

Pulvermetallurgie in Wissenschaft und Praxis

Band 8

Beschichten und Verbinden in Pulvermetallurgie und Keramik

Vorträge

anlässlich des Symposiums am 26./27. November 1992 in Hagen

Veranstaltet vom
Gemeinschaftsausschuß für Pulvermetallurgie

des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh)
des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI)
der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde (DGM)
des Fachverbandes Pulvermetallurgie (FPM)
der Deutschen Keramischen Gesellschaft (DKG)

und dem
Gemeinschaftsausschuß für Hochleistungskeramik

VDI VERLAG

Vorwort

Das Thema des diesjährigen Hagener Symposiums trägt dem Umstand Rechnung, daß pulvermetallurgische und keramische Verfahrenstechniken und Werkstoffe bei zahlreichen Verbundbauteilen, Werkstoffverbunden und Beschichtungen eine herausragende Rolle spielen. Vor allem im Zusammenhang mit Problemstellungen der Verschleißfestigkeit, Tribologie, Temperaturgeständigkeit, Wärmeleitung und des Wärmeübergangs kommen mehr und mehr Verbundlösungen und Werkstückbeschichtungen zur Anwendung. So haben sich z. B. in der Werkzeugtechnik zahlreiche Verfahren und Materialien für die Beschichtung sowohl von Zerspanungswerkzeugen als auch solchen für die Umformung bewährt. Auch in Verbrennungsmotoren (z. B. in Ventiltrieben, Kolben, Kolbenringen u. a.) und in Getrieben (z. B. bei der Synchronisation) sind Beschichtungen und Verbundbauteillösungen unentbehrlich geworden, weil sie immer häufiger wirtschaftliche Vorteile bieten oder sogar eine technische Notwendigkeit darstellen.

Das Ziel des Symposiums ist die möglichst umfassende Darstellung und Diskussion des aktuellen Standes der wichtigsten Techniken auf dem Gebiet der Beschichtung und Verbundbauteile in Zusammenhag mit pulvermetallurgischen und keramischen Problemlösungen. Zu den in den einzelnen Beiträgen aufgezeigten Verfahren gehören u. a. das Plasmaspritzen, die CVD- und PVD-Beschichtung, das Löten, Reibschweißen und heißisostatische Pressen. Daneben werden Anforderungsprofile, Aufbau und Eigenschaften beschichteter Werkstücke und von Verbundbauteilen in unterschiedlichen Anwendungsbereichen aufgezeigt. Im einzelnen werden z. B. vakuumplasmagespritzte Verschleißschutzschichten, kerami-

© VDI-Verlag GmbH. Düsseldorf 1992

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen photomechanischen Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie) und das der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany

B 3001

Gesinterte Verbundbauteile für Schaltgetriebe

D. Gonia, L. Schneider

1. Zusammenfassung

Die komplexen Anforderungen an Bauteile in Kraftfahrzeugen lassen sich oft nicht mehr mit nur **einem** Werkstoff erfüllen. Hochbeanspruchte Getriebezahnräder und Synchronringe eines manuellen Schaltgetriebes sind Beispiele dieser Entwicklung. Für die tribologisch beanspruchten Sektionen dieser Bauteile werden andere Werkstoffeigenschaften gefordert als für den mechanisch beanspruchten Grundkörper. Die Pulvermetallurgie bietet zahlreiche Lösungsansätze zur Realisierung von Schichtverbundbauteilen an. Für die erwähnten Bauteile kommen nur radiale Schichtverbunde in Betracht. Die hergestellten Komponenten weisen partiell unterschiedliche Werkstoffe auf. So können definierte, den tribologischen Beanspruchungen gerechte Oberflächen erzeugt werden. Die Einsparung teurer Pulver ist dadurch zusätzlich gegeben. Pulvermetallurgisch am sinnvollsten ist die Realisierung eines Werkstoffverbundes bereits beim Pressen des Bauteiles, weil so Verfahrensschritte und damit Kosten eingespart werden können. Die Komponente Synchronring stellt an Werkzeugtechnik und Fügeverfahren höhere Anforderungen als Zahnräder, da üblicherweise Bundmatrizen zum Einsatz kommen. Die konkrete Umsetzung in Produkte ist bei hochbeanspruchten PM-Zahnrädern fragwürdig, solange noch eine aufwendige mechanische Endbearbeitung der Bauteile erfolgen muß. Bei verbundgepreßten Synchronringen mit integriertem Reibbelag ist kurzfristig eine Umsetzung zu erwarten.

2. Einleitung

Getriebebauteile für Kraftfahrzeuge unterliegen stetig wachsenden Qualitätsanforderungen. Die mechanische Beanspruchung auf der einen Seite und die tribologische Beanspruchung auf der anderen Seite stehen sich für die Werkstoffauswahl oft diametral gegenüber. Für den Anwendungsfall Schaltgetriebe sollen anhand von zwei Bauteilen die Möglichkeiten aufgezeigt werden, die sich durch die konsequente Nutzung pulvermetallurgischer Verfahrensschritte bieten.

3. Bauteile im kraftübertragenden Bereich

Bei der Berechnung von Getriebezahnrädern sind zwei grundsätzlich unterschiedliche Beanspruchungsarten zu berücksichtigen. Sowohl die Zahnfußfestigkeit als auch die Wälzfestigkeit der Zahnoberfläche müssen gewährleistet sein. Die benötigte Zahnfußfestigkeit erfordert einen festen, zähen Werkstoff, die Wälzfestigkeit dagegen verlangt nach einem hochverschleißfesten Werkstoff. In der Praxis wird dieses Problem durch die Verwendung von einsatzgehärteten, also oberflächenbehandelten Stählen, wie z.B. 16MnCr5E oder 20MnCr5E gelöst.

