

1.4441 IMPLANT

1.4441/AISI 316L – Austenitischer rostfreier Stahl für Implantate

Merkmale und Besonderheiten

Dieser Implantat Stahl ist ein Klassiker. Er wurde gezielt für die Medizin, insbesondere für Osteosynthese-Implantate für die Knochenchirurgie, entwickelt und optimiert. Er ist das Äquivalent des ASTM F 138, 316LVM, VAR umgeschmolzenen Stahls. Er ist ESU umgeschmolzen, dadurch kann sein S-Gehalt besonders niedrig, seine Mikrostruktur rein und δ (Delta) Ferrit frei. d.h. nicht magnetisch gehalten werden. Seine Korrosionsbeständigkeit, vor allem gegen die Lochfrass-Korrosion, ist gut. Er kann zu hohen mechanischen Eigenschaften kaltverformt und verarbeitet werden. Seine gute Ermüdungseigenschaften und Festigkeit reichen bis in hohe Belastungszyklen-Bereiche.

Einsatz und Verwendungszweck

Der 1.4441 IMPLANT Stahl ist für zahlreiche Anwendungen in der Medizintechnik besonders geeignet, wie knochenchirurgische Implantate, Gelenkprothesen, Spick-Führungs- und Kirschner-Drähte. Er ist für andere Verwendungszwecke mit ähnlichen Anforderungen, wie Komponenten der Uhren-Ausstattung sehr gut anwendbar. Seine Zerspanung verlangt eine Anpassung der Zerspan- und Schnittbedingungen.

Normen

Werkstoff Nummer	1.4441
ISO	5832-1
EN 10088-3 09/05	X2CrNiMo18-15-3
DIN / AFNOR	X2CrNiMo18-15-3
AISI/SAE	316 LVM
ASTM	F 138
UNS	S31673

Chemische Zusammensetzung (%Gew.)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Cu	Fe
max.	max.	max.	max.	max.	17.0	13.0	2.70	max.	max.	Rest
0.030	0.75	2.00	0.025	0.003	19.0	15.0	3.00	0.10	0.50	

Abmessungen und Toleranzen

Standard: Stäbe 3 m (+50/0 mm), Ringe für Escomatic

- Stäbe $\varnothing < 0.8-18$ mm: ISO h8
- Stäbe $\varnothing \geq 2.00$ mm: ISO h6 (h7)
- Drähte $\varnothing 0.80 - 3.00$ mm: ISO fg7, Ringe für Escomatic
- Unrundheit max: $\frac{1}{2}$ Durchmesser Toleranz

Ausführungen

- Stäbe $\varnothing \geq 2.00$ mm: kalt gezogen, geschliffen, poliert, $Ra \leq 0.4 \mu m$ (N5) Rissprüfung EN 10277-1 Tab1: $\varnothing < 6.0$ Kl. 2, ≤ 6.0 Kl. 3 Spitze und Fasen
- Stäbe < 2.00 mm: Oberfläche: kalt gezogen
- Stäbe ≥ 6.00 mm: [SWISSLINE](#) Ausführung
- Drähte $\varnothing < \max. 3.00$ mm: Oberfläche: kalt gezogen, Ringe für Escomatic

Andere Toleranzen und Ausführungen auf Anfrage

Festigkeit

- Stäbe $\varnothing \geq 3.0 - 22$ mm: Festigkeit Rm: für Schrauben: 930-1100 MPa
- Stäbe $\varnothing \geq 0.80 - 13$ mm: extrahart: $\geq 1'400$ MPa

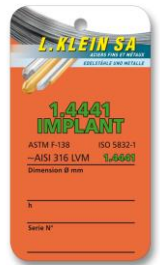
Verfügbarkeit

Standardabmessungen ab Lager, siehe: [Lieferprogramm](#)

Schnittbedingungen

Zerspanung: relativ schwierig, besser in kaltverformtem Zustand
 Schnittgeschwindigkeit: $V_c \approx 30 - 40$ m/min.
 Kühl-Schmiermittel: Individuelle Wahl

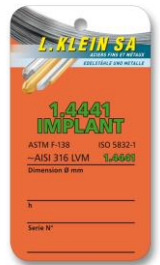
- Die optimalen Schnittbedingungen sind von Werkzeugmaschine, Schnittwerkzeugen, Spanabmessungen, Kühl-Schmiermittel, Toleranzen sowie die Oberflächenrauheit direkt abhängig.



