

VDM® Alloy 751

Nicrofer 7016 TiAl

VDM® Alloy 751

Nicrofer 7016 TiAl

VDM® Alloy 751 ist eine aushärtbare Nickel-Chrom-Eisen-Legierung. Die Aushärtbarkeit wird durch Zusätze von Titan, Niob und Aluminium erreicht, die zu Ausscheidungen während der Wärmebehandlung führen. Sie kann im lösungsgeglühten oder ausgehärteten Zustand geliefert werden. Der Einsatz erfolgt grundsätzlich im ausgehärteten Zustand.

VDM® Alloy 751 ist gekennzeichnet durch:

- hohe Zugfestigkeit bis zu 600 °C
- hohe Kriech- und Zeitstandfestigkeit bis zu 820 °C
- hohe Oxidationsbeständigkeit bis zu 980 °C
- hervorragende mechanische Eigenschaften in Tieftemperaturumgebungen
- gute Korrosionsbeständigkeit bei hohen und tiefen Temperaturen und hohe Beständigkeit gegenüber Spannungsrisskorrosion
- gute Schweißbarkeit (Widerstands- und Schmelzschweißen)

Bezeichnungen und Normen

Normung	Werkstoffbezeichnung
EN	2.4694 NiCr16Fe7TiAl
UNS	N07751

Tabelle 1 – Bezeichnungen und Normen

Chemische Zusammensetzung

	Ni	Cr	C	S	Mn	Si	Ti	Nb	Cu	Fe	Al
Min.	70	14					2	0,7		5	0,9
Max.		17	0,10	0,01	1	0,5	2,6	1,2	0,5	9	1,5

Technisch bedingt kann das Material weitere chemische Elemente enthalten.

Tabelle 2 – Chemische Zusammensetzung (%)

Physikalische Eigenschaften

Dichte	Schmelzbereich	Relative magnetische Permeabilität bei 20 °C	Curie Temperatur
8,2 g/cm³ bei 20 °C	1.390 – 1.430 °C	1,0035	-223 °C

Temperatur	Spezifische Wärmekapazität	Wärmeleitfähigkeit	Elektrischer Widerstand	Elastizitätsmodul	Mittlerer lin. Ausdehnungskoeffizient
°C	$\frac{J}{kg \cdot K}$	$\frac{W}{m \cdot K}$	$\mu\Omega \cdot cm$	GPa	$10^{-6} \frac{K}{K}$
20	431	10,5	123	213	
100	460	11,8	125		13,2
200	480	13,4	127	189	13,5
300	500	15,0	128		13,7
400	520	16,5	130	194	13,9
500	535	18,0	131		14,2
600	560	19,8	130	180	14,8
700	600	21,5	129	172	15,2
800	660	23,3	129	161	15,8
900	750	25,2	127	144	16,5
1.000		27,2	126		17,3

Tabelle 3 – Typische physikalische Eigenschaften bei (Raum- und erhöhten Temperaturen)

Mikrostrukturelle Eigenschaften

VDM® Alloy 751 hat eine kubisch-flächenzentrierte Kristallstruktur. Die ausgezeichnete mechanische Festigkeit wird durch die Ausscheidungshärtung der Gamma Phase (γ) durch Bildung der Gamma Prime Phase (γ') mit einigen Karbiden bei der Aushärtungsglühung verursacht.

Mechanische Eigenschaften

Die folgenden mechanischen Eigenschaften gelten für VDM® Alloy 751 im lösungsgeglühten und abgeschreckten Zustand.

Temperatur °C	Dehngrenze $R_{p\ 0,2}$ MPa	Zugfestigkeit R_m MPa	Bruchdehnung A %
20	716	1080	24
200	670	1020	27
400	652	983	30
600	660	912	25
700	660	861	14
800	534	637	12
900	271	35	29

Tabelle 4a – Typische mechanische Eigenschaften von lösungsgeglühten und ausscheidungsgehärtetem VDM® Alloy 751 bei Raum- und erhöhten Temperaturen

Temperatur °C	Dehngrenze $R_{p\ 0,2}$ MPa	Zugfestigkeit R_m MPa	Bruchdehnung A %
20	391	782	42
200	380	700	44
400	371	640	47
600	360	600	47
700	350	593	17
800	340	577	7
900	243	316	34
1,000	73	78	

