

Lean-Duplex-Stahl Outokumpu LDX2101

Schweisstechnische Verarbeitung

Korrosionsbeständige Duplex-Stähle zeichnen sich aus durch eine Kombination von guter Korrosionsbeständigkeit und hohen mechanischen Gütewerten. Folglich liegt ihr Einsatzgebiet in zahlreichen unterschiedlichen, anspruchsvolleren Anwendungsfällen, in denen diese Eigenschaften gefordert werden.

Outokumpu hat hierzu den LDX 2101®, einen neuen «Lean» Duplex Stahl für allgemeine Anwendungen und konstruktiven Ingenieurbau entwickelt. Mit seinem niedrigen Ni-Gehalt unterstützt durch Zugabe von Mn und N ist dieser Stahl eine wirtschaftlich interessante Alternative für Anwendungen in denen hohe mechanische Gütewerte verbunden mit ausreichender Korrosionsbeständigkeit gefordert werden. Parallel dazu bietet Avesta Welding AB für die schweisstechnische Verarbeitung des Stahles einen neuen Schweisszusatz mit gleichem Namen an.

*Björn Holmberg, Outokumpu AB
Fredrik Hägg, Avesta Welding AB*

Reinhard Smolin, Böhler Thyssen Schweisstechnik AG

LDX 2101 ist ein korrosionsbeständiger Duplex-Stahl, der für eine Vielzahl von Anwendungen eingesetzt werden kann. Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt seine Einstufung und kennzeichnende chemische Zusammensetzung.

Die chemische Zusammensetzung ist so eingestellt, dass das Gefüge annähernd zu gleichen Anteilen aus Austenit und Deltaferrit besteht. Der hohe Gehalt an Stickstoff bewirkt eine beschleunigte Austenitrückbildung beim Schweißen. Die Duplex-Struktur des Gefüges und der hohe Stickstoffgehalt führen dazu, dass die mechanischen Gütewerte in etwa doppelt so hoch liegen wie diejenigen der korrosionsbeständigen Standardaustenite.

Die allgemeine Korrosionsbeständigkeit von LDX 2101 ist sehr gut. Das macht es möglich, den Stahl in einer Vielzahl unterschiedlicher Umgebungen einzusetzen. Seine Korrosionseigenschaften sind vergleichbar oder besser als die des CrNi-Stahles 1.4301. Der hierfür entwickelte Avesta LDX 2101 ist ein entsprechender Schweisszusatz für diesen Stahl. Tabelle 2 zeigt die chemische Zusammensetzung der Schweisszusätze.

Schweisstechnische Verarbeitung

Alle üblichen Prozesse zum Schweißen korrosionsbeständiger Stähle können auch für den Stahl LDX 2101 eingesetzt werden. Erhöhten Deltaferrit-Gehalten in der Schweissnaht kann begegnet werden durch den Einsatz passender, für diesen Stahl entwickelter, Schweisszusätze. Wird mit wenig oder ohne Schweisszusatz gearbeitet, haben Schweissnähte am LDX 2101 im Vergleich zu Standard-Duplex-Stählen niedrigere Deltaferrit-Gehalte in der Wärmeeinflusszone und der Schweissnaht. Dies macht es leichter, Dünnbleche dieser Stähle (<1,5 mm) mit nur wenig Zugabe von Schweisszusatz zu fügen. In einigen Fällen, z.B. bei Laser/WIG, ist es auch möglich, diesen Stahl ohne Schweisszusatz zu verarbeiten. Wie auch bei anderen Duplex-Stählen

