

MOLYDUVAL[®] Spezialschmierstoffe



MoS₂ : Vorteile und Anwendung

MOLYDUVAL - Hersteller von Spezialschmierstoffen seit über 50 Jahren, die Produkte sind weltweit bekannt, die Marke ist international registriert.

In der Entstehungsgeschichte von MOLYDUVAL lag der Schwerpunkt zunächst bei feststoffhaltigen Schmierpasten. Diese verfügen über bemerkenswerte Eigenschaften in Bezug auf Druckaufnahmefähigkeit, Reibungskoeffizient, Verschleißverhalten, Metallaffinität und Alterungsbeständigkeit. Die außergewöhnlich Schmierwirkung beruht auf Bildung festhaftender, extrem druckbeständigen Zwischenfilme, die eine Berührung der gleitenden Flächen verhindern. Die Anwendung ist daher überall da von Vorteil, wo hohe Drücke und extreme Belastungen auftreten sowie Notlauf- oder Langzeitschmierung angestrebt wird.

In den 80er und 90er Jahren wurde die Produktion um synthetische Öle und Fette erweitert. Diese können gegenüber Mineralölprodukten einige Vorteile haben, wie bessere Hoch- oder Tieftemperaturbeständigkeit, bessere Dichtungsverträglichkeit, oder sie erfüllen Anforderungen wie Lebensmittelverträglichkeit und Chemikalienbeständigkeit. Auch in derartige Schmierstoffe werden häufig Festschmierstoffe wie PTFE oder MoS₂ eingearbeitet.

MOLYDUVAL ist heute ein stetig expandierendes, jung gebliebenes, aber unabhängiges Unternehmen. Wir sind ständig bemüht die Produktionskapazitäten zu erweitern, die Anlagen zu modernisieren und einen guten Service zu bieten. Ein junges Team freundlicher Mitarbeiter steht Ihnen zur Verfügung.

Eigenschaften und Anwendungsgebiete von MoS₂

1	Eigenschaften und Vorteile der MoS ₂ -Schmierung ..2	3	Hinweise für die industrielle Anwendung von MoS ₂ . 9
1.1	Wirkungsweise der MoS ₂ - Schmierung2	3.1	MoS ₂ -Schmierpasten bei der Montage 9
1.2	Temperaturbeständigkeit des MoS ₂3	3.2	Einbauen bzw. Aufpressen von Zahn- und Kettenrädern..... 9
1.3	Der Reibungskoeffizient 3	3.3	MoS ₂ für Gleitlager..... 10
2	Die Anwendung von MoS ₂ - haltigen Schmiermitteln in der Praxis.....4	3.4	MoS ₂ für Wälzlager 10
2.1	Mechanische Auftragung.....4	4	Zusammenfassung 11
2.2	Auftragung mittels Träger (Öle und Fette).....5		
2.3	Der Einbau von MoS ₂ in die Werkstoffe5		

1 Eigenschaften und Vorteile der MoS₂-Schmierung

Die zunehmende Bedeutung der Hochdruckschmierung ist durch die gesteigerten Ansprüche, die auf allen Gebieten des Maschinenbaues gestellt werden, gegeben. Im Bereich der Misch- und der Grenzreibung ist auf Festschmierstoffe, und insbesondere auf Molybdändisulfid (MoS₂) auch heute nicht zu verzichten.

Das Molybdändisulfid gehört in die Gruppe der festen Schmierstoffe, die auf Grund ihres kristallischen Aufbaues solche Eigenschaften in sich vereinen, die sie dazu befähigt, ohne Veränderungen der metallischen Oberfläche eine Schmierwirkung zu entfalten.

Wirkungsweise der chemisch, wirkenden Zusätze

Die Wirkungsweise der chemisch wirkenden Hochdruckschmiermittel beruht im allgemeinen darauf, dass durch chemische Umsetzung an der Oberflächen Grenzschichten nicht - metallischer Zwischenfilme hergestellt werden, die den direkten Metall- an Metall- Kontakt und dadurch das Verschweißen und Festfressen verhindern. Diese Zwischenfilme werden durch chemische Umsetzung erzeugt, indem den Schmiermittel solche Stoffe zugesetzt werden, die mit dem Oberflächenmaterial chemisch reagieren. Solche Stoffe werden als Hochdruckadditive und die so hergestellten Schmiermittel als Hochdruck - Schmiermittel (EP - Extrem Pressure Lubricants) bezeichnet.

Diese chemische Umwandlungsüberzüge sind durch einen Eingriff in die äußerste Metalloberfläche entstanden, der durch aktive Molekülgruppen bedingt ist. Je nach der Natur der verwendeten Additive entstehen so Chlorid, Sulfid-, Phosphat- bzw. andere Metallsalzsichten. Die chemische Hochzüchtung der Öle findet ihre natürliche Begrenzung in der korrosiven Wirkung dieser Zusätze, denn der nicht - metallische Zwischenfilm wird durch die chemische aktive Komponente des Schmiermittels (Additive) dauernd nachgebildet. Es ist aus der Praxis bekannt, dass frisch bearbeitete, also reine Oberflächen schon bei relativ niedrigen Lagerdrücken zum Fressen und Verschweißen neigen und es ist weiterhin bekannt, dass sich bei allen Metallen durch einen Oxidfilm die Neigung zur Legierungsbildung wesentlich herabsetzt. Bei den vorgenannten chemischen Hochdrucksätzen werden analoge Zwischenschichten durch chemische Umwandlung an den Oberflächen durch Ankorrodieren gebildet. Die Aussage, dass eine Hochdruck- oder Teilschmierung ohne Beteiligung fester Schmierfilme nicht möglich ist, scheint berechtigt.