Tabelle 4b – Typische mechanische Eigenschaften von lösungsgeglühten VDM® Alloy 751 bei Raum- und erhöhten Temperaturen

Korrosionsbeständigkeit

VDM® Alloy 751 zeigt eine hervorragende Korrosionsbeständigkeit bei hohen und niedrigen Temperaturen, außerdem hat die Legierung eine hohe Beständigkeit gegen Spannungsrisskorrosion. Der Widerstand gegen oxidierende Bedingungen ist mit bis zu 980 °C bemerkenswert hoch.

Anwendungsgebiete

Aufgrund seiner Hochtemperaturfestigkeit bis zu 820 °C und seiner ausgezeichneten Korrosionsbeständigkeit, kann VDM® Alloy 751 in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt werden. Eine typische Anwendung sind Auslassventile von Verbrennungsmotoren.

Verarbeitung und Wärmebehandlung

VDM® Alloy 751 ist gut warm und kalt umformbar sowie spanabhebend zu bearbeiten. Für alle Bearbeitungen sind jedoch Maschinen erforderlich, die den mechanischen Eigenschaften wie der hohen Festigkeit und den charakteristischen Kaltverfestigungsraten Rechnung tragen. Die Umformung sollte vorzugsweise im lösungsgeglühten Zustand stattfinden.

Aufheizen

Es ist wichtig, dass die Werkstücke vor und während der Wärmebehandlung sauber und frei von jeglichen Verunreinigungen sind. Schwefel, Phosphor, Blei und andere niedrigschmelzende Metalle können bei der Wärmebehandlung zur Schädigung des Materials führen. Derartige Verunreinigungen sind auch in Markierungs- und Temperaturanzeigefarben oder -stiften sowie in Schmierfetten, Ölen, Brennstoffen und dergleichen enthalten. Die Brennstoffe müssen einen möglichst niedrigen Schwefelgehalt aufweisen. Erdgas sollte einen Anteil von weniger als 0,1 Gew.-% Schwefel enthalten. Heizöl mit einem Schwefelgehalt von max. 0,5 Gew.-% ist ebenfalls geeignet. Elektroöfen sind wegen der genauen Temperaturführung und Freiheit von Verunreinigungen durch Brennstoffe zu bevorzugen. Die Ofenatmosphäre sollte neutral bis leicht oxidierend eingestellt werden und darf nicht zwischen oxidierend und reduzierend wechseln. Die Werkstücke dürfen nicht direkt von den Flammen beaufschlagt werden.

Warmumformung

VDM® Alloy 751 kann im Temperaturbereich zwischen 1.200 und 980 °C optimal warmgeformt werden mit anschließender schneller Abkühlung. Zum Aufheizen werden die Werkstücke in den auf Warmformtemperatur aufgeheizten Ofen eingelegt. Nach erfolgtem Temperatúrausgleich sollte eine Haltezeit von 60 min. je 100 mm Werkstückdicke eingehalten werden. Danach werden die Werkstücke umgehend entnommen und im angegebenen Temperaturfenster verformt. Bei Unterschreiten einer Temperatur von 980 °C sollte das Werkstück wie oben beschrieben nachgeheizt werden, da es sonst für eine weitere Warmumformung zu fest würde. Eine Wärmebehandlung nach der Warmumformung wird zur Optimierung der mechanischen Eigenschaften und Korrosionsbeständigkeit empfohlen. Um gute mechanische Eigenschaften zu gewährleisten, sollte der letzte Umformschritt mind. 20% betragen und eine Temperatur von 1.100 °C nicht überschreiten.

Kaltumformung

VDM® Alloy 751 wird idealerweise im lösungsgeglühten Zustand kalt umgeformt. Der Werkstoff weist eine deutlich höhere Kaltverfestigung auf als austenitische Edelstähle. Dies muss bei der Auslegung und Auswahl von Umformwerkzeugen und -anlagen und der Planung von Umformprozessen berücksichtigt werden.

