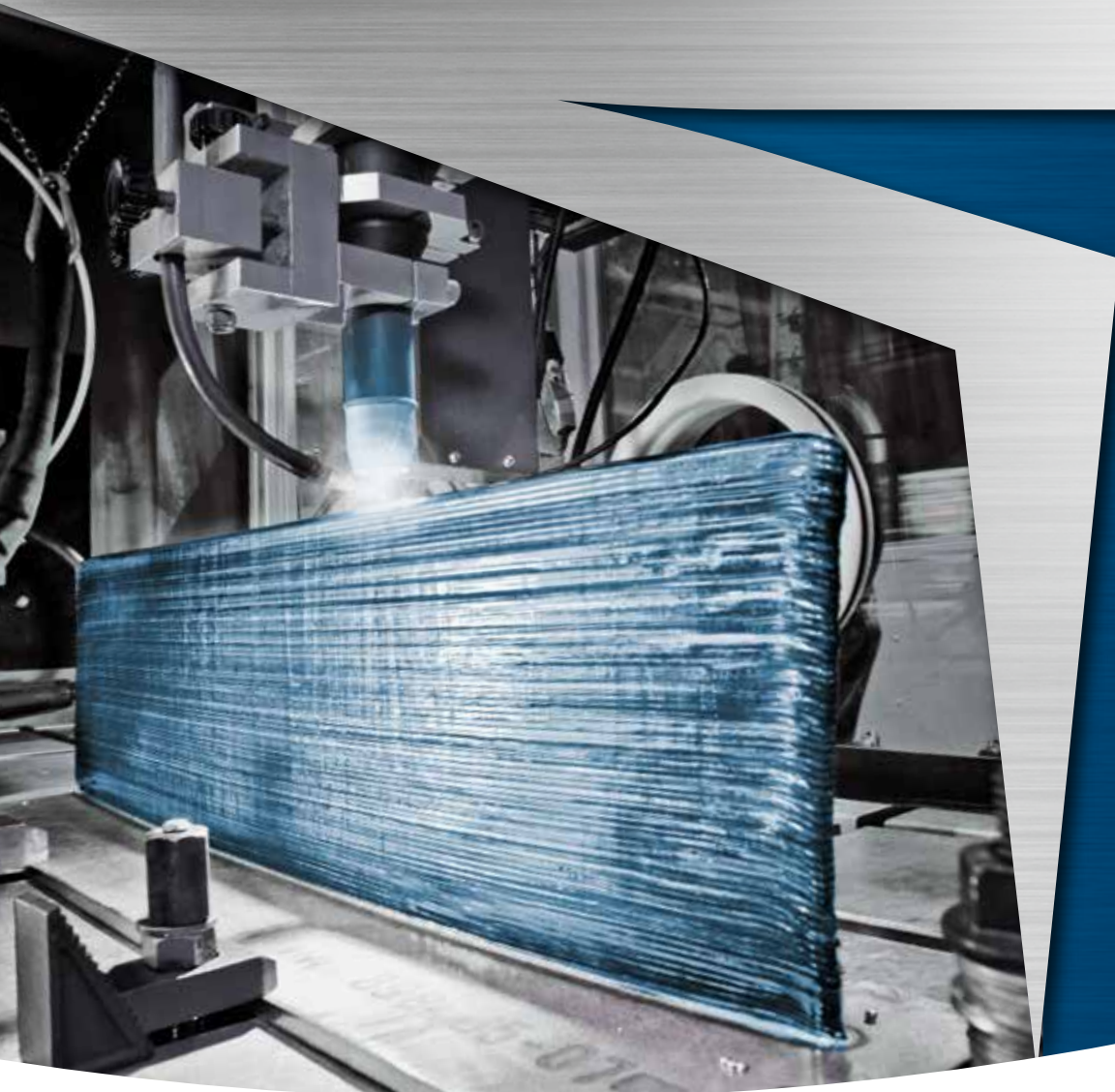


Lasting Connections

# DIE ZUKUNFT DER PRODUKTIVITÄT: DRAHTBASIERTE ADDITIVE FERTIGUNG MITTELS LICHTBOGEN





## DIE ZUKUNFT DER PRODUKTIVITÄT: DRAHTBASIERTE ADDITIVE FERTIGUNG MITTELS LICHTBOGEN

### 3D-DRUCKEN MIT DEN BESTEN DRAHT-LEGIERUNGEN IHRER ART

#### **Additive Fertigung – allgemein bekannt als 3D-Drucken – ist eine der revolutionärsten neuen Fertigungsmethoden unserer Zeit.**

Das Wire Arc Additive Manufacturing ist eine neue disruptive Technologie, die bei voestalpine Böhler Welding tatkräftig für seine führende Marke Böhler Welding umgesetzt wird.

