

VDM® Alloy 36
Pernifer 36

VDM® Alloy 36

Pernifer 36

VDM® Alloy 36 ist eine binäre Eisen-Nickel-Legierung mit einem besonders niedrigen Ausdehnungskoeffizienten, wobei die Gehalte an Kohlenstoff und Mangan sowie die Freiheit von Verunreinigungen bedeutend sind. Kaltumformung verringert ebenfalls die thermische Ausdehnung. Künstliche Alterung durch eine Stufen-Wärmebehandlung stabilisiert den Ausdehnungskoeffizienten in einem ausgewählten Temperaturbereich.

VDM® Alloy 36 zeichnet sich aus durch:

- einen extrem niedrigen Ausdehnungskoeffizienten zwischen –250 und +200 °C
- gute Duktilität und Zähigkeit.

Bezeichnungen

Normung	Werkstoffbezeichnung
EN	1.3912 Ni36
UNS	K93600 (für Thermostate) K93601 (für Druckbehälter) K93602 (für spanabhebende Bearbeitung) K93603 (Werkstoff mit niedriger Temperaturexpansion)
AFNOR	Fe-Ni36

Normen

Produktform	ASTM	DIN	SEW
Blech	F1684	17745	385
Band	B603	17470	
Stange	F1684	17745	385
Draht	B603	17470	

Tabelle 1 – Bezeichnungen und Normen

Chemische Zusammensetzung

	Ni	Cr	Fe	Co	Mn	Si	C	S	P
Min.	35		Rest						
Max.	37	0,25		0,5	0,6	0,4	0,05	0,015	0,015

Technisch bedingt kann das Material weitere chemische Elemente enthalten

Tabelle 2 – Chemische Zusammensetzung (%)

Physikalische Eigenschaften

Dichte	Schmelzbereich	Curie Temperatur
8,1 g/ cm ³	1.430 °C	230 °C

Temperatur °C	Spezifische Wärmekapazität	Wärmeleitfähigkeit	Spezifischer Elektrischer Widerstand	Elastizitätsmodul	Mittlerer lin. Ausdehnungskoeffizient
	$\frac{J}{kg \cdot K}$	$\frac{W}{m \cdot K}$	$\mu\Omega \cdot cm$	GPa	$\frac{10^{-6}}{K}$
-250		2		133	1,3-2,2
-200		6		135	1,2-2,1
-180			49		
-150			52		
-100		10	59	138	1-1,6
-60	440				
-50	450				
20	486	12,8	78	143	
100	518	14,0	87	142	0,6-2,1
200	545	15,1	95	141	1,6-3,6
300	523	16,1	100	140	4,4-5,5
400	524	17,0	104	138	7,4-8,4
500	529	18,1	107	130	8,9-9,7
600	545	19,5	110	120	10-10,7

Tabelle 3 – Typische physikalische Eigenschaften bei tiefen, Raum- und erhöhten Temperaturen

Mikrostrukturelle Eigenschaften

In weichgeglühtem Zustand besitzt VDM® Alloy 36 eine kubisch-flächen-zentrierte Kristallstruktur.

Mechanische Eigenschaften

Die folgenden Eigenschaften bei Raum- und erhöhten Temperaturen gelten für VDM® Alloy 36 im weichgeglühten Zustand.

Temperatur °C	Dehngrenze R _{p 0,2} MPa	Zugfestigkeit R _m MPa	Bruchdehnung A %
0	310	520	40
20	270	490	40
100	180	435	45
200	115	430	45
300	95	410	50
400	90	350	55
500	90	290	60
600	75	210	70

Tabelle 4 – Typische mechanische Eigenschaften im weichgeglühten Zustand

Korrosionsbeständigkeit

In trockener Atmosphäre ist VDM® Alloy 36 bei Raumtemperatur korrosionsbeständig. Unter ungünstigen Bedingungen, zum Beispiel in feuchter Atmosphäre, kann Korrosion an der Oberfläche auftreten.

Anwendungsgebiete

VDM® Alloy 36 wurde für Anwendungen entwickelt, bei denen eine möglichst niedrige thermische Ausdehnung erforderlich ist.

