



A Step ahead in Technology.



Molybdän
Werkstoffeigenschaften und Anwendungen

Molybdenum
Material Properties and Applications

Molybdän

Molybdenum

Molybdän zählt zu den 90 natürlich vorkommenden Elementen. Es besitzt ein kubisch raumzentriertes Metallgitter und zählt mit seinem Schmelzpunkt von 2617 °C (2890 K) zu den Refraktärmetallen.

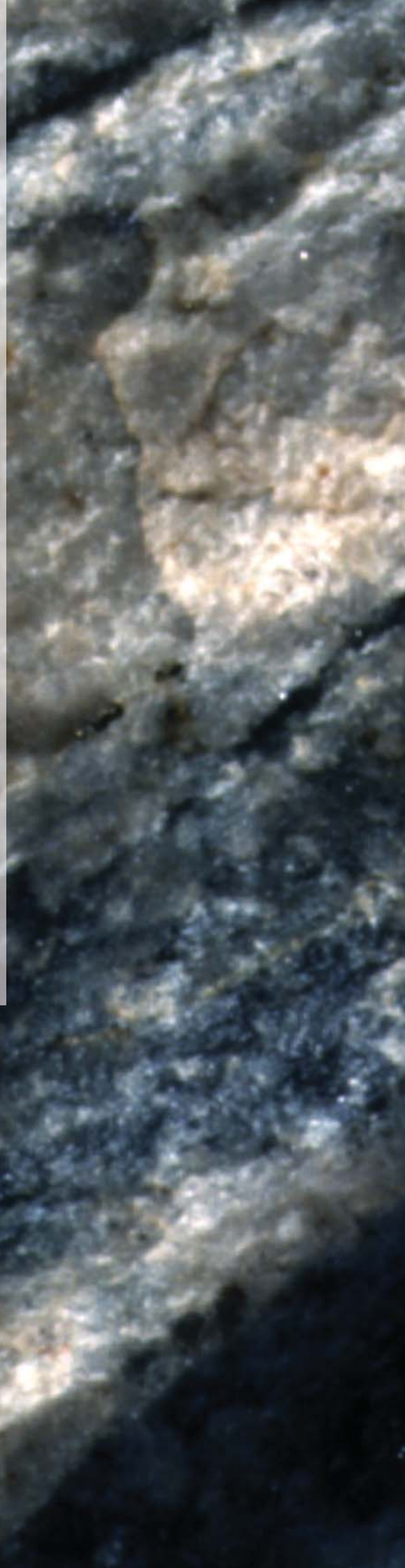
Molybdän und Molybdänlegierungen werden durch verschiedene Herstellungsprozesse erzeugt, einerseits über die Pulvermetallurgie und andererseits auf schmelzmetallurgischem Weg (Elektronenstrahlschmelzen oder Vakuum-Lichtbogenschmelzen). Die Pulvermetallurgie besitzt dabei entscheidende Vorteile gegenüber den anderen Herstellungsverfahren und kommt deshalb auch am häufigsten zur Anwendung. Die Feinkörnigkeit des pulvermetallurgisch hergestellten Molybdäns erleichtert die Weiterverarbeitung und verleiht dem Fertigprodukt bessere mechanische Eigenschaften. Außerdem ist die Pulvermetallurgie die einzige Herstellungsmöglichkeit für Legierungen wie z.B. mit La_2O_3 oder Y_2O_3 dotiertes Molybdän.

PLANSEE, 1921 von Prof. Dr. Paul Schwarzkopf gegründet, zählt zu den führenden Herstellern pulvermetallurgischer Produkte und Komponenten. Wir beschäftigen uns seit über 80 Jahren mit der Herstellung von Molybdän und Molybdänlegierungen. Unser Produktionsprogramm umfasst neben Molybdän die hochschmelzenden Metalle Wolfram, Tantal, Niob, Chrom und deren Legierungen.

Molybdenum is one of the 90 naturally occurring elements. It has a body-centred cubic structure and is classed as a refractory metal because of its melting point of 2617 °C (2890 K).

Molybdenum and molybdenum alloys are produced using either powder metallurgy or by a molten route (electron-beam or vacuum arc melting). Powder metallurgical processing has decisive advantages over the other methods and therefore is most widely used. The fine-grained microstructure resulting from powder metallurgy production results in easier further processing and improves the mechanical properties of the final product. Additionally, the powder route is the only production possibility for alloys such as molybdenum doped with La_2O_3 or Y_2O_3 .

PLANSEE was founded in 1921 by Professor Paul Schwarzkopf and is now one of the leading manufacturers of powder metallurgical materials and components. We have been producing molybdenum and its alloys for more than 80 years. In addition the PLANSEE product range includes the high-melting metals tungsten, tantalum, niobium, chromium and their alloys.



INHALT

Molybdän	Seite
Herstellung von Halbzeug, Produktionsprogramm und garantierte Analyse	4
Hinweise zur Werkstoffauswahl	8
Eigenschaften von Molybdän und seinen Legierungen	12
Chemisches Verhalten von Molybdän und seinen Legierungen	18
Bearbeitung von Molybdän	22
Verbindungstechnik	26
Oberflächenbehandlung	28
PLANSEE-Lieferformen	30

CONTENTS

Molybdenum	Page
Manufacture of Semi-finished Products, Product Range and Guaranteed	
Chemical Composition	4
Basis for Material Selection	8
Properties of Molybdenum and its Alloys	12
Chemical Behaviour of Molybdenum and its Alloys	18
Machining of Molybdenum	22
Joining Techniques	26
Surface Treatment	28
Available Products	30

Angaben über die Beschaffenheit bzw. Empfehlungen zur Verwendbarkeit von Werkstoffen und Erzeugnissen dienen der Beschreibung. Sie beruhen auf praktischen Erfahrungen. Angaben in Bezug auf das Vorhandensein bestimmter Eigenschaften erfolgen nach bestem Wissen, jedoch ohne Gewähr. Diesbezügliche Zusagen bedürfen stets gesonderter schriftlicher Vereinbarung.

Alle Rechte, insbesondere das der Übertragung in fremde Sprachen, vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung von PLANSEE ist es nicht gestattet, diese Broschüre oder Teile daraus zu vervielfältigen.

Data concerning the condition of or recommendations for the use of materials and products are given for information only. All data are based on practical experience. Information referring to the existence of specific properties is given to the best of our knowledge, but does not imply any guarantee. Any assurances in this respect must always be obtained specifically in writing.

All rights reserved, in particular for translation into foreign languages. Reproduction of any part of this brochure is not permitted without the express consent of PLANSEE.

Herstellung von Halbzeug

Manufacture of Semi-finished Products

Die wichtigsten Mineralien für die Herstellung von Molybdän sind Molybdänglanz (MoS_2) und Gelbbleierz oder Wulfenit (PbMoO_4). Die größten Molybdänvorkommen befinden sich in Nord- und Südamerika sowie in China. In den Kupferminen Chiles fällt Molybdänglanz als Nebenprodukt der Kupfergewinnung an.

Die Erze enthalten meist etwa 0,5 % MoS_2 , sodass eine Trennung von den Begleitmineralien unter gleichzeitiger Anreicherung durch Flotation notwendig ist. Das Konzentrat wird geröstet, wobei das Molybdänsulfid in Molybdäntrioxid übergeführt wird. Das abgeröstete Konzentrat wird zur weiteren Abtrennung der Verunreinigungen entweder sublimiert oder chemisch behandelt. Ausgangsstoffe zur Erzeugung von Molybdänpulver sind Ammoniummolybdat und Molybdäntrioxid.

Diese Ausgangsstoffe werden mit Wasserstoff in zwei Stufen zu Molybdänpulver reduziert. Die Reduktion liefert feinkörniges Metallpulver von hoher Reinheit ($\geq 99,97\%$).

The most important minerals for the extraction of molybdenum are molybdenite, (MoS_2) and yellow lead ore or wulfenite (PbMoO_4). The largest molybdenum deposits are located in North and South America and in China. Molybdenite occurs as a by-product of copper extraction in Chilean copper mines.

The ores mostly contain around 0.5 % MoS_2 and must be separated from accompanying minerals by enrichment through a flotation process. The concentrate is then roasted, converting the molybdenum sulphide into molybdenum trioxide. Impurities are removed from the roasted concentrate either by sublimation, or by chemical treatment. The raw materials for the production of molybdenum powder are ammonium molybdate and molybdenum trioxide.

Both materials are converted into molybdenum powder by a two-stage hydrogen reduction process, which gives fine-grained metal powder of high purity ($\geq 99.97\%$).



Glassmelzelektroden aus Mo
Glass melting electrodes made of Mo



Mo-Spritzdraht
Mo spray wire

Nach Sieben und Homogenisierung wird das Molybdänpulver zu Stäben und Platten verschiedener Geometrien und Dimensionen gepresst. Dies geschieht entweder mittels hydraulischer Pressen in Stahlmatrizen oder mittels isostatischer Pressen, wobei das Pulver in einen Schlauch gefüllt und durch allseitig einwirkenden Wasserdruck zu Formstücken gepresst wird.

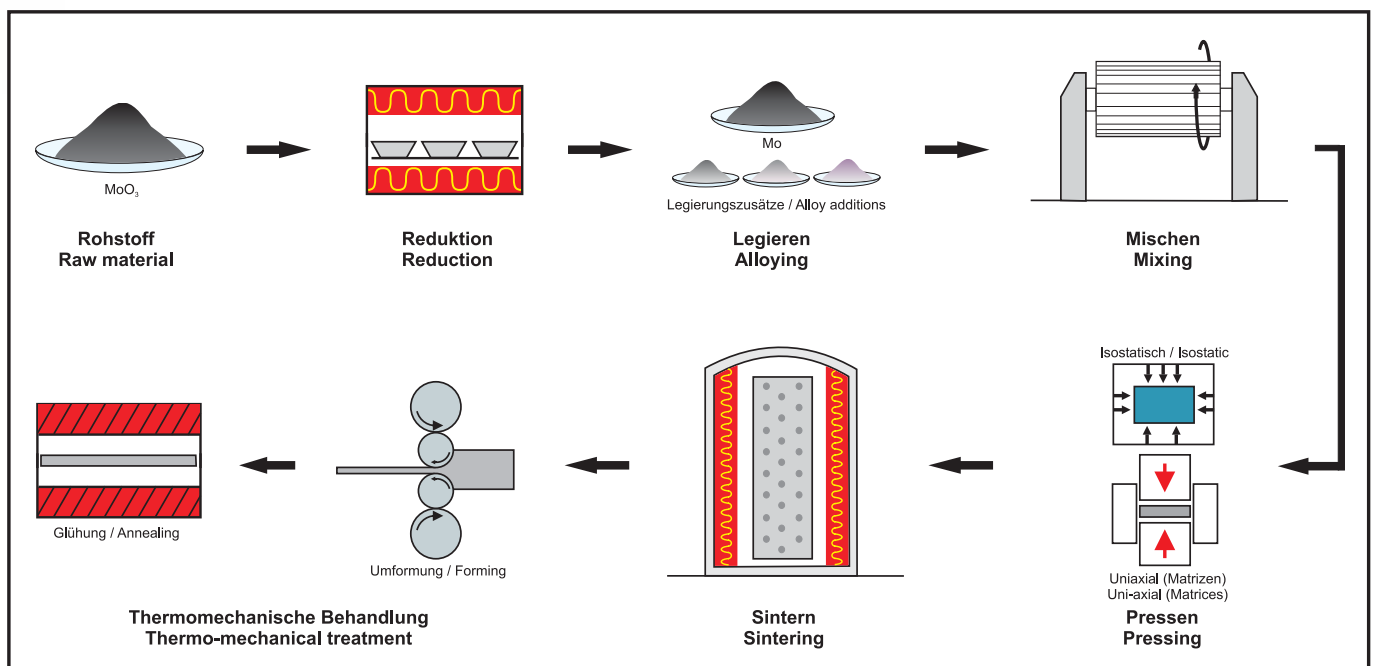
Die Presslinge werden anschließend meist in H_2 gefluteten Öfen bei Temperaturen zwischen 1800 - 2200 °C (2073 - 2473 K) gesintert. Während des Sintervorganges erhöhen sich Festigkeit und Dichte der Presslinge. Sinterlinge besitzen alle notwendigen Eigenschaften, um sie zu Halbzeug weiterverarbeiten zu können.

After screening and homogenisation, molybdenum powder is pressed into rods and plates of various geometries and dimensions. This takes place using either hydraulic presses with steel dies, or by isostatic pressing, in which a rubber bag is filled with powder for consolidating into a compact by water pressure acting on all sides.

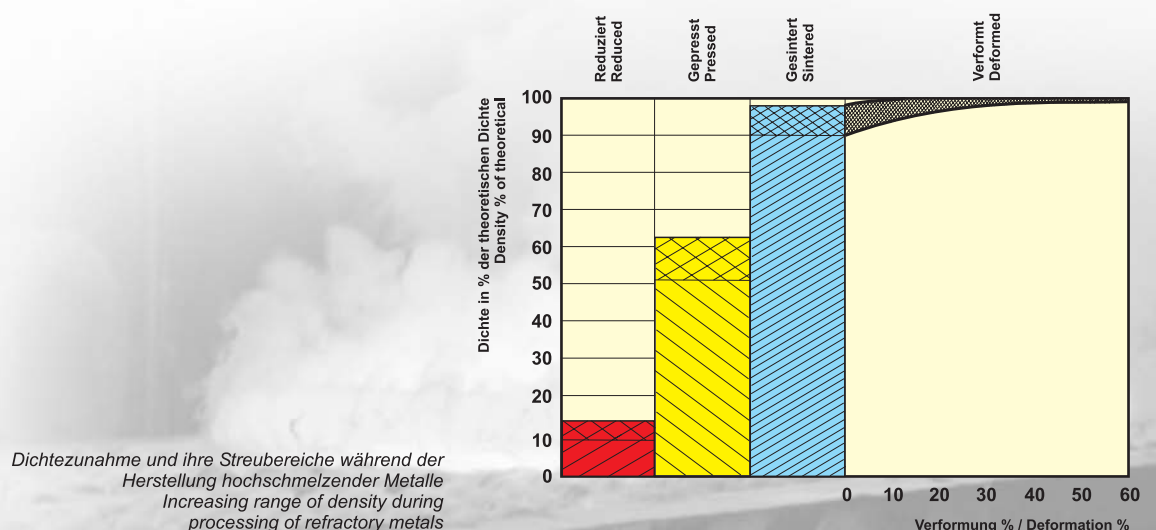
Sintering then takes place, usually in hydrogen furnaces at temperatures in the range 1800 - 2200 °C (2073 - 2473 K). The mechanical strength and density of the pressed compact increases during the sintering process to reach the properties necessary for further processing to semi-finished products.

