Deutsche Edelstahlwerke

TRUMPF

Whitepaper

Eigenschaftsprofil von nichtrostenden Stähle in der Additiven Fertigung, gefertigt auf der TruPrint 2000

Inhalt

Motivation und Zielsetzung 4

Einfluss der Legierungselemente in nichtrostenden austenitischen Stählen 5

TruPrint 2000: Verarbeitung und Versuchsumfang 6

Metallografische Ergebnisse im Vergleich 7

Mechanische Eigenschaften im Vergleich 8

Korrosionseigenschaften im Vergleich 8

Schlussfolgerung und Einsatzgebiete 10

Ihre Kontaktperson für Rückfragen

Jan Christian Schauer
TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH
Johann-Maus-Straße 2
71254 Ditzingen

Tel.: +49 (0) 7156 303 - 34466
E-Mail: jan-christian.schauer@trumpf.com

Dr. Andreas Mohr
Deutsche Edelstahlwerke Specialty Steel GmbH & Co. KG
Oberschlesienstraße 16
47807 Krefeld

Tel.: +49 (0) 2151 3633
E-Mail: Andreas.Mohr@dew-stahl.com

Abstract

In diesem Whitepaper sollen zwei der wichtigsten nichtrostende Stähle 316L / 1.4404 und AISI 630 / 17-4 PH / 1.4542 in ihren wichtigsten Eigenschaften verglichen werden. Den Vergleich komplementiert die Additive-Manufacturing-Neuentwicklung Printdur HSA von der Firma Deutsche Edelstahlwerke Speciality Steel GmbH & Co. KG. Einführend wird ein Überblick der am Markt vorhandenen Legierungen gegeben und die Hauptlegierungssysteme näher erläutert. Hauptaugenmerk der Materialvergleiche liegt in dem Gefüge, den mechanischen Eigenschaften und den Korrosionseigenschaften.

Motivation und Zielsetzung

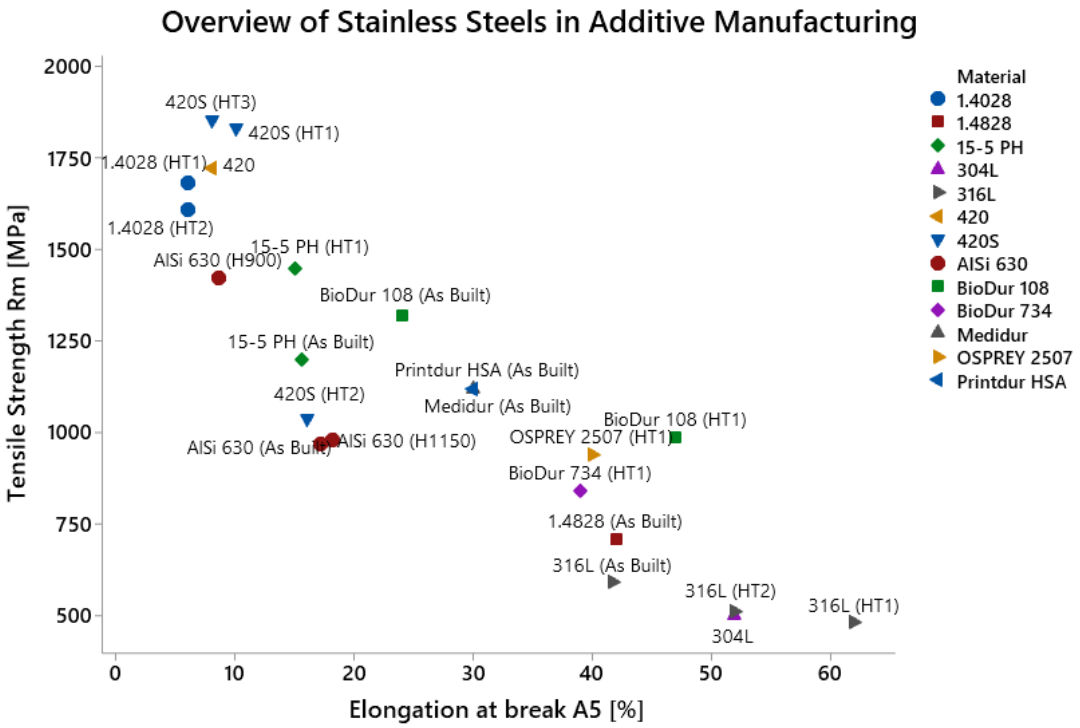


Abbildung 1: Übersicht der verfügbaren nichtrostende Stähle auf dem AM Markt

Nichtrostende Stähle sind ein sehr großer Vertreter der Stähle auf dem Weltmarkt. Legierungen ihrer Klasse sind in jedem Haushalt in Form von Bestecken zu finden. Ebenfalls werden nichtrostende Stähle in der Industrie in unterschiedlichsten Bereichen eingesetzt. Demnach wurde diese Materialklasse auch bei der Entwicklung der additiven Fertigung früh in den Fokus genommen, um Mehrwerte mit der Kombination vom Material und der neuartigen Technologie zu erreichen.