Im Gegensatz zu konventionellen Fertigungsverfahren wie z.B. Gießen oder spanende Fertigungsverfahren ist die drahtbasierte additive Fertigung dadurch charakterisiert, dass sich ein Bauteil mit hoher Integrität und nahezu ohne Materialverlust herstellen lässt.

Die Fachleute bei Böhler Welding entwickeln speziell für den drahtbasierten 3D-Druck angepasste Werkstoffe und optimierte Herstellprozesse für die Fertigung von Massivdrähten und nahtlosen Fülldrähten mit höchsten Qualitätsansprüchen an Oberflächengüte und Drahteigenschaften, die für stabile 3D-Druckprozesse unerlässlich sind.

Wenden Sie sich direkt an uns und erleben Sie eine ganz neue Dimension der Fertigung.

**Dr. Martin Peruzzi**  
CTO, voestalpine Böhler Welding

## WEGWEISENDES KNOW-HOW

Als ein Pionier auf dem Gebiet der Schweißzusatzwerkstoffe bietet Böhler Welding weltweit ein einzigartiges Produktportfolio für das Verbindungsschweißen. Mehr als 2000 Produkte werden laufend auf die aktuellen Spezifikationen der Industrie und die Anforderungen unserer Kunden abgestimmt, sind von renommierten Institutionen zertifiziert und somit auch für die anspruchsvollsten Schweißanwendungen zugelassen. Als verlässlicher Partner für unsere Kunden stehen wir zu unserer Markenphilosophie „Lasting Connections“ – das gilt sowohl für das Schweißen als auch auf zwischenmenschlicher Ebene.

Bereits 1927 entwickelte Böhler Welding mit dem so genannten Seelendraht den Vorläufer der modernen Fülldrähte. Das Unternehmen ist seit diesem Zeitpunkt stets führend gewesen, wie aktuelle Innovationen wie laser-versiegelte Fülldrähte oder die technologische Führerschaft bei der drahtbasierten additiven Fertigung mittels Lichtbogen beweisen. Unsere Kunden können sich auf ein hervorragendes Produktportfolio für alle anspruchsvollen Schweißanwendungen verlassen.

### **Eine revolutionäre Technik formt die Zukunft unseres Lebens**

Die drahtbasierte additive Fertigung mittels Lichtbogen (Wire Arc Additive Manufacturing) ermöglicht schnelle und äußerst effiziente Herstellungsverfahren, die herkömmliche Techniken wie das Gießen und Schmieden ersetzen werden. Der Bearbeitungsaufwand beim Fräsen und Bohren wird aufgrund der hohen Endformnähe mittels Wire Arc Additive Manufacturing-Verfahren auf ein Minimum reduziert. Die Durchlaufzeiten können durch hohe Ausnutzung der Drahtzusatzwerkstoffe und der Vereinfachung der Herstellungsprozesse im Allgemeinen drastisch verkürzt werden.

Die drahtbasierte additive Fertigung setzt hierbei auf bekannte und bewährte schweißtechnologische Prozesse zum Verbinden und Auftragen von Werkstoffen mit einer großen Bandbreite an marktverfügbaren Massivdrähten aus un-, mittel- und hochlegierten Stählen sowie Nickel- Aluminium- und Titanlegierungen.

Mittels drahtbasierter additiver Fertigung lassen sich darüber hinaus auch Strukturteile herstellen, die durch schichtweises auftragen unterschiedlicher Legierungen einen Gradienten hinsichtlich mechanischer, technologischer, chemischer und physikalischer Eigenschaften aufweisen.

Bei der typischen Auftragschichtdicke ist Wire Arc Additive Manufacturing – im Vergleich zur pulverbasierten additiven Fertigung – besser geeignet für den Aufbau niedrig- bis mittelkomplexer und bis zu großformatigen Vorformlingen. Dank einer großen Auswahl an Parametereinstellungen können hohe Abschmelzleistungen bis zu 5 kg/h erreicht werden, sodass die Herstellung großformatiger Teile innerhalb vertretbarer Zeiten machbar ist. Je nach Werkstoff-Legierungs-Gruppe sind normalerweise eine Wärmebehandlung und spanende Nachbearbeitung erforderlich, um den Bauteilen die gewünschten Endeigenschaften zu geben.