In der Pulvermetallurgie ist es möglich, unterschiedliche Werkstoffeigenschaften innerhalb eines Bauteiles durch eine gezielte Einstellung des Gefügeaufbaus zu erzeugen. In [1] werden verschiedene Möglichkeiten der pulvermetallurgischen Herstellung von Schichtverbunden dargestellt. Unter Leitung des WZL Aachen wurde ein Verbundprojekt mit dem Thema "Herstellung von Zahnrädern mit gradierten Sondergefügen durch Pulverschmieden" durchgeführt [2]. Es konnte nachgewiesen werden, daß durch geeignete Werkstoffauswahl eine Verbesserung der Zahnfußtragfähigkeit gegenüber dem Referenzwerkstoff 16MnCr5E sowie vergleichbare Werte für die Zahnflankentragfähigkeit erreichbar sind.

Der hergestellte radiale Schichtverbund, Verschleißwerkstoff außen und Konstruktionswerkstoff innen, wurde über isostatisches Pressen von Vorformen, Sintern und anschließendes Schmieden der zylindrischen Vorformen zu Zahnrädern hergestellt. Die zylindrischen Vorformen wiesen bei einem Außendurchmesser von 64 mm und einem Innendurchmesser von 35 mm eine äußere Schichtdicke von 3 mm auf. Als Verschleißwerkstoff kamen Schnellstähle und nickellegierte Werkstoffe zum Einsatz, die Kernwerkstoffe waren un- oder niedriglegiert. Der beschriebene radiale Schichtverbund kann kostengünstiger als über isostatisches Pressen mit speziellen

Pulverpreßverfahren und den entsprechenden Werkzeugen hergestellt werden. Leider konnte bisher noch kein Preisvorteil gegenüber spanend hergestellten Zahnradern nachgewiesen werden, so daß die Umsetzung des beschriebenen pulvermetallurgischen Produktes fraglich ist. Dies gilt um so mehr, da die konventionellen, spanenden Verfahren zur Herstellung von hochfesten Getrieberädern technologisch weit entwickelt sind.

4. Bauteile in der Synchronisierung

Moderne Getriebe für Kraftfahrzeuge sind in der Mehrzahl der Fälle synchronisiert. Die Synchronisierung besteht aus einer hoch belasteten, ölgeschmierten Kegelreibkupplung, welche die Drehzahlen der zu kuppelnden Wellen angleicht und aus einem Sperrmechanismus, der vorzeitiges Durchschalten verhindert. Um eine einwandfreie Funktion der Synchronisierung zu erzielen, wird während der gesamten Rutschphase ein ausreichend hoher Reibungskoeffizient zwischen der Reibfläche des Synchronringes und der Reibfläche des Kupplungskörpers benötigt. Im Fall eines zu niedrigen Reibungskoeffizienten gibt der Sperrmechanismus vorzeitig frei und es wird vor Erreichen des Gleichlaufs durchgeschaltet. Andererseits darf die Neigung zur Adhäsion zwischen der Reibfläche des Synchronringes und der seines Gegenläufers nicht zu groß sein, da sich sonst unerwünschte Freßerscheinungen zeigen würden. Außer im Fall der oft verwendeten Messing-Synchronringe ist daher die Verwendung eines Reibbelages im Bereich des Synchronringkonus erforderlich. Der Reibbelag soll folgende ideale Struktur aufweisen (**Bild 1**):

- duktile, gut wärmeleitende, ölverträgliche Matrix
- Anteile an bruchzähem und gut verteiltem Hartstoffpartikeln
- Anteile an ölverträglichen und wärmefesten Festschmierstoffen
- durchdringende Poren zur Abführung des Schmieröles

Durch Variation der Bestandteile kann der Friktionswerkstoff dem jeweiligen Anwendungsfall angepaßt werden.