Typische Anwendungen sind:

- Herstellung, Lagerung und Transport von verflüssigten Gasen
- Komponenten für OLED-Bildschirme
- Mess- und Kontrolleinrichtungen für Temperaturen unter 200 °C, zum Beispiel Thermostate
- Buchsen für Schraub- oder Nietverbindungen zwischen unterschiedlichen Metallen
- Bimetallkomponenten und thermostatische Bimetalle, wobei VDM® Alloy 36 die passive Komponente darstellt
- Formen für die Herstellung kohlefaserverstärkter Kunststoffkomponenten (CFK), insbesondere für die Luftfahrt
- Rahmen für elektronische Kontrolleinheiten in Satelliten und Raumfahrt bis zu –200 °C
- Stützelemente für elektromagnetische Linsen in Laserkontrollvorrichtungen
- Uhrpendel
- Komponenten für die Automobilindustrie
- Überlandleitungen in einer legierten, aushärtbaren Variante

Verarbeitung und Wärmebehandlung

VDM® Alloy 36 ist gut warm und kalt umformbar und spanabhebend zu bearbeiten. Die Verarbeitbarkeit ist mit der austenitischen Edelstähle vergleichbar.

Aufheizen

Die Werkstücke müssen vor und während der Wärmebehandlung sauber und frei von jeglichen Verunreinigungen sein. Schwefel, Phosphor, Blei und andere niedrigschmelzende Metalle können bei Wärmebehandlungen von VDM® Alloy 36 zur Schädigung führen. Derartige Verunreinigungen können auch in Markierungs- und Temperaturanzeige-Farben oder -Stiften sowie in Schmierfetten, Ölen, Brennstoffen und dergleichen enthalten sein. Brennstoffe müssen einen möglichst niedrigen Schwefelgehalt aufweisen. Erdgas sollte einen Anteil von weniger als 0,1 Gew.-% Schwefel enthalten. Heizöl mit einem Anteil von max. 0,5 Gew.-% Schwefel ist geeignet. Wärmebehandlungen sind wegen der genauen Temperaturführung und Freiheit von Verunreinigungen bevorzugt in Elektroöfen unter Vakuum oder Schutzgas vorzunehmen. Wärmebehandlungen in Luft bzw. in gasbeheizten Öfen sind ebenfalls akzeptabel, sofern Verunreinigungen niedrig liegen, so dass eine neutrale bzw. leicht oxidierende Ofenatmosphäre eingestellt werden kann. Eine zwischen oxidierend und reduzierend wechselnde Ofenatmosphäre ist zu vermeiden. Auch dürfen die Werkstücke nicht direkt von Flammen beaufschlagt werden.

Warmumformung

VDM® Alloy 36 kann im Temperaturbereich zwischen 1.050 - 800 °C warmgeformt werden mit anschließender schneller Abkühlung in Wasser oder an Luft. Zum Aufheizen sind die Werkstücke in den bereits auf maximale Warmumformtemperatur von 1.050 °C aufgeheizten Ofen einzulegen. Wenn der Ofen danach diese Temperatur wieder erreicht hat, soll das Werkstück für ca. 60 Minuten je 100 mm Dicke im Ofengehalten werden. Danach ist die Umformung umgehend vorzunehmen, wobei bei Erreichen der unteren Temperaturgrenze eine Nachwärmung erforderlich wird. Eine Wärmebehandlung nach der Warmumformung wird zur Erzielung optimaler Eigenschaften empfohlen.

Kaltumformung

Für die Kaltumformung soll das Werkstück in geglühtem Zustand vorliegen. VDM® Alloy 36 weist eine Kaltverfestigung wie austenitische, nichtrostende Stähle auf. Bei der Wahl der Umformeinrichtungen und der Auslegung der Umformprozesse ist dies zu berücksichtigen. Bei starken Kaltumformungen sind Zwischenglühungen notwendig. Unter bestimmten Umständen ist ein kalt umgeformtes Gefüge vorteilhaft, weil dadurch der thermische Ausdehnungskoeffizient leicht reduziert werden kann. Dieser Zustand ist jedoch nicht stabil, speziell im Einsatz bei höheren Temperaturen.

Kaltumformung %	0,2 % Dehngrenze R _{p 0,2} MPa	Bruchdehnung A ₅ %
0	292	40
23	645	15
39	679	13
53	702	12

Tabelle 5 – Typische mechanische Eigenschaften von weichgeglühten Stangen nach Kaltumformung bei Raumtemperatur

Wärmebehandlung

Die Weichglühung sollte bei Temperaturen von 820 bis 900 °C erfolgen mit nachfolgender Luftabkühlung. Wasserabkühlung nach einer Weichglühung führt im Vergleich zur Luftabkühlung zu einem geringeren Wärmeausdehnungskoeffizienten. Das resultierende Gefüge ist jedoch ebenfalls nicht stabil. Nach Kaltumformungen von weniger als 10 % soll die Glühtemperatur 860 °C nicht übersteigen.