1.1 Wirkungsweise der MoS₂ - Schmierung

Die Schmiereigenschaften des Molybdändisulfides beruht - ähnlich der des Graphits - darauf, dass diese Stoffe auf Grund ihres Kristallgefüges befähigt sind, ohne Veränderung der metallischen Oberfläche Schmierwirkung zu entfalten. Das MoS₂ gehört in die Gruppe der Schichtgitterkristalle, d. h. die Atome oder Ionen sind in



Eigenschaften und Anwendungsgebiete von MoS₂

Schichten angeordnet, vorwiegend in der Weise, dass die einzelnen Schichten nur aus Atomen oder Ionen gleicher Art und gleicher Ladung bestehen. Stoffe mit Schichtgitterstruktur sind gewöhnlich in einer Ebene wesentlich leichter spaltbar. Das MoS₂ ist als hexagonales Schichtgitter so ausgebildet, dass einzelne Schichten nur aus Molybdänatomen und andere nur aus Schwefelatomen bestehen. Die Schwefel- an Molybdän - Bindung ist sehr stark, während die Schwefel- an Schwefel - Bindung im Vergleich dazu sehr schwach ist. Die Lamellen gleiten so übereinander wie z.B. ein Stapel Papierblätter, die übereinander gelegt sind. Diese innere Gleitfähigkeit des Materials ist von wesentlicher Bedeutung für die Schmierfähigkeit.

Gegenüber dem Grafit als Schmiermittel ist das bessere Haftvermögen des Molybdändisulfides an Metallflächen hervorzuheben. Dies ist bedingt durch die Nebervalenzen des Schwefels, wobei hier jedoch besonders daraufhin zuweisen ist, dass es sich hierbei keineswegs etwa um freien Schwefel mit seinen bekannten unangenehmen Nebenerscheinungen handelt. Der Schwefel ist im Molybdändisulfid - Molekül so fest gebunden, dass er unter keinen Umständen frei wird, es sei denn bei der Zersetzungstemperatur, die bei vollem Luftzutritt etwa bei 450° C liegt. Ein weiterer Unterschied gegenüber dem Grafit liegt darin, dass der Grafit bei hohen Temperaturen sowie im Vakuum schmierwirksam wird. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Bindung des Grafits auf metallischen Flächen adsorptiv mit Flüssigkeitsfilmen erfolgt. Es konnte nachgewiesen werden, dass "vollkommen entgastem Grafit keine Schmierwirkung mehr zukommt. Sein Reibungskoeffizienten von etwa 0,1 steigt dann auf Werte, wie sie den Metallen eigen sind."

Molybdändisulfid ist absolut ungiftig. Aufgrund eingehender wissenschaftlicher Untersuchungen steht fest, dass es sich bei Molybdändisulfid um eine der unlöslichsten Verbindungen handelt, die nur von Chlor, Fluor, Königswasser, kochender Salz- und Salpetersäure angegriffen wird. Bei der Verwendung von Molybdändisulfid - Schmiermitteln sind daher keine besonderen Schutzvorkehrungen zu treffen. Es besteht auch keine Gefahr bei der Lagerung.

1.2 Temperaturbeständigkeit des MoS₂

des Molybdändisulfides ist bei vollem Luftzutritt im Bereich von -180° bis +450°C gegeben. Bei nur teilweise Luftzutritt, wie z. B. an Schraubenverbindungen und sonstigen Bauelementen hat es sich gezeigt, dass noch bei 620° eine ausreichende Schmierwirkung gewährleistet war. Im Vakuum liegt die Zersetzungstemperatur bei etwa 1100° C, in inerter Umgebung bei etwa 1500° C. Diese Zahlen haben Bedeutung bei der Anwendung des Molybdändisulfides in der Pulvermetallurgie.

1.3 Der Reibungskoeffizient

von Molybdändisulfid nimmt unter Einfluss gleitender Belastung ab. Dies hängt mit dem lamellaren Aufbau der Kristalle zusammen. Es kommt in zunehmendem Maße bei steigender Druckbelastung zu einer Orientierung planparallel zur Metalloberfläche.

Eine vergleichende Betrachtung der Reibungskoeffizienten verschiedener bekannter Schmiermittel hat ergeben, dass das Molybdändisulfid den niedrigsten Reibungskoeffizienten aufweist. Der für das Trockenpulver ausgewiesener Reibungswert von 0,069 sinkt bei Drücken von 1400 kg/cm² auf 0,03, und Untersuchungen bei ca. 3000 kg/vm² ergaben einen Reibungswert von 0,02. Röntgenspektroskopische Untersuchungen haben bewiesen, dass der Prozentsatz der planparallel orientierten Lamellen unter gleitendem Druck zunimmt.

Wesentliche Kriterien zur Beurteilung von molybdändisulfidhaltigen Schmiermitteln sind vor allem der **Reinheitsgrad**, wobei auch die Art der Verunreinigungen, bedingt durch die Fundstätte, von Bedeutung ist. Je reiner die Produkte, desto geeigneter sind sie für die Zwecke der Hochdruckschmierung. Neben der Reinheit ist die Teilchengröße, und hier wieder die Art der Zerteilung, von entscheidender Bedeutung. Die Elementar - Lamellen dürfen beim Vermahlungsprozess nicht zertrümmert, sondern müssen in sich parallel zur Spaltfläche aufgestapelt werden. Die erforderliche bzw. günstigsten Teilchengröße ist abhängig von der Oberflächengüte der zu behandelnden Werkstoffe. Dass Reinheitsgrad und Teilchengröße für die praktische Anwendung von entscheidender Bedeutung sind, konnte z. B. durch Untersuchungen, im Drahtzug, bewiesen werden. So wurden unter Anwendung eines nicht besonders gereinigten Handelsgrades 8 bis 10 einwandfreie Züge ohne Nachschmierung erreicht, während die Verwendung eines hochgradig gereinigten Produktes unter den gleichen Bedingungen 16 einwandfreie Züge ergab.

Eigenschaften und Anwendungsgebiete von MoS₂

2 Die Anwendung von MoS₂ - haltigen Schmiermitteln in der Praxis

Die Herstellung geeigneter MoS₂-Schmierfilme kann auf verschiedenen Arten erfolgen:

- durch mechanische Aufbringung des festen Trockenpulvers als Primärvorgänge,
- durch Aufbringung der Filme unter Zuhilfenahme geeigneter Träger, wie z. B. Öle, Fette und andere chemische Stoffe,
- durch den Einbau des Molybdändisulfides in die zu verwendenden Werkstoffe bzw. bei Sintermetallen, Kunststoffen u.ä. Das Schmiermittel wird so zum Bauelement.