#### **Die wichtigsten Vorteile der additiven Fertigung mittels Lichtbogen**

- » Großer Bereich an Abschmelzleistungen (niedrig bis hoch)
- » Reduzierter Werkstoffverlust durch hohe Endformnähe
- » Konventionelle Bearbeitungszeit auf ein Minimum reduziert
- » Verkürzte Durchlaufzeiten
- » Gute strukturelle Integrität
- » Niedrig- bis mittelkomplexe Bauteile

#### **Für anspruchsvolle Branchen wie**

- » Maschinen- und Anlagenbau
- » Öl & Gas Upstream und Offshore
- » Chemische Industrie
- » Energieerzeugung
- » Luftfahrt

# DRAHTLEGIERUNGEN HÖCHSTER GÜTE FÜR EINE REVOLUTIONÄRE TECHNOLOGIE

Durch die Fertigung von Drähten, die im Hinblick auf ihren besonderen Zweck maßgeschneidert werden, schafft voestalpine Böhler Welding die Grundlage für die innovative drahtbasierte additive Fertigung mittels Lichtbogen (Wire Arc Additive Manufacturing).

Durch das metallurgische und anwendungsspezifische Fachwissen seiner Werkstoffexperten wird das Unternehmen zu einem zentralen Element in dieser technologischen Revolution.

Die Drahtlegierungen stellen die werkstofftechnische Basis für diesen revolutionären und bahnbrechenden Prozess dar. Sie werden aus niedrig- bis mittellegierten Stahl-, Aluminium-, Nickel- oder Titanlegierungen hergestellt. Die Drahtlegierungen bestimmen die Eigenschaften des gedruckten Fertigbauteils. Ihre Produktion steht daher im Fokus des gesteigerten Interesses – insbesondere des der werkstoff- und prozesstechnischen Fachleute bei voestalpine Böhler Welding.

So erfordert zum Beispiel die Anwendung der Drahtlegierungen beim Wire Arc Additive Manufacturing eine gleich bleibende chemische Zusammensetzung innerhalb enger Grenzen und exzellente Oberflächen, um gute Fördereigenschaften und eine hohe Lichtbogenstabilität zu ermöglichen.

## Qualität hergestellt in Europa

Mit seinen Produktionsanlagen für Massivdrähte in Hamm und nahtlose Fülldrähte im österreichischen Kapfenberg und italienischen Cittadella verfügt das Unternehmen über die neuesten und zukünftigen Technologien in der Herstellung von Drahtlegierungen für die additive Fertigung. Bestens ausgestattete Laboreinrichtungen ermöglichen die Analyse und Charakterisierung neu entwickelter Produkte im Hause und gewährleisten so eine Qualität, die ihresgleichen sucht.

## Zusammenarbeit bei der Werkstoff und Technologieforschung

Zusammen mit seinen Partnern aus Industrie und Wissenschaft hat voestalpine Böhler Welding F&E-Programme mit dem Zweck ins Leben gerufen, das Auftragsverhalten von Drahtzusatzwerkstoffen beim WAAM-Verfahren zu erforschen. Die Ergebnisse werden maßgeblich zur weiteren Optimierung der Drahtzusatzwerkstoffe und zur Entwicklung von Legierungskompositionen für den 3D-Druck der nächsten Generation beitragen.