Entspannungsglühungen erfolgen bei Temperaturen von ca. 700 °C.

Die niedrigsten Ausdehnungswerte bis 100 °C werden durch eine Wärmebehandlung in 3 Schritten erreicht:

- 1) Ca. 30 Minuten Glühen bei 830 °C mit anschließender Wasserabschreckung.
- 2) Aufheizen auf 300 °C; Halten der Temperatur für 1 Stunde; Luftabkühlung.
- 3) Erneutes Aufheizen auf 100 °C; Halten der Temperatur für 30 Minuten, Ofenabkühlung über 48 Stunden auf Raumtemperatur.

Bei jeder Wärmebehandlung ist das Material in den bereits auf maximale Glühtemperatur aufgeheizten Ofen einzulegen. Für die Produktformen Band und Draht kann die Wärmebehandlung im Durchlaufofen mit an die Geometrie angepasster Geschwindigkeit und Temperatur erfolgen. Die unter Aufheizen aufgeführten Sauberkeitsforderungen sind zu beachten.

Entzundern und Beizen

Oxide von VDM® Alloy 36 und Verfärbungen im Bereich von Schweißnähten haften fester als bei nichtrostenden Stählen. Schleifen mit sehr feinen Schleifbändern oder -scheiben wird empfohlen. Anlauffarben sind zu vermeiden. Vor dem Beizen, das in einer Salzsäurelösung unter exakter Beachtung von Beizezeit und -temperatur erfolgen sollte, müssen die Oxidschichten durch Strahlen oder feines Schleifen zerstört oder in Salzsäurelösungen vorbehandelt werden. Eine 20-prozentige Salzsäurelösung bei 70 °C ist besonders effektiv. Beizlösungen auf Basis Salpetersäure/Flusssäure sind zu vermeiden, da sie für das Beizen von VDM® Alloy 36 im Allgemeinen zu aggressiv sind. Um Überbeizungen zu vermeiden wird empfohlen, vor dem Beizen Beizversuche an Proben vorzunehmen.

Spanabhebende Bearbeitung

VDM® Alloy 36 ist vorzugsweise im geglähten Zustand zu bearbeiten. Die spanabhebenden Bearbeitungseigenschaften von VDM® Alloy 36 ähneln denen austenitischer Edelstähle. Aufgrund seiner hohen Duktilität sind die während der spanabhebenden Bearbeitung auftretenden Späne tendenziell schnurförmig und zäh und können daher zu schnellem Verschleiß der Schneidwerkzeugkanten führen. Das Werkzeug muss ständig im Eingriff sein. Allgemein sollte eine relativ niedrige Schnittgeschwindigkeit mit einem nicht zu großen Vorschub verwendet werden. Eine ausreichende Spantiefe ist jedoch wichtig, um eine zuvor entstandene kaltverfestigte Zone zu unterschneiden. Damit lässt sich übermäßige Wärmeentwicklung vermeiden und deren Einfluss auf die Ausdehnungseigenschaften des Werkstoffes minimieren. Es sollten Werkzeuge aus Schnellarbeitsstahl (HSS) oder Hartmetalleingesetzt werden. Die Schneidkanten sind scharf zu halten. In der Regel werden beim Zerspanen von VDM® Alloy 36 zwei Arten von Schmierstoffen benutzt: Sulfochlorierte Öle aufgrund ihrer Fähigkeit, Fressen zu vermeiden, und Emulsionen wegen ihrer höheren Kühlkapazität. Für die meisten spanabhebenden Verarbeitungsschritte werden sulfochlorierte Schneidöle benötigt.

Schweißtechnische Hinweise

Beim Schweißen von Nickellegierungen und Sonderedelstählen sind die nachfolgenden Hinweise zu berücksichtigen:

Sicherheit

Die allgemein geltenden Sicherheitsempfehlungen insbesondere zur Vermeidung von Staub- und Rauch-Exposition sind zu beachten.

Arbeitsplatz

Ein separat angeordneter Arbeitsplatz ist vorzusehen, der deutlich getrennt ist von den Bereichen, in denen C-Stahl verarbeitet wird. Größte Sauberkeit ist Voraussetzung, Zugluft beim Schutzgasschweißen ist zu vermeiden.

Hilfsmittel und Kleidung

Saubere Feinlederhandschuhe und saubere Arbeitskleidung sind zu verwenden.