Durch unterschiedliche Umformverfahren, wie beispielsweise Strangpressen, Schmieden oder Walzen, werden die Sinterblöcke bei Temperaturen zwischen 1200 - 1500 °C (1473 - 1773 K) massiv umgeformt. Mit zunehmendem Umformgrad kann die Verarbeitungstemperatur gesenkt werden. Auf diese Weise werden Schmiedestücke, Rundstäbe, Grobbleche, Feinbleche und Bänder erzeugt. Drähte werden durch Ziehen von Rundstäben hergestellt.

The sintered billets are then hot worked at temperatures in the range 1200 - 1500 °C (1473 - 1773 K) using processes such as extrusion, forging or rolling. As the degree of deformation increases the working temperature can be reduced. In this way forged parts, round bars, sheets, foils and ribbons are produced. Wires are manufactured from round bars by drawing.



Schematischer Ablauf der Herstellung von Halbzeugen
Schematic flow of the production of semi-finished products



Produktionsprogramm und garantierte Analyse

Product Range and Guaranteed Chemical Composition

Neben Molybdän unterschiedlicher Reinheit werden nachstehend angeführten Legierungen gefertigt.

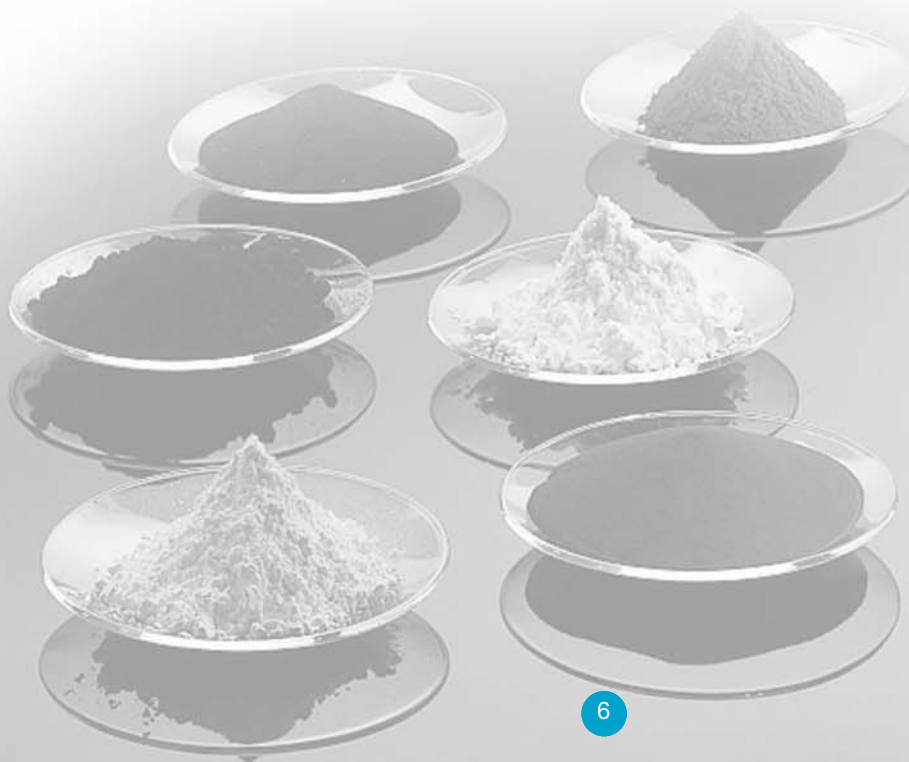
In addition to molybdenum of different purity levels, the alloys listed below are in production.

Werkstoffbezeichnung / Material designation		Chemische Zusammensetzung (Angaben in Gew.-%) Chemical composition (information given in weight%)
Mo (rein / pure)		≥ 99.97 % Mo *)
Mo-UHP (hochrein / ultra high purity)		≥ 99.9995 % Mo
TZM		Mo 0.5 % Ti 0.08 % Zr 0.01 - 0.04 % C
MHC		Mo 1.2 % Hf 0.1 % C
Mo-Lanthanoxid (ML) Lanthanated Mo (ML)	ML	Mo 0.3 % La ₂ O ₃
	MLR	Mo 0.7 % La ₂ O ₃ (R=Recrystallized)
	MLS	Mo 0.7 % La ₂ O ₃ (S=Stress relieved)
	MoILQ	Mo 0.03 % La ₂ O ₃ (ILQ=Incandescent Lamp Quality)
Mo-Yttriumoxid (MY) Yttriated Mo (MY)		Mo 0.47 % Y ₂ O ₃ 0.08 % CeO ₂
MoRe	Mo5Re	Mo 5.0 % Re
	Mo41Re	Mo 41.0 % Re
MoW	MW70	Mo 30.0 % W
	MW50	Mo 50.0 % W
R750		Mo 30.0 ± 3.0 % Cu

*) metallische Reinheit ohne W / metallic purity without W

Genauere Details über die Lieferformen entnehmen Sie bitte Seite 30.

For further details on the product range please refer to page 30.



Chemische Spezifikation festen metallischen Molybdäns
Chemical specification of solid metallic molybdenum

Element Element	Garantierte Analyse max. [µg/g] Guaranteed analysis max. [µg/g]	Typische Analyse [µg/g] Typical analysis [µg/g]
Ag	10	< 5
Al	10	< 5
As	5	1
Ba	5	< 1
Ca	20	5
Cd	5	< 2
Co	10	< 2
Cr	20	3
Cu	20	5
Fe	60	30
K	10	3
Mg	10	< 5
Mn	2	< 1
Na	10	< 2
Nb	10	< 5
Ni	10	5
Pb	10	3
Ta	20	< 10
Ti	10	2
Zn	10	< 5
Zr	10	< 2
W	250	100
Mo	min. 99.97 % *)	99.99 % *)

*) metallische Reinheit ohne W / metallic purity without W

C	30	15
H	10	3
N	5	< 2
O	40	15
P	20	< 10
S	10	< 2
Si	30	5

Hinweise zur Werkstoffauswahl

Basis for Material Selection

Die richtige Werkstoffauswahl hängt vom konkreten Anwendungsfall ab. Wichtige Kriterien können dabei sein:

- Physikalische Eigenschaften (z.B. Schmelzpunkt, Dampfdruck, Dichte, elektrische Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnung, Wärmekapazität)
- Mechanische Eigenschaften (z.B. Festigkeiten, Bruchverhalten, Kriechverhalten, Duktilität)
- Chemische Eigenschaften (Korrosionsbeständigkeiten, Ätzverhalten)
- Bearbeitbarkeit (spanabhebende Bearbeitung, Verformungsverhalten, Schweißbarkeit)
- Rekristallisationsverhalten (Rekristallisationstemperatur, Versprödungsneigung, Alterungseffekte)

Durch geeignete Legierungszusammensetzung und Herstellungsprozesse lassen sich die Eigenschaften der Molybdänwerkstoffe in einem weiten Bereich variieren. PLANSEE hat daher verschiedene Molybdänlegierungen mit unterschiedlichen Eigenschaftsprofilen entwickelt. Die am häufigsten verwendeten Werkstoffe sind:

Molybdän (Mo)

Molybdän zeigt folgende Eigenschaften:

- Hoher Schmelzpunkt (2620 °C)
- Niedriger Dampfdruck
- Hohe Warmfestigkeit
- Geringe thermische Dehnung
- Hohe Wärmeleitfähigkeit
- Geringe Wärmekapazität
- Hohes Elastizitätsmodul
- Hohe Korrosionsbeständigkeit gegen Metall- und Glasschmelzen
- Rekristallisation zwischen 800 und 1200 °C

Correct material selection requires a knowledge of the application. Important criteria can be:

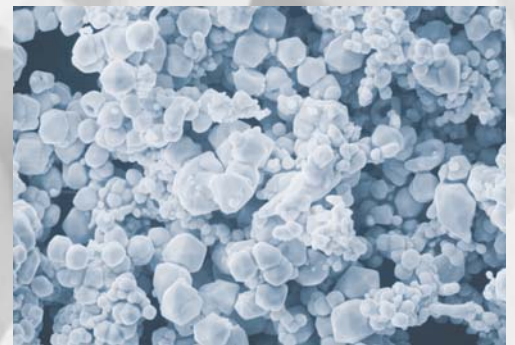
- Physical properties (e.g. melting point, vapour pressure, density, electrical conductivity, thermal expansion coefficient, heat capacity)
- Mechanical properties (e.g. strength, fracture toughness, creep behaviour, ductility)
- Chemical properties (corrosion resistance, etching behaviour)
- Ease of working (machinability, formability, weldability)
- Recrystallization behaviour (recrystallization temperature, tendency to embrittlement, aging effects)

A wide range of properties can be obtained from molybdenum using suitable alloy compositions and manufacturing processes. PLANSEE has developed several different molybdenum alloys with various property profiles. The most frequently used materials are:

Molybdenum (Mo)

Molybdenum exhibits the following properties:

- High melting point (2620 °C)
- Low vapour pressure
- High strength at elevated temperatures
- Low thermal expansion
- High thermal conductivity
- Low heat capacity
- High elastic modulus
- High corrosion resistance to molten glass and metals
- Recrystallization temperature between 800 and 1200 °C



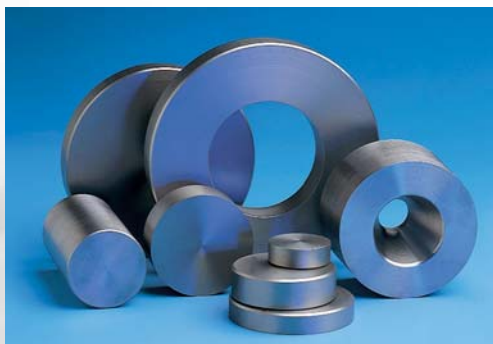
Mo-Metallpulver
Mo metal powder

Die maximale Einsatztemperatur liegt bei etwa 1900 °C. Bei höheren Anwendungstemperaturen muss auf Wolfram ausgewichen werden.

Reines Molybdän wird aufgrund seiner vorteilhaften Eigenschaften in vielen Industrien angewendet: Bänder und Drähte für die Lichttechnik, Halbleiterbasisplatten für die Leistungselektronik, Elektroden zum Schmelzen von Glas, Hochtemperaturofenbauteile, Spritzdraht für die Automobilindustrie, Sputtertargets und Verdampferquellen für die Beschichtungstechnik sind nur einige Beispiele.

TZM (Titan-Zirkon-Molybdän)

Die im TZM vorhandenen geringen Mengen kleiner, feinst verteilter Karbide und Oxide führen zur Festigkeitssteigerung, Anhebung der Rekristallisationstemperatur und erhöhten Kriechfestigkeit im Vergleich zu reinem Molybdän. Wichtige Anwendungsgebiete sind bei hohen Temperaturen mechanisch hoch beanspruchte Teile für HIP- und Hochtemperaturofenanlagen, Werkzeuge (Gesenke für isothermes Schmieden, Heißpressen, Druckgusswerkzeuge, Heißkanaldüsen) und Drehanoden für Röntgenröhren. Die empfohlenen Einsatztemperaturen liegen bei 1000 - 1400 °C.



Strangpressmatrizen
Extrusion dies

ML/MLR/MLS

In diesen Werkstoffen führen Lanthanoxidpartikel (0,3 bzw. 0,7 Gew.-%) zur Ausbildung einer Stapelfaserstruktur. Diese bis zu Temperaturen über 1500 °C stabile Gefügestruktur bewirkt nach Hochtemperatureinsätzen eine bessere Raumtemperaturduktilität und eine ausgezeichnete Kriechfestigkeit. Wichtige Anwendungsgebiete sind Ofenbauteile, Heizseile und -drähte, Sinter- und Glühschiffchen, Halte- und Durchführungsdrähte sowie Stifte in Lampen und Verdampferwendeln.

The maximum operating temperature of molybdenum is around 1900 °C. At higher temperatures tungsten must be used in its place.

Pure molybdenum is used in many industries because of its advantageous properties. Some examples are ribbons and wires for lighting technology, semiconductor base plates for power electronics, electrodes for glass melting, parts for high-temperature furnace construction, spray wire for the automotive industry and sputter targets and evaporation sources for coating technology.

TZM (Titanium-Zirconium-Molybdenum)

In comparison to pure molybdenum TZM has higher strength, a higher recrystallization temperature and improved creep strength. This is brought about by the addition of small quantities of finely dispersed carbides and oxides. Important areas of application at high temperatures are highly-stressed parts for HIP- and other high-temperature furnaces, tools (dies for isothermal forging, hot pressing and diecasting, hot-runner nozzles) and rotating anodes for X-ray tubes. Recommended application temperatures are between 1000 - 1400 °C.



Röntgendrehanode mit integriertem Stiel
X-ray rotating anode with integrated shaft

MHC

MHC ist eine teilchenverstärkte Mo-Basislegierung, die 1,2 Gew.-% Hf und 0,1 Gew.-% °C enthält. Durch die Einlagerung feinst disperser Teilchen werden höchste Warmfestigkeiten und eine Erhöhung der Rekristallisationstemperatur erzielt. Im Vergleich zu TZM erlaubt die höhere thermische Stabilität der Hafniumkarbide um 150 °C höhere Einsatztemperaturen bis 1550 °C. Bevorzugte Einsatzgebiete sind in der Metallformgebung zu finden.

MHC

MHC is a particle strengthened Mo based alloy with 1.2 weight% Hf and 0.1 weight% °C. The addition of finely dispersed particles conveys the highest level of hot strength and an increase in the recrystallization temperature. In comparison to TZM the greater thermal stability of hafnium carbide increases the application temperature by 150 °C to 1550 °C. Suitable areas of application are found in metal forming.

ML/MLR/MLS

The lanthanum oxide particles (0.3 or 0.7 weight%) in these materials result in the formation of a layered, fibrous structure. This structure, which is stable up to temperatures in excess of 1500 °C, imparts excellent creep properties and leads to higher ambient-temperature ductility after use at elevated temperatures. Important areas of application are furnace parts, wire and stranded wire heating elements, sintering and annealing boats, support wires, lead wires and pins for lamps as well as evaporation coils.