# PRODUKT PORTFOLIO

Produktname	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	R <sub>p0.2</sub>	R <sub>m</sub>	A <sub>5</sub>	
3Dprint AM 35	0,1	0,3	1,05	-	-	-	> 355 MPa	470-630 MPa	> 22 %	Niedriglegierter Stahl
3Dprint AM 46	0,1	1	1,7	-	-	-	> 460 MPa	560-720 MPa	> 22 %	Niedriglegierter Stahl
3Dprint AM 50	0,1	0,65	1,4	-	-	1,35	> 500 MPa	560-720 MPa	> 18 %	Niedriglegierter Stahl
3Dprint AM 62	0,1	0,65	1,6	-	0,4	1,1	> 620 MPa	700-890 MPa	> 18 %	Mittellegierter Stahl
3Dprint AM 70	0,08	0,6	1,7	0,2	0,5	1,5	> 690 MPa	770-940 MPa	> 17 %	Mittellegierter Stahl
3Dprint AM 80 HD	0,09	0,4	1,7	0,35	0,6	2	820 MPa	920 MPa	20 %	Mittellegierter Stahl (typ. mech. Eigenschaften nach der Wärmebehandlung)
3Dprint AM P22	0,08	0,5	1	2,5	1	-	> 310 MPa	515-690 MPa	> 18 %	Mittellegierter Stahl (mech. Eigenschaften nach der Wärmebehandlung)

Chemische Zusammensetzung in Gewicht-%

Produktname	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	N	
3Dprint AM 2209	0,05	0,5	1,6	23	3	9	0,14	Duplexstahl (keine Wärmebehandlung)
3Dprint AM 2205	0,05	0,5	1,5	22	3	5	0,15	Duplexstahl (lösungsgeglüht)

Chemische Zusammensetzung in Gewicht-%

Produktname	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu	Nb	
3Dprint AM 304L	0,02	0,5	1,7	20	-	10	-	-	Niedriggekohlter, austenitischer, nichtrostender Stahl in Standardqualität
3Dprint AM 316L	0,02	0,5	1,7	18,5	2,6	12,3	-	-	Niedriggekohlter, austenitischer, nichtrostender Stahl mit Molybdän in Standardqualität
3Dprint AM 17-4 PH	0,02	0,4	0,5	16,5	-	4,5	3,3	0,25	Martensitischer, ausscheidungshärtender, nichtrostender Stahl
3Dprint AM 15-5 PH	0,02	0,5	0,5	14,8	-	4,5	3,3	0,28	Martensitischer, ausscheidungshärtender, nichtrostender Stahl – ferritfrei (LRT-geeignet)
3Dprint AM 410 NiMo	0,01	0,65	0,7	13	0,5	4,7	-	-	Martensitischer, nichtrostender Stahl
3Dprint AM 430	0,07	0,8	0,7	18	-	-	-	-	Ferritischer, nichtrostender Stahl

Chemische Zusammensetzung in Gewicht-%

Produktname	C	Si	Cr	Mo	Nb	Fe	Ni	W	Al	Ti	
3Dprint AM 625	< 0,03	< 0,25	22	9	3,6	0,5	Rest	-	-	-	Nickelbasierte Legierung mit Chrom, Molybdän und Niob
3Dprint AM 718	0,03	< 0,1	17,5	3	5	Rest	53	-	0,5	1	Ausscheidungshärtende nickelbasierte Legierung

Chemische Zusammensetzung in Gewicht-%

Produktname	Mg	Ni	Fe	C	N	O	H	V	Zr	Mn	Al	Cu	Ti	
3Dprint AM Al 2219	< 0,02	-	-	-	-	-	-	-	0,18	0,35	Rest	6,3	0,14	Aluminium-Legierung
3Dprint AM Cu 6328	-	4,5	3,5	-	-	-	-	-	-	1	9	Rest	-	Kupfer-Aluminium Legierung
3Dprint AM Ti-5	-	-	< 0,15	< 0,05	< 0,03	0,18	< 0,01	4	-	-	6	-	Rest	Hochfestes Titan

Chemische Zusammensetzung in Gewicht-%



## Präzise chemische Analyse der 3Dprint-Drähte für die drahtbasierte additive Fertigung mittels Lichtbogen

Hinsichtlich der Metallurgie ist zu berücksichtigen, dass die hohe Produktivität des Wire Arc Additive Manufacturing Prozesses zu hoher Wärmebringung und niedriger Abkühlrate führt, was durch die kontinuierliche Auftragung nachfolgender Lagen und der Bauteilgeometrie bedingt ist. Daher müssen die physikalischen und mechanischen Eigenschaften des aufgebauten Materials auch unter diesen Bedingungen beständig sein. Bedingt durch den mehrlagigen Aufbau werden während des Druckens mehrere Zyklen des Härstens/Anlassens in den einzelnen Lagen durchfahren. Ferner kann eine abschließende Wärmenachbehandlung notwendig sein, die beim konventionellen Verbindungs- oder Auftragsschweißen ggf. nicht durchgeführt wird. Sowohl das mehrzyklische Härstens/Anlassens als auch eine Wärmenachbehandlung führt zu einer Veränderung der mechanischen Kennwerte, was durch die metallurgischen Eigenschaften des Drahtes, d.h. der chemischen Drahtzusammensetzung, bedacht werden muss.