Der am meist genutzte nichtrostende Stahl in der additive Fertigung ist der 1.4404, besser auch bekannt als 316L. Der 316L gehört zu den austenitischen nichtrostenden Stählen. Aufgrund der austenitischen Matrix ist dieser Werkstoff besonders verzugsarm und unmagnetisch. Beide Eigenschaften führen dazu, dass der 316L eine sehr gute Verarbeitbarkeit in der Additiven Fertigung aufweist. Des Weiteren punktet der Werkstoff mit sehr guten Korrosionseigenschaften bei guten mechanischen Eigenschaften.

Ein weiterer Vertreter der nichtrostende Stähle ist das Material 1.4542, meist auch 17-4 PH oder AISI 630 genannt (im weiteren Verlauf als AISI 630 benannt). Hierbei handelt es sich um weichmartensitischen ausscheidungshärtbaren Stahl, der gute Korrosionseigenschaften für maritime Anwendungen mit sich bringt. Um gewünschte Eigenschaften einzustellen wird jedoch bei diesem Material, im Gegensatz zum 316L, eine Wärmebehandlung benötigt, die nach entsprechender Norm ASTM A564/A564M ausgewählt werden kann. Die Auswahl der Wärmebehandlungen ermöglich dem Anwender mit der Variante H900 hohe Festigkeiten bei einer niedrigen Duktilität zu erreichen. Im Gegensatz dazu kann durch die hohen Temperaturen der Wärmebehandlung H1150 die Eigenschaften im Anwendungsbereich der Tieftemperaturen optimiert werden.

Nicht nur alt bekannte Vertreter, wie der 316L und AISI 630 der nichtrostende Stähle sind im Vormarsch im Bereich der additiven Fertigung sondern auch neue Entwicklungen erlangen Marktreife und treten in Konkurrenz mit alt bekannten Legierungen. Einer dieser Varianten ist das Material Printdur HSA von den Deutsche Edelstahlwerke Specialty Steel GmbH & Co. KG. Es handelt sich um einen vollständig austenitischen nichtrostenden Stahl, der seine Eigenschaften ohne Verwendung von kanzerogenen Elemente wie Nickel und Kobalt sowie anschließende Wärmebehandlungen erreicht. Zudem ist er leicht verarbeitbar und sticht mit seinen exzellenten Korrosionseigenschaften heraus.

Ein Überblick der gängigsten Edelstahllegierungen im Markt ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Abbildung zeigt den Vergleich der Legierungen im Bereich der statisch mechanischen Eigenschaften. Diese werden in den meisten Fällen mit Zusätzen von der Härte in den technischen Datenblätter beworben.

Dies ist wichtig, da die mechanischen Eigenschaften relevant für die Auslegung der Bauteile sind, jedoch werden wichtigere Eckdaten für die Zielbranchen wie die Korrosionseigenschaften meist nicht mit aufgeführt. Aus diesem Grund wurden umfangreichere Untersuchungen der Legierungen 316L, AlSI 630 und Printdur HSA in ihren am häufigsten vorkommenden Einsatzzuständen durchgeführt. Diese beinhalten die metallografischen Eigenschaften (rel. Dichte, Gefüge und XRD Ergebnisse), die mechanischen Eigenschaften (Zugversuche, Kerbschlagversuche und Härte) sowie unterschiedlichste Korrosionsversuche (Flächenkorrosion nach ASTM G5, Lochkorrosion nach ASTM G48 E).
Ziel ist es dem AM Markt ein tieferes Verständnis der rostfreien Stähle zu vermitteln und somit eine bessere Entscheidungsgrundlage für die Wahl der Legierungen zu schaffen. Zudem sollen die Anwendungsfelder beschrieben und eine Einordnung der Legierungen in verschiedene Branchen vorgenommen werden.