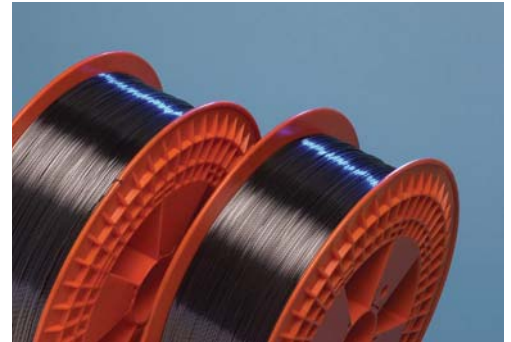
ML-Draht
ML wire

MoILQ

Bei MoILQ handelt es sich um einen mikrodotierten Werkstoff mit 0,03 Gew.-% La_2O_3 , der speziell für den Einsatz in der Lichtindustrie entwickelt wurde. Durch den niedrigeren Dotierungsgehalt zeigt dieser eine höhere Rekristallisationstemperatur als reines Mo bei einer besseren Umformbarkeit im Vergleich zu ML. MoILQ wird als Kerndraht sowie als Stützdraht bei der Herstellung des Filaments bei der Lampenproduktion eingesetzt.

MoILQ

MoILQ is a micro-doped material with 0.03 weight% La_2O_3 , which was developed specifically for applications in the lighting industry. Because of the lower doping content it has a higher recrystallization temperature than pure Mo, but can be worked more easily than ML. MoILQ is used both as mandrel wire in filament manufacturing as well as filament-support wire within the lamp.



MoILQ-Vorziehdraht
MoILQ wire



MY-ESS-Band zur Stromdurchführung
durch das Quarzglas
MY-ESS ribbon for current lead-in through
the quartz glass

MY

MY ist eine teilchengehärtete Mo-Legierung, die etwa 0,47 Gew.-% Yttriumoxid und 0,08 Gew.-% Ceroxid enthält. Dieser Werkstoff wurde für den Einsatz in der Lampenindustrie entwickelt und besitzt neben einer guten Adhäsion zu Quarzglas gute Schweißseigenschaften sowie eine verbesserte Oxidationsbeständigkeit bei Temperaturen < 400 °C im Vergleich zu Molybdän. Wichtige Anwendungsgebiete für MY sind Lampenkomponenten wie das stromzuführende ESS-Band sowie Verdampferquellen für thermische Aufdampfprozesse.

MY

MY is a particle strengthened Mo alloy, with approximately 0.47 weight% yttrium oxide and 0.08 weight% cerium oxide. This material was developed for use in the lamp industry and in addition to good adhesion to quartz glass exhibits good welding properties and better oxidation resistance than pure molybdenum at temperatures < 400 °C. Lamp components such as ESS ribbons for the current lead-in and evaporation sources for thermal coating processes are important areas of application for MY.

MoW

Durch Zulegieren von Wolfram wird neben der Hochtemperaturfestigkeit und der Rekristallisationstemperatur vor allem die Korrosionsbeständigkeit von Molybdän erhöht. Dieser Werkstoff wird mit unterschiedlicher Zusammensetzung (z.B. MW70 mit 70 Gew.-% Mo und 30 Gew.-% W; MW50 mit 50 Gew.-% Mo und 50 Gew.-% W) vorzugsweise in der Zinkindustrie und für Rührwerkzeuge bei der Glasherstellung eingesetzt.

MoW

By alloying with tungsten, the high-temperature strength, the recrystallization temperature and above all the corrosion resistance of molybdenum is increased. With different compositions (e.g. MW70 with 70 weight% Mo and 30 weight% W and MW50 with 50 weight% Mo and 50 weight% W) this material is used for handling molten zinc and for stirrers in glass manufacturing.



Schmelztiegel in nahtloser Ausführung inkl.
Dorn und Dornstange aus Mo
Seamless melting crucible and mandrels from Mo

MoRe

Durch das Zulegieren von Rhenium wird eine Duktilisierung des Molybdäns bis zu Temperaturen deutlich unter Raumtemperatur erreicht. Eingesetzt wird MoRe als Thermoelementdraht in den Standardzusammensetzungen Mo5Re und Mo41Re, in der Luft- und Raumfahrt, bei Schweißkonstruktionen sowie bei der Fertigung von Kathodenstrahlröhren.

MoRe

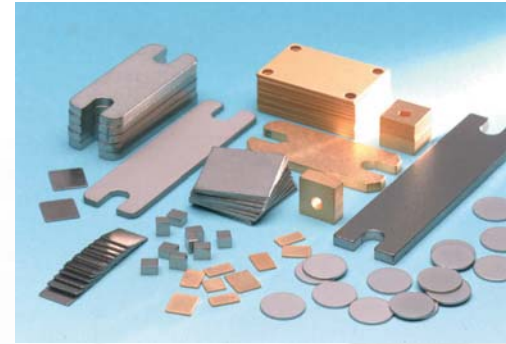
After alloying with rhenium, molybdenum becomes ductile at temperatures significantly below ambient. MoRe is used as a thermocouple wire in standard compositions Mo5Re and Mo41Re. It also has applications in aerospace, in welded constructions as well as in the production of cathode ray tubes.

MoCu

MoCu ist ein Verbundwerkstoff mit 30 Gew.-% Kupfer. Dadurch entsteht ein Werkstoff mit hoher Wärmeleitfähigkeit und geringer thermischer Dehnung, der sich sehr gut für die Herstellung von passiven Kühlelementen (Wärmesenken) in elektronischen Bauteilen eignet.

MoCu

MoCu is a composite material with 30 weight% copper. This results in a material with high thermal conductivity and low thermal expansion, ideally suited for manufacturing heat sinks in electronic components.



Wärmesenken aus MoCu
Heat sinks made of MoCu

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Eigenschaften verschiedener Molybdän-Legierungen im Vergleich zu reinem Molybdän.

The following table gives an overview of the properties of various molybdenum alloys compared with pure molybdenum.

Eigenschaft Property	Mo	TZM	MHC	ML/MLR MLS	MoILQ	MY	MoW	MoRe	MoCu
Legierungsbestandteile (in Gew.-%) Alloy components (in weight%)	99.97	0.5 Ti; 0.08 Zr; 0.01 - 0.04 C	1.2 Hf; 0.1 C	0.3 La ₂ O ₃ 0.7 La ₂ O ₃	0.03 La ₂ O ₃	0.47 Y ₂ O ₃ ; 0.08 Ce ₂ O ₃	30 - 50 W	5 Re (Mo5Re); 41 Re (Mo41Re)	30 - 50 Cu
Wärmeleitfähigkeit Thermal conductivity	→	↘	↘	→	→	→	↘	↘	↑
Raumtemperatur-Festigkeit Room temperature strength	→	↗	↗	→	→	→	↗	↗	↘
Hochtemperatur-Festigkeit Kriechfestigkeit High temperature strength Creep resistance	→	↑ < 1400 °C ↗ > 1400 °C	↑ < 1500 °C ↗ > 1500 °C	↗ < 1400 °C ↑ > 1400 °C	↗	↗	↗	↗	-
Rekristallisations- temperatur Recrystallization temperature	→	↗	↑	↗	↗	↗	↗	↗	-
Duktilität nach HT-Einsatz Ductility after HT use	→	↗	↗	↑	↗	↗	→	↑	-
Schweißbarkeit Weldability	→	↗	↗	↗	↗	↗	→	↑	-

→ = vergleichbar zu reinem Mo / comparable with pure Mo, ↗ = größer als bei reinem Mo / more than with pure Mo
 ↑ = viel größer als bei reinem Mo / far more than with pure Mo, ↘ = geringer als bei reinem Mo / less than with pure Mo,
 ↓ = viel kleiner als bei reinem Mo / far less than with pure Mo, - = keine Angaben / no details

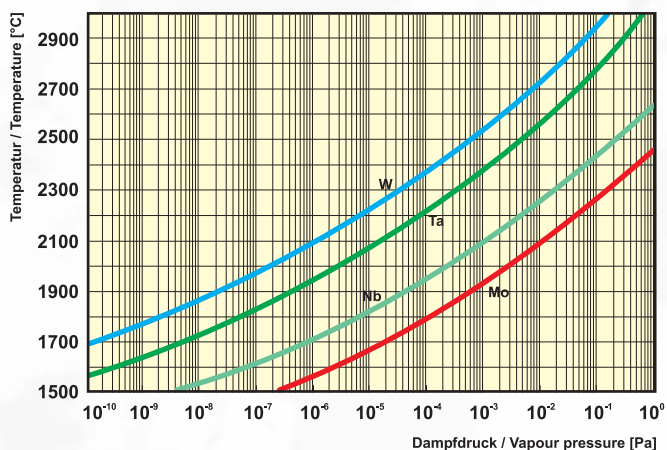
Eigenschaften von Molybdän und seinen Legierungen

Properties of Molybdenum and its Alloys

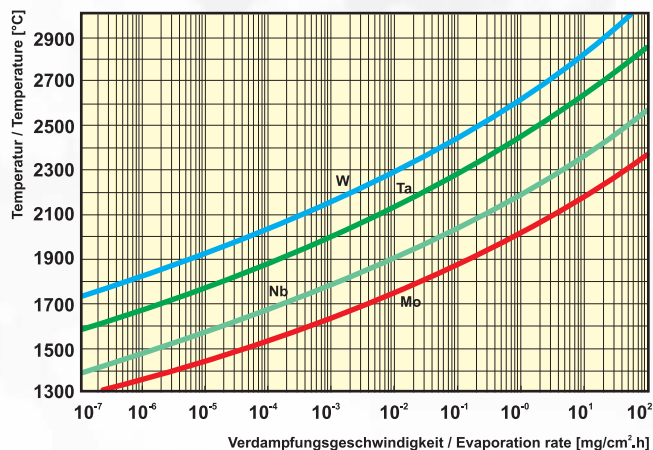
Physikalische Eigenschaften des reinen Molybdäns

Physical properties of pure molybdenum

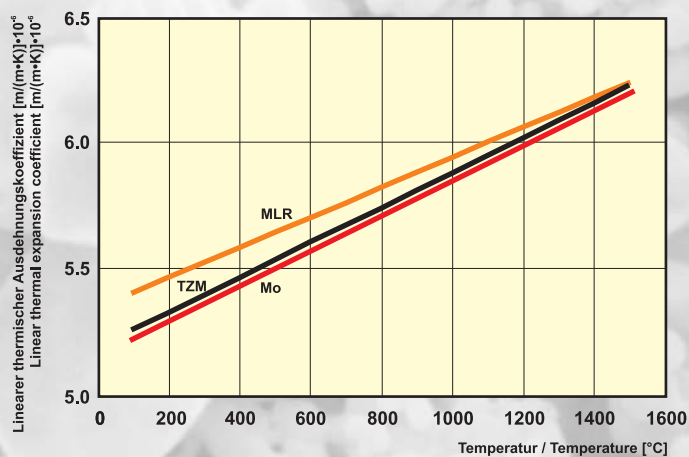
Eigenschaften / Properties		
Ordnungszahl / Atomic number		42
Atommasse / Atomic mass		95.94 [g/mol]
Schmelzpunkt / Melting point		2620 [°C] 2893 [K]
Siedepunkt / Boiling point		5560 [°C] 5833 [K]
Atomvolumen / Atomic volume		$1.53 \cdot 10^{-29}$ [m ³]
Dichte bei 20 °C / Density at 20 °C		10.28 [g/cm ³]
Kristallstruktur / Crystal structure		kubisch raumzentriert body-centred cubic
Gitterkonstante / Lattice constant		0.3147 [nm]
Linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient bei 20 °C Linear coefficient of thermal expansion at 20 °C		$5.2 \cdot 10^{-6}$ [m/(m K)]
Wärmeleitfähigkeit bei 20 °C / Thermal conductivity at 20 °C		140 [W/(m K)]
Spezifische Wärme bei 20 °C / Specific heat at 20 °C		0.254 [J/(g K)]
Elektrische Leitfähigkeit bei 20 °C / Electrical conductivity at 20 °C		$17.9 \cdot 10^6$ [1/(Ωm)]
Spezifischer elektrischer Widerstand bei 20 °C / Specific electrical resistivity at 20 °C		0.056 [(Ωmm ²)/m]
Schallgeschwindigkeit bei 20 °C Acoustic velocity at 20 °C	Longitudinalwelle / Longitudinal wave	6250 [m/s]
	Transversalwelle / Transverse wave	3350 [m/s]
Elektronenaustrittspotential / Electron work function		4.39 [eV]
Einfangquerschnitt für thermische Neutronen / Capture cross section for thermal neutrons		$2.7 \cdot 10^{-28}$ [m ²]



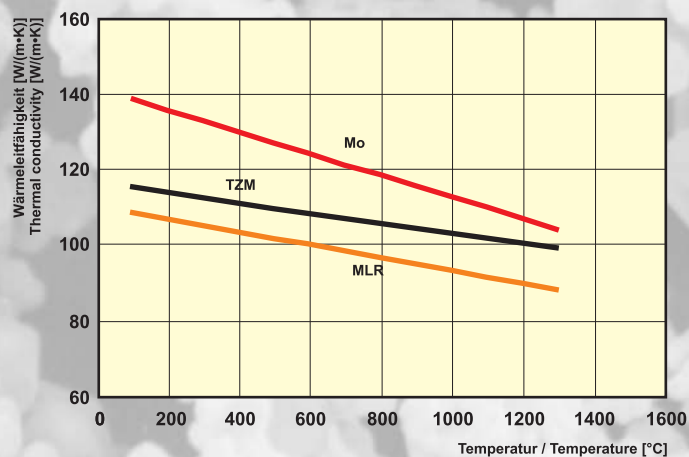
Dampfdrücke der hochschmelzenden Metalle
Vapour pressures of refractory metals



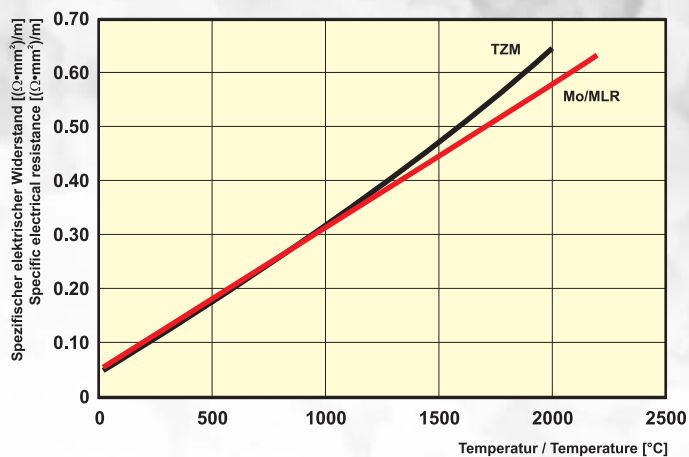
Verdampfungsgeschwindigkeiten der hochschmelzenden Metalle
Evaporation rates of refractory metals