Darstellung von U[V]/I[A] als Funktion der Schweißzeit (blauer Stern in der Mitte) eines 3Dprint AM Drahts der einen stabilen Prozess mit nur geringen Abweichungen aufzeigt.

Die chemische Zusammensetzung des Drahts beeinflusst ebenfalls die Lichtbogenstabilität, die Fließfähigkeit des geschmolzenen Materials sowie die Ausbildung von Silikatinseln auf der Raupe, was für das Drucken der nachfolgenden Lage nachteilig sein kann. Um dieser Problematik zu begegnen, sind insbesondere die Gehalte an Verunreinigungen aber auch der Legierungselemente wie z.B. Silizium sehr genau zu kontrollieren, um einen stabilen 3D-Druckprozess zu gewährleisten.

## WAS MACHT DIE 3DPRINT-DRÄHTE VON BÖHLER WELDING SO BESONDERS?

Die Drähte wurden speziell für die drahtbasierte additive Fertigung konzipiert und hergestellt. Jeder Produktionsschritt wurde präzise darauf abgestimmt, das Optimum bei Drahtförderung und Lichtbogenstabilität zu erhalten:

- » Der Ziehprozess ist präziser und bietet die beste Oberflächengüte.
- » Die Drahtförderung wird verbessert, auch dank der spezifischen Beschichtung.
- » Die Drähte werden unter strikter Einhaltung enger Toleranzen auf Spulen oder in Fässer gewickelt.
- » Es wurden Belastungstestprotokolle mit den dazugehörigen Akzeptanzkriterien festgelegt, um ein hohes Niveau der Lichtbogenstabilität und des Drahtvorschubs nachzuweisen, wobei alle betroffenen elektrischen Parameter und das Widerstandsmoment am Drahtvorschub in Echtzeit gemessen werden.

## Zusammenfassung der Vorteile der 3Dprint-Drähte von Böhler Welding

Metallurgische Vorteile	Prozessvorteile	
» Für niedrige Abkühlraten und hohe Wärmebringung konzipiert	» Hohe Prozessstabilität für Roboter-MIG-Verfahren oder andere mechanisierte Verfahren	
» Toleriert mehrere Zyklen des Härstens/Anlassens durch mehrere Schichten	» Fässer- und Spulengewicht kann weitgehend an das Gewicht der Bauteile angepasst werden	
» Optimierte für die Wärmebehandlung nach dem Drucken	» Erweiterte Qualitätskontrolle zur Gewährleistung eines einheitlichen Lichtbogen- und Drahtförderverhaltens	
» Maßgeschneiderte Metallurgie für komplexe Materialien	» Optimierte Oberflächentechnologie für lange Lichtbogenzyklen, die Drahtführungen bleiben sauber, die Kontaktdüsen halten länger	

## AUSGEZEICHNETE EIGENSCHAFTEN DES GEDRUCKTEN METALLS

Durch ein fein abgestimmtes Druckverfahren in Kombination mit den genannten Vorteilen können Strukturen, die mit den 3Dprint-Drähten von Böhler Welding gefertigt werden, anspruchsvollste Industrieanforderungen erfüllen.



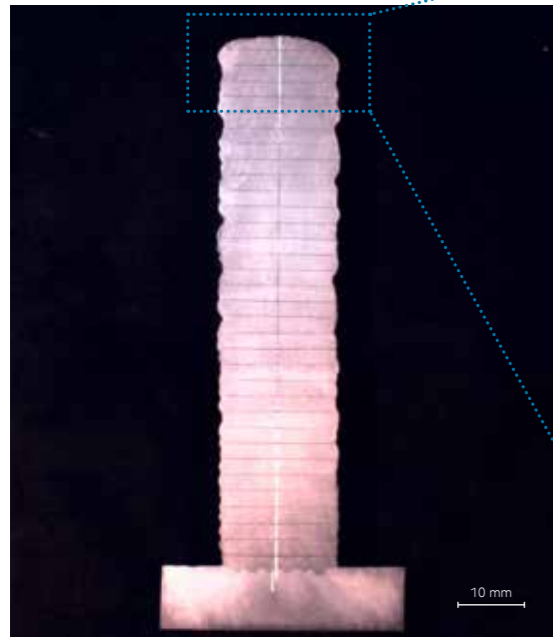
Eine zur Eigenschaftsbestimmung mit dem Draht 3Dprint AM 80HD gefertigte Wand