Werkzeug und Maschinen

Werkzeuge, die für andere Werkstoffe verwendet werden, dürfen nicht für Nickellegierungen und Edelmetalle eingesetzt werden. Es sind ausschließlich Edelstahlbürsten zu verwenden. Ver- und Bearbeitungsmaschinen, wie Scheren, Stanzen oder Walzen sind so auszurüsten (Filz, Pappe, Folien), dass über diese Anlagen die Werkstückoberflächen nicht durch das Eindringen von Eisenpartikeln beschädigt werden können, was letztlich zu Korrosion führen kann.

Schweißnahtvorbereitung

Die Schweißnahtvorbereitung ist vorzugsweise auf mechanischem Wege durch Drehen, Fräsen oder Hobeln vorzunehmen. Abrasives Wasserstrahlschneiden oder Plasmaschneiden ist ebenfalls möglich. In letzterem Fall muss jedoch die Schnittkante (Nahtflanke) sauber nachgearbeitet werden. Zulässig ist vorsichtiges Schleifen ohne Überhitzung.

Zünden

Das Zünden darf nur im Nahtbereich, z.B. an den Nahtflanken oder auf einem Auslaufstück und nicht auf der Bauteiloberfläche, vorgenommen werden. Zündstellen sind Stellen, an denen es bevorzugt zu Korrosion kommen kann.

Öffnungswinkel

Im Vergleich zu C-Stählen weisen Nickellegierungen und Sonderedelstähle eine geringere Wärmeleitfähigkeit und eine höhere Wärmeausdehnung auf. Diesen Eigenschaften ist durch größere Wurzelspalte bzw. Stegabstände (1 bis 3 mm) Rechnung zu tragen. Aufgrund der Zähflüssigkeit des Schweißgutes (im Vergleich zu Standardausteniten) und der Schrumpfungstendenz sind Öffnungswinkel von 60 bis 70° – wie Abbildung 1 zeigt – für Stumpfnähte vorzusehen.

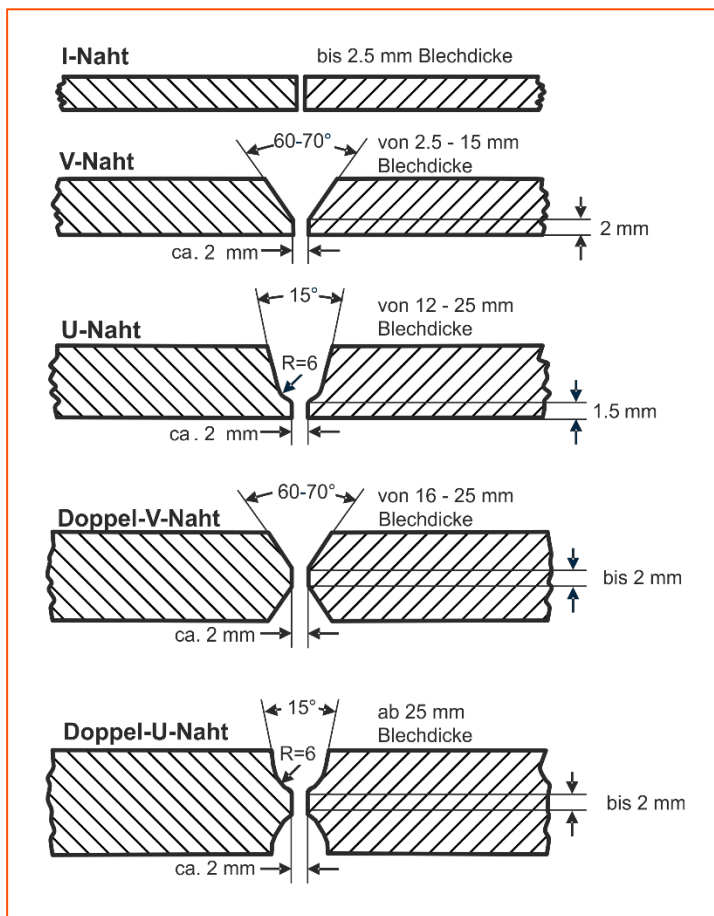


Abbildung 1 – Nahtvorbereitungen für das Schweißen von Nickellegierungen und Sonderedelstählen

Reinigung

Die Reinigung des Grundwerkstoffes im Nahtbereich (beidseitig) und des Schweißzusatzes (z. B. Schweißstab) sollte mit Aceton erfolgen.