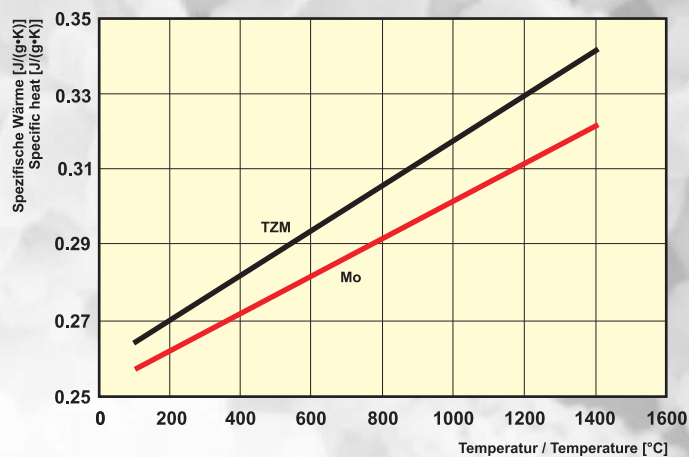
Linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient von Mo, TZM und MLR in Abhängigkeit von der Temperatur
Linear thermal expansion coefficient of Mo, TZM and MLR depending on the temperature



Wärmeleitfähigkeit von Mo, TZM und MLR in Abhängigkeit von der Temperatur
Thermal conductivity of Mo, TZM and MLR depending on the temperature



Spezifischer elektrischer Widerstand von Mo, TZM und MLR in Abhängigkeit von der Temperatur
Specific electrical resistance of Mo, TZM and MLR depending on the temperature



Spezifische Wärme von Mo und TZM in Abhängigkeit von der Temperatur
Specific heat of Mo and TZM depending on the temperature



Gobbing-Rührer mit MoW-Schaft
Gobbing stirrer with MoW shaft

Mechanische Eigenschaften von Molybdän und Molybdän-Legierungen Mechanical Properties of Molybdenum and its Alloys

Aufgrund des hohen Schmelzpunktes von 2620 °C behält Molybdän bis zu hohen Temperaturen seine Festigkeit und Kriechbeständigkeit bei. Die mechanischen Eigenschaften werden durch die Reinheit, die Art und Menge der Legierungsbestandteile und durch die Mikrostruktur beeinflusst.

Mit zunehmendem Verformungsgrad ist, wie bei allen anderen Metallen, ein Anstieg der Festigkeit zu beobachten - im Gegensatz zu den meisten anderen Metallen steigt im Fall der Molybdänwerkstoffe mit zunehmendem Verformungsgrad auch die Duktilität an. Eine weitere Möglichkeit die Duktilität des Molybdäns zu steigern bzw. die spröde-duktil-Übergangstemperatur zu tieferen Temperaturen zu verschieben, ist das Zulegieren von Rhenium.

Generell kann durch Zulegieren geringer Mengen von beispielsweise Titan, Zirkon, Hafnium, Kohlenstoff, Kalium oder Lanthan-, Yttrium- bzw. Ceroxid das Eigenschaftsprofil der Werkstoffe (Duktilität, Festigkeit, Kriechfestigkeit oder Ver- und Bearbeitbarkeit) deutlich verbessert werden. Je nach Einsatztemperatur und Produktform kommen unterschiedliche Molybdänlegierungen zum Einsatz.

Because of its high melting point in excess to 2620 °C, molybdenum retains its strength and creep resistance up to high temperatures. The mechanical properties are influenced by the purity, the type and composition of any alloying elements and by the microstructure.

As with all other metals an increase in strength is observed with increasing degree of deformation. However unlike with most other metals, the ductility of molybdenum also increases at greater levels of deformation. A further possibility of increasing ductility is to reduce the ductile-to-brittle transition temperature by alloying with rhenium.

Properties such as strength, ductility, creep resistance and machinability can be improved considerably by alloying with small amounts of, for example, titanium, zirconium, hafnium, carbon, potassium or with oxides of lanthanum, yttrium and cerium. The choice of molybdenum alloy for a given application can depend on the operating temperature and the design of the product.



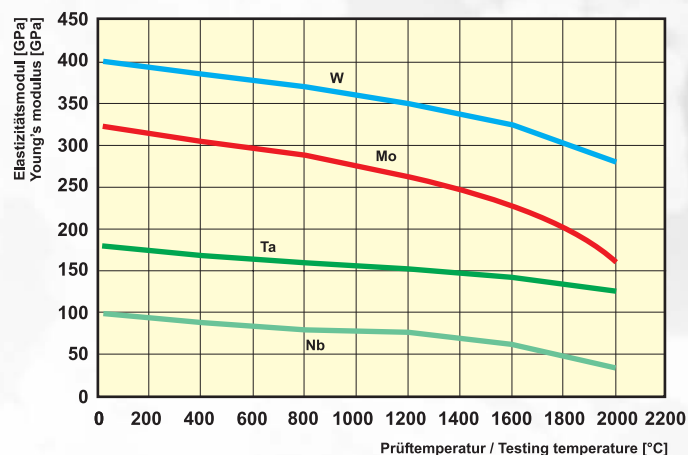
Da im Fall von Molybdänwerkstoffen die Duktilität und auch die Bruchzähigkeit mit steigendem Rekristallisationsgrad abnehmen, sind in folgender Tabelle typische Rekristallisationstemperaturen von Molybdän-Basiswerkstoffen zusammengefasst. Die teilchenverfestigten Werkstoffe, insbesondere ML, zeigen einen starken Anstieg der Rekristallisationstemperatur mit zunehmendem Umformgrad, der durch die zunehmende Teilchenfeinung bei der Umformung verursacht wird.

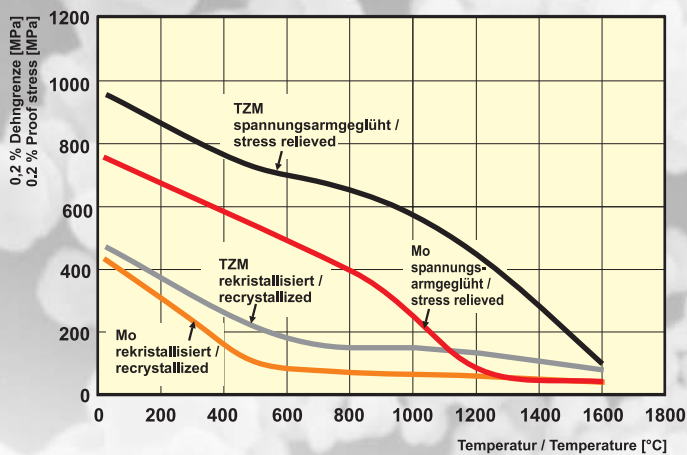
With molybdenum alloys the ductility as well as the fracture toughness decrease with increasing levels of recrystallization. Typical recrystallization temperatures of molybdenum-based alloys are listed in the previous table. The particle strengthened materials, in particular ML, show a strong increase in recrystallization temperature with increasing degree of deformation, caused by progressive particle refining.

Werkstoff Material	Temperatur [°C] für 100 % Rekristallisation (Glühdauer 1 Stunde) Temperature [°C] for 100 % recrystallization (annealing duration 1 hour)	
	$\varphi = 90 \%$	$\varphi = 99,99 \%$
Mo (rein / pure)	1100	-
TZM	1400	-
MHC	1550	-
ML	1300	2000
MoILQ	1200	1600
Mo-Yttriumoxid (MY) Mo-yttrium-oxide (MY)	1100	1350
Mo41Re	1300	-
MW70	1200	-

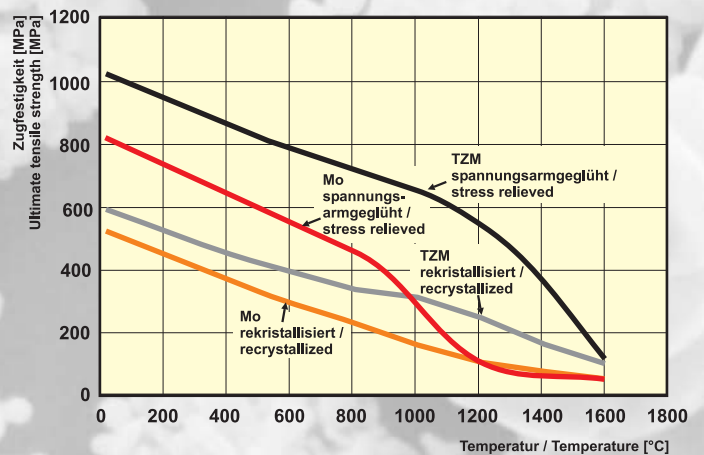
φ = Umformgrad / degree of deformation

Elastizitätsmodul von Molybdän in Abhängigkeit der Temperatur im Vergleich zu den hochschmelzenden Metallen Wolfram, Tantal und Niob. Die Molybdänlegierungen TZM, MHC, ML und MY haben ein mit reinem Molybdän vergleichbares Elastizitätsmodul.
Young's modulus of molybdenum depending on the temperature compared with the refractory metals such as tungsten, tantalum and niobium. The molybdenum alloys TZM, MHC, ML and MY have a Young's modulus comparable with pure molybdenum.

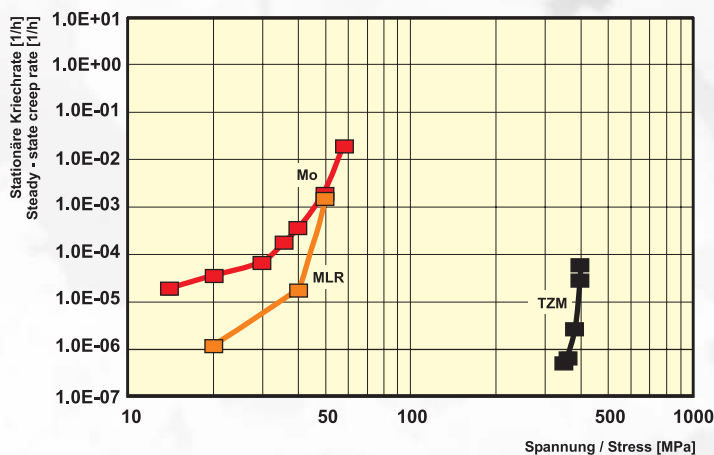




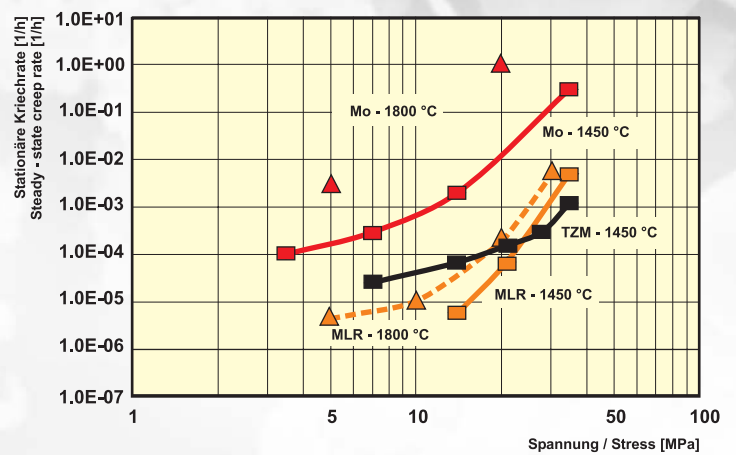
Typische 0,2 %-Dehngrenzwerte für Mo- und TBM-Blechmaterial im spannungsarmgeglühten bzw. rekristallisierten Zustand (Blechstärke: 2 mm)
Typical 0.2 % proof stress for Mo and TBM sheet material in the stress relieved and recrystallized condition respectively (thickness of the sheet: 2 mm)



Typische Zugfestigkeit für Mo- und TBM-Blechmaterial im spannungsarmgeglühten bzw. rekristallisierten Zustand (Blechstärke: 2 mm)
Typical ultimate tensile strength for Mo and TBM sheet material in the stress relieved and recrystallized condition respectively (thickness of the sheet: 2 mm)



Vergleich der stationären Kriechraten von Mo-, TBM- und MLR-Blechmaterial bei 1100 °C
Comparison of the steady - state creep rate of Mo, TBM and MLR sheet material at 1100 °C



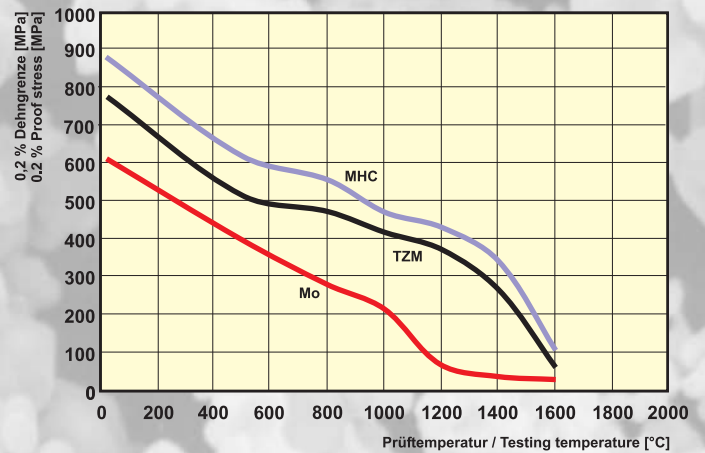
Vergleich der stationären Kriechraten von Mo-, TBM- und MLR-Blechmaterial bei 1450 und 1800 °C
Comparison of the steady - state creep rate of Mo, TBM and MLR sheet material at 1450 and 1800 °C

Beschreibung des Probenmaterials für die Kriechversuche Description of the sample material for the creep tests

