

Formgebungsmöglichkeiten von nichtrostendem Stahl



Euro Inox

Euro Inox ist die europäische Marktförderungsorganisation für nichtrostende Stähle (auch als Edelstahl Rostfrei oder Inox-Stähle bezeichnet).

Die Mitglieder von Euro Inox umfassen

- europäische Produzenten nichtrostender Stähle,
- nationale Marktförderungsorganisationen für nichtrostende Stähle sowie
- Marktförderungsorganisationen der Legierungsmittelindustrie.

Ziel von Euro Inox ist es, bestehende Anwendungen für nichtrostende Stähle zu fördern und neue Anwendungen anzuregen. Planern und Anwendern sollen praxisnahe Informationen über die Eigenschaften der nichtrostenden Stähle und ihre sachgerechte Verarbeitung zugänglich gemacht werden. Zu diesem Zweck

- gibt Euro Inox Publikationen in gedruckter und elektronischer Form heraus,
- veranstaltet Tagungen und Seminare und
- initiiert oder unterstützt Vorhaben in den Bereichen anwendungstechnische Forschung sowie Marktforschung.

ISBN 978-2-87997-218-3

978-2-87997-211-4	Englische Fassung
978-2-87997-212-1	Französische Fassung
978-2-87997-213-8	Italienische Fassung
978-2-87997-214-5	Spanische Fassung
978-2-87997-215-2	Finnische Fassung
978-2-87997-216-9	Schwedische Fassung
978-2-87997-217-6	Niederländische Fassung
978-2-87997-219-0	Polnische Fassung
978-2-87997-220-6	Tschechische Fassung
978-2-87997-221-3	Türkische Fassung

Vollmitglieder:

Acerinox

www.acerinox.es

ArcelorMittal Stainless Belgium

ArcelorMittal Stainless France

www.arcelormittal.com

Outokumpu

www.outokumpu.com

ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni

www.acciaiterni.it

ThyssenKrupp Nirosta

www.nirosta.de

Assoziierte Mitglieder

Acroni

www.acroni.si

British Stainless Steel Association (BSSA)

www.bssa.org.uk

Cedinox

www.cedinox.es

Centro Inox

www.centroinox.it

Informationsstelle Edelstahl Rostfrei

www.edelstahl-rostfrei.de

Institut de Développement de l'Inox (I.D.-Inox)

www.idinox.com

International Chromium Development Association (ICDA)

www.icdachromium.com

International Molybdenum Association (IMOA)

www.imoa.info

Nickel Institute

www.nickelinstitute.org

Paslanmaz Çelik Derneği (PASDER)

www.turkpasder.com

Polska Unia Dystrybutorów Stali (PUDS)

www.puds.pl

SWISS INOX

Informationsstelle für nichtrostende Stähle

www.swissinox.ch

Inhalt

Formgebungsmöglichkeiten von nichtrostendem Stahl
1. Auflage 2008
(Reihe Werkstoff und Anwendungen, Band 8)
© Euro Inox 2008

1. Einführung	3
2. Mechanische Eigenschaften	4
3. Umformungsmöglichkeiten	5
4. Oberflächenausführungen	5
5. Innenhochdruckumgeformte Knoten für Rahmen im Automobilbau	6
6. Hygienefreundliches nahtloses Design	8
7. Hochleistungspumpe mit innenhochdruck- umgeformtem Gehäuse	10
8. Drücken eines exklusiven Designproduktes	12
9. Durch Drücken hergestellte Schmuckfelgen	14
10. Kaltgewalzte Profile mit erhöhter Festigkeit	16
11. Explosionsumgeformte Wärmetauscherplatten	18
12. Tiefgezogene Schmuckkappen für Radmuttern	20
13. Profilierte Bleche im Dienst höherer Nutzlast	22
14. Literaturhinweise	24

