

モリブデン資料

純モリブデンの溶融点は2620℃(4748°F)でその高融点と高い高温強度のため1900℃(3450°F)迄の温度で使用することが出来ます。加工率に依り多少の变化はありますが、800℃ - 1200℃ (1480 - 2200°F) の間で再結晶を開始し、1200 - 1800℃ (2200 - 3300°F) の間で結晶粒子が激しく生長するため強度と硬度をかなり低下させます。(Fig. 5)

モリブデンは高温炉用材料(発熱体及び熱交換板等)としてや、硬質硝子や石英に封入するリード材、又高真空管材料等に使用されます。

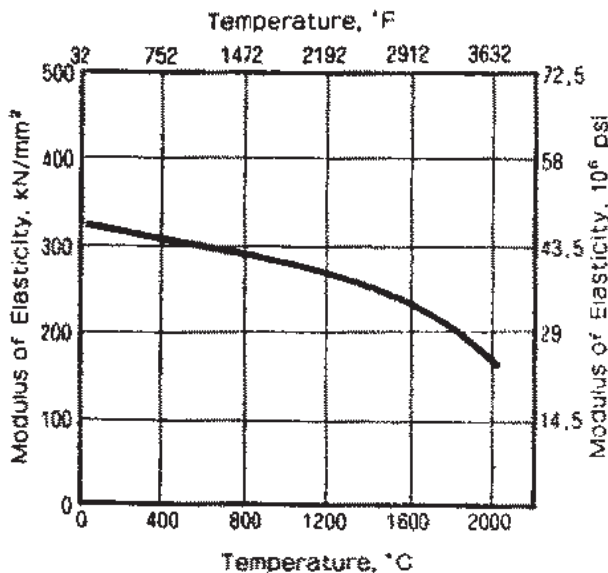


Fig. 5. Modulus of Elasticity of Molybdenum Versus Temperature

TZMとその用途

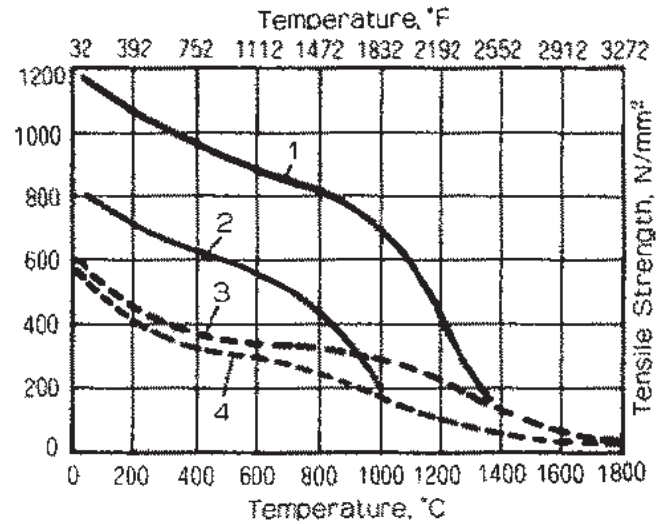
高温で純モリブデンに現われる好ましくない結晶粒子の生長は、微細な他の元素を添加することによって防ぐことが出来、高温強度をかなり増加させることが出来ます。

TZMとはこのモリブデン合金の最も重要な商業上の名称であります。

TZMは0.5%のチタニウム、0.07%のジルコニウムと約0.05%のカーボンを含有しています。

純モリブデンと比較した場合、TZMの方がより高い再結晶温度と、更に高い高温強度を持っています。(Fig. 6参照)よって高温強度を必要とする用途のあらゆる構造部分や工具等の材料として最適です。代表的な用途は1500℃(2750°F)以上の作業温度用、焼鈍や焼結用ボート、ダイカスト用金型噴等です。

更にTZMは純モリブデンと比較して、一層優れた溶接特性があるので、溶接結合をする部分の構造用材としてもお勧めします。



1. TZM stress relieved
2. Mo stress relieved
3. TZM recrystallized
4. Mo recrystallized

Fig. 6. Tensile Strength of 1 mm (0.04 in.) Thickness Molybdenum and TZM Sheet Versus Temperature