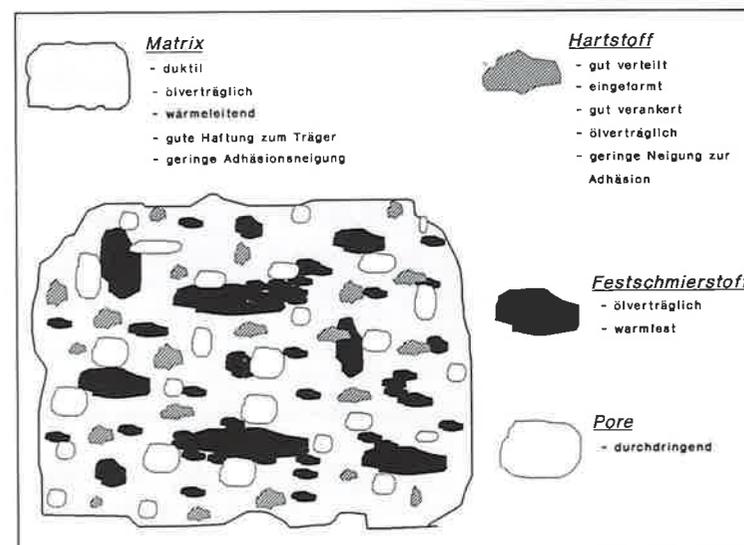


Bild 1 Idealstruktur eines Reibbelages für Synchronisierungen

Die in der Synchronisierung auftretenden Reibgeschwindigkeiten liegen im Bereich von 5 bis 20 m/s, bei Flächenpressungen von etwa 3 bis 8 N/mm². Der Reibbelag soll idealerweise unter 0,5 mm stark sein, da sich so eine Übereinstimmung mit den üblichen Verschleißreserven ergibt [3]. Als Synchronringwerkstoff wird ein hochfester Konstruktionswerkstoff benötigt, um den Festigkeitsanforderungen im Hülsenbereich und den Härteanforderungen im Zahnbereich zu genügen [4]. Die benötigten Strukturen von Friktionswerkstoff und Konstruktionswerkstoff sind so unterschiedlich, daß allein mit einer Oberflächenbehandlung des Konstruktionswerkstoffes, so wie es bei Getriebezahnradern gegeben ist, keine befriedigenden Eigenschaften zu erzielen sind. Die Festigkeiten guter Friktionswerkstoffe liegen um wenigstens eine Größenordnung unter jenen der verwendeten Konstruktionswerkstoffe. **Tabelle 1** gibt Aufschluß über derzeit übliche Konstruktionswerkstoffe und Reibwerkstoffe bei Synchronringen.

Tabelle 1 Gebräuchliche Werkstoffe für Synchronringe

Konstruktionswerkstoff	Reibwerkstoff	Fügetechnik	Verbindungsart
Messing	Messing	-	-
(Sinter)stahl	"Papier"	Klebung	Adhäsion
(Sinter)stahl	Kunststoff	Spritzgießen	Formschluß
(Sinter)stahl, Messing	Molybdän	Flammspritzen	mechanische Verklammerung
(Sinter)stahl	Streusinter	Aufsintern, Laserschweißen des Bleches	Stoffschluß
Sinterstahl	PM Fe-Basis	Zusammenpressen, Sintern beider Werkstoffe	Stoffschluß

Bei Messing-Synchronringen, die nicht zur Verbesserung der tribologischen Eigenschaften mit einer Mo-Spritzschicht versehen werden, ergibt sich kein Fügeproblem zwischen Konstruktionswerkstoff und Reibwerkstoff. Das verwendete Sondermessing vom Typ Cu-Zn-Al-Mn-Fe entspricht aber keinesfalls dem beschriebenen Ideal eines Reibwerkstoffes für Öllauf, da Festschmierstoffe und Poren ganz fehlen.

Die "Papier"-Beläge bestehen aus phenolharzgetränktem Papier mit eingelagerten Hartstoffen und Festschmierstoffen. Zum einwandfreien Aufkleben der Papierbeläge müssen die Klebeflächen sehr gut vorbehandelt werden. Dies kann gerade bei porösen Sinterwerkstoffen Probleme bereiten.

Kunststoffbeläge bestehen aus Phenolharzpreßmassen, die mit organischen Fasern und/oder Glasfasern gefüllt sind. Zusätzlich können noch Metallpulver, nichtmetallische Füllstoffe und Festschmierstoffe enthalten sein. Verglichen mit dem Idealwerkstoff mangelt es den Kunststoffreibbelägen an einer gut wärmeleitenden Matrix sowie an Poren. Die Beläge werden durch Spritzpressen in den Rohling eingebracht, wobei Nutzen die Verankerung verbessern, so daß sich hier Formschluß als Verbindungsart ergibt.

Die Molybdänspritzschicht (**Bild 2**) wird mit dem Flammspritzverfahren auf dem Konus des Synchronringes aufgetragen. Durch den hohen Preis und die schlechte Bearbeitbarkeit des harten und spröden Werkstoffes handelt es sich hierbei um ein teures Verfahren. Die Mo-Spritzschicht weist eine sehr harte und spröde Matrix mit Oxiden und Poren auf, es fehlen Festschmierstoffe. Der Mechanismus der Belaghafung ist reine mechanische Verklammerung.



Bild 2 Mo-Spritzschicht mit Träger

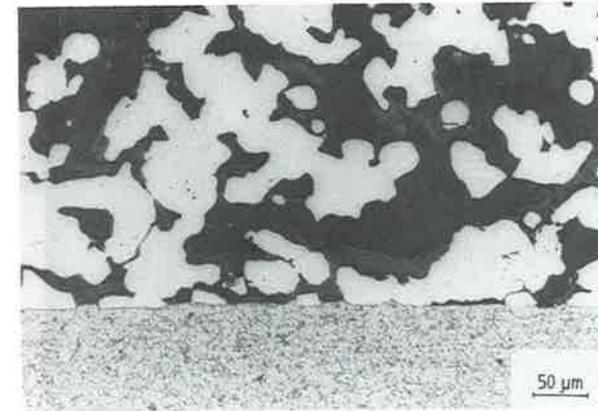


Bild 3 Streusinterbelag mit Träger

Der Streusinterbelag (**Bild 3**) besteht aus einer Kupferbasislegierung mit eingelagerten Hartstoffen, Festschmierstoffen mit einem Anteil von Poren und wird in Pulverform auf ein Blech gestreut und aufgesintert. Er entspricht weitgehend dem Ideal des Reibwerkstoffes für Synchronringe. Abhängig von der Legierung können

Probleme mit der Ölverträglichkeit auftreten. Der Belag haftet stoffschlüssig auf dem Trägerblech. Dem Synchronringkonus entsprechende Streifen werden ausgestanzt, gebogen und eingeschweißt.