Herausgeber

Euro Inox
Sitz: 241, route d'Arlon,
1150 Luxemburg, Luxemburg
Tel. +352 26 10 30 50 Fax +352 26 10 30 51
Büro Brüssel:
Diamant Building, Bd. A. Reyers 80,
1030 Brüssel, Belgien
Tel. +32 2 706 82 67 Fax +32 2 706 82 69
E-mail info@euro-inox.org,
Internet www.euro-inox.org

Autor

Benoît Van Hecke, Hasselt (B)

Quellennachweis:

Fotos Titelseiten:
HDE Solutions, Menden (D)
ThyssenKrupp Nirosta, Krefeld (D)
Alessi, Crusinallo (I)

Urheberrechtlicher Hinweis

Vervielfältigungen jedweder Art sind, auch auszugsweise, nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des Herausgebers gestattet.

Haftungsausschluss

Die in dieser Broschüre enthaltenen Informationen vermitteln Orientierungshilfen. Gewährleistungs- und Schadenersatzansprüche gegenüber Euro Inox, dessen Mitgliedern, Mitarbeitern und Beratern sowie anderen Projektbeteiligten können hieraus nicht abgeleitet werden.

Allgemeines über nichtrostende Stähle

Nichtrostende Stähle sind Eisenlegierungen mit einem Chromgehalt von mindestens 10,5 Gewichts-Prozent und einem Kohlenstoffgehalt von nicht mehr als 0,1 %. Hierdurch sind die Voraussetzungen für die Bildung einer sich selbst erneuernden sogenannten Passivschicht gegeben. Diese Definition ist in der europäischen Norm EN 10088 festgeschrieben.

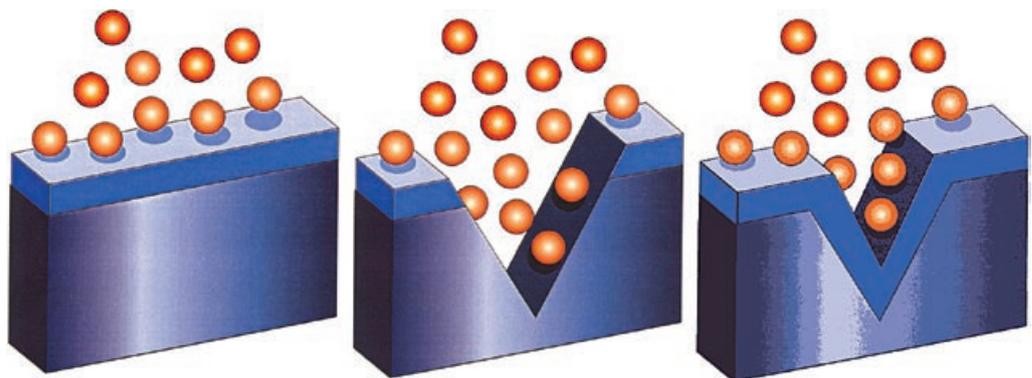
Die Legierungszusammensetzung hat erheblichen Einfluss auf das Gefüge des nichtrostenden Stahls und führt dazu, dass es insgesamt vier Hauptfamilien mit jeweils besonderen mechanischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften gibt:

- austenitische nichtrostende Stähle: Fe-Cr-Ni, $C < 0,1 \%$, unmagnetisch,
- ferritische nichtrostende Stähle: Fe-Cr ($> 10,5 \%$), $C < 0,1 \%$, magnetisch,
- nichtrostende Duplexstähle: Fe-Cr-Ni, gemischt austenitisch-ferritische Struktur, magnetisch,
- martensitische nichtrostende Stähle: Fe-Cr, $C > 0,1 \%$, magnetisch und härtbar.

Diese Familien umfassen auch Sorten, die noch weitere Legierungselemente enthalten, z.B. Molybdän, Titan, Niob und Stickstoff. Die austenitischen Sorten machen insgesamt rund drei Viertel der weltweiten Produktion an nichtrostenden Stählen aus. Die austenitischen Werkstoffe EN 1.4301 / 1.4307 (AISI 304 / 304L) und EN 1.4401 / 1.4404 (AISI 316 / 316L), die ferritische Sorte EN 1.4016 (AISI 430) und deren Varianten sind am bekanntesten und am weitesten verbreitet.