Auf der vorgeschriebenen Wirkungsweise der MoS₂-Schmierung ergibt sich für die praktische Anwendung die Folgerung: Je intensiver ein Molybdändisulfidfilm aufgebracht ist werden kann, desto wirksamer ist er auch.

Sind die auftretenden Beanspruchung zufolge gleitender oder rollender Reibung solcher Art, dass sich die Molybdändisulfid - Blättchen in sich selbst weiter spalten und in zunehmendem Maße planparallel zur Metallfläche orientieren können, dann liegen ideale Bedingungen in Bezug auf die Filmbildung vor und die Druckbeständigkeit solcher Filme ist praktisch unbegrenzt. Sie liegt jenseits der Fließgrenze der bekannten Werkstoffe.

Solche Bedingungen liegen z. B. im Drahtzug vor, bei der Kaltverformung, bei der Aufpressfertigung bzw. Presssitzpassung. Auch während der Einlaufperiode sind solche idealen Verhältnisse gegeben, welche die Orientierung der Blättchen weitgehend unterstützen. Diese verankern sich im besonderen an jenen Stellen, die zufolge der noch vorhandenen Unebenheiten abgeschert werden. Es bildet sich eine Zwischenschicht, die den Metall/Metall - Kontakt, also ein Fressen verhindert. Der so gebildete Film hat hier auch die Funktion, in Phasen, in denen z. B. folge einer längeren Stillstandsperiode der Ölfilm abgerissen oder weggedrückt ist, die Notlaufeigenschaften zu übernehmen.

Praktische Erprobung einer Werkzeugmaschinenfabrik haben bestätigt, dass der Kraftaufwand beim Übergang von der Ruhe in die Bewegung nach Anwendung von MoS₂-Paste halb so groß war wie bei der Verwendung der üblichen vorgeschriebene Öle. Die gleichen Ergebnisse wurden bei Versuchsserien erzielt, bei denen Teller den als Hilfsmittel zur Klärung von Grenzflächenvorgängen Verwendung fanden.

Überall dort jedoch, wo während der Beanspruchung nicht solche idealen Bedingungen bezüglich der Filmbildung herrschen, muß der Film vorher durch geeigneten Methoden hergestellt werden.

2.1 Mechanische Auftragung

Vor dem Aufbringen der Pulver müssen die Werkstückoberflächen sauber, fettfrei und trocken sein. Vorheriges Phosphatieren erhöht die Haftung und damit die Gebrauchsdauer der Trockenschmierfilme. In vielen Fällen, z.B. im Großmaschinenbau, genügt einfaches Einreiben der Pulver mit einem Lappen oder einem Pinsel. Dabei ist intensives Einreiben in mehreren Richtungen wesentlich wirkungsvoller als bloßes Aufstreuen, welches zu Plattierungen führen kann. Je intensiver das Einreiben erfolgt, um so besser haftet der Festschmierstoffe an der Oberfläche, gleichzeitig dringt er besser in die Rauigkeitstäler ein.

Trommeln

Bei Kleinteilen hat sich eine Abwandlung des bekannten **Trommelverfahrens** gut bewährt, um einen Trockenschmierfilm auf der Oberfläche solcher Teile herzustellen. So werden z. B. in der feinmechanischen, optischen und Präzisions- - Industrie Getriebeteile, Verschlusslamellen, Zapfen und Wellen, Schrauben, Muttern, Scharnierteile, Zahnräder, Achsen, Buchsen oder Kunststoffteile in dieser Weise behandelt. Das Verfahren ist äußerst wirtschaftlich und einfach.

Die Werkstücke werden zusammen mit Trägerkörpern in einer Trommel kontinuierlich bewegt. Die Trägerkörper wurden zuvor mit dem Pulver vorgetrommelt, wobei die gesamte zugefügte Pulvermenge auf die Oberfläche der Trommelkörper übergegangen sein sollte. Dann erfolgt das eigentliche Trommeln der Werkstücke mit den Trommelkörpern, wobei sich ein etwa 1µm dicker Film auf den Werkstücken bilden sollte.

Schwabbeln

Eigenschaften und Anwendungsgebiete von MoS₂

Größere Teile können durch Schwabbeln mit einem Festschmierstoff-Film versehen werden. Eine zuvor mit Pulver behandelte Schwabbelscheibe wird auf dem Werkstück mechanisch gedreht. Ggf. kann Pulver kontinuierlich nachgeführt werden.

Kathodenzerstäubung im Vakuum

Wälzlager und feinmechanische Bauteile werden sehr verschleißfest durch Kathodenzerstäubung von MoS₂ im Vakuum beschichtet. Der entstehende Film ist sehr gut verankert und dadurch höchstverschleißfest. Allerdings ist das Verfahren recht aufwendig.

Auftragung mittels Sprühdose

MoS₂ Pulver kann auch mittels Sprühdose MOLYDUVAL Pulver Spray oder MOLYDUVAL Spray 21 aufgetragen werden.

2.2 Auftragung mittels Träger (Öle und Fette)

Unter den **Trägerstoffen**, deren man sich bedient, um MoS₂-Filme aufzubringen, kommt dem Mineralöl eine große Bedeutung zu, vor allem deshalb, weil die meisten Maschinenteile im praktischen Betrieb ölig sind. Es ist nicht ohne weiteres möglich, Abmischungen von Molybdändisulfid in beliebigen Ölen herzustellen. Infolge des hohen spezifischen Gewichtes ist die Verwendung von Stabilisatoren erforderlich. Solche stabile pastenförmige Körper werden in die Oberflächen, die vorher gesäubert wurden, intensiv nach mehreren Richtungen eingerieben. Eine darauf folgende Einlaufphase unterstützt die Filmbildung. Alle bekannten Verfahren der Oberflächenbearbeitung wie Schwabbeln, Läppen, Prägepolieren oder Hartglattwalzen sind für die Herstellung festhaftender Filme geeignet.