Der Fe-Basis Reibbelag besteht aus einer Fe-P-Matrix mit eingelagerten keramischen Hartstoffen, Festschmierstoffen und Poren und entspricht somit dem Ideal des Reibwerkstoffes für ölgeschmierte Synchronisierungen. Der Sinterstahlring mit Fe-Basis Reibbelag befindet sich derzeit in der Entwicklung und bietet erhebliche technische Vorteile. Im Versuchsmaßstab hergestellte Synchronringe weisen eine sehr große Diffusionszone auf mit einer entsprechend guten Haftung des Belages.



Reibbelag

Diffusionszone

Träger

Bild 4 Fe-Basis Reibbelag mit Träger

Nur der Fe-Basis Reibbelag erlaubt die vollständige Nutzung der pulvermetallurgischen Formgebungsverfahren zum fertigen Bauteil, da sich hier anders als bei Molybdän oder Kupferbasislegierungen keine wesentlichen Schmelzpunktunterschiede gegenüber dem Konstruktionswerkstoff Sinterstahl ergeben, und damit die Wärmebehandlung beider Materialien in einem Prozessschritt darstellbar ist [5].

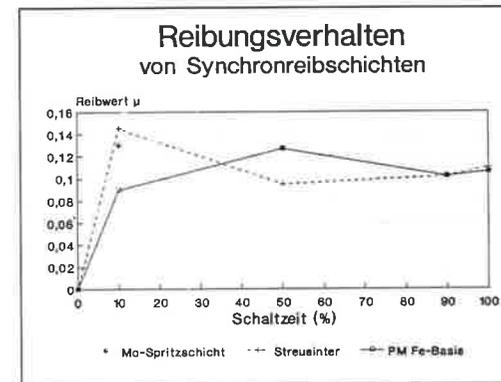


Bild 5 Reibverhalten des Fe-Basis Reibbelages verglichen mit Referenzwerkstoffen

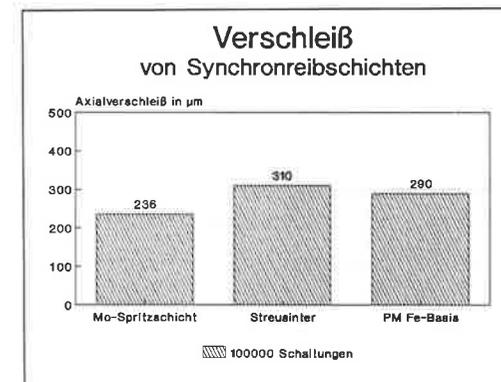


Bild 6 Verschleißverhalten des Fe-Basis Reibbelages verglichen mit Referenzwerkstoffen

Die tribologischen Eigenschaften sind mit denen der bekannten Molybdän- und Streusinterbeläge vergleichbar, wie praxisnahe Versuche auf Schwungmassenprüfständen gezeigt haben [5]. Reibungs- und Verschleißverhalten (Bild 5 und 6) werden noch Gegenstand weiterer Optimierungsarbeiten sein.

5. Pulvermetallurgische Lösungsansätze zum Verbundpressen

Die beiden beschriebenen Bauteile, gradiertes Getriebezahnrad und Synchronring mit integriertem Eisenbasis-Reibbelag, weisen einen radialen Schichtverbund auf. Dieser ist über Fülltechniken wesentlich schwieriger zu realisieren als ein axialer Schichtverbund [1]. Die Herstellung von Schichtverbunden wird im allgemeinen aus folgenden Gründen angestrebt:

- Einsatz teurer Pulver nur in bestimmten Bauteilsektionen
- gezielte Einbringung von Eigenspannungen
- Realisierung nur partiell härterer Bauteile
- Erzeugung von Verschleißschichten am Außendurchmesser (Getriebezahnrad) oder am Innendurchmesser von Bauteilen (Lager)
- Erzeugung von Friktionsschichten in einzelnen Sektionen von Bauteilen (Synchronisierung)

5.1. Beschreibung bekannter Verfahren

Gradierte Getriebezahnrad sind im Gegensatz zu üblichen Synchronringen einquerschnittige Teile und stellen somit an die Werkzeugtechnik geringere Ansprüche. Für die Herstellung von Synchronringen mit Innenkonus werden Werkzeuge mit Bundmatrize und Blindorn verwendet. Nachfolgend soll versucht werden, die bekannten Verfahren zur Herstellung radialer Schichtverbunde darzustellen.

5.1.1. Verbundpressen mit unverdichtetem Einlegeteil [6]

Das nach seinen Erfindern Zapf und Schelb benannte Z/S Verfahren bietet vielfältige Möglichkeiten der Kombination verschiedener Werkstoffe bereits beim Preßvorgang. Ausgehend von einem Metallpulver-Bindergemisch, welches mittels Preßluft in ein Werkzeug eingebracht wird, entsteht über den Aushärtvorgang des organischen Binders ein handhabbarer, praktisch nicht verdichteter Formkörper aus Pulver, der in ein Preßwerkzeug eingelegt wird. Es können auch mehrere solcher Formkörper eingelegt werden. Der verbleibende Füllraum im Preßwerkzeug wird mit einem konventionellen Füllschuh gefüllt. Anschließend erfolgt das Verdichten zu einem Verbundpreßling (Bild 7).