Die zentralen Eigenschaften der nichtrostenden Stähle lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- hohe Korrosionsbeständigkeit,
- ausgezeichnete Verschleißbeständigkeit,
- dekoratives Aussehen,
- große Hitzebeständigkeit,
- niedrige lebensdauerbezogene Kosten,
- vollständige Recyclingfähigkeit,
- Lebensmitteleignung,
- leichte Verarbeitbarkeit sowie
- hohe spezifische Festigkeit.



Wird die Oberfläche durch Bearbeitung oder Beschädigung abgetragen, bildet sich die Passivschicht unter dem Einfluss von Sauerstoff aus Luft oder Wasser spontan neu.

• Detaillierte Informationen über die chemische Zusammensetzung sowie die mechanischen und physikalischen Eigenschaften der nichtrostenden Stähle sind einer interaktiven Datenbank unter www.euro-inox.org/technical_tables bzw. der Broschüre *Tables of Technical Properties* (Materials and Applications Series, Volume 5), 2. Auflage: Luxemburg: Euro Inox 2007, zu entnehmen.

1 Einführung

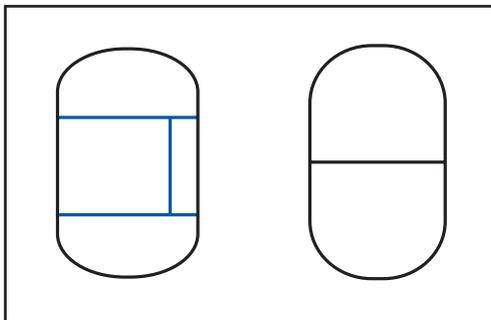
Aufgrund ihres einzigartigen Spektrums mechanischer Eigenschaften sind nichtrostende Stähle für die umformtechnische Verarbeitung besonders geeignet. Hohe spezifische Festigkeit und hohe Bruchdehnung im Verbund mit ausgeprägter Kaltverfestigungsneigung machen sie häufig zu bevorzugten Werkstoffen, wenn komplexe und nahtlose dreidimensionale Formen erzielt werden sollen.

Die Umformung beeinträchtigt Eigenschaften wie Korrosionsbeständigkeit, Hitzebeständigkeit und dekoratives Aussehen nicht. Nichtrostender Stahl ist daher häufig das Material der Wahl sowohl für Investitions- als auch Konsumgüter.

Die Fertigungskosten setzen sich zusammen aus

- Werkstoffkosten und
- Verarbeitungskosten.

Nicht immer ist nichtrostender Stahl der Ausgangswerkstoff mit den geringsten Kosten; allerdings können Vereinfachungen des Fertigungsprozesses die zuweilen höheren Materialkosten mehr als ausgleichen – z.B. weil weniger Züge erforderlich sind oder die Wärmebehandlung reduziert werden kann.



Fässer für Bier und andere Getränke (zumeist mit einem Fassungsvermögen von 20-70 l) können dank der vielfältigen Verarbeitungseigenschaften nichtrostender Stähle nach unterschiedlichen Verfahren hergestellt werden. Eine Möglichkeit besteht in einem dreiteiligen Aufbau (links). Hierbei werden das gewölbte Kopf- und Fußstück mit einem Mittelteil aus kaltumgeformtem nichtrostendem Stahl verbunden. Die Kaltumformung verbessert die mechanischen Eigenschaften des Bandstahls zusätzlich. So lässt sich entweder die Wandstärke bei gleichbleibender Bauteilfestigkeit verringern oder das Fass wird bei gleicher Wanddicke beschädigungsresistenter. Diese Bauart wird zumeist dann bevorzugt, wenn Gewichtsreduktion im Vordergrund steht.