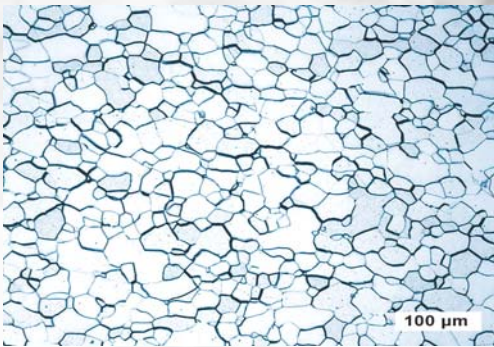
Material Material	Prüftemperatur Testing temperature [°C]	Blechstärke Thickness of sheet material [mm]	Wärmebehandlung vor der Prüfung Heat treatment before the test
Mo	1100	1.5	1200 °C / 1 h
	1450	2.0	1500 °C / 1 h
	1800	6.0	1800 °C / 1 h
TBM	1100	1.5	1200 °C / 1 h
	1450	1.5	1500 °C / 1 h
	1800	3.5	1800 °C / 1 h
MLR	1100	1.5	1700 °C / 3 h
	1450	1.0	1700 °C / 3 h
	1800	1.0	1700 °C / 3 h



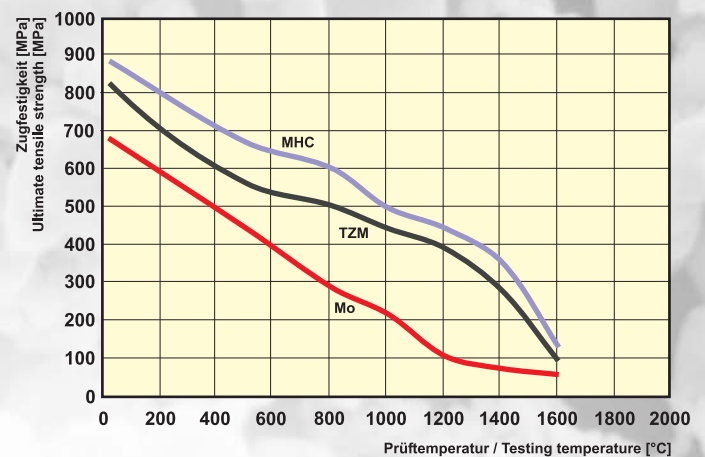
Lichtmikroskopische Aufnahme eines Mo-Blechtes
(spannungsarm gegläht)
Optical micrograph of a Mo sheet metal
(stress relieved)



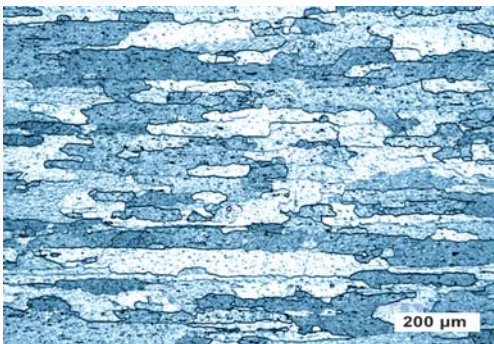
Typische 0,2 %-Dehngrenzwerte für Mo-, TzM- und MHC-Stabmaterial
(Durchmesser 25 mm; spannungsarmgeglühter Zustand)
Typical 0.2 % proof stress for Mo, TzM and MHC bar material
(diameter 25 mm; stress relieved condition)



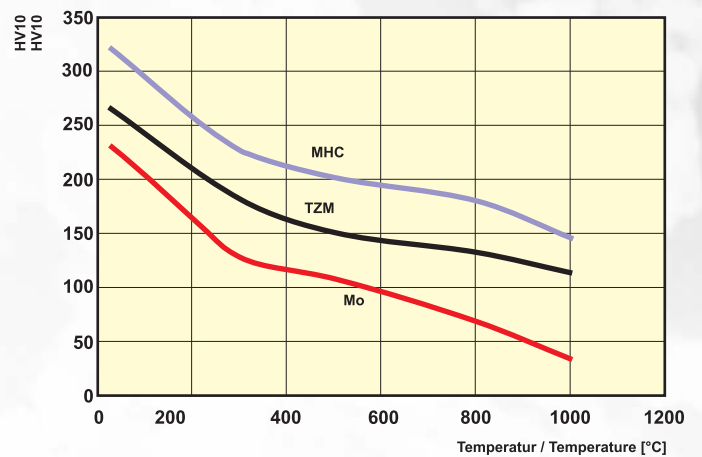
Lichtmikroskopische Aufnahme eines Mo-Blechtes
(rekristallisiert)
Optical micrograph of a Mo sheet metal
(recrystallized)



Typische Zugfestigkeitswerte für Mo-, TzM- und MHC-Stabmaterial
(Durchmesser 25 mm; spannungsarmgeglühter Zustand)
Typical ultimate tensile strength values for Mo, TzM and MHC bar material
(diameter 25 mm; stress relieved condition)



Lichtmikroskopische Aufnahme eines MLR-Blechtes
Optical micrograph of a MLR sheet metal



Härtewerte für Mo-, TzM- und MHC-Stabmaterial (Durchmesser 25 mm; spannungsarmgeglühter Zustand) in Abhängigkeit der Temperatur
Hardness values for Mo, TzM and MHC bar material (diameter 25 mm, stress relieved condition) depending on temperature

Chemisches Verhalten von Molybdän und seinen Legierungen

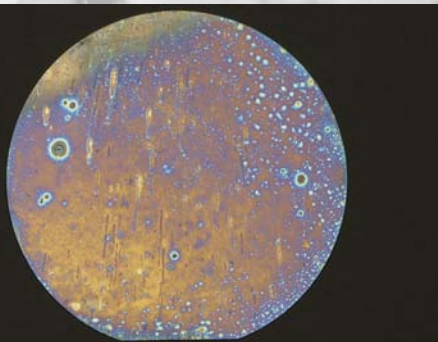
Chemical Behaviour of Molybdenum and its Alloys

Molybdän und seine Legierungen zeigen ein sehr ähnliches Korrosionsverhalten, sodass im folgenden groben Überblick auf eine getrennte Darstellung verzichtet werden kann.

Bei Luftfeuchtigkeit unter 60 % Molybdän korrosionsbeständig, in feuchterer Luft bilden sich Anlauffarben aus. Dabei sind raue Oberflächen anfälliger als glatte. Im Falle sonstiger wässriger Medien ist bei Temperaturen über 100 °C eine Unbeständigkeit gegenüber alkalischen und oxidierenden Stoffen zu erwähnen. Auch gegenüber oxidierenden Gasen und Elementen in anderen Aggregatzuständen treten bei Temperaturen über 250 °C Reaktionen auf. Glasschmelzen, Wasserstoff, Stickstoff, Edelmets, Metallschmelzen und Oxidkeramiken greifen auch bei sehr hohen Temperaturen Molybdän wenig an, wenn sie nicht zusätzlich Oxidationsmittel enthalten.

To a great extent molybdenum and its alloys exhibit very similar corrosion behaviour, so they will not be treated separately in the following general overview.

Under humidity less than 60 %, molybdenum is resistant to atmospheric corrosion. Above 60 % slight oxidation discolouring may develop. Rough surfaces are more susceptible to this than smooth ones. Regarding other aqueous media, an instability towards alkaline and oxidising substances at temperatures above 100 °C is to be mentioned. Reactions also occur above 250 °C with oxidising gases and elements in other states. Molten glass, hydrogen, nitrogen, inert gases, molten metals and ceramic oxides hardly attack molybdenum at all, even at very high temperatures, provided they do not also contain oxidising agents.



Molybdänoberfläche nach 168 h Korrosion an Luft mit 98 % relativer Feuchtigkeit bei 40 °C
Molybdenum surface after 168 h corrosion in air with 98 % relative humidity at 40°C

Das chemische Verhalten von Molybdän ist in der nachstehenden Tabelle wiedergegeben. Die Korrosionsangaben beziehen sich, wenn nicht gesondert vermerkt, auf reine, nicht mit Luft oder Stickstoff begaste Lösungen. Die Anwesenheit fremder, chemisch aktiver Substanzen in kleinsten Konzentrationen können das Korrosionsverhalten stark beeinflussen. Bei komplexen Korrosionsbedingungen empfehlen wir Korrosionsversuche mit möglichst betriebsnahen Parametern durchzuführen.

The chemical behaviour of molybdenum is shown in the following table. If not noted otherwise the corrosion data refer to pure solutions not agitated with air or nitrogen. Gas contents and the presence of chemically active substances in the smallest concentrations can strongly influence the corrosion behaviour. With complex corrosive environments we recommend carrying out corrosion testing under simulated service conditions.

Tabelle 1: Korrosionsverhalten von Molybdän gegenüber Wasser, wässrigen Lösungen, Nichtmetallen und Glasschmelzen
Table 1: Corrosion behaviour of molybdenum towards water, aqueous solutions, non-metals and molten glass

Wasser / Water:	
Kalt- und Warmwasser < 80 °C (353 K) / Cold and warm water < 80 °C (353 K)	+
Heißwasser > 80 °C (353 K) / Hot water > 80 °C (353 K)	-
Heißwasser mit Stickstoffbegasung oder Inhibitor Hot water with nitrogen gassing or inhibitor	+
Anorganische Säuren / Inorganic acids:	
Flußsäure < 100 °C (373 K) / Hydrofluoric acid < 100 °C (373 K)	+
Königswasser kalt und warm / Aqua regia cold and warm	-
Orthophosphorsäure bis 270 °C (543 K) / Ortho phosphoric acid up to 270 °C (543 K)	+
Salpetersäure kalt und warm / Nitric acid cold and warm	-
Salzsäure kalt und warm / Hydrochloric acid cold and warm	+
Schwefelsäure < 70 % bis 190 °C (463 K) / Sulphuric acid < 70 % up to 190 °C (463 K)	+
Chromschwefelsäure / Chromosulphuric acid	-
Laugen / Alkaline Solutions:	
Ammoniaklösung / Ammonia solution	+
Kalilauge (KOH < 50 %) bis 100 °C (373 K) / Potassium hydroxide (KOH < 50 %) up to 100 °C (373 K)	+
Kalilauge (KOH > 50 %) / Potassium hydroxide (KOH > 50 %)	-
Natronlauge (NaOH < 50 %) bis 100 °C (373 K) / Sodium hydroxide (NaOH < 50 %) up to 100 °C (373 K)	+
Natronlauge (NaOH > 50 %) / Sodium hydroxide (NaOH > 50 %)	-
Natriumhypochloritlösung kalt und warm / Sodium hypochlorite solution cold and warm	-
Organische Säuren / Organic acids:	
Ameisensäure Raumtemperatur / Formic acid room temperature	+
Essigsäure bis 100 °C (373 K) / Acetic acid up to 100 °C (373 K)	+
Milchsäure konz. Raumtemperatur / Lactic acid conc. room temperature	+
Oxalsäure Raumtemperatur / Oxalic acid room temperature	+
Weinsäure Raumtemperatur / Tartaric acid room temperature (18.4 %)	+
Nichtmetalle / Non-metals:	
Bor bis 1600 °C (1873 K) / Boron up to 1600 °C (1873 K)	+
Kohlenstoff bis 1100 °C (1373 K) / Carbon up to 1100 °C (1373 K)	+
Phosphor bis 800 °C (1073 K) / Phosphorous up to 800 °C (1073 K)	+
Schwefel bis 440 °C (713 K) / Sulphur up to 440 °C (713 K)	+
Silizium bis 600 °C (873 K) / Silicon up to 600 °C (873 K)	+
Fluor bei Raumtemperatur / Fluorine at room temperature	-
Chlor bis 250 °C (523 K) / Chlorine up to 250 °C (523 K)	+
Brom bis 450 °C (723 K) / Bromine up to 450 °C (723 K)	+
Jod bis 450 °C (723 K) / Iodine at up to 450 °C (723 K)	+
Glasschmelzen* / Molten Glass*:	
bis 1700 °C (1973 K) / up to 1700 °C (1973 K)	+

* ausgenommen Gläser mit Oxidationsmitteln (z.B. Bleiglas) / except glasses with oxidation agents (e.g. lead glass)

+ = beständig / resistant, - = unbeständig / non-resistant

Das Verhalten von Molybdän gegenüber verschiedenen Gasen ist aus Tabelle 2 ersichtlich. Speziell bei sauerstoffhaltigen Atmosphären muß beachtet werden, dass über 400 °C eine starke Oxidation einsetzt. Ab 600 °C ist dann in jedem Fall mit Sublimation von Molybdäntrioxid zu rechnen. Durch Beschichtungen kann die Oxidation von Molybdän verhindert werden.

The behaviour of molybdenum towards various gases can be seen in Table 2. Notable is that in the presence of oxygen-containing atmospheres, severe oxidation takes place above 400 °C. Sublimation will occur from 600 °C onwards. However it is possible to prevent the oxidation of molybdenum by the use of coatings.

Tabelle 2: Verhalten von Molybdän gegenüber Gasen

Table 2: Behaviour of molybdenum towards gases

Ammoniakgas / Ammonia gas bis 1000 °C (1273 K) keine Reaktion / up to 1000 °C (1273 K) no reaction über 1000 °C (1273 K) mögliche Oberflächennitrierung / more than 1000 °C (1273 K) possible surface nitriding
Edelgase / Inert gases bis zu höchsten Temperaturen keine Reaktion / up to the highest temperatures no reaction
Kohlendioxid / Carbon dioxide über 1200 °C (1473 K) Oxidation / more than 1200 °C (1473 K) oxidation
Kohlenmonoxid / Carbon monoxide über 1400 °C (1673 K) Oxidation / more than 1400 °C (1673 K) oxidation
Kohlenwasserstoffe / Hydrocarbons über 1100 °C (1373 K) / more than 1100 °C (1373 K) Karbonisierung / carburisation
Luft und Sauerstoff / Air and oxygen über 400 °C (673 K) Oxidation / more than 400 °C (673 K) oxidation über 600 °C (873 K) Sublimation / more than 600 °C (873 K) sublimation
Stickstoff / Nitrogen bis zu höchsten Temperaturen keine Reaktion (gilt nur für reines Mo) up to the highest temperatures no reaction (only applies for pure Mo)
Wasserstoff / Hydrogen bis zu höchsten Temperaturen keine Reaktion (Taupunkt beachten) up to the highest temperatures no reaction (observe dew point)
Wasserdampf / Water vapour über 700 °C (973 K) Oxidation / more than 700 °C (973 K) oxidation

Molybdän besitzt eine gute Beständigkeit gegenüber keramischen Ofenbauwerkstoffen (Tabelle 3) und vielen Metallschmelzen (Tabelle 4). Im Fall von Zink kann die Korrosionsbeständigkeit des Molybdäns durch Zulegieren von bis zu 30 Gew.-% Wolfram deutlich verbessert werden.

