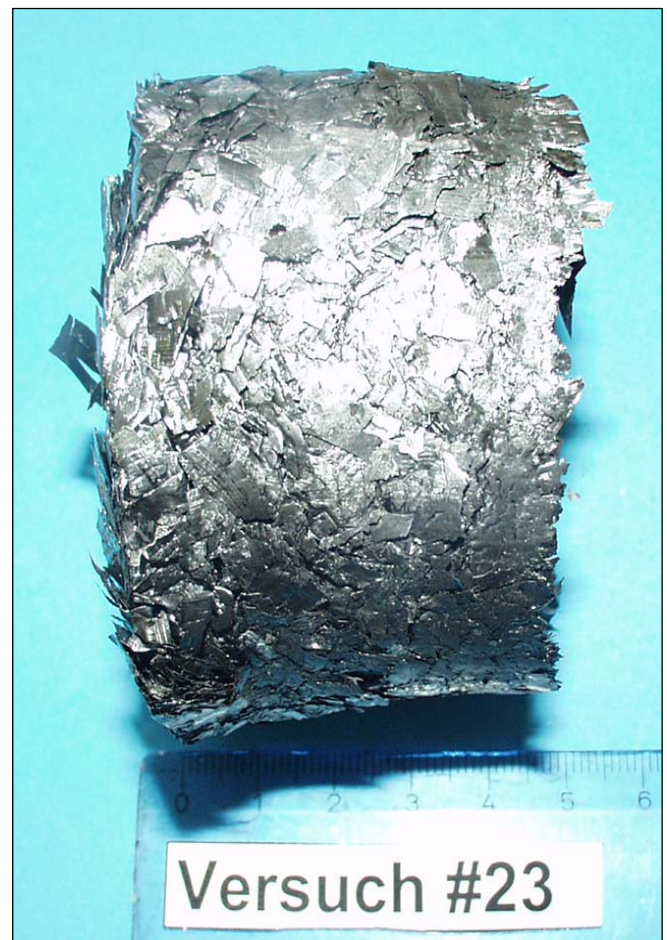


Bild: 9.4.4: Presslinge aus 3.7164 mit (#11) bzw. ohne (#23) Kühlschmierstoff

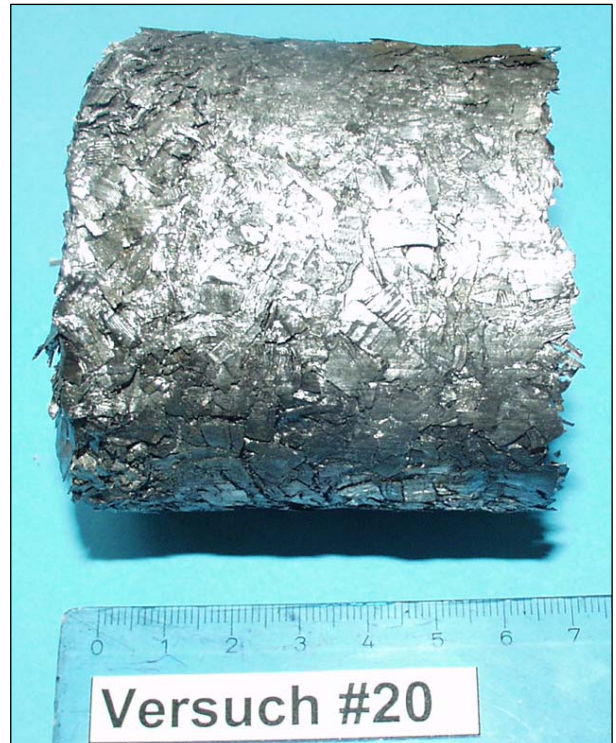


Bild 9.4.5: Presslinge aus Titanspänen und Titanschwammpulver

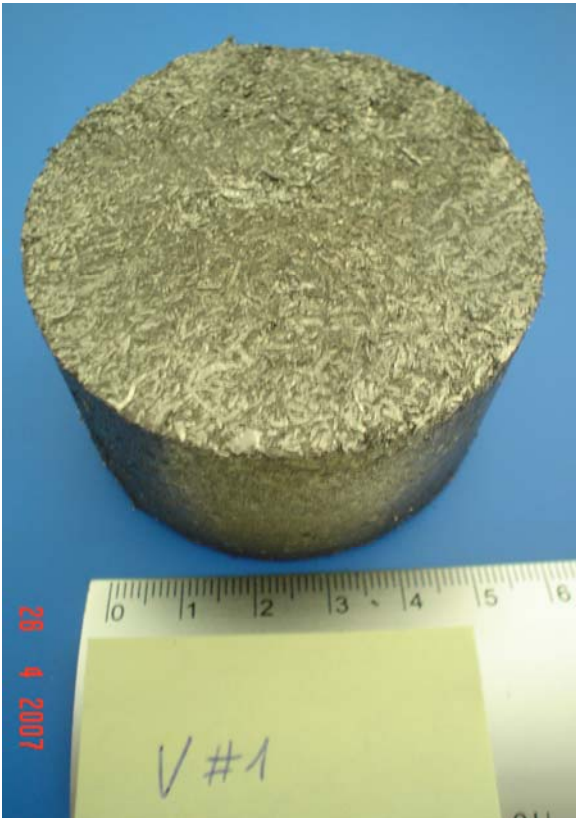


Abbildung 1: Ti-Spänebrikett Schmiermittel VASCO 1000 (I)