Die Umformungseigenschaften des nichtrostenden Stahls machen als Alternative auch eine zweiteilige Bauform möglich (rechts). Dabei wird das Fass aus zwei identischen tiefgezogenen Hälften zusammengesetzt. Diese Konstruktion wird dann bevorzugt, wenn Schweißnähte minimiert werden sollen. Abgesehen von den Umformungseigenschaften ist nichtrostender Stahl auch für den Kontakt mit Lebensmitteln besonders gut geeignet, da er die einschlägigen europäischen Bestimmungen sicher erfüllt.

Dreiteilige im Vergleich zu zweiteiliger Konstruktion
Fotos: AEB, Vimercate (l)

2 Mechanische Eigenschaften

Um die Umformbarkeit eines Werkstoffes zu beurteilen, gilt es zunächst, seine mechanischen Eigenschaften zu betrachten, insbesondere die folgenden Kriterien:

Festigkeit: Maß für den Widerstand eines Werkstoffes gegen Verformung. Dabei kann Verformung unter zwei Gesichtspunkten betrachtet werden:

- unter dem Gesichtspunkt des Widerstandes gegen dauerhafte Formänderung, ausgedrückt durch die Streckgrenze R_p ,
- oder unter dem Gesichtspunkt des Versagens, wofür die Zugfestigkeit R_m herangezogen wird.

Härte: Grad des Widerstandes gegen die dauerhafte Einkerbung durch eine einwirkende Last

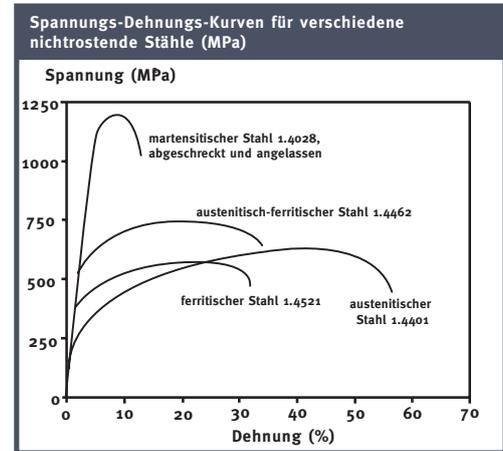
Zähigkeit: Fähigkeit zur Energieaufnahme bis zum Bruch

Duktilität: Fähigkeit, sich plastisch zu verformen, ohne zu brechen

Die Begriffspaare „fest“ und „nachgiebig“, „hart“ und „weich“, „zäh“ und „spröde“ beziehen sich auf unterschiedliche Aspekte der mechanischen Eigenschaften und sollten nicht miteinander verwechselt werden. Einige dieser Eigenschaften können durch Zugversuche ermittelt werden. Gängige Graphiken stellen die Dehnung in Abhängigkeit von der einwirkenden Spannung dar (Spannungs-Dehnungs-Diagramm).

Der Endpunkt der Kurve gibt die Bruchdehnung an, die ein Maß für die Duktilität des Werkstoffes ist.

Die Fläche unter der Kurve zeigt, wie viel Energie der Werkstoff aufnehmen kann, bevor er bricht, d.h. wie groß seine Zähigkeit ist.



Martensitische Stähle weisen eine hohe Festigkeit bei gleichzeitig geringer Duktilität (und damit Umformbarkeit) aus, während austenitische Stähle weniger fest, dafür aber duktiler sind. Ferritisch-austenitische (Duplex-) Stähle sowie ferritische Sorten liegen dazwischen. Die Streckgrenze ist bei ferritischen Stählen im allgemeinen höher als bei austenitischen. Die Werte für Duplex-Sorten liegen über denen sowohl austenitischer als auch ferritischer Stähle. Ferritische und Duplex-Stähle verfügen über eine vergleichbare Duktilität².