Molybdenum has good resistance towards the ceramic materials used in furnace construction (Table 3) and towards many molten metals (Table 4). The corrosion resistance of molybdenum towards molten zinc can be improved considerably by alloying with up to 30 weight% tungsten.

Tabelle 3: Verhalten von Molybdän gegenüber Ofenbauwerkstoffen
Table 3: Behaviour of molybdenum towards furnace construction materials

Aluminiumoxid / Aluminium oxide bis 1900 °C (2173 K) keine Reaktion* / up to 1900 °C (2173 K) no reaction*
Berylliumoxid / Beryllium oxide bis 1900 °C (2173 K) keine Reaktion* / up to 1900 °C (2173 K) no reaction*
Graphit / Graphite über 1100 °C (1373 K) Karburierung / more than 1100 °C (1373 K) carburisation
Magnesitiegel / Magnesite brick bis 1600 °C (1873 K) keine Reaktion* / up to 1600 °C (1873 K) no reaction*
Magnesiumoxid / Magnesium oxide bis 1600 °C (1873 K) keine Reaktion* / up to 1600 °C (1873 K) no reaction*
Siliciumcarbid / Silicon carbide über 1300 °C (1573 K) Karburierung/Silicidbildung / up to 1300 °C (1573 K) carburisation/silicide formation
Zirkonoxid / Zirconium oxide bis 1900 °C (2173 K) keine Reaktion* / up to 1900 °C (2173 K) no reaction*

* In Vakuum; in Schutzgas sind die Temperaturen um 100 bis 200 °C niedriger / in vacuum; the temperatures are 100 to 200 °C lower in inert gas

Tabelle 4: Verhalten von Molybdän gegenüber Metallschmelzen
Table 4: Behaviour of molybdenum towards molten metals

Aluminium / Aluminium bis 700 °C (973 K) / up to 700 °C (973 K)	+	Natrium mit 0,5 % Sauerstoff Sodium with 0.5 % oxygen bis 400 °C (673 K) / up to 400 °C (673 K) über 400 °C (673 K) / more than 400 °C (673 K)	+
Beryllium / Beryllium	-		-
Blei / Lead bis 1100 °C (1373 K) / up to 1100 °C (1373 K)	+	Nickel / Nickel	-
Sauerstoffhaltiges Blei / Lead containing oxygen bis ca. 500 °C (773 K) / up to approx. 500 °C (773 K) über 500 °C (773 K) / more than 500 °C	+	Plutonium / Plutonium über 900 °C (1173 K) / more than 900 °C (1173 K)	-
Caesium / Caesium bis 870 °C (1143 K) / up to 870 °C (1143 K) über 870 °C (1143 K) / more than 870 °C (1143 K)	-	Quecksilber / Mercury bis 600 °C (873 K) / up to 600 °C (873 K) über 600 °C (873 K) / more than 600 °C (873 K)	+
Eisen / Iron	-	Rubidium / Rubidium bis 1000 °C (1273 K) / up to 1000 °C (1273 K)	+
Gallium / Gallium bis 300 °C (573 K) / up to 300 °C (573 K)	+	Scandium / Scandium	-
Gold / Gold	+	Seltene Erden / Rare earths bis 1100 °C (1373 K) / up to 1100 °C (1373 K)	+
Kalium / Potassium bis 1200 °C (1473 K) / up to 1200 °C (1473 K)	+	Silber / Silver	+
Kupfer / Copper bis 1300 °C (1573 K) / up to 1300 °C (1573 K)	+	Uran / Uranium	-
Lithium / Lithium bis 1400 °C (1673 K) / up to 1400 °C (1673 K)	+	Wismut / Bismuth bis 1400 °C (1673 K) / up to 1400 °C (1673 K)	+
Magnesium / Magnesium bis 1000 °C (1273 K) / up to 1000 °C (1273 K)	+	Zink / Zinc bis 400 °C (673 K) / up to 400 °C (673 K) über 400 °C (673 K) / more than 400 °C (673 K)	+
Natrium / Sodium bis 1030 °C (1303 K) / up to 1030 °C (1303 K)	+	Zinn / Tin bis 550 °C (823 K) / up to 550 °C (823 K) über 550 °C (823 K) / more than 550 °C (823 K)	-

+ = beständig / resistant
- = unbeständig / non-resistant

Bearbeitung von Molybdän

Machining of Molybdenum

Molybdän gilt als gut bearbeitbar. Das spezifische Eigenschaftsprofil muß jedoch bei der Bearbeitung besonders berücksichtigt werden. Die Kenntnis dieser Eigenschaften und die Beachtung der nachfolgenden Empfehlungen sind wichtige Voraussetzungen für eine erfolgreiche Bearbeitung des Molybdäns.

Übergangstemperatur

Wie alle Metalle mit kubisch-raumzentriertem Gitter weist auch Molybdän eine Temperaturschwelle auf, unterhalb welcher es infolge Sprödigkeit und Härte kaum spanlos verformbar ist. Wird Molybdän über diese Temperatur erwärmt, so verliert es seine Sprödigkeit und wird duktil. Diese zum Übergang von Sprödigkeit zu Duktilität gerade notwendige Temperatur wird „Übergangstemperatur“ genannt. Die Übergangstemperatur hängt von der chemischen Zusammensetzung und dem Verformungsgrad des Metalles ab.

Rekristallisationstemperatur

Beim Erhitzen vor Warmbearbeitung, beim Weichglühen, Entspannungsglühen wie auch beim Einsatz von Molybdän bei höheren Temperaturen ist eine weitere Temperaturschwelle zu beachten: Werden Molybdänwerkstoffe über ihre Rekristallisationstemperatur erhitzt, so erfolgt eine Gefügeumwandlung. Diese Kornneubildung ist mit einer Verminderung von Festigkeit und Härte verbunden, erhöht die Bruchneigung und kann nur durch neuerliche Umformung wie Walzen, Hämmern und Ziehen rückgängig gemacht werden. Die Rekristallisationstemperatur hängt stark vom Verformungsgrad des Molybdäns und dessen chemischer Zusammensetzung ab. Durch Zusätze in feinstdisperser Form kann die Rekristallisationstemperatur erhöht werden. Bei dotiertem Molybdän wird die Rekristallisationstemperatur deutlich erhöht. Außerdem bleibt die Duktilität auch nach der Rekristallisation erhalten.

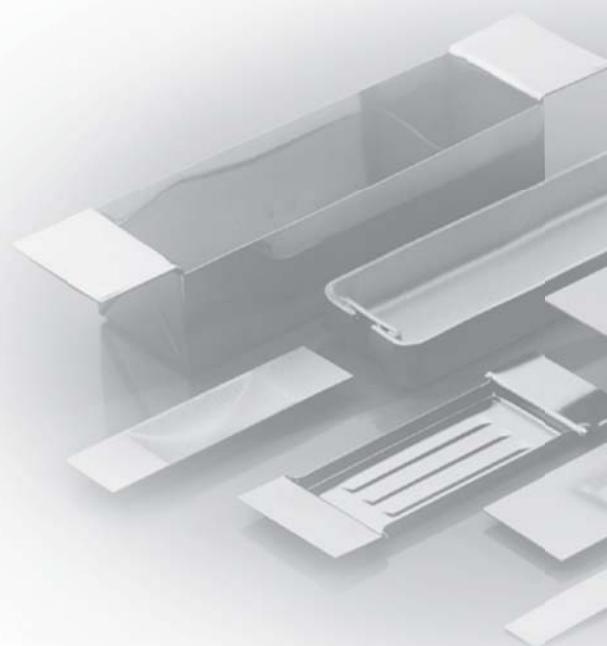
Molybdenum is considered easy to machine. However it is important to take its properties into account during all machining steps. A knowledge of these properties and observation of the following recommendations are important requirements for the successful machining of molybdenum.

Transition Temperature

In common with all metals having a body-centred cubic lattice structure, molybdenum exhibits a temperature threshold below which it is too hard and brittle for mechanical forming. Once heated above this temperature, molybdenum loses its brittleness and becomes ductile. The so-called brittle-ductile transition temperature depends on the chemical purity and the amount of prior working.

Recrystallization Temperature

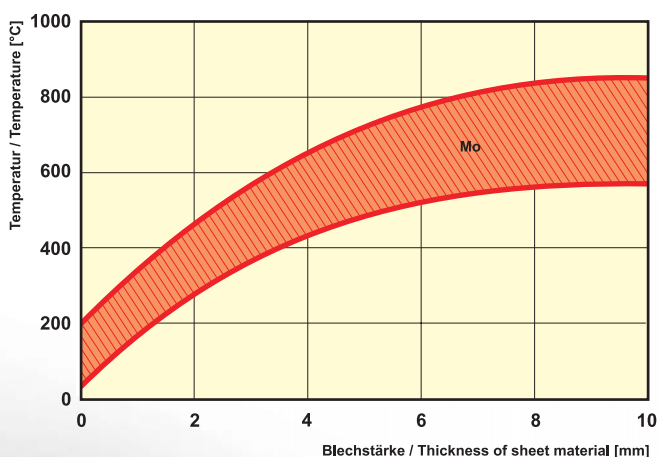
Whenever molybdenum is annealed, stress relieved or heated in readiness for hot working, as well as when it is used at high temperatures, another temperature threshold needs to be taken into account. Heating molybdenum and its alloys above their recrystallization temperatures results in a new grain structure, which is associated with a reduction in strength and hardness. The susceptibility to cracking also increases and can only be eliminated by further mechanical working processes such as rolling, swaging and drawing. The recrystallization temperature of molybdenum is strongly dependent on the degree of deformation in the material and its chemical composition. Finely distributed dispersoids are effective in increasing the recrystallization temperature, as in the case of doped molybdenum, which additionally retains its ductility after recrystallization.



Spanlose Formgebung

Die spanlose Formgebung muß oberhalb der Übergangstemperatur erfolgen. Umformvorgänge, wie das Abkanten eines Bleches oder Biegen eines Rundstabes, können durch kurze örtliche Erwärmung an der Umformstelle ermöglicht werden. Eine Erwärmung kann induktiv, sowie mit der Flamme erfolgen (Gas und Sauerstoff). Die Erwärmung sollte wenn möglich bis in den rotglühenden Bereich gehen und so kurz wie möglich sein (nur während der Umformung).

Beim Tiefziehen von Blechen ist die Textur sehr wichtig. Es gibt hierfür speziell hergestellte Bleche, die kreuzgewalzt werden und somit „Tiefziehqualität“ besitzen. Die Anwärmung für das Tiefziehen hängt von der Blechstärke und dem Umformgrad ab.



Empfohlener Temperaturbereich für die spanlose Formgebung von Molybdän
Recommended temperature range for the mechanical working of molybdenum

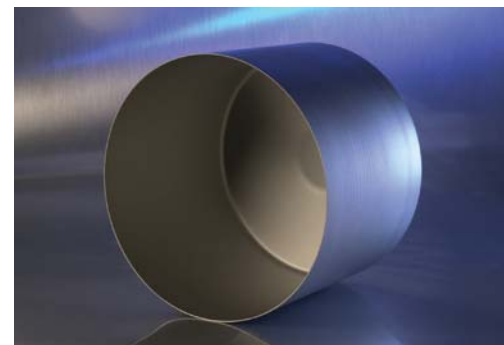
Mechanical Working

Mechanical working must be carried out above the ductile-brittle transition temperature. Forming processes such as press brake folding of sheet or bending of rod are possible after short, localised heating. Gas flame and induction heating are both suitable, ideally to reach red heat for as short a time as possible and only while deformation is taking place.

Texture is an important factor during the deep drawing of sheet. Specially produced, cross-rolled sheets (deep-drawing quality) are ideal. The pre-heating temperature before deep drawing depends on the sheet thickness and the degree of deformation required.



Sinterschiffe aus Molybdän (Ofenzubehör)
Sintering boats made of molybdenum (furnace accessories)



Nahtloser Tiegel aus Molybdän
Seamless crucible made of molybdenum

Schneiden und Stanzen

Molybdän läßt sich gut schneiden und stanzen. Stumpfe Schneiden von Scheren und Stanzoberstempeln, zu niedrige Temperatur beim Schneiden oder Stanzen können jedoch zu Spaltstellen im Molybdänblech führen. Molybdänbleche mit einer Stärke von 0,25 mm oder kleiner können ohne Anwärmen geschnitten werden. Molybdänbleche mit Stärken über 0,25 mm sollten vor dem Schneiden und Stanzen auf eine Temperatur im empfohlenen Temperaturbereich erwärmt werden.

Cutting and Stamping

Molybdenum is readily suited to cutting and stamping. However cracks can result from blunt cutting edges in shears and upper punches or insufficient pre-heating of the material. Molybdenum sheets below 0.25 mm thickness can be cut without heating. Above this thickness pre-heating to the temperature range shown is recommended.

Spanabhebende Formgebung

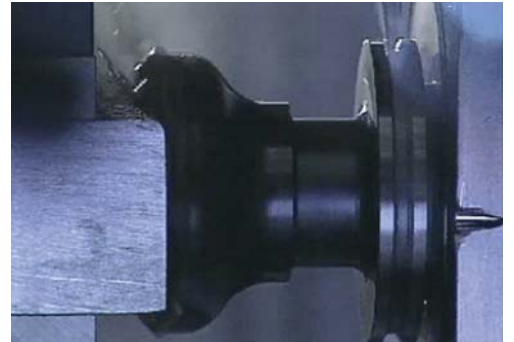
Molybdänwerkstoffe lassen sich gut spanabhebend bearbeiten. Die Werkzeugmaschinen sollen stabil sein, die Werkstücke und die Werkzeuge sollen kurz und fest eingespannt werden.

Aufgrund langjähriger Erfahrungen hat unser Unternehmensbereich CERATIZIT Hartmetallsorten entwickelt, welche zur mechanischen Bearbeitung von Molybdän und seinen Legierungen besonders geeignet sind. Wir empfehlen daher zum Drehen und Fräsen Schneidwerkzeuge einzusetzen, welche mit CERATIZIT-Hartmetallen der Qualität H 216 T bzw. H 210 T bestückt sind. Schneidwerkzeuge aus Schnellarbeitsstählen können nur für niedrige Schnittgeschwindigkeiten verwendet werden. Die Verwendungen von Emulsion als Kühlschmiermittel ist sowohl für den Einsatz von Hartmetall wie auch HSS unerlässlich.

Machining

Molybdenum-based alloys are all suitable for machining. Machine tools should be robust and both the workpieces and the tools should be short and firmly clamped.