## CHARAKTERISIERUNG GEDRUCKTEN METALLS

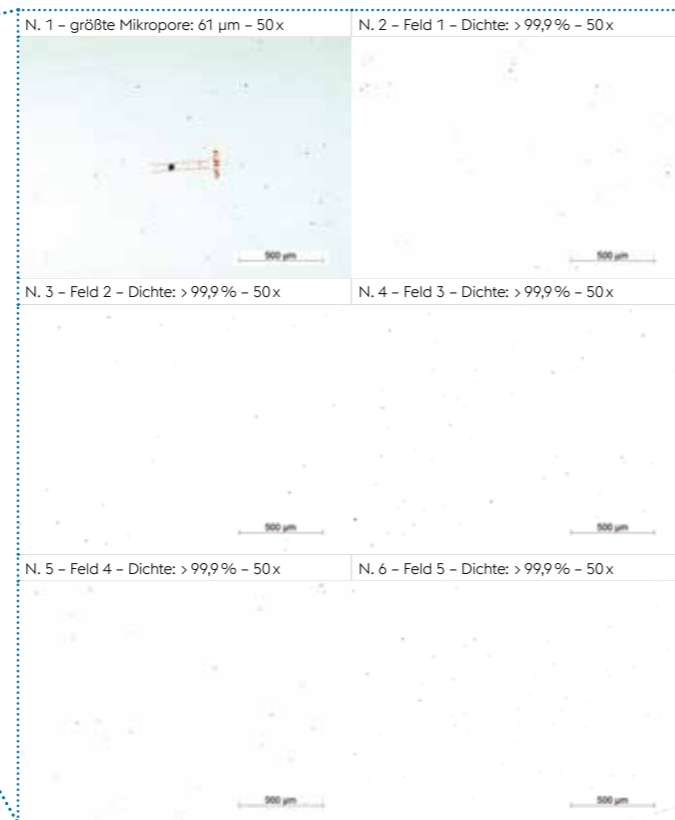
In Bezug auf Werkstoffeigenschaften führt voestalpine Böhler Welding unter den Bedingungen der drahtbasierten additiven Fertigung mittels Lichtbogen eingehende Prüfungen der Drähte durch und untersucht dabei Gemeinsamkeiten und Unterschiede gegenüber den konventionellen Technologien und Schweißbedingungen.

### Werkstoffintegrität

Hierbei zeigt die Bewertung der Mikroporosität, dass die drahtbasierte additive Fertigung mittels Lichtbogen und 3Dprint-Drähten eine Werkstoffintegrität bietet, die häufig mit der von Schmiedeteilen verglichen wird und die besser ist als die von Gussteilen.



Bestimmung der Dichte durch metallographische Prüfung (Schätzung der Porosität) bei einer mit dem 3Dprint-Draht AM46 gedruckten, 24 mm dicken Metallwand. Die Analyse ergab eine Werkstoffintegrität von über 99,9 %. Größte Mikropore: 42 µm



## Prüfung des gedruckten Metalls unter den Bedingungen der drahtbasierten additiven Fertigung mittels Lichtbogen

voestalpine Böhler Welding untersucht Wände und Blöcke mit spezifischer Geometrie, um die typischen Abkühlraten der drahtbasierten additiven Fertigung mittels Lichtbogen reproduzieren zu können und entnimmt je nach spezifischer Legierung Proben zur Prüfung von Zugfestigkeit, Kerbschlagarbeit, Biegeverhalten und allen anderen wichtigen Tests.