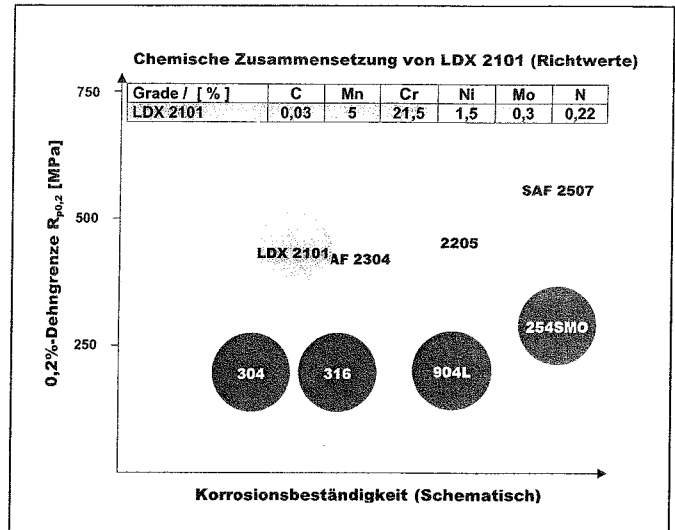


Abb. 1: Schematische Darstellung der Korrosionseigenschaften und der mechanischen Eigenschaften im Vergleich zu Standard-Austeniten und anderen Duplex-Stählen

Name	ASTM- Einstufung. EN- Einstufung Werkstoff-Nr.	Chemische Zusammensetzung, Richtwerte, %					
		C	Mn	Cr	Mo	Ni	N
LDX 2101	UNS S32101 / 1.4162	0,03	5	21,5	0,3	1,5	0,22

Tab. 1: Werkstoff LDX 2101

Avesta LDX 2101	Chemische Zusammensetzung, Richtwerte, %					
	C	Mn	Cr	Mo	Ni	N
Elektrode	0,04	0,7	24	0,3	7	0,14
Draht/Stab	0,03	0,5	23	0,3	7	0,14
Fülldraht	0,03	0,8	24	0,3	9	0,14

Tab. 2: Chemische Zusammensetzungen der Schweisszusätze vom Typ LDX 2101

neigt das Gefüge nur sehr wenig zur Heissrissbildung. Die von älteren Duplex-Stählen bekannte Gefahr der Grobkornbildung in der Wärmeeinflusszone tritt bei diesem Stahl weniger auf. Die Bildung von intermetallischen Phasen, z.B. Sigma-Phase, ist stark verlangsamt. Eine Ausscheidung von Nitriden in der Wärmeeinflusszone und im Schweissgut hingegen ist möglich. Jedoch können solche Effekte durch die Begrenzung der Wärmeinbringung minimiert werden. Wie bei anderen stickstofflegierten Duplex-Stählen sollte zur Vermeidung von Wurzelfehlern durch ungenügenden Einbrand der Öffnungswinkel in V, X und U-Nähten kleiner sein als beim Schweißen von Standard-Austeniten wie z.B. 1.4301.

Schweisverfahren und Verarbeitungs-Empfehlungen

Elektroden-Handschweissen

Die Stabelektrode LDX 2101 AC/DC besitzt eine Rutilhülle, wie sie auch für andere Duplex-Stähle Verwendung findet. Sie zeichnet sich aus durch einen stabilen Lichtbogen, guten Schlackenabgang und in Kehlnähten durch konkave glatte Nahtausbildung.

WIG-Schweissen

Dieser Schweißprozess kann sowohl mit als auch ohne Schweißzusatz ausgeführt werden. I-Nähte an Blechen dünner 1,5 mm werden vorzugsweise ohne Schweißzusatz ausgeführt. Eine Zugabe von Stickstoff zum Schutzgas/Formiergas hat einen positiven Einfluss sowohl auf die mechanischen Eigenschaften als auch auf die Korrosionseigenschaften. Wie bei anderen Duplex-Stählen ist die Schweißgeschwindigkeit bei automatisierten Schweißungen geringfügig niedriger als beim Schweißen von Standard-Austeniten wie z.B. 1.4301.

MIG/MAG-Schweissen

Die besten Schweißergebnisse werden erzielt beim Schweißen mit Puls-Stromquellen. Als Schutzgas wird vorzugsweise ein Mischgas aus Argon mit 30% Helium und 2–3% CO₂ eingesetzt. Die Heliumzugabe führt zu einer erhöhten Wärmeeinbringung, einer verminderten Viskosität und zu einem breiteren Schweißbad. Folglich kann mit höherer Schweißgeschwindigkeit geschweisst werden. Gute Schweißergebnisse können auch beim Schweißen mittels Mischgasen, bestehend aus Argon und Kohlendioxid (2–3%) oder Argon und Sauerstoff (1–2%), erreicht werden.