Many years of experience have enabled our CERATIZIT division to develop grades of hardmetal particularly suited to the machining of molybdenum and its alloys. For turning and milling we recommend tools fitted with CERATIZIT H 216 T or H 210 T hardmetal tips. At low cutting speeds high-speed steel tools can be used. Cooling with emulsion is essential with both hardmetal and HSS.

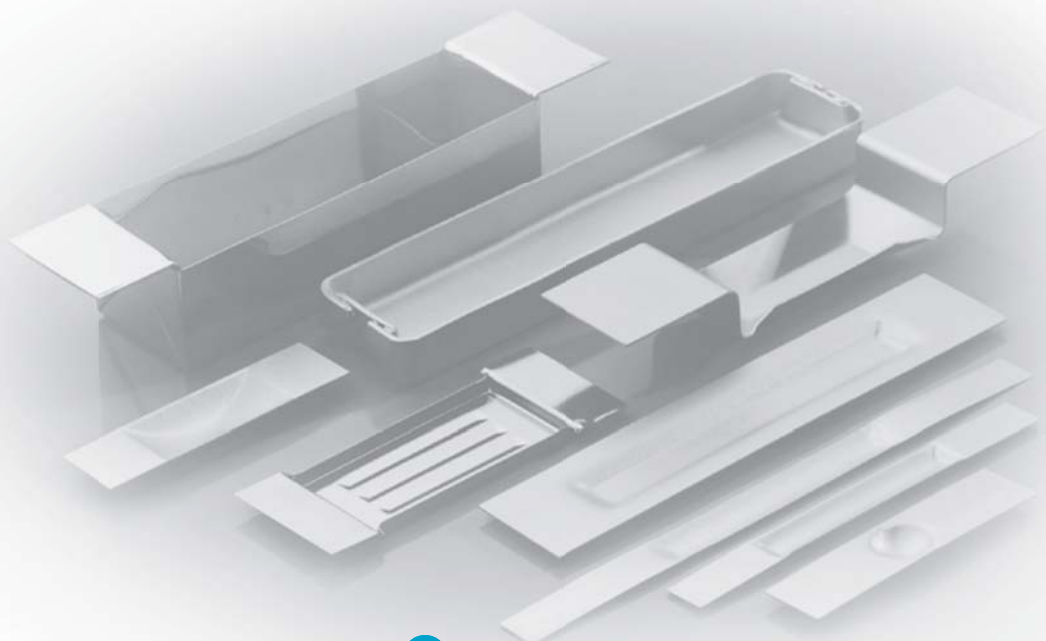


Schleifen

Schleifscheiben aus Siliziumkarbid mit offener Struktur, einer Härte der Bereiche H, I, J und K sowie einer Körnung von 60 - 120 sind gut geeignet. Die Schleifgeschwindigkeit soll 1800 m/min betragen, die Zustellung pro Durchgang 0,02 mm nicht überschreiten. Hinsichtlich Kühlung gilt die gleiche Empfehlung wie für das Spanen mit Hartmetall sowie HSS.

Grinding

Grinding discs made from silicon carbide with an open structure, hardness in the range H, I, J and K, and a grain size of 60 - 120 are particularly suitable, with a grinding speed of 1800 m/min and a feed rate not exceeding 0.02 mm. Recommended cooling agents are the same as for machining with hardmetal and HSS tools.



Empfehlenswerte Bedingungen zur spanabhebenden Bearbeitung von Molybdän und Molybdänlegierungen
Recommended conditions for the machining of molybdenum and its alloys

Drehen / Turning	
Werkzeuge / Tools	CERATIZIT Maxilock-S
Wendeplatten / Indexable carbide inserts	Mit Code-27 u. -25 verwenden, HM-Sorten H 216 T / H 210 T Use with Code-27 and -25, HM grade H 216 T / H 210 T
Schnittgeschwindigkeit / Cutting speed [m/min]	vc = 100 - 140
Vorschub [mm/U] / Feed [mm/rev]	f = 0.05 - 0.35 (je nach Eckenradius / acc. to corner radius)
Spantiefe / Depth of cut [mm]	ap = 0.3 - 6 (je nach Plattentype / acc. to type of insert)
Kühlung / Coolant	Emulsion

Fräsen / Milling	
Verwenden Sie CERATIZIT-Fräswerkzeuge mit Hartmetall-Wendeschneidplatten folgender Schneidengeometrie Use CERATIZIT milling cutters with hardmetal indexable inserts of the following cutting geometry	
Spanwinkel γ / Rake angle γ	$\geq + 10^\circ$
Neigungswinkel / Inclination angle	0 - 10°
HM-Sorte / HM grade	H 216 T / H 210 T
Schnittgeschwindigkeit / Cutting speed [m/min]	vc = 100 - 150
Vorschub [mm/Zahn] / Feed [mm/tooth]	f = 0.03 - 0.10
Kühlung / Coolant	Emulsion
HSS-Werkzeuge / HSS tools	
Schnittgeschwindigkeit / Cutting speed [m/min]	vc = 20 - 25 m
Spanwinkel γ / Rake angle γ	$\geq + 10^\circ$
Kühlung / Coolant	Emulsion

Bohren / Drilling	
Bohrdurchmesser bis 18 mm Drill diameter up to 18 mm	
Bohrer / Drill	HSS (möglichst mit innerem Kühlmittelkanal) HSS (if possible with internal cooling channel)
Schnittgeschwindigkeit / Cutting speed [m/min]	vc = 10 - 15
Vorschub [mm/U] / Feed [mm/rev]	f = 0.05 - 0.1
Kühlung / Coolant	Emulsion

Verbindungstechnik

Joining Techniques

Zur Herstellung komplexerer Bauteilkomponenten aus Molybdän stehen verschiedene Verbindungstechnologien zur Verfügung. Das Verbinden mittels Löten in Schutzgas- oder Vakuumöfen setzt geeignete Einrichtungen voraus. Mechanisch höher belastete Verbindungen sollten durch Nieten, Verschrauben oder Falzen hergestellt werden, da die Schweißeignung der Molybdänwerkstoffe eingeschränkt ist.

Schweißen

Molybdän und seine Legierungen lassen sich mittels Wolfram-Elektroden unter Ar- oder He-Schutzgas (WIG-Schweißen) oder durch Elektronenstrahl im Vakuum mit und ohne Zusatzwerkstoff verschweißen. Da die Duktilität der Schweißnähte durch kleinste Mengen Sauerstoff und Stickstoff stark herabgesetzt wird, empfiehlt es sich, alle Schutzgasschweißungen in Schweißkammern durchzuführen. Kleinteile können unter Umständen auch durch Punktschweißen verbunden werden. Alle atmosphärischen Schweißverfahren sind ungeeignet. Infolge der Versprödungsgefahr und der eingeschränkten Festigkeit der Verbindungsstelle ist das Schweißen für mechanisch höher beanspruchte Bauteile nicht zu empfehlen.

Die zu verbindenden Teile sind vor dem Schweißen sorgfältig zu säubern. Beim Schweißen können große innere Spannungen im Bereich der Schweißnähte entstehen. Daher ist ein Vorwärmen der Bauteile vor dem Verschweißen und eine Entspannungsglühung nach dem Verschweißen anzuraten, vor allem für dickwandige Bauteile. Konstruktionen mit stumpfgestoßenen Rundschweißnähten, geschlossenen Schweißnahtzügen oder mit großen Dickenunterschieden der zu verschweißenden Teile sind zu vermeiden.

More complex molybdenum components can be made using a variety of joining techniques. Joining can be achieved by brazing using inert gas or vacuum furnaces, provided suitable equipment is available. Whenever the joined areas are to be subjected to higher mechanical stresses, methods such as folding, riveting and bolting should be used, because molybdenum has limited suitability for welding.

Welding

Molybdenum and its alloys can be welded using tungsten electrodes under a protective atmosphere of Ar or He (TIG welding), or by the electron beam process in vacuum, both with and without filler materials. Because the ductility of the weld seam is sharply reduced by the presence of even the smallest quantities of oxygen and nitrogen, inert gas welding should be carried out in a welding chamber. Small parts can sometimes be joined by spot welding. No welding processes allowing contact with air are suitable. Welding is not recommended for highly stressed components because of reduced strength and danger of embrittlement in the welded area.

Before welding all parts must be meticulously cleaned. As large internal stresses can develop in the welding zone, pre-heating before, and stress-relief annealing after welding are recommended, particularly for thick-walled components. Designs involving blunt, circumferential or closed-ended welding seams should be avoided, as should large differences in section of the parts to be welded.



Photo: Alstom Power Generation AG



Löten

Das Löten ist eine weit verbreitete Verbindungsart für Molybdänbauteile. Bei lötgerechter Konstruktion lassen sich artgleiche und nichtartgleiche Verbindungen (z.B. mit Refraktärmetallen, Stählen, Buntmetallen, Aluminium-Legierungen, Graphit, Keramiken etc.) mit guten Festigkeitseigenschaften herstellen. Das Standardlötverfahren stellt das Ofenlöten in Schutzgas oder Hochvakuum sowie das HF-Induktionslöten dar. Kleine Lötstellen lassen sich auch relativ einfach mittels eines Lötplättchens unter Zufuhr von Schutzgas auf einer Widerstandspunktschweißanlage herstellen. Atmosphärische Lötverfahren wie autogenes Flammlöten sind aufgrund der Oberflächenoxidation der Molybdänbauteile ungeeignet.

Abhängig von den Löttemperaturen und den zu verbindenden Werkstoffkombinationen werden folgende Lotarten verwendet:

- Ag-Cu-Basis-Lote für Temperaturen bis 1000 °C
- Ni- und Edelmetallhaltige Lote für Temperaturen bis 1400 °C
- Ti-, Zr-, Ru- und Pt-Basis-Lote für das Hochtemperaturlöten bis 2000 °C

Brazing

Brazing is a widely used method of joining molybdenum parts. Where design permits both similar and dissimilar materials can be brazed together (e.g. refractory metals, steels, non-ferrous metals, aluminium alloys, graphite, ceramics) to achieve good tensile properties. Furnace brazing with inert gas or vacuum as well as HF induction brazing are standard processes. Small brazed joints are relatively simple to produce with brazing discs under inert gas cover using resistance-heated spot-welding equipment. Brazing processes involving exposure to the atmosphere are unsuitable because they result in surface oxidation of molybdenum.

Depending on the brazing temperature and the materials to be joined the following brazing materials are used:

- Au-Cu based brazing alloys for temperatures up to 1000 °C
- Ni and precious metal brazing alloys for temperatures up to 1400 °C
- Ti, Zr, Ru and Pt based alloys for high temperatures up to 2000 °C



Nieten, Verschrauben und Falzen

Die einfachste Verbindungsart ist das Verschrauben, für das verschiedene Gewindearten und -abmessungen zur Verfügung stehen. Schraubverbindungen eignen sich auch gut für Reparaturzwecke. Nach einer Rekristallisation von Molybdän ist ein zerstörungsfreies Lösen der Schraubverbindung nicht mehr gewährleistet.

Zum Nieten stehen Halbrund- und Senkniete unterschiedlicher Abmessungen zur Verfügung. Nach dem Bohren muss das Nietloch sauber entgratet werden. Zur Optimierung der Verbindungsfestigkeit sollten die Niete und das Werkzeug vor dem Umformen erwärmt werden.

Zum Falzen empfiehlt sich ein Anwärmen über die Übergangstemperatur des Bleches, deren Höhe von vorhergehenden Umformschritten und der Blechdicke abhängt.

Riveting, Fastening and Folding

The simplest method of joining is fastening using bolts or screws, for which various dimensions and thread forms are available. Screwed joints are also highly suitable for repair work. However after molybdenum has recrystallized, there is always a risk of breakage when carrying out repairs in this manner.

For riveting both button-head and countersunk rivets are available. Following drilling the rivet holes must be deburred cleanly. Both the rivets and the riveting tool should be pre-heated to optimise the joint strength.

Before folding molybdenum sheet should be heated above its transition temperature, which depends on the amount of prior working and the material thickness.

Oberflächenbehandlung von Molybdän und seinen Legierungen

Surface Treatment of Molybdenum and its Alloys

Molybdän und seine Legierungen verhalten sich sehr ähnlich und werden daher in diesem Kapitel nicht getrennt behandelt.

Reinigen

Geeignet ist Ultraschallreinigung in stark alkalischen, wässrigen Tensidlösungen; eine fleckenfreie Oberfläche erhält man durch anschließende Reinstwasserspülung ($\sigma \leq 10 \mu\text{S/cm}$) und Warmlufttrocknung.

Lagern

Bei hoher Luftfeuchtigkeit und stärkeren Temperaturschwankungen kann Molybdän anlaufen (oberflächlich oxidieren). Es soll daher stets in trockenen (Luftfeuchtigkeit unter 60 %), gleichmäßig temperierten Räumen aufbewahrt werden. Durch eine Lagerung mit Schutzgas gefluteten, dichten Behältern, wird eine Oxidation der Oberfläche unterbunden.

Beizen

Stark oxidiertes Molybdän lässt sich in geschmolzenem Natriumhydroxid mit einigen Prozent Oxidationsmittel (z.B. Natriumnitrat) reinigen (= Schmelzbeize). Die Temperatur der Beize beträgt 400 - 450 °C. Die zu beizenden Teile müssen trocken sein, da die Schmelze sonst gefährlich spritzt! Die gebeizten Teile werden abgekühlt, anhaftende Reste der Schmelze werden durch Tauchen in Warmwasser entfernt. Schmelzgebeizte oder leicht oxidierte Produkte aus Molybdän können zur Erzielung einer blanken Oberfläche sauer gebeizt werden: 1 Volumenteil Salpetersäure (53 Gew.-%) und 4 Volumenteile Schwefelsäure (87 Gew.-%). Eine gründliche Kaltwasserspülung beseitigt die Beizrückstände, Reinstwasserspülung und Warmlufttrocknung führen zu metallisch glänzenden Oberflächen. Leicht oxidiertes Molybdän kann auch durch eine Reinigungsglühung in Wasserstoff bei ca. 700 °C blankgeglüht werden.

There are no significant differences in the behaviour of molybdenum and its alloys and therefore they are not treated separately in this section.