Schweißparameter und Einflüsse

Es ist dafür Sorge zu tragen, dass mit gezielter Wärmeführung und geringer Wärmeeinbringung gearbeitet wird, wie in Tabelle 6 exemplarisch gezeigt. Die Strichraupentechnik ist anzustreben. Die Zwischenlagentemperatur soll 130 °C nicht überschreiten. Prinzipiell ist eine Kontrolle der Schweißparameter erforderlich.

Die Streckenenergie E kann wie folgt berechnet werden:

$$E = \frac{U \cdot I \cdot 60}{v \cdot 1,000} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{cm}} \right)$$

U = Lichtbogenspannung, Volt

I = Schweißstromstärke, Ampere

v = Schweißgeschwindigkeit, cm/Min.

Schweißzusatz

GTAW/GMAW

- VDM® FM 36 - W.-Nr. 1.3912

- VDM® FM 36 M - W.-Nr. 1.3990

Schweißzusatzwerkstoff mit optimierten Schweißeigenschaften unter anderem für das MSG-Schweißen dicker Bleche z.B. für den CFK-Formenbau. VDM® FM 36 M ist nicht für den Einsatz im Tieftemperaturbereich geeignet.

- VDM® FM 36 LT - nach Vd-TÜV Kennblatt Nr. 11218.

VDM® FM 36 LT ist optimiert für Anwendungen, bei denen hohe Zähigkeit und Festigkeit bei sehr tiefen Temperaturen (z.B. im Bereich Flüssigerdgas, engl. Liquefied Natural Gas - LNG) gefordert werden.

Wenn niedrigste Wärmeausdehnung in der entsprechenden Anwendung nicht verlangt wird, ist ein möglicher Alternativ-Schweißwerkstoff:

VDM® FM 82, W.-Nr. 2.4806

ISO 18274 - S Ni 6082 (NiCr20Mn3Nb);

AWS 5.14 ERNiCr-3

WIG/MIG

- VDM® FM 36 - W.-Nr. 1.3912

- VDM® FM 36 M - W.-Nr. 1.3990

Schweißzusatzwerkstoff mit optimierten Schweißeigenschaften unter anderem für das MSG-Schweißen dicker Bleche z.B. für den CFK-Formenbau. VDM® FM 36M ist nicht für den Einsatz im Tieftemperaturbereich geeignet.

- VDM® FM 36 LT - nach Vd-TÜV Kennblatt Nr. 11218.

VDM® FM 36LT ist optimiert für Anwendungen, bei denen hohe Zähigkeit und Festigkeit bei sehr tiefen Temperaturen (z.B. im Bereich Flüssigerdgas, engl. Liquefied Natural Gas - LNG) gefordert werden.

Wenn niedrigste Wärmeausdehnung in der entsprechenden Anwendung nicht verlangt wird, dann ist ein möglicher Alternativ-Schweißzusatzwerkstoff:

VDM® FM 82, W.-Nr. 2.4806

ISO 18274 - S Ni 6082 (NiCr20Mn3Nb); AWS 5.14 ERNiCr-3

Nachbehandlung

Bei optimaler Ausführung der Arbeiten führt das Bürsten direkt nach dem Schweißen, also im noch warmen Zustand, ohne zusätzliches Beizen zu dem gewünschten Oberflächenzustand, d.h., Anlauffarben können restlos entfernt werden. Beizen, wenn gefordert oder vorgeschrieben, ist im Allgemeinen der letzte Arbeitsgang an der Schweißung. Die Hinweise im Abschnitt 'Entzundern und Beizen' sind zu beachten. Wärmebehandlungen sind in der Regel weder vor noch nach dem Schweißen notwendig.

Dicke (mm)	Schweiß- verfahren	Schweißzusatz		Wurzellage ¹⁾		Füll- und Decklage		Schweiß- geschwin- digkeit (cm/min.)	Schutzgas	
		Durchmes- ser (mm)	Geschwin- digkeit (m/min.)	I in (A)	U in (V)	I in (A)	U in (V)		Art	Menge (l/min.)
6	Plasma ³⁾	1,2	0,5			220	26	26	I1, R1 mit max. 2% H2	30
8	Plasma ³⁾	1,2	0,5			27	27	25	I1, R1 mit max. 2% H2	30
2	m-WIG	2,0		70	9			15	I1, R1 mit max. 2% H2	8
6	m-WIG	2,0 – 2,4	90	10	130	16	16		I1, R1 mit max. 2% H2	8
12	m-WIG	2,4		100	10	14	14	16	I1, R1 mit max. 2% H2	8
3	v-WIG ²⁾	1,2	1			13	13	25	I1, R1 mit max. 2% H2	12-15
5	v-WIG ²⁾	1,2	1,0			13	13	25	I1, R1 mit max. 2% H2	12-15
≥10	v-WIG ²⁾	1,2	1,5			14	14	20-25	I1, R1 mit max. 2% H2	15

1) Wurzellage: Bei allen Schutzgasschweißungen ist auf ausreichenden Wurzelschutz, z. B. mit Ar 4.6, zu achten.