Wärmebehandlung

Im Allgemeinen umfasst die Wärmebehandlung von VDM® Alloy 751 zwei Stufen:

1. Lösungsglühung bei 980 bis 1.010 °C für mind. 0,5 Stunden gefolgt von schneller Abkühlung.
2. Aushärtungsglühung bei 700 bis 780 °C für 2 - 4 Stunden gefolgt von Luftabkühlung.

Für jede Wärmebehandlung sollte das Material in den bereits auf Glühtemperatur geheizten Ofen gelegt werden und die im Kapitel „Aufheizen“ erwähnten Hinweise beachtet werden.

Entzundern und Beizen

Hochtemperaturwerkstoffe bauen im Betrieb schützende Oxidschichten auf. Daher sollte die Notwendigkeit des Entzunderns bei der Bestellung geprüft werden. Oxide von VDM® Alloy 751 und Anlauffarben im Bereich von Schweißungen haften fester als bei Edelstählen. Schleifen mit sehr feinen Schleifbändern oder -scheiben wird empfohlen. Anlauffarben durch das Schleifen (Schleifbrand) sind zu vermeiden. Falls gebeizt werden muss, sind die Beizezeiten – wie bei allen Hochtemperaturwerkstoffen – kurz zu halten, weil diese sonst einen interkristallinen Korrosionsangriff erleiden. Weiterhin ist die Temperatur der Beize zu kontrollieren. Vor dem Beizen in Salpeter-Flusssäure-Gemischen müssen dichte Oxidschichten durch Strahlen oder Schleifen zerstört oder in Salzsäure vorbehandelt werden.

Spanabhebende Bearbeitung

Während sich VDM® Alloy 751 im lösungsgeglühten Zustand besser verarbeiten lässt und die Beanspruchung der Werkzeuge geringer ist, wird im ausgehärteten Zustand eine bessere Oberflächenqualität erzielt. Die besten Ergebnisse hinsichtlich der Oberflächenqualität und Maßhaltigkeit des fertigen Produktes werden durch Vorbearbeitung vor dem Aushärten und Endbearbeitung im ausgehärteten Zustand erzielt. Wegen der im Vergleich zu niedriglegierten austenitischen Edelstählen erhöhten Neigung zur Kaltverfestigung sollte eine niedrigere Schnittgeschwindigkeit gewählt werden und das Werkzeug ständig im Eingriff bleiben. Eine ausreichende Spantiefe ist wichtig, um eine zuvor entstandene kaltverfestigte Zone zu unterschneiden.

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, und 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 Edelstähle 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.

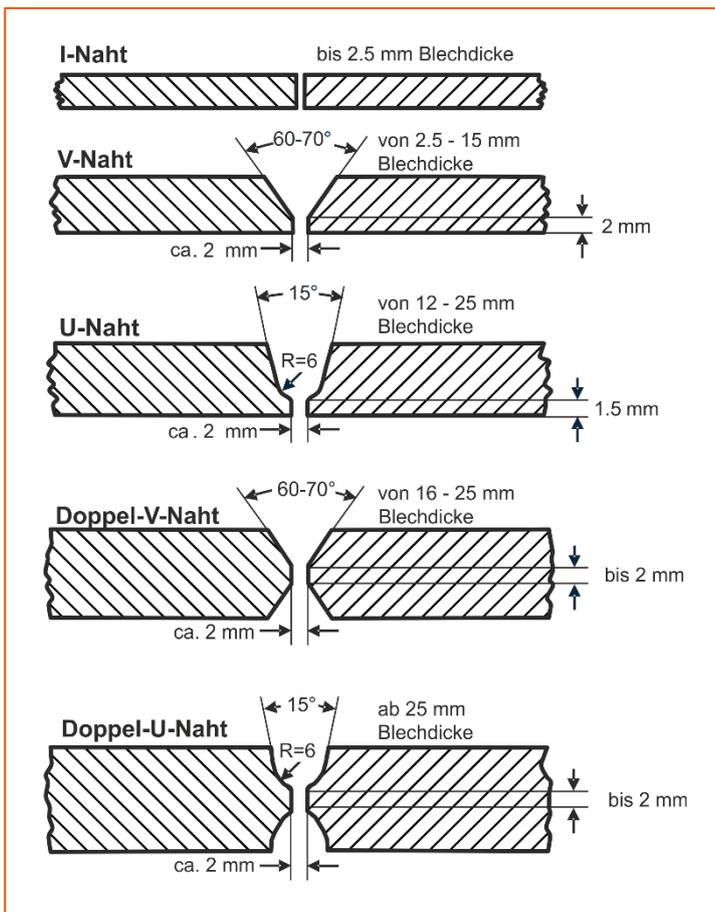


Abbildung 1 – Nahtvorbereitungen für das Schweißen von Nickellegierungen und Sonderedelstählen