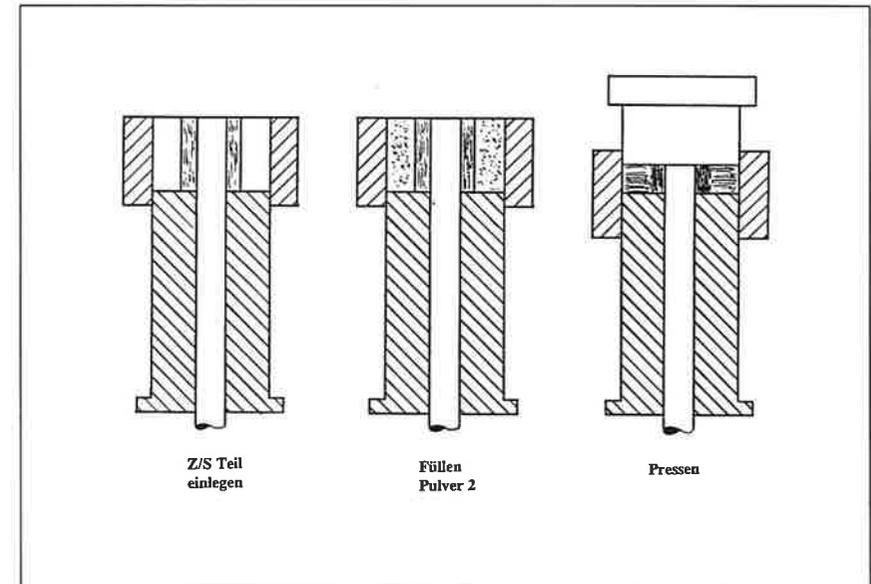


Bild 7 Verbundpressen mit unverdichtetem Einlegeteil

Das Füllverhalten des Pulvers bzw. des Pulvergemisches, welches über den Z/S-Körper in das Pulverpreßwerkzeug eingebracht wird, spielt hierbei keine Rolle. Dies ist besonders bei den oftmals schlecht fließenden Pulvern, die für die Herstellung von Friktionswerkstoffen benötigt werden, von Bedeutung. Begrenzende Faktoren für das Verfahren sind die Handhabbarkeit der Z/S-Körper und der Preis für ei-

nen solchen Vorformling. Wandstärken von ca. 2 mm lassen sich realisieren. **Bild 8** zeigt den Schnitt durch einen gesinterten Synchronring mit Fe-Basis Reibbelag, der mit dem beschriebenen Verfahren hergestellt wurde. An Füllschuh, Preßwerkzeug und Pressensteuerung werden keine besonderen Anforderungen gestellt.



Bild 8 Synchronring mit Fe-Basis Reibbelag

5.1.2. Pressen mit Vorverdichtung [7]

Es werden zwei Unterstempel und ein Doppelkammerfüllschuh sowie eine spezielle Pressensteuerung benötigt. Zunächst wird ein Teil der Matrizenkavität mit Pulver 1 gefüllt, der andere Teil bleibt über den zweiten Unterstempel verschlossen. Nach dem Vorpressen von Pulver 1 wird der Teilpreßling bis zur Matrizenoberkante verschoben, Stempel 2 wird daraufhin abgezogen und in den entstehenden Füllraum wird Pulver 2 eingefüllt. Daran schließen sich Vorverdichtung des zweiten Pulvers und Endverdichtung zu einem Verbundpreßling an (**Bild 9**). Die Vorverdichtung erfordert einen separaten Pressenhub, der die Produktivität des Verfahrens reduziert. Das Füllverhalten der verwendeten Pulver und die Festigkeit des

vorverdichteten Teilpreßlings beeinflussen die realisierbaren Wandstärken. Ölpumpenräder mit 2 mm Wandstärke der äußeren Schicht wurden bereits hergestellt [8]. Das Verfahren läßt sich nicht anwenden, wenn eine Bundmatrize zum Einsatz kommt.

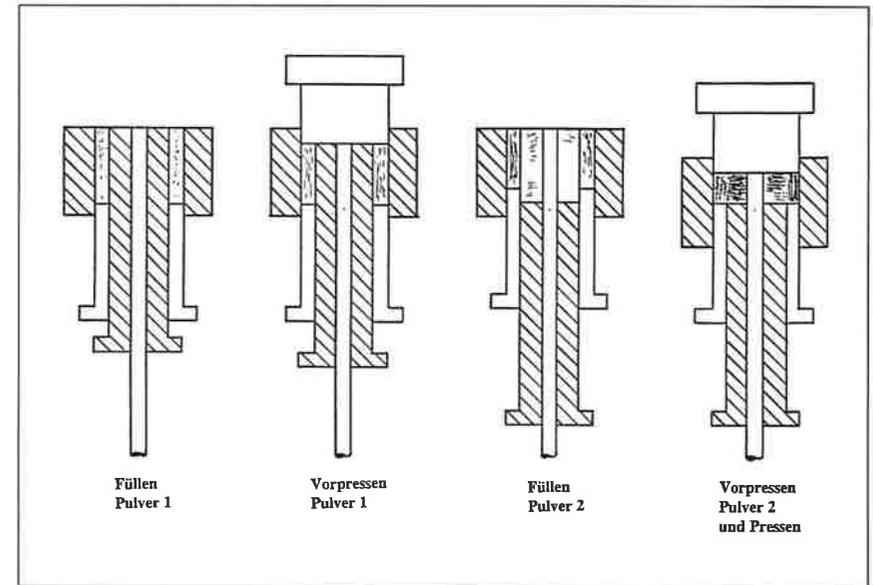


Bild 9 Verbundpressen mit Vorverdichtung

5.1.3. Verbundpressen ohne Vorverdichtung

Dieses Verfahren erfordert drei Unterstempel, von denen einer als Trennstempel arbeitet, einen Doppelkammerfüllschuh sowie eine spezielle Pressensteuerung. Die durch den Trennstempel geteilten Einzelfüllräume werden mit den unterschiedlichen Pulvern gefüllt. Der Trennstempel sollte so dünnwandig wie möglich ausgeführt werden. Nach dem Zurückziehen des Trennstempels werden beide Pulver zu **einem** Verbundpreßling gepreßt (**Bild 10**). Auch bei diesem Verfahren liegen die kleinsten erzielbaren Schichtstärken bei ca. 2 mm. Es kann auch bei Werkzeugen mit Bundmatrize zur Anwendung kommen. Das Verfahren wird industriell beispielsweise zur Herstellung von Ringen mit partiell unterschiedlichem Kohlenstoffgehalt angewendet [9].