Legierungselemente [Gew.-%]	Fe	**C**	Cr	Ni	**Mn**	**Si**	Mo	Cu	Nb+ Ta	N	P	S
316L 1.4404	Rest	≤ 0,03	16,5 – 18,5	10,0 - 13,0	≤ 2,00	≤ 1,0	2,0 – 2,5	-	-	≤ 0,11	< 0,045	< 0,015
AlSi 630 1.4542 17-4 PH	Rest	≤ 0,07	15,0 – 17,0	3,0 - 5,0	≤ 1,50	≤ 0,7	≤ 0,6	3,0 – 5,0	≤ 0,45	-	≤ 0,04	< 0,015
Printdur HSA	Rest	0,4	18,0	< 0,1	21,0	≤ 0,2	2,0	-	-	0,6	≤ 0,02	≤ 0,02

Abbildung 2: Chemische Zusammensetzungen der verwendeten Legierungen

Einfluss der Elemente in nichtrostenden austenitischen Stählen

Anhand des weit verbreitenden Werkstoffes 316L soll nachfolgend das typische Legierungssystem der nichtrostenden Stähle erklärt werden. Die Zusammensetzung der Legierung kann in zwei Kategorien unterteilt werden. So muss zunächst die Korrosionsbeständigkeit des Werkstoffes gewährleistet werden. Dies wird insbesondere durch das Element Chrom erreicht. Dieses bewirkt, dass sich ab einem Chromgehalt (Cr) von > 12% eine dichte Chromoxidschicht auf dem Werkstoff ausbildet, welche Korrosionsreaktionen unterbindet. Diese Chromoxidschicht wird durch das Element Molybdän (Mo) weiter stabilisiert. Insbesondere führt das Element Mo zu einer erhöhten Beständigkeit gegen Lochkorrosion.
Des Weiteren sind im 316L die Elemente Kohlenstoff und Stickstoff auf ein sehr geringen Anteil (< 0,03 Gew.%) begrenzt. Dies dient ebenfalls der Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit, da beide Elemente das vorliegende Chrom abbinden. Das abgebundene Chrom hilft in diesem Fall nicht mehr bei der Bildung der Chromoxidschicht, wodurch die Korrosionsbeständigkeit abgesenkt wird.

Die Zugabe des Elements Nickels führt beim 316L zur Ausbildung des unmagnetischen austenitischen Gefüges. Somit kann der Werkstoff in vielen Bereichen wie z.B. der Medizintechnik eingesetzt werden. Damit ein unmagnetisches Gefüge erreicht wird benötigen die typischen nichtrostenden Stähle einen Nickelgehalt von ungefähr 10%.
Der Einfluss von Nickel auf das magnetische Verhalten von Stählen wird ebenfalls bei der Betrachtung der chemischen Zusammensetzung des magnetischen AISI 630 ersichtlich. Dieser besitzt einen Nickelgehalt von ca. 3-4%, wodurch ein unmagnetisches Gefüge nicht erreicht wird. Ebenfalls wird beim AISI 630 nur Chrom zum Erreichen der Korrosionsbeständigkeit verwendet. Auf das Element Molybdän zur Erhöhung der Beständigkeit gegen Lochkorrosion wird verzichtet. Der Kohlenstoffgehalt ist analog zum 316L stark begrenzt (< 0,07 Gew.%) um ein Abbinden von Chrom zu verhindern. Aus diesem Grund ist ebenfalls Niob im AISI 630 zulegiert. Niob weist eine höherer Affinität als Chrom zu Kohlenstoff auf und bindet somit überflüssigen Kohlenstoff ab.

Im Vergleich zum 316L weist der AISI 630 sehr hohe mechanische Eigenschaften auf. Diese hohen mechanischen Eigenschaften werden in der nachgeschalteten Wärmebehandlung eingestellt. In dieser führt das Elemente Kupfer zu Ausscheidungsreaktionen, die zu einer Verfestigung der Mikrostruktur führen.

Während der 316L und der AISI 630 genormte Stahlgüten sind, welche für die Herstellung als Stabstahl oder Gussteil entwickelt wurden und anschließend erfolgreich für Additive Fertigung erprobt wurden, wurde der Printdur HSA gezielt für die Additive Fertigung entwickelt.

Der Printdur HSA nutzt die Zugabe von Kohlenstoff und Stickstoff um die mechanischen Eigenschaften deutlich zu erhöhen. Durch die sehr schnellen Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeit im 3D Druck wird eine Ausscheidung von chromreichen Karbiden oder Nitriden vermieden. Der Printdur HSA nutzt ebenfalls die Elemente Chrom und Molybdän zum Erreichen einer guten Korrosionsbeständigkeit. Zudem erhöht Stickstoff, im vorliegenden gelösten Zustand, die Korrosionsbeständigkeit gegen Lochkorrosion.

Wie der 316L besitzt auch der Printdur HSA ein unmagnetisches austenitisches Gefüge. Dieses wird jedoch nicht durch das Element Nickel erreicht, sondern durch die Kombination der Elemente Mangan, Kohlenstoff und Stickstoff. Somit liegt ein nickelfreier nichtrostender austenititscher Stahl vor.