UP-Schweissen

Dieser Schweißprozess wird vorzugsweise für dickere Bleche eingesetzt. Zur Vermeidung hoher Aufschmelzgrade des Grundmaterials sind zum Schweißen von V, U und X-Nähten max. 2,4mm Drähte zu verwenden. Die Wurzellage kann vorteilhaft mit einem anderen Hochleistungsschweißprozess ausgeführt werden, z.B. mit dem Fülldrahtschweißen. Zum Erreichen höchster Zähigkeitswerte ist ein basisches Schweißpulver, z.B. Avesta Flux 805 oder 807, zu verwenden. Die Wärmeeinbringung sollte 1,5 kJ/mm nicht übersteigen.

Fülldraht-Schweissen

Beim Schweißen mit Fülldrähten werden die gleichen Techniken angewendet wie zum Schweißen von Standard-Duplex-Stählen. Als Schutzgas wird beispielsweise Argon mit 20% CO₂ oder reines Kohlendioxid eingesetzt.

Eigenschaften des reinen Schweißgutes

Auch wenn das Gefüge keine genormte Schweißgut-Eigenschaft ist, hat es doch eine grosse Bedeutung für die tatsächlichen Eigenschaften der Verbindung. Aus diesem Grunde ist es sinnvoll, die verschiedenen Phänomene und Phasen des Gefüges zu betrachten.

Über den Delta-Ferrit-Gehalt in der Schweißnaht und der Wärmeeinflusszone wird vielfach diskutiert. Sein Anteil ist stark abhängig von der Abkühlgeschwindigkeit. Auch der Anteil an

aufgeschmolzenem Grundmaterial ist von Bedeutung für die Höhe des Delta-Ferrits im Schweißgut. Analysen von Laser-Widerstands-Schweißnähten zeigten Ferrit-Gehalte von 65–80%. Lichtbogenschweißverfahren mittels Standard-Schweißzusätzen ergeben in der Regel Ferrit-Gehalte von 30–65%. In der Wärmeeinflusszone liegen sie normalerweise etwas höher bei 60–70%.

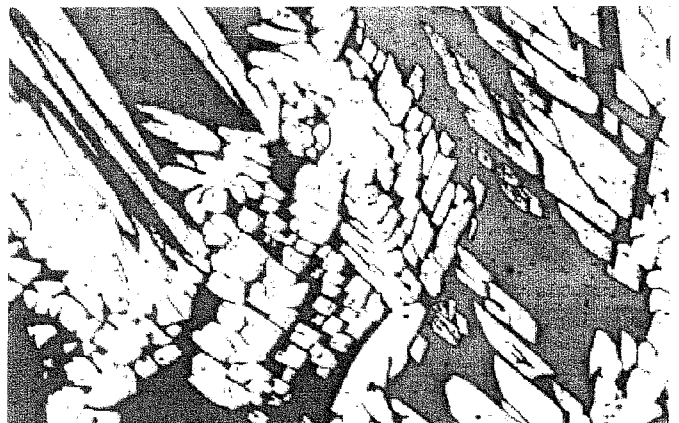


Abb. 2: UP-Schweißgut am Grundwerkstoff 1.4162

Abbildung 2 zeigt das Gefüge einer UP-Schweißnaht, die mit artgleichem Schweißzusatz hergestellt wurde.

Die Berechnung des Gehaltes an Delta-Ferrit wird üblicherweise unter Zuhilfenahme des WRC-Diagrammes durchgeführt, das auf der chemischen Analyse von Schweißgut basiert. Diese Berechnungsmethode ist jedoch limitiert auf ein Nickel-Äquivalent von mindestens 9%. Deshalb kann es nicht benutzt werden zur Berechnung von Delta-Ferrit-Gehalten in Schweißnähten, die mit sehr wenig bzw. ohne Schweißzusatz hergestellt wurden.