2) v-WIG: die Wurzellage sollte manuell geschweißt werden (siehe Parameter m-WIG)

3) Plasma: empfohlenes Plasmagas Ar 4.6 / Plasmagasmenge 3,0-3,5 l/min

Streckenergie kJ/cm: WIG, manuell, mechanisiert max. ca. 8; Plasma max. ca. 10

Die Angaben sind Anhaltswerte, die das Einstellen der Schweißmaschinen erleichtern sollen.

Die Tabelle enthält Richtparameter für den VDM® FM 36 und den VDM® FM 36 LT, die das Einstellen des Schweißgerätes erleichtern sollen. VDM® FM 36 M ist jedoch auch besonders gut MSG schweißbar. Richtparameter hierzu (ebenso wie für den VDM® FM 82) finden sich im VDM Schweißzusatzwerkstoff-Katalog.

Tabelle 6 – Schweißparameter

Verfügbarkeit

VDM® Alloy 36 ist in den folgenden Halbzeugformen lieferbar:

Blech

Lieferzustand: Warm- oder kaltgewalzt, wärmebehandelt, entzundert bzw. gebeizt

Lieferzustand	Dicke mm	Breite mm	Länge mm	Stückgewicht kg
Kaltgewalzt	1-7	1.000 - 2.500	≤ 12.500	
Warmgewalzt*	3-60	1.000 - 2.500	≤ 12.500	≤ 3.850

Band

Lieferzustand: Kaltgewalzt, wärmebehandelt, gebeizt oder blankgeglüht

Dicke mm	Breite mm	Coil-Innendurchmesser mm			
0,02-0,2	4-230	300	400	500	–
0,2-0,25	4-720	300	400	500	–
0,25-0,6	6-750	–	400	500	600
0,6-1	8-750	–	400	500	600
1-2	15-750	–	400	500	600
2-3,5	25-750	–	400	500	600

Bandbleche – vom Coil abgeteilt – sind in Längen von 250 bis 4.000 mm lieferbar.

Stange

Lieferzustand: geschmiedet, gewalzt, gezogen, wärmebehandelt, oxidiert, entzundert bzw. gebeizt, gedreht, geschält, geschliffen oder poliert

Abmessungen	Außendurchmesser mm	Länge mm
Allgemeine Abmessungen	6-800	1.500-12.000
Werkstoffspezifische Abmessungen	20-275	1.500-12.000

Draht

Lieferzustand: blank gezogen, ¼ hart bis hart, blankgeglüht in Ringen, Behältern, auf Spulen und Kronenstöcken

Gezogen mm	Warmgewalzt mm
0,16-10	5,5-19

Weitere Abmessungen und Formen wie Ronden, Ringe, nahtlose bzw. längsgeschweißte Rohre und Schmiede-teile können angefragt werden.

Impressum

26. März 2020

Herausgeber

VDM Metals International GmbH
Plettenberger Straße 2
58791 Werdohl
Germany

Disclaimer

Alle Angaben in diesem Datenblatt beruhen auf Ergebnissen aus der Forschungs- und Entwicklungstätigkeit der VDM Metals International GmbH und den zum Zeitpunkt der Drucklegung zur Verfügung stehenden Daten der aufgeführten Spezifikationen und Standards. Die Angaben stellen keine Garantie für bestimmte Eigenschaften dar. VDM Metals behält sich das Recht vor, Angaben ohne Ankündigung zu ändern. Alle Angaben in diesem Datenblatt wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und erfolgen ohne Gewähr. Lieferungen und Leistungen unterliegen ausschließlich den jeweiligen Vertragsbedingungen und den Allgemeinen Geschäftsbedingungen der VDM Metals. Die Verwendung der aktuellsten Version eines Datenblatts obliegt dem Kunden.

VDM Metals International GmbH
Plettenberger Straße 2
58791 Werdohl
Germany

Telefon +49 (0)2392 55 0
Fax +49 (0)2392 55 22 17

vdm@vdm-metals.com
www.vdm-metals.com