Mit Ausnahme der martensitischen Stähle gelten die in der Graphik gezeigten Kurven für Stähle im geglühten Zustand, was dem üblichen Lieferzustand entspricht. Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, dass die umformungsrelevanten mechanischen Eigenschaften von folgenden Einflussfaktoren abhängig sind:

- chemische Zusammensetzung,
- Wärmebehandlung (bei martensitischen Sorten),
- Kaltverfestigung (bei austenitischen und Duplex-Stählen).

Letztere Eigenschaft bedeutet, dass sich bei nichtrostenden Stählen durch

Kaltumformung höhere Festigkeiten erzielen lassen. Diese Eigenschaft unterscheidet diese Stähle in besonderer Weise von anderen metallischen Werkstoffen.

Nichtrostende austenitische und Duplex-

Stähle in kaltverfestigtem Zustand weisen daher unter dem Gesichtspunkt der Gewichtseinsparung eine besonders interessante Kombination von Festigkeit und Umformbarkeit auf.

3 Umformungsmöglichkeiten

Um die Umformbarkeit nichtrostender Stähle beispielhaft darzustellen, werden nachstehend neun Fallstudien industriell gefertigter Investitions- und Konsumgüter aufgeführt. Dabei werden jeweils die folgenden Punkte angesprochen:

- die Grundzüge des Umformverfahrens,
- die konstruktionsbedingten Anforderungen an den Werkstoff,
- die Eigenschaften, die nichtrostenden Stahl zu einer Werkstoffoption machen, sowie
- die praktische Herstellung des Produktes unter Verwendung nichtrostenden Stahls³.

4 Oberflächenausführungen

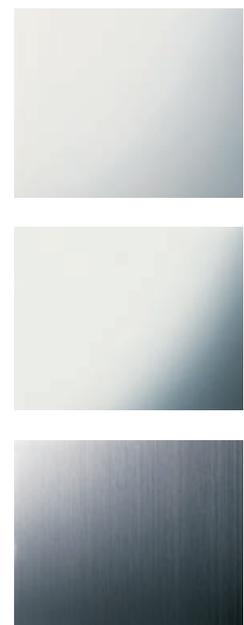
Die europäische Norm EN 10088-2 umfasst Informationen über die verfügbaren Oberflächenausführungen nichtrostender Stähle (und deren jeweilige Bezeichnungen)⁴. Die gängigen Ausführungen und Abmessungsbereiche sind

- die kaltgewalzte und leicht reflektierende Oberfläche 2B (erhältlich im Dickenbereich von 0,4 bis 8 mm),
- die kaltgewalzte, hochglänzende (blankgeglühte) Oberfläche 2R (< 3 mm),
- die kaltgewalzten geschliffenen (2G) und gebürsteten (2J) Oberflächen.

Auch warmgewalzte (1D; > 2 mm) und kaltverfestigte (2H; < 6 mm) Oberflächen stehen zur Verfügung.

Durch starke Umformung werden dekorative Oberflächen bei vielen Werkstoffen beeinträchtigt. Bei nichtrostendem Stahl sind demgegenüber häufig vergleichsweise komplexe Formen zu erzielen, ohne dass das Bauteil mechanisch nachbearbeitet werden muss. So werden z.B. preisgünstige Küchenspülen ohne weitere Oberflächenbehandlung direkt aus blankgeglühtem nichtrostendem Stahlblech (2R) hergestellt. Die Tatsache, dass die dekorative Oberfläche auch nach der Umformung erhalten bleibt, macht die Kombination von Werkstoff und Umformtechnik zu einer kostengünstigen Gesamtlösung.

Gebräuchliche Oberflächen von nichtrostenden Stählen für die Kaltumformung: 2B, 2R und 2G/2J



³ Die vorliegende Veröffentlichung ist speziell solchen Umformverfahren gewidmet, bei denen die Umformeigenschaften des nichtrostenden Stahls in besonderer Weise ausgeschöpft werden. Informationen über entsprechende Umformbetriebe sind bei Euro Inox und deren Mitgliedsunternehmen bzw. -organisationen erhältlich.