Die Messung des Delta-Ferrit-Gehaltes wird mittels Messmethoden durchgeführt, die auf die magnetischen Eigenschaften ansprechen (z.B. mittels Fischer-Ferritscope) oder man bedient sich metallographischer Methoden (z.B. gemäss ASTM E 562). Das zweite Verfahren ergibt gewöhnlich höhere Gehalte als das Erstere.

Nitride können in der Wärmeeinflusszone vorhanden sein. In Fällen, in denen mit zu hoher Wärmeeinbringung geschweisst wurde, können auch die Schweißnähte Nitride aufweisen. Ebenso ist in UP-Schweißnähten Nitridbildung möglich. Die Korrosionsbeständigkeit und auch die Zähigkeit wird durch zu hohe Gehalte an Delta-Ferrit und Nitridbildung negativ beeinflusst.

Mechanische Eigenschaften

Mechanische Prüfung von Avesta LDX 2101-Schweißnähten zeigte Festigkeitswerte von mehr als 680 MPa. Die Brüche traten vorzugsweise im Grundmaterial auf.

180°-Biegetests über einen Dordurchmesser 3 x t zeigten keinerlei Anrisse.

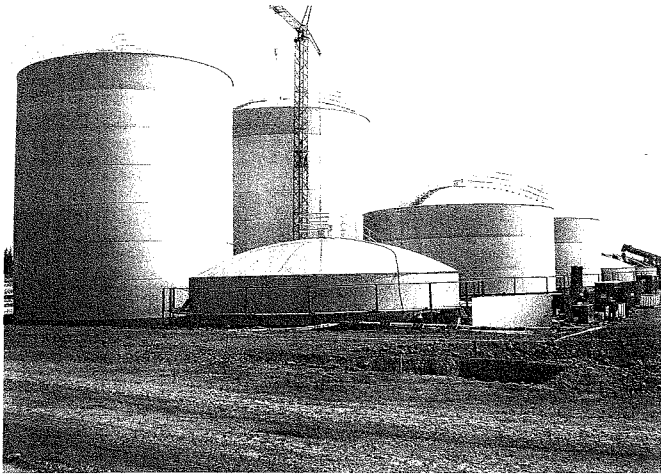


Abb. 3: Lagertanks gefertigt aus LDX 2101

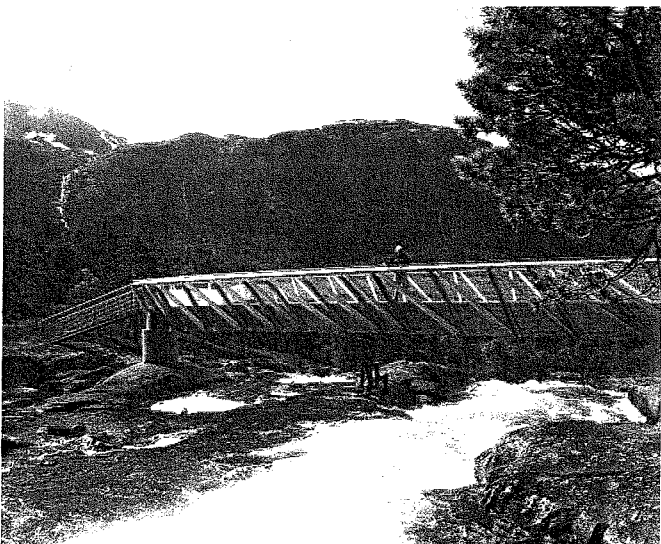


Abb. 4: Fussgängerbrücke, gefertigt aus LDX 2101-Elementen

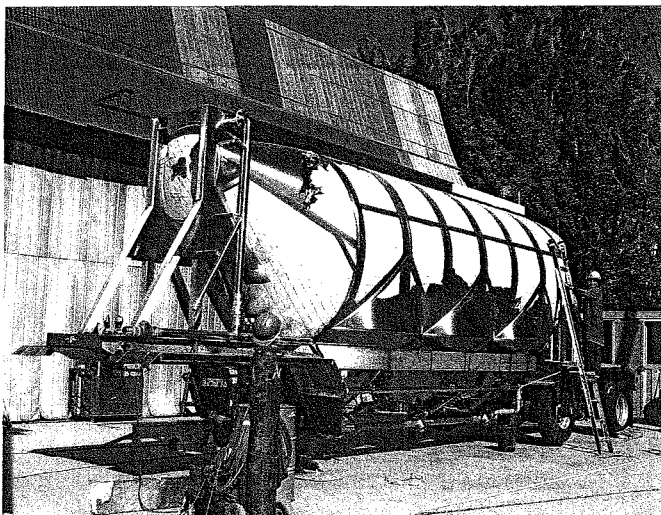


Abb. 5: Lebensmittel-Transportbehälter.