1.4441 IMPLANT

1.4441/AISI 316L – Austenitischer rostfreier Stahl für Implantate

Gefüge Reinheit	Nach: EN 50602: ASTM 45 (E 1122):	K0.5 < 1 (K1 < 0.5) < 1 A, B, C und D Einschlusstyp
Korngröße	Nach: ASTM E47: • Warm gewalzte Stäbe: • Kalt gezogene Drähte und Stäbe:	ASTM Nr. ≥ 6-7 ASTM Nr. ≥ 8
δ (Delta) Ferrit	Dieser Stahl ist frei von δ (Delta) Ferrit und daher nicht ferromagnetisch. Nach vom Outokumpu modifizierten Schaeffler-DeLong Diagramm und Formeln: • $Cr_{eq} = 1.5Si + Cr + Mo + 2Ti + 0.5Nb$ • $Ni_{eq} = 30(C + N) + 0.5Mn + Ni + 0.5(Cu + Co)$ • %vol. δ Ferrit oder Ferrit Nummer FN FN = $(\{1.375 (Cr_{eq} - 16) + 10\} - Ni_{eq}) 2.586$ • Negativwerte weisen auf eine Abwesenheit von δ (Delta) Ferrit hin.	
PREN	• $PREN = \%Cr + 3.3\%Mo + 18\%N$ • Berechnete PREN Eckwerte: min. 25.9 max. 30.7	
Formgebung	Warm, Schmieden: 970 – 1100°C, schnelle Abschreckung/Abkühlung • Bei Temperatur unterhalb von 970°C wird ein Endlösungsglühen bei 1060-1080°C vorsorglich empfohlen. Kalt: ohne Einschränkung, Siehe die Kalt-Verfestigungskurve Seite 3	
Lösungsglühen	1050-1080°C, Abschreckung, schnelle Abkühlung • Eine minimale Kaltverformung ≥ 10 – 15% vor dem Glühen wird empfohlen, um das Risiko eines zu starken und schnellen Kornwachstums zu vermeiden. • Der Temperaturbereich 450 - 970°C muss vermieden werden, da er zu interkristallinen Ausscheidungen der σ (Sigma) und/oder ψ (Chi) Phase führen kann. • Die Bildung dieser Phasen verursacht eine Versprödung, fördert die interkristalline Korrosion und mindert die Polierfähigkeit. In diesem Fall wird stets ein nachträgliches Lösungsglühen bei 1050-1080°C empfohlen.	
Aushärtung	Der 1.4441 IMPLANT Stahl kann nicht thermisch gehärtet werden.	
Verfestigung	Dieser Stahl kann nur durch eine Kaltverformung verfestigt werden. Siehe Seite 3	
Mikrostrukturen	Lieferzustand, warm gewalzt: Für die Zerspanung und Polieren:	Austenit, gegläht Austenit, gegläht oder kaltverformt
Polieren	Hochglanzpolieren: Elektropolieren: • Der 1.4441 IMPLANT Stahl ist frei von δ (Delta) Ferrit. • Falls σ Sigma oder ψ (Chi) Phasen ungewollt gebildet werden, kann ein Lösungsglühen bei 1050-1080°C erforderlich werden, um das Polieren nicht zu beeinträchtigen und die interkristalline Korrosion nicht zu fördern.	geeignet geeignet
Schweißen	Machbar	
Laser Markierung	Die normal erwärmte Zone HAZ (Heat Affected Zone) der Lasermarkierung dürfte die Mikrostruktur nicht schädlich beeinflussen. Mehr Info	



1.4441 IMPLANT

1.4441/AISI 316L – Austenitischer rostfreier Stahl für Implantate

Verfestigung

Der 1.4441 IMPLANT Stahl kann nur durch Kaltverformung verfestigt werden. Abbildung 1 zeigt die Verfestigungskurven für Rm und R_{0.2} sowie die 10⁷ Zyklen-Ermüdungsgrenze (Umlaufbiege-Ermüdung) in Funktion der Kaltverformung. Abbildung 2 zeigt die Wöhler-Kurve