Cleaning

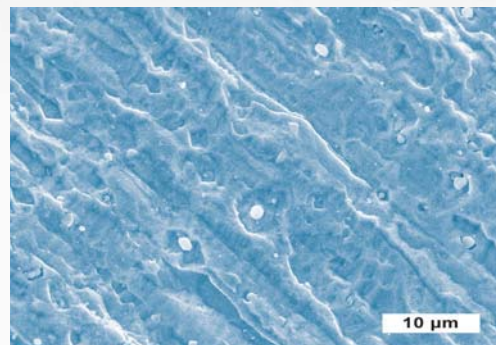
Ultrasonic cleaning in strongly alkaline, aqueous solutions containing detergents is highly suitable. Subsequent rinsing in high-purity water ($\sigma \leq 10 \mu\text{S/cm}$) followed by warm air drying results in a clean, blemish-free surface.

Storage

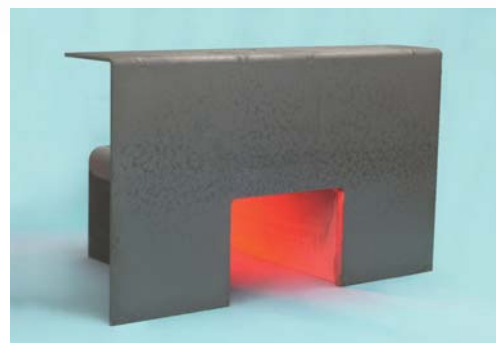
Humid conditions and large fluctuations in temperature can cause surface oxidation of molybdenum. It should therefore always be stored in a dry area (humidity less than 60 %) at an even temperature. Surface oxidation can be prevented by storing in sealed containers filled with inert gas.

Pickling

Heavily oxidised molybdenum can be cleaned in molten sodium hydroxide containing a small percentage of oxidising agent (e.g. sodium nitrate) in the temperature range 400 - 450 °C. The material must first be dry to avoid the danger of the melt splashing. After cooling any remaining pickling residues are removed by immersing in warm water. Pickled or lightly oxidised molybdenum parts can be etched in acid to achieve a bright finish. 1 part by volume of nitric acid (53 weight%) to 4 parts by volume sulphuric acid (87 weight%) is suitable. Thorough rinsing in cold water removes acid residues and final rinsing with high-purity water followed by warm air drying leads to a bright, metallic finish. Lightly oxidised molybdenum can also be cleaned and bright annealed in hydrogen at approximately 700 °C.



Oberfläche eines MY-ESS-Bandes
Surface of a MY-ESS ribbon



SIBOR®-beschichtete Mo Durchflussverkleidung
mit Frontplatte
SIBOR®-coated Mo throat with front plate

Aufrauen

Ein Aufrauen der Oberfläche lässt sich durch Beizen ($R_z \approx 5 \mu\text{m}$) oder Sandstrahlen mit Korund oder ähnlichem ($R_z \approx 20 \mu\text{m}$) erreichen.

Elektropolieren

Molybdän kann anodisch in 80 %iger Schwefelsäure elektropoliert werden. Die Temperatur des Elektrolyten sollte etwa 50 °C betragen, die Stromdichte zwischen 10 und 15 A/dm².

Beschichten

Molybdän kann bei Vorliegen einer sauberen Oberfläche vielfältig beschichtet werden bzw. auf Wunsch von PLANSEE in Form eines beschichteten Halbzeuges oder Bauteiles bezogen werden:

- Zum Schutz gegen atmosphärische Korrosion und als Kontakt- bzw. Löthilfe: Schichten auf Basis von Nickel, Chrom und Edelmetallen
- Zum Schutz gegen Luftoxidation bis max. 1650 °C: Silizidschichten (z.B. SIBOR®)
- Als Verschleißschutz: Oberflächennitrierung oder Oberflächenkarburierung
- Als Diffusionssperre: Oxidschichten

Die Schichtstärken liegen je nach Einsatzbedingungen typischerweise zwischen 0,1 und 200 μm . Als Verfahren kommen bei PLANSEE Flamspritzen, Atmosphärisches Plasmaspritzen (APS), Vakuumplasmaspritzen (VPS), Physikalische Dampfabcheidung (PVD), Slurrybeschichten, Gashärten und Packzementieren zum Einsatz.

Surface Roughening

Surface roughening can be achieved by pickling ($R_z \approx 5 \mu\text{m}$), or shot blasting with e.g. alumina ($R_z \approx 20 \mu\text{m}$).

Electropolishing

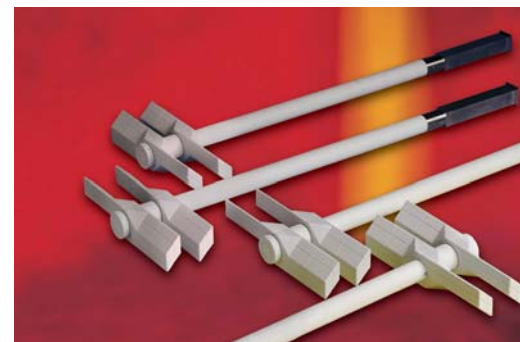
Molybdenum can be anodically electropolished in 80 % sulphuric acid solution. The electrolyte temperature should be around 50 °C and the current density between 10 and 15 A/dm².

Coating

Provided the surface is clean molybdenum can be coated by various methods. On request PLANSEE can supply coated semi-finished products or components:

- For protection against atmospheric corrosion and as a surface layer to assist brazing operations: nickel, chromium and noble metals based coatings
- For protection against oxidation in air up to 1650 °C maximum: silicide coatings (e.g. SIBOR®)
- For wear protection: surface nitriding or carburising
- As a diffusion barrier: oxide coatings

Typical coating thickness is in the range 0.1 - 200 μm , depending on conditions of use. Flame spraying, atmospheric plasma spraying (APS) vacuum plasma spraying (VPS), physical vapour deposition (PVD), slurry coating, gas hardening and embedding in cement mixtures are all processes used by PLANSEE



Al_2O_3 beschichtete Mo-Rührer
 Al_2O_3 coated Mo stirrer

Lieferformen

Available Products

Übersicht der PLANSEE-Halbzeuge aus Mo und Mo-Legierungen

Overview of the PLANSEE semi-finished products made of Mo and Mo alloys

Verfügbarkeit Availability	Bleche / Sheets and Plates [Stärke / Thickness]	Bänder / Coiled Sheets and Ribbons [Stärke / Thickness]	Stäbe / Rods [Durchmesser / Diameter]	Drähte / Wires [Durchmesser / Diameter]
Mo	0.025 - 50 mm	0.015 - 0.760 mm	0.50 - 165 mm	0.30 - 10 mm
TZM	0.10 - 50 mm	-	0.50 - 165 mm	auf Anfrage / on request
MHC	-	-	3 - 120 mm	-
MLS/MLR	0.20 - 1 mm 1 - 50 mm	0.3 - 0.76 mm	-	-
ML	-	-	auf Anfrage / on request	0.30 - 6.35 mm
MLS	-	-	-	-
Mo-ILQ	-	-	-	0.30 - 3.50 mm
MY	-	auf Anfrage / on request	-	-
MoW	auf Anfrage / on request	-	10 - 93 mm	-
MoRe	auf Anfrage / on request	-	auf Anfrage / on request	auf Anfrage / on request
MoCu	auf Anfrage / on request	-	-	-

Umrechnung von Einheiten / Conversion of Units

von from	zu multiplizieren mit multiply by		in to
mm	0.03937	25.40	inch
N/mm ²	0.10194	9.81	kp/mm ²
N/mm ²	145.0024	0.00689	psi
kN/mm ²	101.94	0.00981	kp/mm ²
kN/mm ²	145.0024	0.00689	ksi
J/(g K)	0.2388	4.1868	cal/(g °C)
J/(g K)	0.2388	4.1868	BTU/(lb °F)
Pa=N/m ²	0.0075	133.3	Torr
Pa=N/m ²	0.000145	6895	psi
Pa=N/m ²	10 ⁻⁵	10 ⁵	bar
Torr	0.019337	51.71433	psi
W/(m K)	0.002388	418.68	cal/(cm s °C)
W/(m K)	0.5778	1.7307	BTU/(h ft °F)
cal/(cm s °C)	241.95	0.004133	BTU/(h ft °F)
°C	(1.8 x °C) + 32	(°F - 32) x 0.56	°F
°C	+ 273.15	- 273.15	K
in to		zu multiplizieren mit multiply by	von from

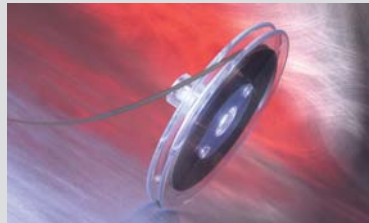
Weitere Informationen über PLANSEE-Halbzeuge und Formteile aus Mo und Mo-Legierungen finden Sie unter www.plansee.com, oder Sie kontaktieren Ihren PLANSEE-Partner.

For further information on PLANSEE semi-finished products and formed parts made of Mo and Mo alloys please visit our website www.plansee.com or contact your PLANSEE partner.

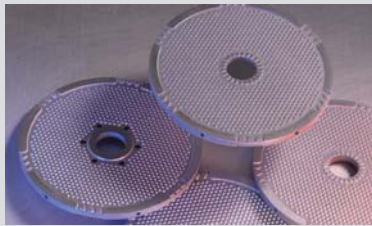




Kollimatoren aus DENSIMET®
Collimators made of DENSIMET®



MYTOS Band für die Lichtindustrie
MYTOS ribbon for lighting industry



Bauteile für Brennstoffzellen
Parts for fuel cells



CuCr Kontakteile für Mittelspannung
CuCr contact parts for medium voltage



Chargiergestelle aus PM 2000
Charge carrier made of PM 2000



Sputtertarget aus Mo
Sputtering target made of Mo



Plasmaspritzdüsen und -elektroden aus W/Cu
Plasma spraying nozzles and electrodes made of W/Cu



W-Schweißelektroden für das Orbitalschweißen
W welding electrodes for orbital welding



Ta-Töpfchen
Ta cups



Goldbeschichtete Halbleiterbasisplatten aus Mo
Gold-coated semi-conductor base plates made of Mo

PLANSEE liefert Komponenten aus hochschmelzenden Metallen für verschiedene industrielle

Anwendungen:

- Lichttechnik
- Elektronik
- Medizintechnik
- Energieumwandlung und -verteilung
- Anlagen- und Ofenbau
- Beschichtungstechnik
- Werkstoff- und Produktionstechnik

PLANSEE supplies components made of refractory metals for various industrial applications:

- Lighting Industry
- Electronics
- Medical Technology
- Energy Conversion and Distribution
- Engineered Components and Furnaces
- Coating Technology
- Material and Processing Technology

Parent Company

Austria

PLANSEE SE
E-Mail: info@plansee.com
www.plansee.com

Production Refractory Metals

Austria

PLANSEE Metall GmbH
E-Mail: info@plansee.com
www.plansee.com
Werk Liezen
E-mail: liezen@plansee.com

Japan

VACS PRECISION K.K.
E-Mail: info.vp@vacs-precision.com

PLANSEE Bondingshop K.K.
E-Mail: japan@pbkk.co.jp

USA

E/G Electro-Graph, Inc.
E-Mail: sales@egraph.com
www.egraph.com

PLANSEE USA LLC.
E-Mail: usa@plansee.com
www.plansee-usa.com

Production Composite Materials

France

PLANSEE Tungsten Alloys
E-Mail: plansee-ta@plansee.com
www.plansee-ta.com

Germany

PLANSEE Composite Materials GmbH
E-Mail: plansee-cm@plansee.com
www.plansee-cm.com

Switzerland

PLANSEE Powertech AG
E-Mail: powertech@plansee.com
www.plansee-powertech.com

USA

PLANSEE Thermal Management Solutions
E-Mail: sales@plansee-tms.com
www.plansee-tms.com

www.plansee.com

Sales subsidiaries

Austria

PLANSEE Metall GmbH
E-Mail: info@plansee.com
www.plansee.com

Baltic States (Estonia, Latvia, Lithuania)

PLANSEE Nordic AB
E-Mail: info@plansee.se

Brasil

PLANSEE South America Ltda
E-mail: plansee@plansee.com.br
www.plansee.com.br

Canada

PLANSEE USA LLC.
E-Mail: usa@plansee.com
www.plansee-usa.com

China

PLANSEE China Ltd.
E-Mail: info@plansee.cn
PLANSEE Beijing Office
E-Mail: info@plansee.cn
PLANSEE Guangzhou Office
E-Mail: info@plansee.cn
PLANSEE Shanghai Office
E-Mail: info@plansee.cn

Czech Republic

PLANSEE SE
E-Mail: cz@plansee.com

France

PLANSEE SE Succursale Française
E-Mail: plansee.france@plansee.com

Germany

PLANSEE SE Vertriebsniederlassung Deutschland
E-Mail: plansee.deutschland@plansee.com

Great Britain

PLANSEE SE Sales Office UK
E-Mail: uk@plansee.com

India

PLANSEE SE Liaison Office India
New Delhi Office
E-Mail: delhi@plansee.com
Bangalore Office India
E-Mail: bangalore@plansee.com

Italy

PLANSEE SE Sales Office Italy
E-Mail: italy@plansee.com

Japan

PLANSEE Japan Ltd.
Tokyo Office
E-Mail: tokyo@plansee.com
www.plansee.co.jp
Osaka Office
E-Mail: osaka@plansee.com
JAPAN VACS METAL Co., Ltd.
E-Mail: info@vacsmetal.com
www.vacsmetal.co.jp

Korea

PLANSEE Korea Co., Ltd.
E-Mail: service@plansee.co.kr
www.plansee.co.kr

Mexico

PLANSEE Mexico S.A. de C.V.
E-Mail: mexico@plansee.com

Netherlands

PLANSEE Nederland
E-Mail: verkoop@plansee.com

Scandinavia

(Norway, Sweden, Finland)
PLANSEE Nordic AB
E-Mail: info@plansee.se

Slovak Republic

PLANSEE SE
E-Mail: slovakia@plansee.com

Spain

PLANSEE SE
E-Mail: spain@plansee.com

Taiwan

PLANSEE Taiwan Co. Ltd.
E-Mail: service@plansee.com.tw

USA

E/G Electro-Graph, Inc.
E-Mail: sales@egraph.com
www.egraph.com

PLANSEE Thermal Management Solutions
E-Mail: sales@plansee-tms.com
www.plansee-tms.com

PLANSEE USA LLC.
E-Mail: usa@plansee.com
www.plansee-usa.com

Sales Partners and Distributors

Australia, Argentina, Belgium, Denmark, Egypt,
Israel, Malaysia, Singapore, Pakistan, Poland,
South Africa, Thailand, Turkey