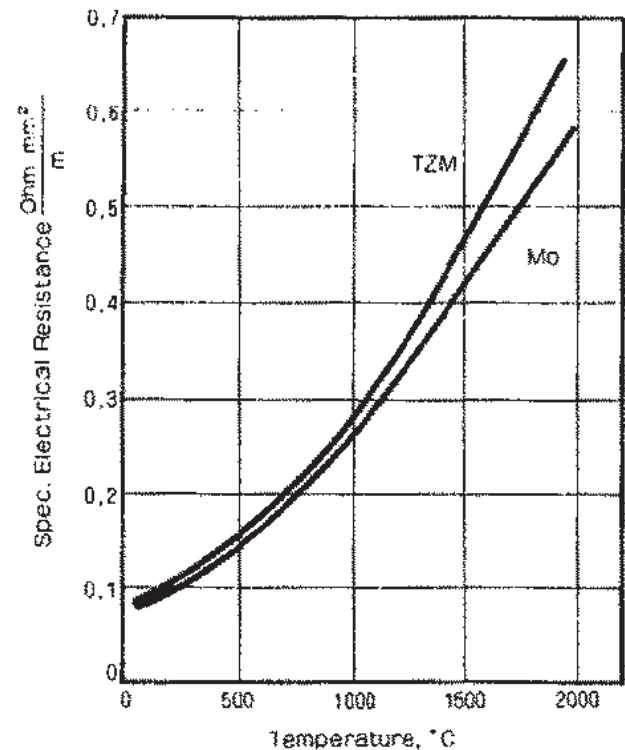


Fig. 7. Spec. Electrical Resistivity of Pure Molybdenum and TZM Versus Temperature

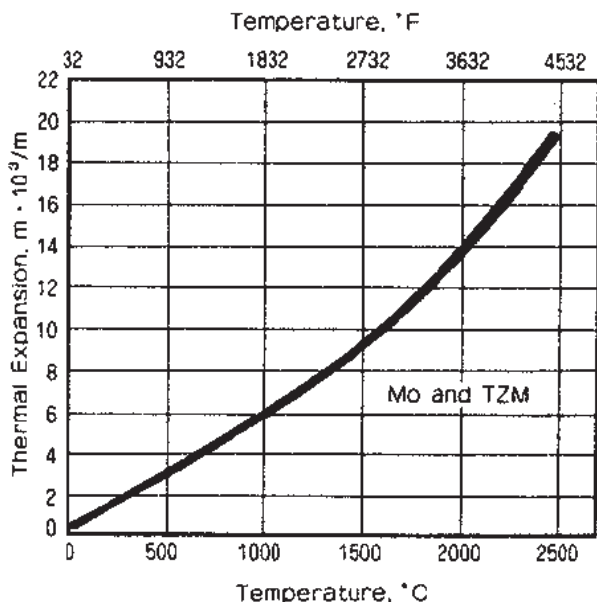


Fig. 8. Thermal Expansion of Molybdenum and TZM Versus Temperature.

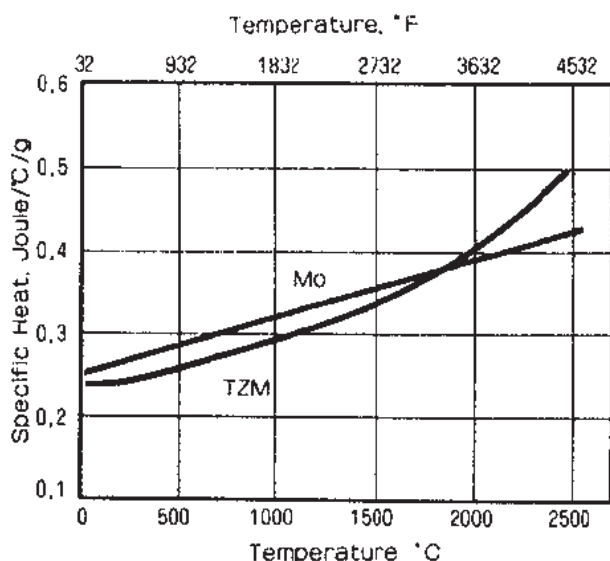


Fig. 9. Specific Heat of Molybdenum and TZM Versus Temperature

HT-Moとその用途

モリブデン中に少量の Potassium silicate を Doping し一定方向のみの特殊加工により再結晶温度を約1700°C (3100°F)迄引上げることが出来ます。結晶粒子は重なり合ったファイバー組織となるため再結晶後にも部分的に延性が残ります。