TruPrint 2000: Verarbeitung und Versuchsumfang

Die TruPrint 2000 feierte ihrer Marktpremiere auf der Formnext 2020 und ist seitdem eine zuverlässige und wichtige Maschine im TRUMPF Additive Manufacturing Portfolio. Hierbei schließt die Anlage die Lücke zwischen der Kleinformatmaschine TruPrint 1000, welche ihre Stärken in dem Dental und Schmuckindustrie zeigt, und der am oberen Ende angesiedelten TruPrint 3000 und 5000 Mittelformatmaschinen, welche für große Bauteile in der Serienproduktion konzipiert wurden. Als Bindeglied profitiert die TruPrint 2000 mit einem Bauraum von 200 mm im Durchmesser und einer maximalen Bauraumhöhe von 200 mm. Der kleine Fokusdurchmesser von 55 µm, welcher als Fullfield Multilaser ausgestattet ist, ermöglicht höchsten Qualitätsanspruch an Oberflächeneigenschaften und zuverlässiger Produktivität. Zudem ist die Anlage mit sämtlichen Prozessüberwachungsmöglichkeiten ausgestattet, wie Condition -, Powder Bed- und Melt Pool Monitoring, um keine Zweifel der Qualitätssicherung offen zu lassen. Auch der inert, geschlossene Pulverkreislauf unterstützt den Qualitätsanspruch an die Bauteile. Hierdurch verweilt das Pulver den kompletten Prozess unter Schutzgasatmosphäre, was wiederum die Rezyklierbarkeit der Pulver auch bei kritischen Materialien ermöglicht.

TruPrint 2000		
Bauvolumen (Zylinder)	mm x mm	Ø 200 x H 200
Verarbeitbare Werkstoffe		Schweißbare Metalle in Pulverform, wie: Edelstähle, Werkzeugstähle, amorphe Metalle, Aluminium-, Nickelbasis-, Kobalt-Chrom, oder Titan-Legierungen,
Schichtdicke	µm	20 - 100
Max. Laserleistung am Werkstück (TRUMPF Faserlaser)	W	300 Optional Multilaser: 2 x 300
Strahldurchmesser	µm	55
Belichtungsgeschwindigkeit (Pulverbett)	m/s	Max. 3
Vorheizung	°C	Bis zu 200
Entpacken in der Maschine		Inerter, integrierter Pulverförderer
Schutzgas		Stickstoff, Argon
Stromversorgung	V / A / Hz	400/460 – 32 – 50/60
Abmessungen	mm	2180 x 2030 x 1400
Gewicht	kg	3200

Abbildung 3: Spezifikation der TruPrint 2000

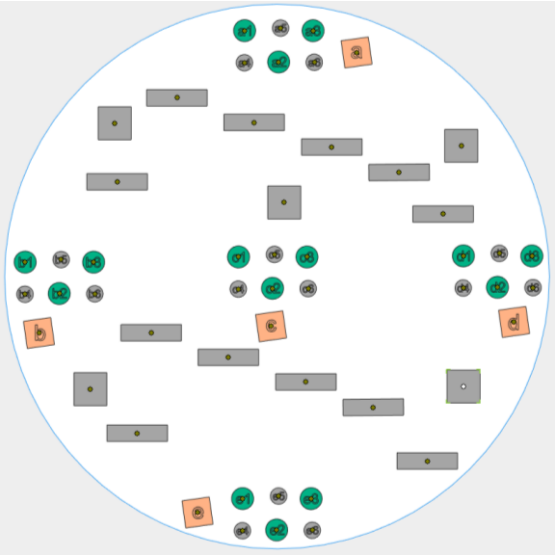


Abbildung 4: Übersicht des verwendeten Baujoblayouts

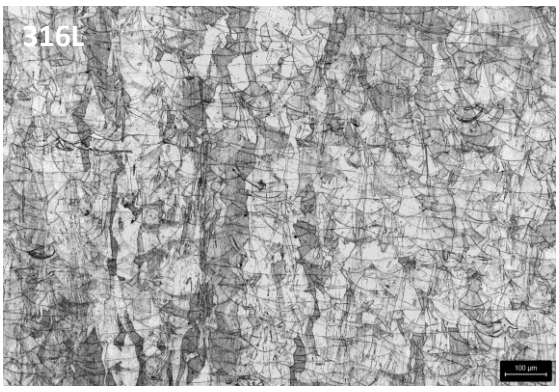
Für die Untersuchungen wurden Basis-Parameter der drei verschiedenen Materialien 316L, AISI 630 und Printdur HSA auf der TruPrint 2000 entwickelt. Als Grundlage der Parameterentwicklung wurde eine 40 µm Pulverschichtdicke herangezogen. Im Anschluss wird ein Baujoblayout definiert, welche alle Analysegeometrien abbildet. Um die Vergleichbarkeit der Legierungen zu wahren wurde mit jedem Material der selbe Baujob durchgeführt. Das Baujoblayout ist in Abbildung 4 zu sehen.
Im Layout wurde darauf geachtet, dass alle Versuchsgeometrien über die Bauplatte verteilt wurden, sodass Aussagen über die Homogenität der Bauplatte zugelassen sind.