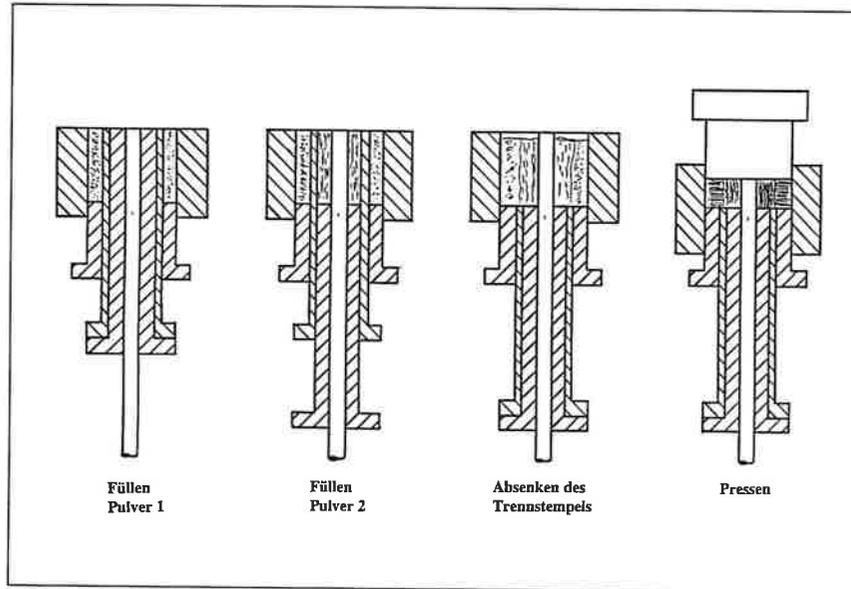


Bild 10 Verbundpressen ohne Vorverdichtung

5.1.4. Verbundpressen mit Doppelkammerfüllschuh und Separator [10]

Es wird zunächst der gesamte Füllraum mit dem Unterstempel abgedichtet, wobei auch ein geteilter Unterstempel vorhanden sein kann. Daraufhin wird ein Füllschuh, der mit einem Separator und zwei Pulverkammern versehen ist, positioniert über den Unterstempel gefahren. Das Absenken des Unterstempels oder der mehrfachen Unterstempel geht mit dem Absenken des Separators einher, so daß die zwei unterschiedlichen Pulver ohne Vermischung in die Matrizenkavität eingefüllt werden können. Nach dem Zurückziehen des Separators bis zur Matrizenoberkante kann der Füllschuh in seine Ausgangsstellung zurückbewegt werden. Daran schließt sich der Preßvorgang an (Bild 11). Das Verfahren erfordert eine genaue Positionierung des Füllschuhes. Daher ist es fraglich, ob geringe Schichtstärkentoleranzen, die für Hochleistungsbauteile benötigt werden, realisiert werden können. Bundmatrizen können nicht verwendet werden.

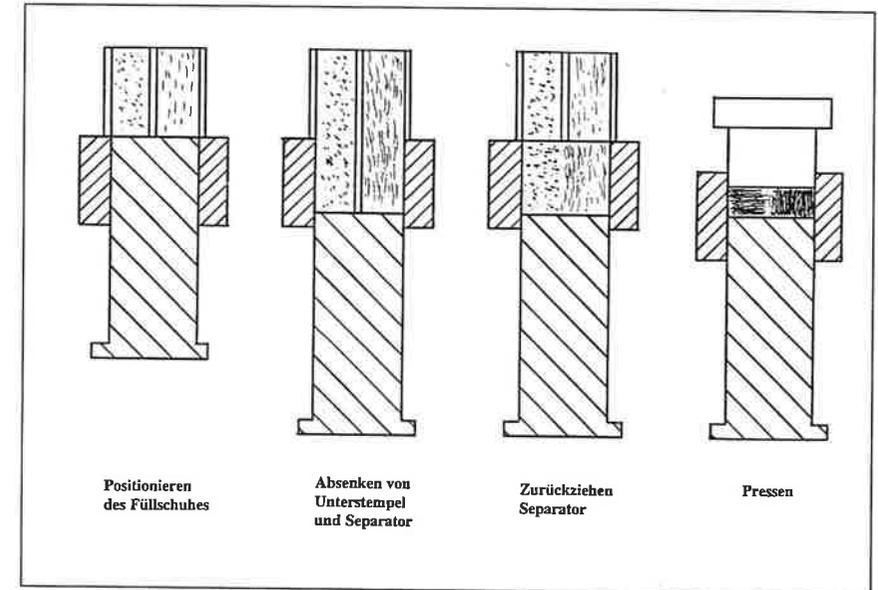


Bild 11 Pressen mit Doppelkammerfüllschuh und Separator

5.1.5. Verfahren mit gesintertem Einlegeteil [11]

Dieses Verfahren geht von einem bereits gesinterten Synchronringrohling aus, der mit einer Reibschicht versehen wird. Dabei wird wie folgt vorgegangen:

- Entfetten oder Sandstrahlen der zu beschichtenden Oberfläche
- Aufbringen einer Suspension aus Hartlotpulver und organischem Lösungsmittel
- Oxidation der beschichteten Teile bei ca. 300 bis 550 °C zur Eliminierung von Kohlenstoff in der aufgetragenen Schicht
- Reduktion des beschichteten Teiles bei ca. 600 bis 1000 °C
- Aufpressen eines Pulvergemisches auf die vorbehandelte Oberfläche in einer besonderen Vorrichtung wobei das Pulver sowohl axial als auch radial verdichtet wird
- Aufsintern der Reibschicht

Das Verfahren wurde speziell für das Bauteil Synchronring entwickelt. Nur wenn eine konische Fläche beschichtet wird, ergibt sich eine Kombination aus axialer und radialer Verdichtung beim Aufpressen des Friktionspulvers. Es ist vorteilhaft, daß auch Cu-Basis Friktionspulver verarbeitet werden können, da ja ein bereits gesinterter Synchronring als Rohteil in die Preßvorrichtung eingelegt wird und die zweite Sinterung ohne Beeinträchtigung der Gesamtbauteilfestigkeit auch bei für Fe-Basis Werkstoffen unüblich niedrigen Sintertemperaturen stattfinden kann. Nachteilig sind die zahlreichen Verfahrensschritte, die zusätzlich zur Herstellung des Rohlings durchgeführt werden müssen, um ein einbaufertiges Teil darzustellen.

5.2. Bewertung der Verbundpreßtechniken

Bis auf das zuletzt beschriebene Verfahren wird ein Werkstoffverbund bereits durch Verbundpressen (VP) hergestellt. Dies ist sicherlich die kostengünstigere Lösung und vorzuziehen, wenn nicht Schmelzpunktunterschiede der verwendeten Werkstoffe das gemeinsame Sintern ausschließen. **Tabelle 2** faßt die Verwendbarkeit der einzelnen Verfahren zusammen:

Tabelle 2 Einsetzbarkeit der beschriebenen Verfahren zur Realisierung von radialen Schichtverbunden

Verfahren	Werkstoffverbund	Eignung für gradiertes Zahnrad	Eignung für Synchronring
VP-Z/S	beim Pressen	ja	ja
VP mit Vorverdichtung	beim Pressen	ja	nein
VP ohne Trennstempel	beim Pressen	ja	ja
VP mit Doppelkammerfüllschuh	beim Pressen	bedingt	nein
Aufsintern auf gesinterten Rohling	nach diversen Vorbehandlungen und Sintern	nein	ja

Die Wirtschaftlichkeit ist nur dann gegeben, wenn Verfahrensschritte eingespart werden können. Darunter fällt auch die Herstellung und die Handhabung von Rohteilen. Weiterhin sind Anforderungen an Werkzeugtechnik und Pressensteuerung für den pulvermetallurgischen Verfahrensablauf von Bedeutung. Die **Tabelle 3** faßt diese Aspekte zusammen.

Tabelle 3 Wirtschaftlichkeitsaspekte der beschriebenen Verfahren

Verfahren	Rohteilhandhabung erforderlich	Anforderungen an Werkzeugtechnik	Anforderungen an Pressensteuerung
VP-Z/S	ja	normal	normal
VP mit Vorverdichtung	nein	hoch	hoch
VP ohne Trennstempel	nein	hoch	hoch
VP mit Doppelkammerfüllschuh	nein	normal bis hoch	normal
Aufsintern auf gesinterten Rohling	ja	Zusatzaufwand für Sonderwerkzeug	normal

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Kombination von mehreren Werkstoffen in einem Bauteil dann am sinnvollsten ist, wenn Verfahrensschritte eingespart werden können. Das heißt für die Pulvermetallurgie konkret, daß der Werkstoffverbund bereits beim Pressen erzeugt werden muß. Für den PM-Synchronring mit integriertem Fe-Basis Reibbelag bietet sich das Schichtverbundpressen ohne Vorpressen als das kostengünstigste unter den realisierbaren Verfahren an.

6. Erfolgsaussichten und Umsetzungsmöglichkeiten

Hochleistungszahnräder, die sich wohl nur pulvermetallurgisch als Verbundbauteile herstellen lassen, unterliegen einem starken Wettbewerbsdruck der etablierten Verfahren. Die Anforderungen an Laufruhe und Maßgenauigkeit sind hoch. Solange wie es noch erforderlich ist, eine Nachbearbeitung der Oberflächen vorzunehmen, ist die Umsetzung der PM Getrieberäder fraglich.

PM Synchronringe mit integriertem Fe-Basis Reibbelag bieten dagegen gegenüber den üblichen Fertigungsverfahren ein erhebliches Kosteneinsparungspotential. Zusätzlich zur Einsparung von Prozessschritten ergeben sich Einsparungen durch den niedrigen Rohstoffpreis von Eisenpulver verglichen mit Molybdän oder Kupferbasislegierungen.

Heutige Synchronreibrschichten werden je nach Anwendungsfall eingesetzt. Im PKW-Bereich dominieren Messing-Synchronringe, für Nutzfahrzeuge werden häufig Mo-Spritzschichten verwendet. Die Entwicklung des Eisenbasisreibbelages ist noch nicht beendet. Durch legierungstechnische Modifizierungen der Matrix und durch Variation von Qualität und Quantität der nichtmetallischen Bestandteile sind voraussichtlich noch erhebliche Verbesserungen der Reibeigenschaften und eine Ausweitung des Überlastbereiches zu erzielen (Bild 12).