HT-Moの製造には強度な特殊加工を必要とするため、線、棒とある寸法の板に限られます。

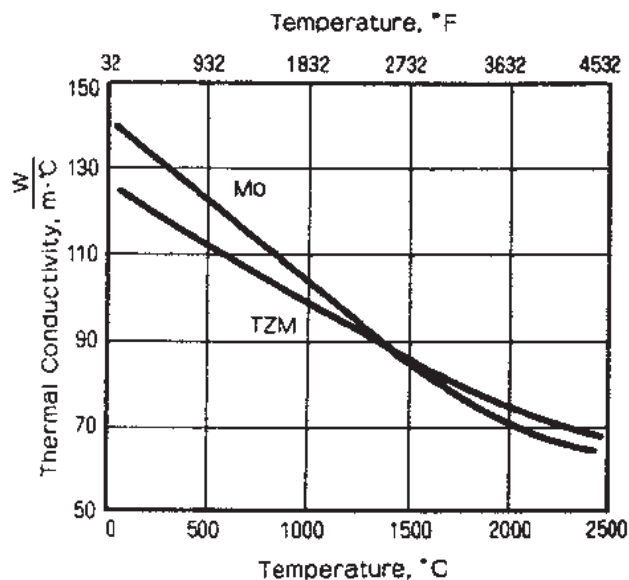


Fig. 10. Thermal Conductivity of Molybdenum and TZM Versus Temperature.

線及び棒は直径 5 mm (0.2")迄、板は約 0.8 mm (0.03")の厚み迄可能です。HT-Mo は焼鈍後に脆化が起るのをさげねばならない時に使用されます。代表的な用途は、自動車やオートバイ等の前照燈内の保持ワイヤー、機械的に強度のカかる電子管用部品や高温炉の部品としてです。

モリブデン-タングステン合金とその用途

モリブデン-タングステン合金の成分は御希望にも応じますが標準合金としましては、

MOLY B20 (90%Mo/10%W) 及び

MOLY B60 (70%Mo/30%W)

モリブデン-タングステン合金は機械加工は上り後の部品としてのみ供給されます。純モリブデンより僅かに高い再結晶温度を持ち、その主な用途は、溶融亜鉛に対して優れた耐蝕性がある故亜鉛工業用に便利です。

モリブデン-レニウム合金とその用途

Mo5Re (95%Mo/5%Re) 及び

Mo41Re (59%Mo/41%Re)

これ等の合金線は主として熱電対として使用され、その特徴は線の再結晶後に於いても尚かつ延性が失われません。供給出来る寸法や公差は純モリブデンと同等です。

Table I

Mo, HT-Mo 及び T2Mの機械的特性

特 性	試 験 条 件		Mo	HT-Mo	T2M
	mm	Inches			
最少抗張力 (最終圧延方向に平行方向) N/mm ²	板 厚				
	0.10 - 0.25	.004 - .010	785	-	1130
	0.26 - 0.65	> .010 - .026	685	640	1080
	0.66 - 1.50	> .026 - .060	685	-	980
	1.51 - 2.30	> .060 - .092	645	-	880
	2.31 - 5.00	> .092 - .200	645	-	780
	5.01 - 8.00	> .200 - .320	590	-	690
	線φ0.8mm、引抜上り		1020	1570	-
最少降伏点 (0.2% offset) (最終圧延方向に平行方向) N/mm ²	板 厚				
	0.10 - 0.25	.004 - .010	620	-	1000
	0.26 - 0.65	> .010 - .026	590	570	960
	0.66 - 1.50	> .026 - .060	590	-	870
	1.51 - 2.30	> .060 - .092	580	-	790
	2.31 - 5.00	> .092 - .200	580	-	710
	5.01 - 8.00	> .200 - .320	540	-	620
最少伸び (最終圧延方向に平行方向) %	板 厚				
	0.10 - 0.25	.004 - .010	?	-	8
	0.26 - 0.65	> .010 - .026	5	10	7
	0.66 - 1.50	> .026 - .060	10	-	6
	1.51 - 2.30	> .060 - .092	12	-	5
	2.31 - 5.00	> .092 - .200	15	-	3
	5.01 - 8.00	> .200 - .320	17	-	2
	線φ0.8mm、引抜上り		1.5	2	-
弾 性 率 kN/mm ²	20℃に於て		320	320	320
	1000℃に於て		270	270	270
ビッカース硬度値 HV10	加工率70%以下の板		200 - 280	-	240 - 340
	加工率70%以上の板		260 - 360	260 - 360	300 - 450
	再結晶後の板		140 - 160	170 - 180	<200
再結晶開始温度 ℃	加工率90%以上の板、1時間焼鈍		900	-	1250
再結晶終了温度 ℃	1時間焼鈍		1200	1700	1600
繰返し折曲げ試験*) 1900℃×15分間焼鈍後の試 片の90°折曲げ可能回数	板厚0.4mm圧延方向に直角		0	> 8	>4
	板厚0.4mm圧延方向に平行		0	> 3	>1
	線径φ0.8mm		0	>20	-