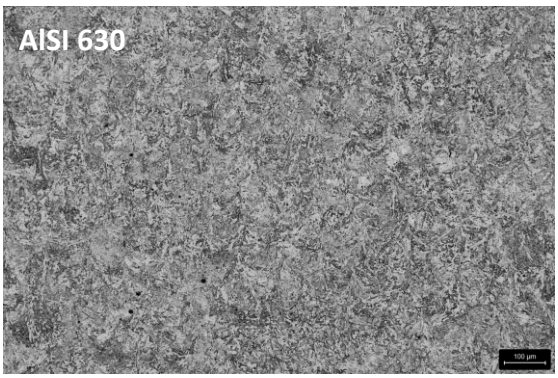
Metallografische Ergebnisse im Vergleich

Für die Charakterisierung der relativen Dichte wurden Querschliffe der Proben angefertigt, die im Anschluss mit einem Lichtmikroskop und einer Analysesoftware ausgewertet wurden. Alle drei Materialien erzielten in Kombination mit ihrem entwickelten Parameter ein relative Dichte von größer als 99,9% über die komplette Bauplatte.
Anschließend wurden die Querschliffe der Legierungen erneut poliert und einer Tauchätzung nach Adler unterzogen, um die Gefügebestandteile sichtbar zu machen.

Das am meisten verwendete Material der Edelstahl 316L weißt stängelkristalline Körner auf, die entlang der Baurichtung wachsen und somit den thermischen Gradient der Erstarrung folgen. Durch die Zusammensetzung der Legierung ist ein austenitische Erstarrungsform gegeben, die durch das Schäffler Diagramm nachgeschlagen oder durch die zugrundliegenden Cr- und Ni-Äquivalente nachgerechnet werden kann. Diese findet sich auch im Gefügebild wieder und lässt sich aber auch in den zusätzlich durchgeführten XRD Messungen bestätigen, welche ein zu 95% austenitisches Gefüge aufweist. Die verbleibenden 5% konnten keiner eindeutigen Phase oder Ausscheidung zugeordnet werden.
Der Werkstoff AlSI 630 zeigt im Vergleich zum 316L ein unterschiedliches Gefüge. Die dem Druckprozess anschließende Wärmebehandlung führt dazu, dass in den primär erstarrten y-Körner ein weichmartensitisches Gefüge gebildet wird. Die XRD Messungen bestätigen ein zu 97% entstehenden weichmartensitisches Gefüge, wobei ein Restaustenit von 3% detektiert wurde.

Bei dem Werkstoff Printdur HSA werden im geätzten Zustand die für den LPBF Prozess typischen Schmelzraupen gut sichtbar. Austenitische Körner oder Korngrenzen können nicht ermittelt werden. Die durchgeführte XRD Messung weist ein zu 98% austentisches Gefüge auf. Die restlichen 2 % der Messung sind keinem eindeutigen Peak zuordbar. Trotz des hohen Anteils an Kohlenstoff und Stickstoff können keine chromreichen Karbide oder Nitride detektiert werden. Dies bestätigt, dass durch die schnelle Abkühlgeschwindigkeit im LPBF Prozess ein sehr feines, ausscheidungsfreies austentisches Gefüge im Printdur HSA eingestellt wird.





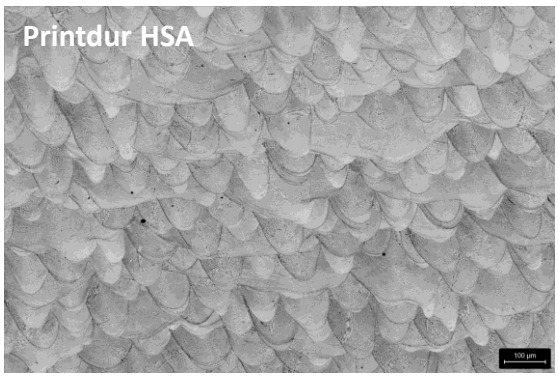


Abbildung 5–7:
Lichtmikroskopische Aufnahmen der verwendeten Legierungen. Alle Aufnahmen wurden mit einer 100fachen Vergrößerung aufgenommen.