Reinigung

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

Schweißverfahren

VDM® Alloy 751 kann mit einer Vielzahl unterschiedlicher Schweißverfahren geschweißt werden. Sofern das Metall-Schutzgas-Schweißverfahren (MSG) angewendet wird, ist die Impulstechnik zu bevorzugen. Zum Schweißen soll das Material im lösungsgeglühten Zustand vorliegen und frei sein von Zunder, Fett und Markierungen. Beim Schweißen der Wurzel ist auf besten Wurzelschutz (z. B. Argon 4.6) zu achten, so dass nach dem Schweißen der Wurzel die Schweißnaht frei von Oxiden ist. Etwaige Anlaufarben sind vorzugsweise mit einer Edelstahlbürste zu entfernen, während die Schweißnaht noch warm ist.

Schweißzusatz

VDM® FM 82 (W.-Nr. 2.4806)

UNS N06082; AWS A5.14: ERNiCr-3;

DIN EN ISO 18274 - S Ni 6082 (NiCr20Mn3Nb)

VDM® FM 617 (W.-Nr. 2.4627)

UNS N06617; AWS A5.14: ERNiCrCoMo-1;

DIN EN ISO 18274 - S Ni6617(NiCr22Co12Mo9)

Es ist zu beachten, dass der Grundwerkstoff (wie weiter oben beschrieben) ausgehärtet werden kann, die genannten Schweißzusatzwerkstoffe jedoch nicht. Hierdurch ergibt sich, dass das Schweißgut eine geringere Festigkeit aufweist als der ausgehärtete Grundwerkstoff VDM® Alloy 751.

Schweißparameter und Einflüsse

Es ist dafür Sorge zu tragen, dass mit gezielter Wärmeführung und geringer Wärmeeinbringung gearbeitet wird, wie in Tabelle 5 exemplarisch aufgeführt. Die Strichraupentechnik ist anzustreben. Die Zwischenlagentemperatur sollte 100 °C nicht überschreiten. Prinzipiell ist eine kontinuierliche Überwachung der Schweißparameter erforderlich.

Die Streckenenergie E kann wie folgt berechnet werden:

$$E = U \times I \times 60 / v \times 1000 \text{ (kJ/cm)}$$

U = Lichtbogenspannung, Volt

I = Schweißstromstärke, Ampere

v = Schweißgeschwindigkeit, cm/min

Nachbehandlung

Bei optimaler Ausführung der Arbeiten führt das Bürsten direkt nach dem Schweißen, also im noch warmen Zustand, ohne zusätzliches Beizen zum 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	Schutzgas	
		Durchmes- ser (mm)	Geschwin- digkeit (m/min.)	I in (A)	U in (V)	I in (A)	U in (V)	(cm/min.)	Art	Menge (l/min.)
3	v-WIG ²⁾	1,2	1,2				≤ 150	11	25	12-14
5	v-WIG ²⁾	1,2	1,4				≤ 180	12	25	12-14
3	m-WIG	2,0		90	10	110-120	11	15		8-10
6	m-WIG	2,0-2,4		100-110	10	120-140	12	14-16		8-10
8	m-WIG	2,4		100-110	11	130-140	12	14-16		8-10
10	m-WIG	2,4		100-110	11	130-140	12	14-16		8-10

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

2) Die Wurzellage sollte manuell geschweißt werden

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

Tabelle 5 – Schweißparameter

Verfügbarkeit

VDM® Alloy 751 ist in den folgenden Halbzeugformen lieferbar:

Stange

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

Abmessungen	Außendurchmesser mm	Länge mm
Allgemeine Abmessungen	6-800	1500-12000
Werkstoffspezifische Abmessungen	8-120	1500-12000

Impressum

6. Dezember 2021

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