Eine Herstellung **stabiler MoS₂-Suspensionen** ist möglich und derartige Öl - Molybdändisulfid - Suspensionen finden in der Praxis als Zusatz zu den üblichen Ölen Verwendung, um deren Druckaufnahmevermögen zu erhöhen. Unter Grenzreibungsbedingungen bildet sich dann eine Schicht MoS₂ aus der Suspension auf der Oberfläche, die einen direkten metallischen Kontakt der Reibpartner verhindert.

In allen jenen Fällen, wo die Ölbasis unerwünscht ist, z.B.: bei der Schmierung von Kunststoffen, verwendet man synthetische Produkte als Träger, wie z.B. Glykole u.ä. solche Sondertypen werden zur Schmierung hochtemperaturbeanspruchter Aggregate wie u.a. Ofenketten verwendet. Auch Molybdändisulfid - Silikon-Kombinationen finden für solche Zwecke Verwendung

MoS₂-Fette

sind für die Praxis von großer Bedeutung. In erster Linie haben sich Lithiumfette als geeignete Träger erwiesen. Der Hauptanwendungsbereich liegt auf dem Gebiet der Schmierung hochbeanspruchte Wälzlager. Das MoS₂ bildet an der Oberflächen der Lager entsprechender Einlaufzeit einen festen, unzerstörbaren und druckbeständigen Film.

2.3 Der Einbau von MoS₂ in die Werkstoffe

Bei **Sintermetallen**, im besonderen bei Sinterbronze, liegen recht positive Erfahrungen vor, wonach durch einen Zusatz etwa 4 % MoS₂-Pulver wesentliche Verbesserungen des Reibwertes und somit der Belastbarkeit erzielt wurden. Fertige Bauteile wie Sinterlager können in Suspensionen von kolloidalem Molybdändisulfid getränkt werden. Die Einlaufbedingungen werden durch ein zusätzliches Einstreichen der Laufflächen mit MoS₂-Pasten verbessert. Solche Sinterlager haben sich z.B. an Waschmaschinen sehr gut bewährt.

Das Einarbeiten von MoS₂ in Kunststoffe

erschließt neue Möglichkeiten für deren Anwendung. Bereits ein geringer Prozentsatz setzt den Reibwert etwa auf die Hälfte herab, und zwar von 0,1 auf 0,05 und darunter. Die Beimischung ist vor allem in jenen Fällen ratsam, wo es auf den geringsten Reibungskoeffizienten ankommt. Beimischungen von Molybdändisulfid setzen vor allem den Reibungskoeffizienten der Ruhe herab, so dass der Kraftaufwand beim Anlauf - der sonst Kunststofflagern höher als man nach dem Reibungskoeffizienten der Bewegung annehmen dürfte - herabgesetzt wird. Eine Geräuschbildung bei kleinen hin- und hergehenden Bewegungen, die ebenfalls leicht bei Kunststoffen auftritt, wird durch die Beimischung von Molybdändisulfid gleichermaßen vermieden.

Kunststoffe haben bei Öl- und Wasserschmierung einen verhältnismäßig sehr niedrigen Reibungskoeffizienten und werden deshalb für Lager- und Gleitflächen benutzt. Bei trockener Reibung dagegen ist der Reibungskoeffizient von Kunststoffen außer bei Polyamiden relativ hoch. Durch Beimischung von Grafit kann man den Rei-

Eigenschaften und Anwendungsgebiete von MoS₂

bungskoeffizienten zwar herabsetzen, was jedoch einen so wesentlichen Anteil von Grafit bedingt, dass andere Eigenschaften des Kunststoffes verändert bzw. Verschlechtert werden. Setzt man dagegen Molybdändisulfid zu, so genügen geringe Mengen, um die notwendigen Gleiteigenschaften zu erzielen, ohne das Materialgefüge und die übrigen Kunststoffeigenschaften zu beeinflussen.

Exakte Versuche über den Einfluss von Gleitmittelzusätzen haben z. B. gezeigt, dass Molybdändisulfid - Zusatz erst das Gleiten auf einer glatten Stahlwelle unter gewissen Bedingungen ermöglichen. Grafit als Werkstoffzusatz wirkt sich unter den gleichen Versuchsbedingungen nicht günstig aus.

Beimischung von Molybdändisulfid setzen außerdem den Reibungskoeffizienten der Ruhe herab, so dass der Kraftbedarf beim Anlaufen, der sonst bei Kunststofflagern höher ist als man dem Reibungskoeffizienten der Bewegung erwarten dürfte, herabgesetzt wird. Eine Geräuschbildung (ein leichtes Knacken) bei kleinen hin- und hergehenden Bewegung, die ebenfalls leicht bei Kunststoff eintreten, wird bei Verwendung von Polyamiden, die MoS₂ inkorporiert enthalten, ebenfalls vermeiden.

Bei den Schichtkunststoffen ist die direkte Beimischung von MoS₂ zum Kunststoff mit Schwierigkeiten verbunden, da sie die Spaltfestigkeit herabsetzt. Eine einwandfreie Bindung zwischen den Schichten ist in diesem Fall nicht zu erzielen. Hier ist es zweckmäßiger, die Gleitflächen mit MOLYDUVAL - Pulver bzw. MOLYDUVAL - Paste einzureiben, um so die gewünschten Gleiteigenschaften zu erreichen. Sehr gute Ergebnisse mit MoS₂-Beimischung erhält man dagegen bei regellosen und homogenen Kunststoffen wie Typ 74 und Polyamiden.