Abbildung 1
Festigkeit:
Rm und R_{0.2%}
Ermüdungsgrenze:
10⁷ Zyklen

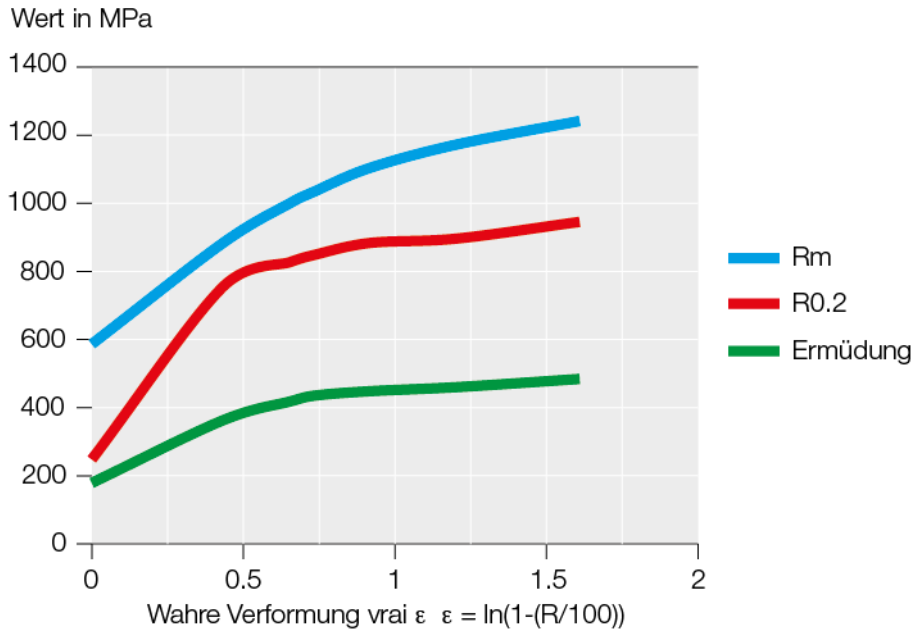
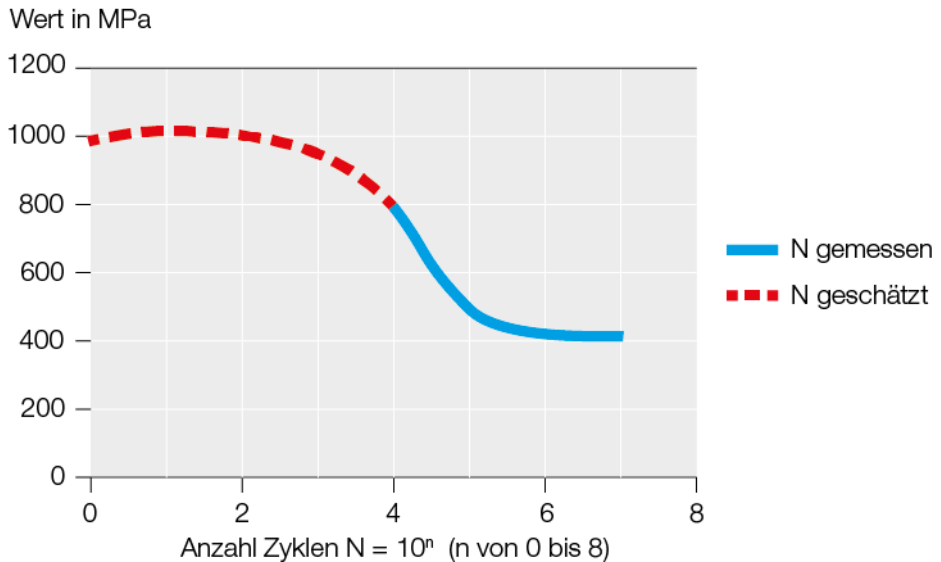
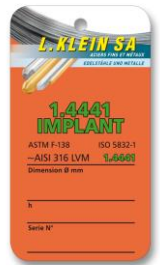


Abbildung 2
Ermüdungskurve
Wöhler-Kurve



Referenz: Daten der Abbildungen 1 und 2
John Disegi, Implant Material, 3. Auflage, Synthes (USA), 2009



1.4441 IMPLANT

1.4441/AISI 316L – Austenitischer rostfreier Stahl für Implantate

Oberflächenoxydation

Eine thermische Oxydation bildet Oxyde, die entweder mechanisch oder nass-chemisch eliminiert werden müssen.