*)DIN 50153, DIN 51211 或いは ISO/R88 及び ISO/R144 の各試験方法に基づく。

Table II

Mo, HT-Mo 及び TZM の物理的特性

特 性	試 験 条 件	Mo	HT-Mo	TZM
原子量		95.95		
溶 融 点	℃(°F)	2620(4748)		
比 重 kg/m ³		10200		
蒸 気 圧 Pa	1500℃(2750°F)に於て 2000℃(3650°F)に於て 2500℃(4400°F)に於て 3000℃(5400°F)に於て	8.5×10 ⁻⁷ 5.3×10 ⁻³ 1.3 5.3×10 ⁻¹		
蒸 発 率 mg cm ² · hour	1530℃(2800°F)に於て 1730℃(3150°F)に於て 1930℃(3500°F)に於て	3.1×10 ⁻⁴ 3.6×10 ⁻² 1.8		
線熱膨脹係数 m m · °C	20℃(70°F)に於て 20-1000℃(70-1840°F)に於て 20-1500℃(70-2750°F)に於て	5.3×10 ⁻⁶ 5.8×10 ⁻⁶ 6.5×10 ⁻⁶	5.3×10 ⁻⁶ 5.8×10 ⁻⁶ 6.5×10 ⁻⁶	5.3×10 ⁻⁶ 5.8×10 ⁻⁶ 6.5×10 ⁻⁶
比 熱 Joule g · °C	20℃(70°F)に於て 1000℃(1840°F)に於て 2000℃(3650°F)に於て	0.25 0.31 0.44	0.25 0.31 0.44	0.25 0.30 0.41
熱伝導率 W m · °C	20℃(70°F)に於て 1000℃(1840°F)に於て 1500℃(2750°F)に於て	142 105 88	142 105 88	126 98 86
比電気抵抗 Ohm · mm ² m	20℃(70°F)に於て 1000℃(1840°F)に於て 1500℃(2750°F)に於て 2000℃(3650°F)に於て	0.052 0.27 0.43 0.60	0.065 0.28 0.43 0.63	0.055 0.31 0.45 0.66
表面負荷容量 Watts/cm ²	t < 1800℃ (< 3250°F) t > 1800℃ (> 3250°F)	10-20 20-40	10-20 20-40	- -
熱中性子断面積 m ²		2.7×10 ⁻²⁸	-	2.7×10 ⁻²⁸

換 算 表

蒸 気 圧	Torr	Pascal
Torr	1	133.3
Pascal	0.0075	1

熱 伝 導 率	cal	W	BTU
	cm · s · °C	m · °C	h · ft · °F
cal cm · sec · °C	1	418.68	241.95
W/(m · °C)	0.00239	1	0.5778
BTU h · ft · °F	0.004133	1.7307	1

比 熱	cal g · °C	Joule g · °C	BTU lb · °F
cal/(g · °C)	1	4.1868	1
Joule/(g · °C)	0.2388	1	0.2388
BTU/(lb · °F)	1	4.1868	1

Tensile Strength Yield Strength, Modulus of Elasticity	kp/mm ²	N/mm ²	1000psi
kp/mm ²	1	9.81	1.4223
N/mm ²	0.102	1	0.145
1000psi	0.7031	6.8951	1

Table III

Mo-W標準合金 MOLY B 20 及び MOLY B 60 の特性

合金	成分 %		溶融点 ℃	比重 kg/m ³	比電気抵抗 Ωmm ² /m	20より100℃間の電気 抵抗の温度係数
	Mo	W				
MOLY B 20	90	10	2525	10700	0.065	4.0×10^{-4}
MOLY B 60	70	30	2675	11900	0.083	3.3×10^{-4}

モリブデン、TZM及びMo-W合金の化学的特性

水やその他の化学薬品に接触した場合のモリブデンの化学反応をTable IVに示します。Table IVの腐蝕データは、特に明記しないものは純粋な、ガスフリー溶液の場合です。媒体と空気の境界に於ては、空気中の酸素が酸化作用を変える可能性もあります。又、溶液中にある極めて少い濃縮された異物、化学的に活性な物質の存在や溶解したガスは腐蝕作用に大きく影響します。

複雑な腐蝕条件又は疑問のある場合には、腐蝕試験を実際に行って見ることをお勧めします。その際にはモリブデン、TZMやMo-W合金の適当な見本を提供します。

モリブデンとTZMは類似の耐蝕性を示しますので別々に述べる事は省略しました。

モリブデン、TZM及びHT-Moは空気中又は酸化性雰囲気中で約400℃迄は殆んど酸化しません。酸化は約400℃で始まり600℃で激しく進行し700℃では、三酸化モリブデンが昇華を始めます。