Die Praxis hat gezeigt, dass z. B. bei Polyamiden, die sich durch hohe Abriebfestigkeit und Zähigkeit auszeichnen, der Reibungswert gegenüber Stahl durch die Beimischung von MoS₂ bei Trockenlauf auf die Hälfte reduziert werden kann. Werte von 0,05 sind einwandfrei nachgewiesen. Ein solches Material hat außerordentlich gute Notlaufeigenschaften, die es ermöglichen, aufeinander gleitende Teile in gewissen Grenzen völlig trocken laufen zu lassen. In welchem Umfang dies möglich ist, hängt von der Art des Materials und den jeweiligen den Betriebsbedingungen ab. Einleuchtend ist jedoch, dass bei einem niedrigeren Reibungswert auch entsprechend weniger Reibungswärme erzeugt wird und das ist das Wesentlichste bei Trockenlauf, denn die Grenze der Anwendungsmöglichkeit von Polyamid - Lagerungen ist nicht, wie bei Metallagern durch entsprechend hohe Abriebfestigkeit, sondern durch die Temperatur gegeben. Bei der begrenzten Wärmestandfestigkeit und dem schlechten Wärmeleitvermögen der Polyamide ist das von großer Bedeutung.

Bei einem Dauerversuch waren Schieber für die Bremssteuerung von Luftdruckbremsen mit Polyamiden unter Zusatz geringer Mengen Molybdändisulfid flammgespritzt worden. Im Vergleich zu bis dahin vorgenommener Ölschmierung wurde wesentlich verlängerte Haltbarkeit und geringere Verschmutzung ermittelt.

Von besonderem Interesse dürften auch in den USA vorliegende Erfahrungen mit Nylon - Material, in welches Molybdändisulfid bei höheren Temperaturen eingearbeitet wurde, sein. Zum Beispiel zeigt Nylon mit Molybdändisulfid als Füllstoff ausgezeichnete Reibungseigenschaften, wenn es in Kombination mit leitfähigen Materialien, wie z. B. mit Ein Nylonlager, welches gegen Aluminiumguss mit Aluminium verwendet wird. Ein Nylonlager, welches gegen Aluminiumguss mit einer Gleitgeschwindigkeit von 20 f/min. bei einer Flächenpressung von 80 psi lief zeigte nach einem Lauf von 6 Meilen vernachlässigbaren Antrieb. Der Lauf war ruhig und das Drehmoment beim Ende des Laufes, das zur Bewegung des Lagers nötig war, war nur geringfügig höher als zu Beginn des Laufes.

Grundsätzlich kann man die Aussage machen, dass **Kunststoffe mit MOLYDUVAL überall da vorteilhaft werden können, wo es auf geringen Reibungskoeffizienten; hohe Verschleißfestigkeit; großes Schwingungsdämpfungsvermögen und gegebenenfalls Schmierungsfreien Betrieb ankommt:**

Trockenlauf ist überall dort erwünscht, wo geringe Öl- oder Fettsuren zu einer Verschmutzung der auf den jeweiligen Maschinen verarbeiteten Produkte führen würden. Dies trifft hauptsächlich auf Maschinen der Nahrungsmittel-, Textil-, Verpackungs- und Waschmaschinenindustrie zu. Bei der Lebensmittelindustrie wird vielfach zur Bedingung gemacht, dass die gleitenden Teile, welche mit den jeweiligen Nahrungsmittel unmittelbar in Berührung kommen (wie bei Teigmaschinen, Schokoladenmischern und dgl.) schmierungsfrei laufen, um eine Qualitätsminderung der Lebensmittel durch Geschmackbeeinflussung zu verhindern. Bei Textilmaschinen und Waschmaschinen können ölgeschmierte Lager zur Verschmutzung der Ware führen. In der Feinmechanik verschaffen sich Kunststoffe mit MOLYDUVAL Eingang in den Kamerabau, für kleinere Führungen usw., für bestimmte Teile im Automobilbau (Türschließeile), für medizinische Instrumente, für Ventilatoren und Klappen bei Kompressoren u. a.; für die Herstellung von Ringläufern, Flyernüßchen und Fadenführers sind als geradezu prädestiniert. Die große Zähigkeit und Formbeständigkeit gestatten den Einsatz in vielen Gebieten der Elektro-

Eigenschaften und Anwendungsgebiete von MoS₂

technik, vor allem Teile für den Betätigungsmechanismus im Schalterbau und im Radiobau, sowie Telefonteile herzustellen.

Ein bewährtes Anwendungsgebiet sind Zahnräder mit allen gebräuchlichen Verzahnungsarten. Die Fähigkeit, mechanische Schwingungen im hörbaren Bereich zu dämpfen, eine hohe Schlagfestigkeit und ein geringer Reibungskoeffizient lassen Polyamide mit eingearbeitetem MoS₂ als Zahnradbaustoff besonders geeignet erscheinen. Da man auch kleinste Zahnräder mit recht hoher Genauigkeit spritzen kann, sind diese Kunststoffe der gegebenen Baustoffe für Zahnradgetriebe in Film- und Tonwiedergabegeräten, bei Haushalt- und Büromaschinen und ähnlichen Anwendungsgebieten, wo hohe Geräuschlosigkeit gefordert wird, wo große Stückzahlen vorliegen und mit niedrigem Preis berechnet werden muß. Die Tatsache jedoch, dass es überhaupt möglich ist, Zahnräder ohne Schmierung mit gutem Wirkungsgrad und langer Lebensdauer laufen zu lassen, ist für verschiedene Anwendungsgebiete, wo Schmierung der Zahnräder schwierig oder für die Fabrikation nachteilig ist, von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Staubige Atmosphäre hat auf die Lebensdauer dieser Zahnräder im Gegensatz zu Metallzahnrädern kaum Einfluss. Weiterhin gibt es bei komplizierten Maschinen Stellen, bei denen eine zugängliche Schmierung manchmal nicht angebracht werden kann, oder wo teure Schmierpumpen mit hinderlichen Leistungen verwendet werden müssen, um die gleitenden Teile mit dem notwendigen Schmiermittel zu versorgen. Schließlich ist eine Schmierung oftmals auch dann unerwünscht, wann die gleitenden Teile starker Verschmutzung ausgesetzt sind und die Schmierung dazu führt, dass aggressiver Staub durch das Schmiermittel gebunden wird und einen schnellen Verschleiß hervorruft.