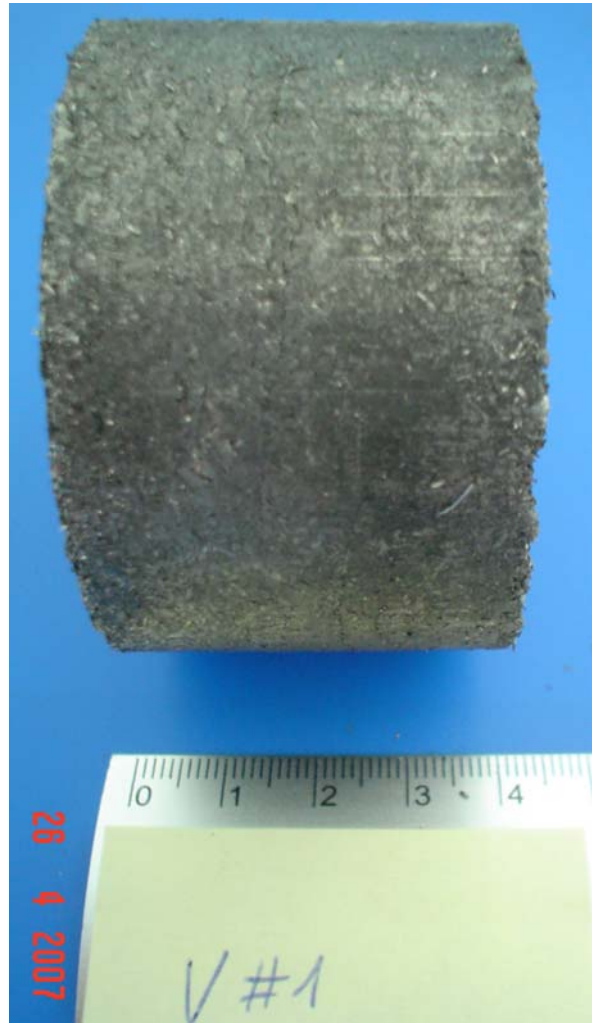


Abbildung 2: Ti-Spänebrikett Schmiermittel VASCO 1000 (II)

Bild 9.4.6: Pressenschmierung mit VASCO 1000



Abbildung 3: Ti-Spänebrikett Schmiermittel Blasocut BC 25 (I)

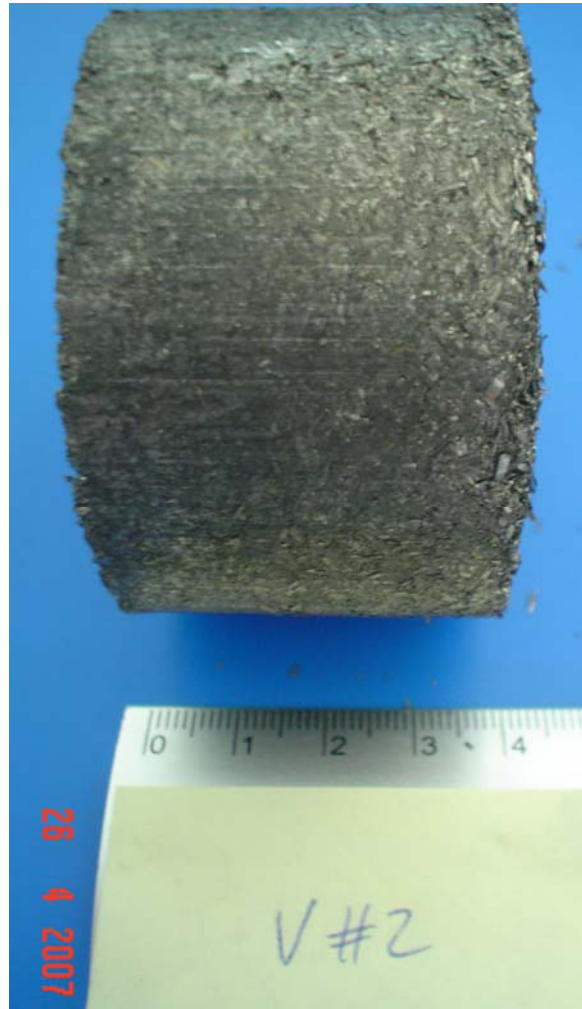


Abbildung 4: Ti-Spänebrikett Schmiermittel Blasocut BC 25 (I)

Bild 9.4.7: Pressenschmierung mit Blasocut