種々のガスや炉材の場合に於けるモリブデン、TZMとHT-Moの性質は、非常に似ていますので、純モリブデンの性質についてのみTable Vに示します。

溶融金属に対するモリブデンの耐蝕性はすばらしくTable VIの通りです。

Mo-W合金であるMOLY B60は特に溶融亜鉛に耐え、同時にこの合金はタングステンよりも、すぐれた延性と対衝撃性を持っています。

MOLY B20 (90Mo/10W)の化学的性質は、純モリブデンと殆んど同じです。しかし、MOLY B60 (70Mo/30W)の化学的性質はモリブデンとタングステンの中間です。

保管と機械加工

モリブデンは湿度の高い倉庫にて保管されますと表面が酸化します。そのため常に湿度変化が最少限に押えられる乾燥室にて保管して下さい。

酸化被膜は、酸洗いに付いての章にて述べています様に化学的に処理することにより綺麗に除去することが出来ます。

モリブデンは容易に機械加工を行うことが出来ます。しかしモリブデンは或る特性を持っていますので、その特性をよく考慮された上で注意深く加工されることをお勧めします。

脆さより延性への変遷温度

体心立方格子を有する全ての金属の如く、モリブデンは変遷温度があり、その温度以下では脆くて検査のため加工することが困難です。しかし、この温度以上なら延性を帯びます。この変遷温度は化学成分や加工歴に依って多少の変動があります。

再結晶温度

熱間加工前の焼鈍、軟化焼鈍、応力除去焼鈍、又高温の用途の際には常に温度範囲をお守り下さい。

モリブデンやTZMを再結晶温度以上に加熱しますと、結晶粒子の生長のために組織変化を起して強度や硬度を低下し脆化のもととなります。

再結晶組織を除去するために圧延、スエーピング、引抜き等の再加工を手早く行っても救い得ません。モリブデンの再結晶温度は化学成分と加工歴に大いに関係し、微細に分散した添加物は再結晶温度を高め高温強度を増加します。

Table IV

モリブデンの化学的性質

物質媒体	試験条件	反 応
Water Reactor cooling water containing Lithium (LiOH, pH 10)	常温又は高温 65°C (150°F), 通気中 65°C (150°F), ガスフリー溶液 硫化水素を加えたもの	安 定 不安定 安 定
Inorganic acids : Hydrofluoric acid Aqua regia Orthophosphoric acid Nitric acid Hydrochloric acid Sulphuric acid Chromosulphuric acid	常温と高温 270°C (520°F) 迄 常温と高温 常温と高温 200°C (390°F) 迄	不安定 不安定 安 定 不安定 安 定 安 定 不安定
Bases Ammonium hydroxide Potassium hydroxide (KOH<50%) Potassium hydroxide (KOH>50%) Sodium hydroxide (NaOH<50%) Sodium hydroxide (NaOH>50%)	100°C (212°F) 迄 100°C (212°F) 迄	不安定 安 定 不安定 安 定 不安定
Organic acids: Formic acid Acetic acid Lactic acid Oxalic acid Tartaric acid (18.4%)	包用温度 約100°C (212°F) 迄 包用温度 包用温度 包用温度	安 定 安 定 安 定 安 定 安 定
Nonmetals: Boron Carbon Phosphorus Sulphur Silicon Fluorine Chlorine Bromine Iodine	1600°C (2900°F) 以上 1100°C (2000°F) 以上 2000°C (3600°F) 迄 440°C (820°F) 以上 1100°C (2000°F) 以上 包用温度 250°C (480°F) 以上 450°C (840°F) 以上 450°C (840°F) 以上	硼化物形成 炭化物形成 無反応 硫化物形成 硅化物形成 不安定 不安定 不安定 不安定
Molten glass	1400°C (2550°F) 迄	安 定

折曲げ、成形、塵紋りと引抜き

Fig. 12の横方向は変遷温度、縦方向に再結晶温度とモリブデンの制限された実作業用範囲を示しました。薄板、加工率の高いモリブデン板や薄いリボンは圧延方向に著しい圧延組織を示し

ます。依ってそれ等の折曲げ特性は圧延方向に平行、又は直角では大きく異なります。その為にM. Planseeでは一般的な全ての曲げ加工用にクロスロールをした板を使われます様お勧めします。

標準板とリボンは圧延方向に直角、即ち縦方向にのみ曲げられます様お願いします。