Aber bei geschmierten Gleitstellen ist der durch die MoS₂-Beimischung erzielte Reibungswert und die damit verbundene gute Notlaufeigenschaften des Kunststoffes sehr erwünscht. Hier ist besonders auf solche Gleitstellen hinzuweisen, wo bei hoher Flächen- und auch Kantenpressung die Geschwindigkeit der gleitenden Teile nur sehr gering ist und sich kein dauerhafter Schmierfilm bilden kann. Ebenso bei der Lagerung von Schwinghebeln, wo durch den ständigen Wechsel von Ruhe und Bewegung der Schmierfilm ständig abreißt und bei der bisher üblichen Lagerung in Metall schnell Reibungskorrosion eintritt. Auch bei Gleitbahnen aller Art und bei Stangenführungen wird das Schmiermittel rasch abgestreift und muß ständig neu zugeführt werden, um einen vorzeitigen Verschleiß zu verhindern, während sich bei solchen Teilen aus Kunststoff mit MOLYDUVAL ein hauchdünner Film verhältnismäßig lange hält, so dass mit ganz geringen Mengen an Schmiermittel auszukommen ist, wenn nicht ganz darauf verzichtet werden kann.

Wie günstig sich die Notlaufeigenschaften solcher Kunststoffe auswirken, zeigt sich besonders bei Lagerungen von Schwingtischen und ähnlichen Einrichtungen, an denen nur Mikrobewegungen, jedoch mit hoher Frequenz auftreten, und wo die bisherigen Lagerungen und Schmiermethoden versagten. Nicht angebracht sind Polyamidlager in jenen Fällen, wo hohe Präzision verlangt wird und der Werkstoff auf Grund seiner Elastizität hierfür nicht geeignet erscheint. Dagegen haben sich Polyamidlager an solchen Stellen, wo starke Stöße auftreten (bei der Lagerung von Tragrollen für Gleitketten, im Bagger- und Kranbau, im Fahrzeugbau) in der Praxis gut bewährt. So sind z. B. die Lager für die Balancen der Tragrollen einer Seilbahn, wobei MoS₂ in das Polyamid eingearbeitet wurde, bereits seit länger als 2 Jahren im Betrieb, ohne dass sich irgend welche Schwierigkeiten ergeben hätten.

Die vorstehende Ausführung sollen nur einen Teilausschnitt aus den großen Anwendungsgebiet der mit MOLYDUVAL inkorporierten Kunststoffe zeigen und es lassen die bisherigen guten Ergebnisse erwarten, dass sich diese Produkte in Zukunft noch weitere interessante Anwendungsgebiete erschließen werden. Auf die vielseitigen in der Praxis erprobten und bewährten sonstigen Anwendungen von MoS₂ in Verbindung mit anderen Kunststoffen, synthetischen und natürlichem Gummi, Materialien für Dichtungen und Packungen, Kunstharzlacken usw. soll im Rahmen einer weiteren Abhandlung in Fühlungnahme mit den Herstellerfirmen besonders eingegangen werden. Bei Konstruktion und Betrieb muß auf vielerlei Dinge Rücksicht genommen werden, auf die im Rahmen dieses Beitrages nicht eingegangen werden kann. Es erscheint deshalb als unbedingt ratsam, sich bei der Verwendung von Lagern und Verschleißteilen aus Kunststoffen mit MoS₂ von den einschlägigen Fachfirmen beraten zu lassen, um Fehlschläge zu vermeiden.

Auch in natürlichem und synthetischem Gummi

kann Molybdändisulfid nach besonderen Verfahren eingearbeitet werden. Für Dichtungen und Packungen, die hohe Beanspruchung ausgesetzt sind, hat sich Molybdändisulfid bei der Herstellung sehr bewährt.

Feste Molybdändisulfid - Schmierfilme auf Kunstharz- bzw. Lackbasis finden in verschiedenen Industriezweigen praktische Anwendung, vor allem in der Flugzeugindustrie, wobei gleitende Teile, Ventile, Gelenke, Schrauben und Bolzen mit solchen Kunstharzverbindungen überzogen werden, um den Antrieb und die Ver-

Eigenschaften und Anwendungsgebiete von MoS₂

schleißwerte herabzusetzen. Die Auswahl der richtigen MOLYDUVAL - Type, der MOLYDUVAL Aladin - Serie, ist je nach der Art der Beanspruchung auch hier von entscheidender Bedeutung. Die Widerstandsfähigkeit des MoS₂-Filmes wird durch Einbrennen wesentlich erhöht.

Eigenschaften und Anwendungsgebiete von MoS₂

3 Hinweise für die industrielle Anwendung von MoS₂

Die Haupteinsatzgebiete dieser MoS₂-haltigen Schmiermittel sind somit dort gegeben, wo extreme Lagerdrücke auftreten, ferner wo extrem hohe und extrem niedrige Temperaturen, bei welchen die üblichen Schmiermittel versagen, herrschen, so z.B. an Schraubverbindungen, Bolzen und anderen Teilen von Verbrennungsmotoren, Dampf- und Gasturbinen, Ofenkettens, Kühlmaschinen und sonstigen Aggregaten. Staubige und nasse Umgebungen sowie das Auftreten aggressiver Chemikalien bedingen oft den Einsatz solcher Schmiermittel.

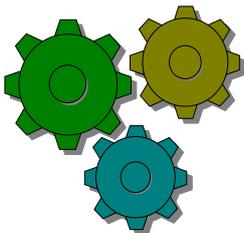
Auch bei Startreibung (Reibung in der Ruhe) hat sich der MoS₂-Zwischenfilme bewährt, da er als feste Zwischenschicht die belasteten Spitzen der Oberflächen auch in der Ruhe voneinander trennt und auf Grund des niedrigen Wertes seines statischen Reibungskoeffizienten - der sich vom kinetischen wesentlich unterscheidet - den schädlichen Abrieb verhindert. Vor allem haben sich diese Schmiermittel auch dort bewährt, wo eine Dauerschmierung, in manchen Fällen für die Lebensdauer von Geräten, erforderlich ist.