⁴ Vgl. Anhang B der Broschüre *Edelstahl Rostfrei – Dekorative Oberflächen im Bauwesen* (Reihe Bauwesen, Band 1), Luxemburg: Euro Inox 2000

5 Innenhochdruckumgeformte Knoten für Rahmen im Automobilbau

Durch Innenhochdruckumformung (IHU) lassen sich aus Rohren komplex geformte Bauteile herstellen. Das Verfahren umfasst folgende Schritte:

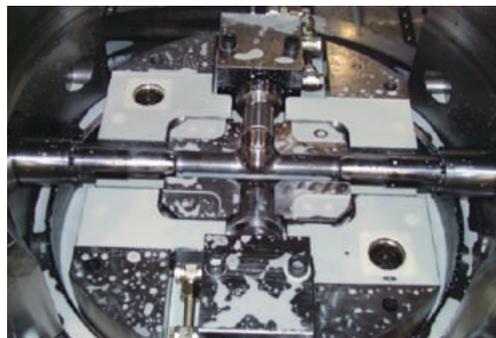
- Zunächst wird das nichtrostende Stahlrohr in eine Form eingespannt.
- Anschließend werden beide Enden verschlossen.
- Dann wird das Rohr mit einer Flüssigkeit (zumeist Wasser oder Öl) gefüllt.
- Schließlich wird auf das Rohr sowohl radial (durch den Flüssigkeitsdruck) als auch axial (durch Stauchung der Rohrenden) Druck ausgeübt.

Das Verfahren, mit dem sich nahezu beliebige komplexe Formen erzeugen lassen, weist die folgenden Vorteile auf:

- unbeeinträchtigte Oberflächen (ohne pressbedingtes Fressen oder schmierungsbedingte Fleckenbildung),
- enge Toleranzen.

Herstellung von Knoten für Rahmen von Automobilen

Die metallische Rahmenbauweise (Abbildung oben links) ist eines der Konstruktionsprinzipien für Autokarosserien. Im Busbau ist es unter Verwendung



Hydroform-Werkzeug sowie Foto: ArcelorMittal Centre Auto-Applications, Montataire (F)

geschweißter nichtrostender Stahlrohre seit vielen Jahren gebräuchlich. Traditionell wurden dabei Verbindungsteile eingesetzt, die durch Biegen, Trennen und Schweißen hergestellt wurden (Abbildung oben rechts).

Die Ausführung als innenhochdruckumgeformter Knoten hat folgende Vorteile:

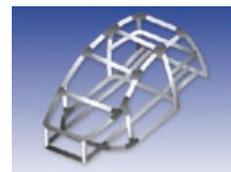
- Komplexe Schweißkonstruktionen aus Rohrzuschnitten entfallen.
- Schweißnaht und Schnittkanten (d.h. aufgeschmolzene und mechanisch bearbeitete Bereiche) werden räumlich voneinander getrennt.

Hierdurch ergibt sich folgender Nutzen:

- Standardisierung des Fertigungsprozesses,
- modulare Lösungen,
- höhere Steifigkeit und Festigkeit im Interesse der Gewichtsverminderung sowie
- Kosteneinsparungen.

Graphik: P.-J. Cunat, Joinville-le-Pont (F)

Foto : HDE Solutions, Menden (D)



Innovative space frame-Teile unter Verwendung hydrogeformter Knoten. Foto: ArcelorMittal Stainless Europe, La-Plaine Saint-Denis (F)

Das Umformverhalten nichtrostender Stähle während der Innenhochdruckumformung

Während der Innenhochdruckumformung werden bestimmte Bereiche des Werkstücks stark umgeformt, wobei Kaltverfestigung eintritt. Dieses spezifische Verhalten des nichtrostenden Stahls verleiht dem Bauteil zusätzliche Festigkeit und verbessert dadurch seine statischen Eigenschaften sowie seine Beständigkeit gegen Ermüdung.