Die Zähigkeitswerte in MIG/MAG-Schweissnähten sind höher als im unbeeinflussten Grundwerkstoff. Kerbschlagbiegeversuche – durchgeführt in der Wärmeeinflusszone – ergaben Werte von 50 J bei -40°C . Die Bruchflächenbeurteilung zeigte ein duktilen Bruchverhalten.

Wie von anderen Duplex-Stählen bekannt, unterliegen die Werte starken Streuungen. Kerbschlagwerte von Elektroden-, Fülldraht- und UP-Schweissungen weisen niedrigere Werte auf. Das ist aber nicht ungewöhnlich für schlackeproduzierende Schweissprozesse. Während die Kerbschlagwerte für diese Schweissprozesse gewöhnlich über 50 J liegen, werden in MIG/MAG und WIG-Schweissnähten Werte über 150 J gemessen. UP-Schweissungen mit höherem Wärmeeinbringen ($>1,5 \text{ kJ/mm}$) führen zu einer starken Aufmischung von Grundmaterial und damit zu tieferen Kerbschlagwerten.

Lochkorrosions-Verhalten

WIG-Schweissungen mit und ohne Schweisszusatz sowie Fülldraht-, UP- und auch MIG/MAG-Schweissungen zeigten Beständigkeit im Lochkorrosionstest (gem. ASTM G 150) in 1M NaCl-Lösung zwischen $+8^{\circ}\text{C}$ und $+15^{\circ}\text{C}$. In den meisten Fällen trat Lochkorrosion in der Wärmeeinflusszone auf.

Die CPT-Werte (kritische Lochkorrosions-Temperatur) von Avesta LDX 2101-Schweissnähten liegen gewöhnlich etwas tiefer als diejenige des unbeeinflussten Grundwerkstoffes und in etwa auf dem Niveau von 1.4404/1.4571 (CPT um $+15^{\circ}\text{C}$), sind aber deutlich besser als bei 1.4301 (CPT $< +5^{\circ}\text{C}$). Die Überprüfung zeigte die Notwendigkeit einer gründlichen Reinigung der Prüfstücke (gebürstet und gebeizt).

Verwendung

Aktuell wird der Stahl LDX 2101 für die unterschiedlichsten Typen von Lagertanks eingesetzt. Er hat hierbei den Stahl 1.4301/AISI 304 zum Teil ersetzt, und die bisherigen Erfahrungen sind sehr positiv. Abbildung 3 zeigt hierzu ein gutes Beispiel. Der wichtigste Grund für den Einsatz dieses Stahles ist seine hohe Festigkeit und damit einhergehend die erzielbare Gewichts- und Kosteneinsparung, verbunden mit einer Korrosionsbeständigkeit, die dem Stahl 1.4301/AISI 304 überlegen ist.

Industrielle Erprobungen und Kundentests haben ein grosses Potenzial für den Einsatz von LDX 2101 in einer Vielzahl von unterschiedlichen Einsatzgebieten und Anwendungen gezeigt. Siehe auch nebenstehenden Abbildungen.

Mechanisch beanspruchte Bauteile (z.B. Brücken, Tanker und verschiedene Fahrzeugteile) bilden einen anderen Anwendungsbereich, bei dem die Festigkeitseigenschaften des Duplex-Stahles LDX 2101 genutzt werden.

Für die folgend aufgeführten Anwendungsfälle wurde LDX 2101 inzwischen verwendet: Weintanks, Palmöl-Tanks, Behälter zur Heisswasserbereitung, Entsalzungsanlagen, Laternenpfähle, Eisenbahnwagen, Staudamm- und Deichtore.