3.1 MoS₂-Schmierpasten bei der Montage

Die Verwendung von MoS₂ Schmiermitteln beim Zusammenbau mit Presssitz hat sowohl das Fressen als die Bildung von Passungsrost wie das Verziehen praktisch beseitigt. Der niedrige und konstante Reibungskoeffizient dieser Schmiermittel erweist sich in manchen Anwendungsfällen als vorteilhaft. Wo er von Nachteil sein sollte, lässt sich die Haltekraft leicht nach einem vereinfachten Verfahren berechnen. Die von den MoS₂ Schmiermitteln dargebotenen Vorteile gestatten die Verwendung von Presssitzen an Stellen der kostspieligeren Passungsarten, wie z.B. von Schrumpfsitzen, kegeligen Passungen, Keilnuten usw. Wo jedoch andere Passungsarten erwünscht sind, erleichtert der Gebrauch dieser Schmiermittel sowohl Montage wie Demontage der betreffenden Maschinenteile.

Der Zusammenbau von Maschinenteilen mit Presssitzung unter Verwendung hochgereinigter Molybdändisulfid - Schmiermittel stellt zweifelsohne eine der eindrucksvolleren Anwendungsformen dieses neuartigen Schmiermittels für Hochdrücke dar. Der Bedienungsmann der Aufziehpressen dürfte überrascht sein durch den völlig ruhigen und weichen Arbeitsgang. Bemerkenswerterweise fehlen die Bildung von Passungsrost, Fressen und das Ablösen von Metallteilchen. Kennzeichnenderweise sind die Aufpressdrücke um 30 - 50 % niedriger als man sonst erwarten würde.

Molybdändisulfid (MoS₂) - ein lamellar - disperses System - ist im Grunde genommen ein festes Schmier- bzw. Gleitmittel, welches dem Aussehen und dem Griff nach dem Grafit ähnlich ist. Es hat eine immer mehr zunehmende Verwendung an zahlreichen Stellen gefunden, wo die Eigenschaften der üblichen Schmier- bzw. Gleitmittel den auftretenden Höchststrücken, Höchsttemperaturen oder der Verwendung solcher Metalle wie zum Beispiel rostfreien Stahls nicht mehr gewachsen waren. Beim Zusammenbau geschliffener Oberflächen durch Presssitz ist MOLYDUVAL - Pulver zu verwenden, wobei dessen Auftragen durch Einreiben oder Behandeln in Scheuertrommeln erfolgt. Für geringere Oberflächengüten erweist sich MOLYDUVAL Paste M mit hohem Gehalt an MoS₂ als geeignet. Diese Paste hat sich hierbei bestens bewährt, und man hat dabei die Gewähr, dass eine genügende Menge an MoS₂ die Unebenheiten bzw. Vertiefungen einer rauhen Oberfläche ausfüllt.



3.2 Einbauen bzw. Aufpressen von Zahn- und Kettenrädern

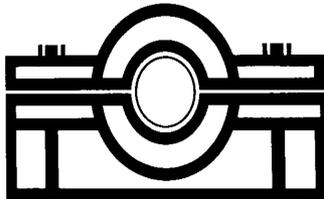
Die Haltekraft von Presssitzen genügt in vielen Fällen zur Befestigung von Zahn- und Kettenrädern, Kupplungen, Schwungrädern usw. Im Allgemeinen gelangen jedoch kostspieligere Befestigungsmethoden (Keilnuten usw.) zur Anwendung, weil die übliche Bildung von Passungsrost und das Fressen beim Einbau mit Presssitzpassung den gelegentlichen Ausbau erschweren oder gar verunmöglichen. Bei Gebrauch von MOLYDUVAL für das Aufpressen lässt sich diese Gefahr der Bildung von Passungsrost umgehen.

Bei Verwendung der maximal zulässigen Bohrungen in normalen ungehärteten Zahnradern und bei einem Mindestübermaß von 0,001" (0,0254mm) je Zoll (25,4mm) Ø halten nahezu alle üblichen Zahnradern bis zu 6" (152,44 mm) Teilkreisdurchmesser ihre maximale zulässige Laufbelastung, bevor die Passung zum Schlüpfen

Eigenschaften und Anwendungsgebiete von MoS₂

kommt. Das verfügbare Widerstandsmoment kann entweder durch eine Formel festgestellt oder aus dem Aufpressdruck errechnet werden. Das Maß von 0,001" (0,0254 mm) je Zoll als Mindestübermaß mag hoch erscheinen, aber selbst der wiederholte Zusammenbau mit sehr viel schweren Passungen zeitigte mit MoS₂-Schmiermittel zufriedenstellende Resultate. Bei schwer vorzunehmenden Einbauten - oft mit Hilfe großer Pressen - hat sich die Schmierung mit MoS₂ als nützlich erwiesen, und zwar nicht nur für die Herabsetzung des anfänglichen Aufpressdruckes, sondern auch zur Verhinderung der großen Belastungszunahme, wie man sie gewöhnlich antrifft, wenn die Passung später wieder auseinander genommen werden muß. Ein Fabrikant von großen Zerkleinerungsmaschinen, bei welchen die Kurbelwellen häufig bei Aufpressdrücken von etwa 400 t (362872 kg) auszuwechseln sind, hat für diese Arbeit MoS₂ Schmiermittel mit zufrieden stellenden Ergebnissen verwendet. Andere haben Presssitze mit MoS₂-Schmierung Temperaturen bis zu 480° C ausgesetzt, ohne beim Ausbau auf Schwierigkeiten zu stoßen. Die Erfahrungen mit Gewindeverbindungen lassen vermuten, dass sich diese Grenze bis über 600°C hinauschieben lässt.

3.3 MoS₂ für Gleitlager



Werden Gleitlagerbüchsen mit den üblichen Gleitmitteln in ihre Gehäuse eingepresst, dann unterliegen sie häufig einem Verzug, und zwar infolge der Ablösung winziger, während des Einbaus losgerissener Metallteilchen. Obwohl ein derartiges Ablösen von Metallteilchen sich bei einem späterem Ausbau lediglich in winzige Riefen auf der Oberfläche bemerkbar machen wird, kann doch die Wirkung hiervon bei Präzisionslagern sehr beträchtlich sein. Manchmal erweist es sich dann als erforderlich, derartige Lager nach dem Einbau unter erheblichen Kosten einer Nachbearbeitung unterziehen zu müssen.