Mechanische Eigenschaften im Vergleich

Zur Untersuchung der mechanische Eigenschaften werden Vickers Messungen nach DIN EN ISO 6507, Zugversuche in stehender Form nach DIN EN ISO 6892-1:2017 mit einer Probengeometrie nach DIN 50125:2016 (Form A) und Kerbschlagversuche nach DIN EN ISO 148-1 :2017-05 durchgeführt. Alle Ergebnisse der Untersuchungen sind in Abbildung 8 zu sehen.

Die Härtemessungen nach Vickers bestätigen die Erkenntnisse aus den metallografischen Untersuchungen. 316L weißt eine sehr geringe Härte mit 242 ± 3 HV auf, welches auf die Legierungszusammensetzung zurückzuführen ist. Auch die Streckgrenze und die Zugfestigkeit ist bei 316L im Vergleich zu den weiteren untersuchten Legierungen am niedrigsten. Die Streckgrenze liegt bei 504 ± 10 MPa und die Zugfestigkeit bei 640 ± 4 MPa. Ein Vorteil der 316L Legierung liegt in der hohen Bruchdehnung die im Vergleich den höchsten Wert von 40 ± 1 % aufweist. Die hohe Bruchdehnung der Legierung spiegelt sich auch in der schlagartigen Belastung der Bruchzähigkeit wieder. Hierbei ist 316L an der Spitze mit 148 ± 7 J.

Die Legierung AISI 630 weißt im Vergleich die höchste Härte 445 ± 3 HV und Festigkeit 1419 ± 14 MPa auf. Die Ursachen hierzu liegen zu einem in der martensitischen Gefügeausbildung (siehe Abbildung 6) und zum anderen in der Ausscheidungshärtung, die während der Wärmebehandlung eingestellt wird. Gegensätzlich erhält sich die Bruchdehnung und die Bruchzähigkeit, welche in dieser Legierung im Vergleich zu den Anderen mit 9 ± 2 % sehr gering ausfällt.

Eine gute Kombination aus hoher Festigkeit / Härte und Duktilität bietet die Legierung Printdur HSA. Die Härtewerte belaufen sich auf 374 ± 5 HV und die Zugfestigkeit liegt bei 1116 ± 6 MPa, welches nur ca. 300MPa niedriger ist als die Festigkeit von AISI 630, bei geleichzeitig erhöhter Zähigkeit. Die Ursachen hierzu liegen in der Metallmatrix gelösten Anteil von Kohlenstoff und Stickstoff. Beide Elemente führen zu einer Mischkristallhärtung der Metallmatrix die mit steigenden Festigkeitswerten einhergeht.

Material		316L	AISI 630	Printdur HSA
Wärmebehandlung		Keine	**H900**	Keine
Härte nach Vickers [HV]		242 ± 3	445 ± 3	374 ± 5
Zugversuch	$Rp_{0,2}$ [MPa]	504 ± 10	1147 ± 55	861 ± 13
	R_m [MPa]	640 ± 4	1419 ± 14	1116 ± 6
	A [%]	40 ± 1	9 ± 2	30 ± 5
Bruchzähigkeit [J]		148 ± 7	9 ± 1	23 ± 4

Abbildung 8: Mechanische Eigenschaften der verwendeten Legierungen.

Korrosionseigenschaften im Vergleich

Die wichtigste Eigenschaft der nichtrostenden Stähle ist ihre Korrosionsbeständigkeit. Um diese zu ermitteln wurde zunächst die Korrosionsbeständigkeit gegen Flächenkorrosion nach ASTM G5 in 0,5 molarer Schwefelsäure gemessen. Alle drei untersuchten nichtrostenden Stähle zeigen eine identische sehr gute Beständigkeit gegen Flächenkorrosion auf.
Unterschiedliche Korrosionsverhalten der Stähle wurden in Bezug auf die Beständigkeit gegen Lochkorrosion ersichtlich, welche gemäß ASTM G48, Methode A ermittelt wurde. Bei diesem Versuch werden die Proben vor Beginn der Messung gewogen. Im Anschluss werden die Probekörper bei unterschiedlichen Temperaturen 5°C, 15°C, 25°C, 30°C und 35 °C für 24h einem Eisenchlorid Bad ausgesetzt. Im Nachgang werden die Proben erneut gewogen, sodass eine Abtragsrate / Korrosionsrate bestimmt werden kann. Die Ergebnisse der Versuche sind in Abbildung 9 und Abbildung 10 zu sehen. Die Abbildung10 wurde zusammengesetzt aus den fünf untersuchten Temperaturen und den drei Materialien, sodass sich im oberen Drittel 316L, im mittleren Drittel AlSI 630 und im unteren Drittel Printdur HSA zu finden ist.