Die umgeformten Bereiche, in denen die Spannung am höchsten ist, befinden sich abseits der Schweißnaht. Hier liegt der Unterschied zu klassischen Ausführungen, bei denen die Schweißnähte die besonders kritischen Bereiche darstellen.



*Innenhochdruck-umgeformter Knoten.
Foto: HDE Solutions,
Menden (D)*

Vorteile innenhochdruckumgeformter Knoten

Die Vorteile einer Kombination von nichtrostendem Stahl und IHU liegen in

- besserer axialer Ausrichtung,
- präziser Rechtwinkeligkeit (ohne Gefahr schweißbedingten Wärmeverzugs),
- der Möglichkeit automatisierter Herstellung von Schweißnähten (am –

und nicht im – Knoten),

- erhöhter Genauigkeit bei Wanddicke und Geometrie sowie
- besserer Spannungsverteilung.

Das Ergebnis: weniger Teile, weniger Ausschuss, weniger Formen und weniger Material – und in der Summe weniger Kosten.



*Graphik und Foto: ArcelorMittal Stainless Europe,
La Plaine Saint-Denis (F)*

6 Hygienefreundliches nahtloses Design

Die konstruktiven Anforderungen an Küchengeräte für den Kontakt mit Lebensmitteln umfassen

- hygienische, leicht zu reinigende Oberflächen,
- effiziente Wärmeübertragung auf das Kochgut bei gleichzeitigem Schutz vor Verbrennungen beim Berühren der Griffe,
- Widerstandsfähigkeit gegen Beschädigung und Abnutzung.

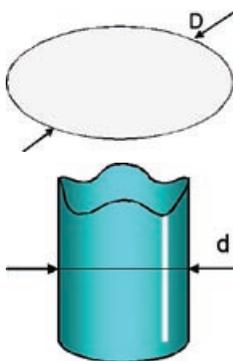
Neben den technischen Anforderungen spielen auch Designüberlegungen bei der Auswahl von Form und Oberfläche eine Rolle. Der Herstellungsprozess eines dekorativ gestalteten Kochtopfs macht deutlich, warum seit Jahrzehnten nichtrostender Stahl eingesetzt wird, um auch diese Anforderungen zu erfüllen.



Umformung einer Ronde zu einem Hohlkörper

Nur wenigen ist bewusst, dass ein derartiges formschönes Kochgeschirr aus einer flachen Ronde von 1 mm Dicke und 400 mm Durchmesser hergestellt wird. Nichtrostender Stahl der Sorte 1.4301 mit einer werkseitigen 2B-Oberfläche nimmt die von der Presse (oder den Pressen) ausgehende Formänderung auf. Dabei halbiert sich der Durchmesser des Werkstücks. Die Umformbarkeit wird hierbei weitgehend ausgeschöpft⁵.

Nichtrostender Stahl lässt noch weitere Züge zu, sofern seine Umformbarkeit wiederhergestellt wird. Dies geschieht durch Wärmebehandlung, im vorliegenden Fall durch Glühen oberhalb von 1000 °C. In diesem Temperaturbereich oxidiert die Oberfläche des nichtrostenden Stahls. Die so entstehende schwarze Oxidschicht würde die im weiteren Umformungsprozess eingesetzten Werkzeuge verschmutzen und das spätere Schleifen erschweren. Daher wird dem Glühen eine Beizbehandlung nachgeschaltet, die das Oxid entfernt und die Passivität wiederherstellt.



Grenzziehverhältnis = D/d . Typische Werte für das Grenzziehverhältnis liegen im Fall des nichtrostenden Stahls zwischen 1,8 und 2



⁵ Das Grenzziehverhältnis bezeichnet den Quotienten aus größtmöglichem Durchmesser der Ronde (D) und dem Durchmesser des hieraus durch Tiefziehen erzeugten Zylinders (d).

Von der Hohlware zum Designprodukt

Um den Kochtopf induktionstauglich zu machen, ist in den Boden eine Ronde aus ferritischem (Chrom-) Stahl eingearbeitet. Letztere ist, im Unterschied zu den aus austenitischem (Chrom-Nickel-) Stahl hergestellten Wandungen, magnetisierbar.