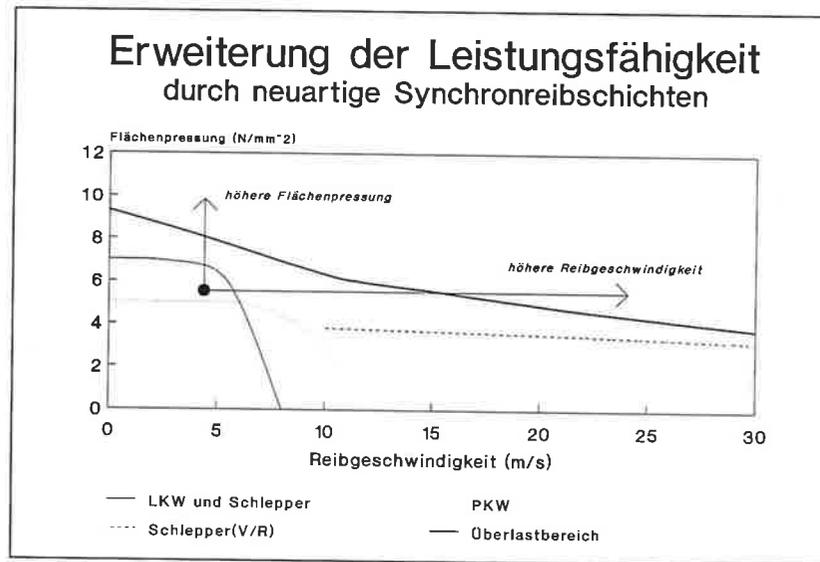


Bild 12 Erweiterung der Leistungsfähigkeit von Synchronreibrschichten

Literatur:

- [1] P. Beiss: Möglichkeiten und Grenzen der Formgebung metallischer Pulver durch Matrizenpressen, Fortschritte bei der Formgebung in Pulvermetallurgie und Keramik, Herausgeber H. Kolaska, VDI-Verlag GmbH Düsseldorf, 1991, S. 7 - 32
- [2] W. König, G. Mauer, G. Röber et al.: Powder Forging of Cylindrical Gears with Multiphase Structure. International Conference on Powder Metallurgy, Wembley, London 1990, Volume 2, S. 246 - 250, The Institute of Metals
- [3] I. Schmidt: Leistungssteigerung von Getriebekomponenten durch Beschichtungen, VDI Berichte Nr. 866, 1990, S. 139 - 155
- [4] U. Baum, E. Brügel, J. Sauter und I. Schmidt: Getriebebauteile aus Sinterstahl - Anforderungen und Leistungsgrenzen, VDI Berichte Nr. 852, 1991, S. 411 - 423
- [5] D. Gonia, L. Schneider, J.L. Rougerie: Matériaux de Friction à Base Fer pour Application en Régimes Lubrifiés, Colloque sur les Matériaux à Propriétés Physiques Particulières Obtenus à Partir de Poudre, Paris 1992, Société Française de Métallurgie et de Matériaux, S. 33/1 - 33/7
- [6] DP 3125578, "Verfahren zum Verdichten von Pulvern von Metallen und deren Legierungen zu Vorpreßkörpern"
- [7] DE 3917277, "Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von Fertigteilen als Verbundkörper aus pulverförmigen Werkstoffen"
- [8] G. Hinzmann: Schichtverbundpressen auf CNC-gesteuerten Maschinen, Fortschritte bei der Formgebung in Pulvermetallurgie und Keramik, Herausgeber H. Kolaska, VDI-Verlag GmbH Düsseldorf, 1991, S. 94 - 106

- [9] S. Kassam, ICM/Krebsöge St. Thomas Operations, Canada, private Mitteilung
- [10] DT 2446567, "Füllschuh für Pulverpresse"
- [11] Europäische Patentanmeldung 0470022 A1, "Procédé et dispositif de revêtement d'une pièce comportant une surface inclinée à revêtir de poudre en couche mince"

Löten von PM-Teilen

E. Lugscheider, W. Tillmann, Z. Feng, R. Wähling

1. Kurzfassung

Die Verbindungstechnik poröser Sinterstähle ist durch ein grundsätzliches Problem gekennzeichnet, nämlich der Infiltration des in flüssiger Form vorliegenden Lotes in das poröse PM-Bauteil. Konventionelle Hart- und Hochtemperaturlote sind demzufolge zum Scheitern verurteilt, da das Lot während des Lötprozesses in die offenen Poren eindringt und nicht mehr in ausreichender Menge für die Verbindungsausbildung zur Verfügung steht.

Die Beherrschung dieses Problems und damit verbunden die Bereitstellung geeigneter Fügeverfahren, die eine preisgünstige Fabrikation hoher Stückzahlen zulassen, erweitert das Anwendungspotential von PM-Teilen beträchtlich.

Eine Eingrenzung der Lotinfiltration kann auf verschiedene Weise realisiert werden. Zum einen kann dies durch aufwendige thermische, chemische oder physikalische Behandlungen vor oder beim Fügeprozeß geschehen, zum anderen durch den Einsatz von nicht infiltrierenden Loten. Letztere können sowohl beim Sinterprozeß als auch in einem nachgeschalteten Fügeprozeß eingesetzt werden. Die Penetration der flüssigen Lotschmelze in den Grundwerkstoff wird dabei durch gezielte metallurgische Wechselwirkungen zwischen Lot- und Grundwerkstoff unterdrückt.