Deutliche Unterschiede sind zwischen den drei Materialien zu erkennen. Im Temperaturbereich von 5 °C ist die Korrosionsrate wie folgt unter den Materialien aufgestellt. Printdur HSA < 316L < AISI 630. Ab dem nächst höheren Temperaturbereich von 15 °C ändert sich das Verhalt und die Korrosionsrate von 316L übersteigt die des AISI 630. Bei weiterem Anstieg der Temperaturen sind die Korrosionsraten wie folgt definiert. Printdur HSA < 630 < 316L. Printdur HSA zeigt über den kompletten Temperaturbereich eine niedrige Korrosionssrate, wobei ein erster steilerer Anstieg zwischen 30-35 °C zu erkennen ist.

Die unterschiedliche Eigenschaft in Bezug auf Lochkorrosion korrelieren mit der sogenannten Pitting Resistant Equivalent Number (PREN). Diese Kennzahl bewertet auf Basis der Legierungszusammensetzung die Beständigkeit einer Legierung gegen Lochkorrosion. Die PREN ist dabei wie folgt definiert:

$$PREN = \%Cr + 3{,}3 \times \%Mo + 16 \times \%N$$

Je höher der PREN Wert ausfällt desto beständiger ist die Legierung gegen Lochkorrosion.
Die PREN erklärt ebenfalls warum der Printdur HSA deutlich besser Eigenschaften als der ALSI 630 und der 316L aufweist: Die höhere Korrosionsbeständigkeit gegen Lochkorrosion des Printdur HSA kann auf den hohen Stickstoffgehalt zurück geführt werden. Der in der Metallmatrix gelöste Stickstoff führt zu einem verminderten Lochwachstum, wodurch die Korrosionsbeständigkeit erhöht wird.
Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass in Bezug auf Flächenkorrosion die z.B. in säurehaltigen Medien auftritt die drei untersuchten nichtrostende Stähle identische Eigenschaften aufweisen. Jedoch können im Bereich der Lochkorrosion die z.B. im Meerwasser oder in typischen Spülmaschinen auftritt deutliche Unterschiede ermittelt werden

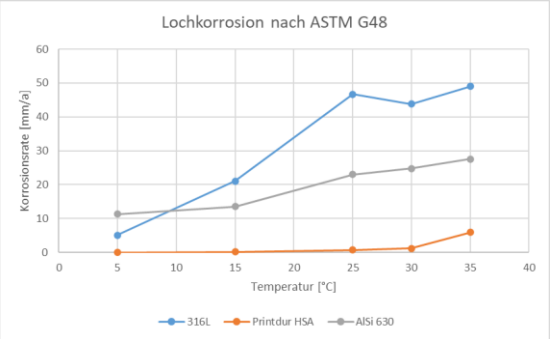


Abbildung 9: Korrosionsrate der Legierungen bei unterschiedlichen Prüftemperaturen