- Restzunder und gefärbte Oxyden können die Korrosions-Beständigkeit stark beeinträchtigen

Beizen und Passivieren

Die Beiz- und Passivierungsprozesse und die dafür verwendeten Produkte müssen an die spezifischen Anforderungen der austenitischen rostfreien Stähle angepasst sein.

- Um eine potentielle "Flash back" Reaktion zu vermeiden, wird prinzipiell das Beizen vor dem Passivieren empfohlen. [Mehr Info](#)
- Das Passivieren nach dem Elektropolieren ist nicht erforderlich.

Korrosions-Beständigkeit

- Optimaler Oberflächenzustand: sehr saubere Oberfläche und passiviert
- Die Tabelle 1 gibt die Korrosionsbeständigkeit der 1.4441 IMPLANT Stahlqualität für Implantate und Komponente für die Uhrenausrüstung an.

Tabelle 1 Korrosions-Beständigkeit

Korrosionsart	Zustand	Korrosionsempfindlichkeit
Lochfrass-Korrosion	alle	beständig
Salzsprühstest	alle	beständig
Meerwasser	alle	beständig
Spannungsriiss-Korrosion	geglüht	beständig
	kaltverformt	allgemein nicht empfindlich
	kaltverfestigt	
Gegebenenfalls sollte ein thermisches Entspannungsglühen bei 250 – 300°C/1h vorsorglich durchgeführt werden.		

Galvanische Korrosion

Der 1.4441 IMPLANT Stahl ist edler als viele andere Metalle, wie z.B. die gängigen 18/8 rostfreien Stähle.

- Elektrolyt und die Metalle der Konfiguration der Anwendungen können unter Umständen eine galvanische Zelle bilden, die zur galvanischen Korrosion führen kann. [Mehr Info](#)

Elementare Vorsichtsmaßnahmen

- Der einfachste Schutz der Oberflächen ist diese ständig sehr sauber, fein poliert und passiviert zu halten.
- Die Teile gut reinigen (keine Arbeitsrückstände dulden) und trocknen.
- Nur geeignete chlorfreie Desinfektionslösungen, Reinigungs- und Waschmittel verwenden.

Magnetismus

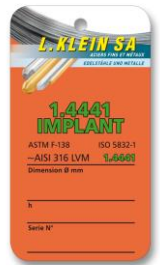
Der 1.4441 IMPLANT Stahl ist nicht ferromagnetisch.

Relative Permeabilität: μ max. 1.003

- Kein ferromagnetischer α (Alpha) Martensit wird anlässlich einer Kaltverfestigung oder Formgebung gebildet.
- Eine intensive Kaltverformung bis z.B. $\epsilon = 1$ ($\approx 63\%$ KV) kann kein Ferromagnetismus durch Bildung von α (Alpha) Martensit verursachen. [Mehr Info](#)

δ (Delta) Ferrit

- Kein δ (Delta) Ferrit kann mit dem „Ferritoscope“ nicht festgestellt oder gemessen werden.
- Kein δ (Delta) Ferrit kann nicht bei 100X Vergrößerung mikroskopisch oder metallographisch festgestellt werden.



1.4441 IMPLANT

1.4441/AISI 316L – Austenitischer rostfreier Stahl für Implantate

Physikalische Eigenschaften

Eigenschaften	Einheit	Temperatur (°C)				
		20	200	300	400	500
Dichte	g cm ⁻³	8.00				
E Modul	GPa	200	186	179	172	165
Poisson Koeffizient		0.29				
Elektrischer Widerstand	Ω.mm ² .m ⁻¹	0.75				
Thermische Ausdehnung	m m ⁻¹ K ⁻¹ 10 ⁻⁶	20–100°C 16.0	20–200°C 16.5	20–300°C 17.0	20–400°C 17.5	20–500°C 18.0
Thermische Leitfähigkeit	W.m ⁻¹ .K ⁻¹	15			15.2	
Spezifische Wärme	J.kg ⁻¹ .K ⁻¹	500				
Schmelzbereich	°C	1370-1400				
Magnetismus	Nicht magnetisch					
Relative Permeabilität	μr	max. 1.003				

Verzichterklärung: Die Informationen und Angaben dieses Datenblattes sind nur Hinweise. Sie gelten nicht als Verwendungsinstruktionen. Der Anwender dieses Materials muss dies von Fall zu Fall selber bestimmen und verantworten.