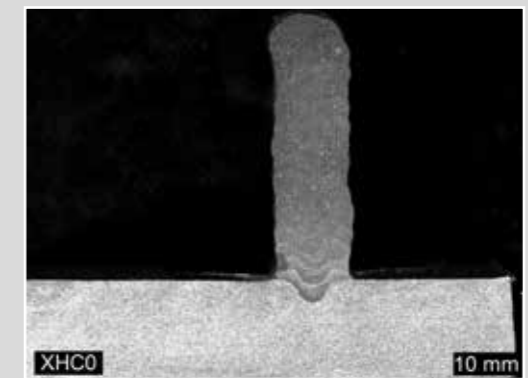
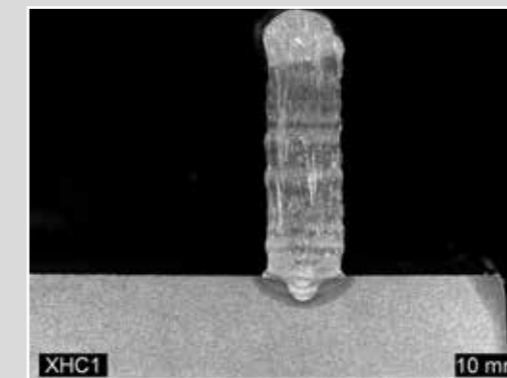


Gedruckter Testkörper und zerstörende Prüfungen eines martensitischen, ausscheidungshärtenden rostfreien Stahls gedruckt mit 3Dprint AM 17-4 PH

## DRUCKEN ANSPRUCHSVOLLER WERKSTOFFE

Das 3Dprint-Produktportfolio von Böhler umfasst eine breite Palette an technologisch hochentwickelten Legierungen. Eine hinreichende Kenntnis des Verhaltens beim Drucken dieser Werkstoffe ist eine Grundvoraussetzung für das Erzielen hochwertiger Ergebnisse.

Bei Bedarf kann voestalpine Böhler Welding seinen Kunden jederzeit Experten und Anwendungstechniker für die drahtbasierte additive Fertigung mittels Lichtbogen bereitstellen.



Makro eines martensitischen, ausscheidungshärtenden rostfreien Stahls gedruckt mit 3Dprint AM 17-4 PH. Links im unbehandelten Zustand und rechts nach Wärmebehandlung



## JOIN! voestalpine Böhler Welding

Als führendes Unternehmen in der Welt des Schweißens mit mehr als 100 Jahren Erfahrung sind wir mit mehr als 50 Tochterunternehmen und 4.000 Vertriebspartnern weltweit in Ihrer Nähe. Durch unser umfassendes Produktportfolio, unsere Schweißkompetenz und globale Ausrichtung kennen wir Ihre Bedürfnisse und stellen als Gesamtlösungsanbieter die besten Resultate für Ihre anspruchsvollsten Herausforderungen sicher. Perfekt miteinander verzahnt und so einzigartig wie Ihr Unternehmen.



**Lasting Connections** – Die perfekte Abstimmung von Schweißgeräten, Schweißzusätzen und Technologien in Kombination mit unserem renommierten Anwendungs- und Prozess-Know-how bietet die beste Lösung für Ihre Anforderungen: Eine echte und dauerhafte Verbindung zwischen Menschen, Produkten und Technologien. Das Ergebnis ist, was wir versprechen: Komplettlösungen für dauerhafte Verbindungen.



**Tailor-Made Protectivity™** – Durch die Kombination unserer hochwertigen Produkte und Anwendungskompetenz schützen, warten und reparieren Sie nicht nur Metalloberflächen und -komponenten. Unser erfahrenes Team von Ingenieuren bietet zudem maßgeschneiderte Lösungen für anspruchsvollste Herausforderungen, die höhere Produktivität garantieren. Das Ergebnis ist, was wir versprechen: Maßgeschneiderter Schutz für maximale Produktivität. Tailor-Made Protectivity™.



**In-Depth Know-How** – Als Produzent von in Deutschland hergestellten Lötzusätzen bieten wir bewährte Lösungen basierend auf 60 Jahren Industrieerfahrung, getesteten Prozessen und Verfahren. Dieses fundierte Know-how macht uns zum international bevorzugten Partner, der Ihre komplexen Herausforderungen durch innovative Ideen und Kundennähe löst. Das Ergebnis ist, was wir versprechen: Innovation basierend auf fundiertem Know-how.

The Management System of voestalpine Böhler Welding Group GmbH, Peter-Mueller-Strasse 14-14a, 40469 Duesseldorf, Germany has been approved by Lloyd's Register Quality Assurance to: ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, OHSAS 18001:2007, applicable to: Development, Manufacturing and Supply of Welding and Brazing Consumables. More information: [www.voestalpine.com/welding](http://www.voestalpine.com/welding)