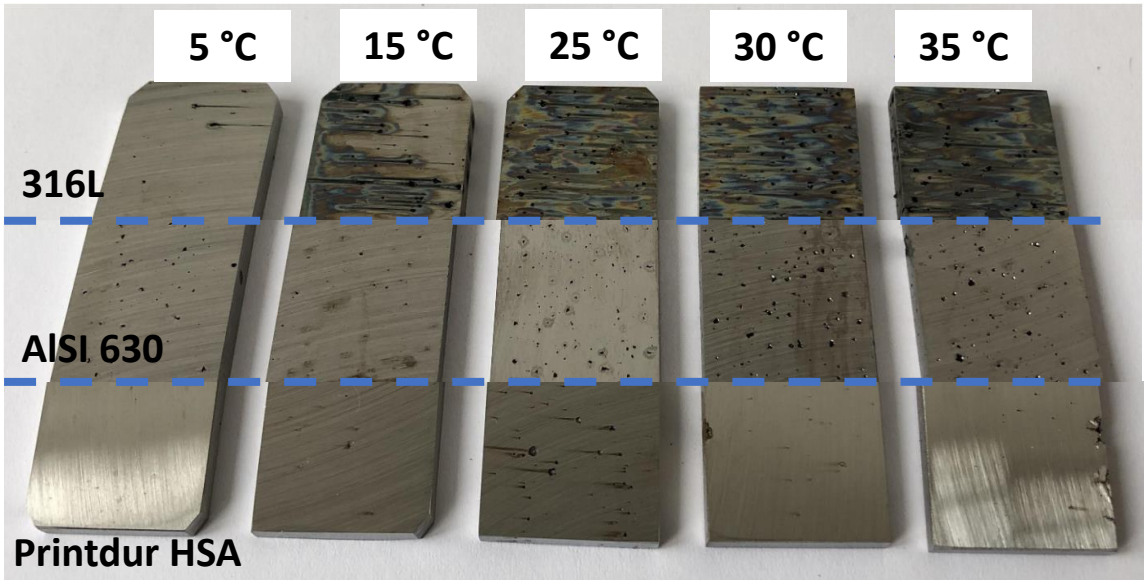


Abbildung 10: Geprüfte Proben nach ASTM G48 (Beständigkeit gegen Loch-korrosion). Die Abbildung ist horizontal drei (316L, AISI 630, Printdur HSA) und vertikal 5 (5°C, 15 °C, 25 °C, 30 °C 35 °C) geteilt.

Schlussfolgerung und Einsatzgebiete

Aufgrund der einfachen Verarbeitbarkeit in der Additiven Fertigung sind nichtrostende Stähle industriell breit etabliert. In diesem Whitepaper wird gezeigt, dass durch unterschiedliche Legierungen die Eigenschaften von Bauteilen auf das Anwendungsgebiet optimiert werden können. Alle ermittelten Ergebnisse sind nochmal in Abbildung 11 zusammengefasst. Der 316L punktet mit einer sehr guten Verarbeitbarkeit bei einer ebenfalls guten Korrosionsbeständigkeit. In Bezug auf die Streckgrenze und Zugfestigkeit weist der 316L die niedrigsten Werte auf, jedoch besitzt er eine sehr hohe Zähigkeit. Die Anwendungsbereiche sind Vielzählig, sodass der 316L nicht nur in der Lebensmittelindustrie und Chemieindustrie sondern auch im allgemeinen Maschinenbau und in der Sanitärindustrie seinen Einsatz findet.

Werden höhere mechanische Eigenschaften benötigt kann der Printdur HSA eingesetzt werden. Ebenfalls weist diese Legierung die besten Eigenschaften in Bezug auf Lochkorrosion auf, sodass der Einsatz zusätzlich auch in Off-Shore Anwendungen, der Chemieindustrie und in der Öl- und Gasindustrie angewendet werden kann. Zudem bietet dieser Werkstoff aufgrund seines Verzichts auf die Elemente Nickel und Kobalt Vorteile in der Sicherheitseinstufung und Handhabung des Pulvers. Der Werkstoff kann ebenfalls, hergestellt nach der DIN:EN ISO 13485, erworben werden, wodurch dieser in der Medizintechnik eingesetzt werden kann.

Der AISI 630 besitzt sehr hohe mechanische Eigenschaften. Um diese zu erreichen, muss jedoch eine Wärmebehandlung durchgeführt werden. Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass der AISI 630 im Gegensatz zum 316L und Printdur HSA ferromagnetisch ist. Seine Anwendungsbereiche findet der Werkstoff hauptsächlich in der Medizintechnik, wobei viele weitere Industrien, wie die Chemieindustrie oder die Öl- und Gasindustrie mögliche Anwendungen bieten.

Material		316L	AISI 630	Printdur HSA
Relative Dichte [%]		> 99.7 %	> 99.7 %	> 99.7 %
Sicherheit (REACH, UN)		Co frei	Co frei	Ni / Co frei
Wärmebehandlung[°C]		Nein	**H900**	Nein
Zugversuch	$Rp_{0,2}$ [MPa]	504 ± 10 MPa	1147 ± 55 MPa	861 ± 13 MPa
	R_m [MPa]	640 ± 4 MPa	1419 ± 14 MPa	1116 ± 6 MPa
	A [%]	40 ± 1 %	9 ± 2 %	30 ± 5 %
Bruchzähigkeit [J]		148 ± 7 J	9 ± 1 J	23 ± 4 J
Einsatztemperaturen [°C]		Up to 550 °C	Up to 315 °C	Up to 200 – 300 °C
XRD		95% Austenit*	97% Weichmartensit 3% Austenit	98 % Austenit*
Korrosion	Flächenkorrosion ASTM G5 - I_b Potential Curve (H_2SO_4)	✓	✓	✓
	Lochkorrosion ASTM G 48 E ($FeCl_3$, 35 °C)	48.9 mm/a	27,6 mm/a	5.9 mm/a
	Pitting Equivalent Number (PREN)	24	16	34

Abbildung 11: Zusammenfassung der erzielten Ergebnissen *Keine weiteren zuordbaren Peaks vorhanden

Weitere Informationen zu verfügbaren Werkstoffen finden Sie auf:
Metallpulver für die Additive Fertigung | TRUMPF

TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH,
Johann-Maus-Str. 2, 71254 Ditzingen, Deutschland
Publ. 202210