Ein illustratives Beispiel stellt dich beim Einbau von Lagern mit Silberüberzug und 4" (101,6 mm) Bohrung in den größten Rütteltisch der Welt (Fig.1). Die Betriebsdrehzahl belief sich auf $n = 3600$ bei einer Belastung von 25000 lbs. (11340 kg) je Lager, was eine vollkommene hydrodynamische Schmierung erforderlich macht. Das Einpressen dieses dünnwandigen Lagers in sein Gehäuse zeitigte ein Verziehen um 0,0007" (0,0178 mm). Dies geschah trotz des verhältnismäßig niedrigen errechneten Druckes von 975 psi (68,54 kg/cm²) innerhalb des Presssitzes. Die Lager wurden alsdann ausgebaut, gereinigt und wieder montiert, wobei trockenes MoS₂ auf den Presssitzflächen durch Einreiben zur Verteilung gelangt; das Verziehen ließ sich durch auf die Bearbeitungstoleranz von 0,0002" (0,00508 mm) reduzieren. Ein Presssitz hat in erster Linie zu verhindern, dass eine Lagerbüchse von dem zugehörigem Lagerzapfen mit in Umdrehung versetzt wird. Es stellt sich nun die Frage, ob der Gebrauch von MoS₂ Schmiermitteln die Neigung zu einer solchen Mitnahme erhöhen wird oder nicht. In Anbetracht des niedrigen Reibungskoeffizienten ist dies zu bejahen und kann ein größeres Presssitz - Übermaß erforderlich machen.

3.4 MoS₂ für Wälzlager

Viele amerikanische Fabrikanten von Wälzlagern empfehlen ihren Kunden zum Einbau der Lager in Maschinenteile MoS₂ Schmier - bzw. Gleitmittel zu verwenden, und zwar um dem Verformen bzw. Verziehen der Lager entgegenzuwirken, Ein- und Ausbau zu erleichtern sowie den Abrieb auf ein Mindestmaß zu bringen. Das Problem präsentiert sich hier anders als bei Gleitlagern. Das Mitnehmen bei der Drehung der Lagerzapfen kann in diesem Falle vernachlässigt werden, es sei denn, es komme zum Bruch, wobei die MoS₂ Schmiermittel die Beschädigung der Gehäuse usw. herabsetzen werden. Ein niedriger Aufpressdruck beim Einbau von Wälzlagern mit Presssitz beeinträchtigt keineswegs die Hauptfunktion der Presspassung, nämlich die Beseitigung des Wanderns (Kriechens) der Laufringe auf einer Welle bzw. in einem Gehäuse (Fig.2).

Das Spiel zwischen dem inneren Laufring des Lagers und der Welle ist in dieser Figur vergrößert dargestellt. Bei einem Spiel von 0,001" (0,0254 mm) beläuft sich das Kriechen zwischen Welle und innerem Laufring auf 0,0031" (0,07874 mm) je Umdrehung, d.h. auf je 3000 Umdrehungen der Welle macht der innere Laufring nur 2999 Umdrehungen. Diese relative Drehung zueinander hat Abrieb sowie Verschleiß zur Folge. Der Hauptzweck des Presssitzes ist nun die Beseitigung des Spieles.

Erwähnt sei noch, dass MoS₂ Schmier - bzw. Gleitmittel mit Erfolg dazu verwendet worden sind, mit weitem Laufsitz zusammengebaute Laufringe und Wellen zu schützen, und zwar in Fällen, wo ein Aufpressung mit Presssitz ungangbar war. In einem Stahlwalzwerk ruhten periodisch in 40 - 45 Tagen auszuwechselnde Wellen in Lagern von 25" (635 mm) Bohrung. Obwohl die dauernde Zufuhr eines Schmiermittels den Schäden infolge

Eigenschaften und Anwendungsgebiete von MoS₂

des Abscheuerns zwischen dem inneren Laufring des Lagers und dem Walzenzapfen steuern wird, erweisen sich die Kosten des Bohrens der notwendigen Langlöcher in Walzen von derart begrenzter Lebensdauer doch als zu hoch. Im erwähnten Fall belief sich das Radialspiel am Walzenzapfen auf 0,006" (0,1524 mm). Da zwischen den Walzenwechseln kein Schmieröl zugeführt werden konnte, nahm die Korrosion infolge Abscheuerns rasch zu, das Spiel vergrößerte sich, und die aus dem Abtrieb herrührenden Metallteilchen erschwerten den Ausbau. Mit MOLYDUVAL Paste M lässt sich dieses Problem vollkommen lösen; ein nochmaliges Auftragen zwischen den Walzenwechseln ist nicht notwendig.

Beim Aufpressen von Wälzlagern mit kegeliger Bohrung auf konische Wellenden erfolgt der Auftrieb der Lager um den genau richtigen Innensitzes. Ein ruckweises Aufziehen kann sehr lästig wirken, da irgendeine einzelne Schlupfbewegung den Laufring des Lagers bereits über die Toleranzzone hinausführen kann. Da nun aber MOLYDUVAL diese ruckartige Bewegung beseitigt, kann das Aufziehen an dem gewünschten Punkt abgestoppt werden.

4 Zusammenfassung

Bei den Molybdändisulfid - Produkten handelt es sich um eine Sondergruppe von Schmiermitteln, die vor allem in Grenzfällen der Schmierung zum Einsatz kommt. In jedem Fall ist die Auswahl der richtigen Type sowie die Art der Anwendungen, d.h. die Herstellung der Überzugsfilme, von entscheidender Bedeutung für den Erfolg. Es handelt sich bei diesen Schmiermitteln nicht um "Allheilmittel", sondern um Produkte, die in vielen Grenzfällen bedeutende Verbesserungen gebracht haben.