Beide werden durch eine Aluminiumronde miteinander verbunden, die für eine gleichmäßige Wärmeübertragung sorgt. Die Stanzteile werden durch Hartlöten an dem Topfkörper befestigt.

Die Ausgangs-Ronde ist im Vergleich zum Endprodukt noch vergleichsweise matt. Gleichwohl ist die Oberflächenrauigkeit so gering, dass der spätere Polieraufwand minimal ist.



Die Umformung nichtrostender Stähle ist keineswegs auf zylindrische Formen begrenzt. Komplexere, gewölbte Formen (links) können aus einem Zylinder (rechts) mit Hilfe eines zweiteiligen metallischen Werkzeugs erzeugt werden. Dieses bestimmt die Form. Der Stempel (Mitte) besteht aus einem Paket von Hartpolymerscheiben mit jeweils unterschiedlichen Eigenschaften.

Nach dem Hartlöten wird der Topfkörper geschliffen und poliert. Hierfür stehen zahlreiche Schleifmittel in unterschiedlichen Korngrößen sowie Pasten für die Feinpolitur zur Verfügung.



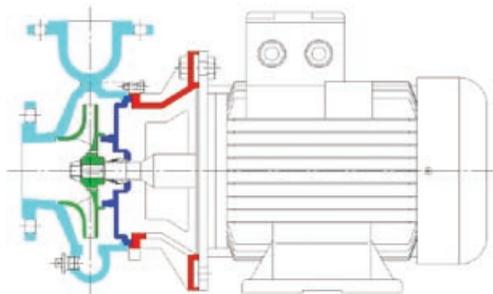
Die Handgriffe werden aus rundem oder flachem Stabstahl hergestellt und mit dem Topfkörper verschweißt. Durch Minimierung der Kontaktfläche und Auswahl eines austenitischen Stahls (der eine geringere Wärmeleitung aufweist als andere Stähle) wird Verbrennungen vorgebeugt.

Ein vielseitiger Werkstoff für hygienefreundliches Design

Dank ihrer Schweiß-, Umform- und Oberflächeneigenschaften entsprechen nichtrostende Stähle in besonderer Weise den Anforderungen, die an Kochgeschirr gestellt werden: nahtlose, hygienefreundliche Form, schmutzabweisende Oberflächen, dauerhafte Steifigkeit, Induktionstauglichkeit usw. Derartige Designanforderungen sind auch über Haushaltskochgeschirr hinaus auf andere hygienerelevante Anwendungen übertragbar.

7 Hochleistungspumpe mit innenhochdruckumgeformtem Gehäuse

Die Hauptbestandteile einer Zentrifugalpumpe



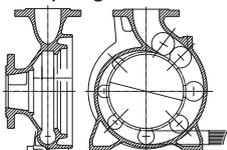
Eine Zentrifugalpumpe erhöht die (von einem Motor erzeugte) Energie einer durchströmenden Flüssigkeit, wodurch sich die Flüssigkeit bewegt und sich der Druck erhöht. Die wesentlichen Bestandteile sind

- ein elektrischer Motor und eine Welle,
- ein festes Gehäuse (hellblau),
- ein rotierendes Laufrad (grün) sowie
- eine Dichtung (blau) und
- ein Motorträger (rot).

Das Laufrad setzt die Motorenergie in Flüssigkeitsenergie um, die sich aus Druck, kinetischer Energie und potentieller Energie zusammensetzt.

Unter hydraulischem Aspekt besteht die Funktion des Gehäuses darin, die Flüssigkeit auf der Einlassseite dem Laufrad zuzuführen, Zonen niedrigen und hohen Drucks voneinander zu trennen und die das Laufrad verlassende Flüssigkeit auf der Auslassseite zu führen, wobei durch Verminderung der Fließgeschwindigkeit der Druck erhöht wird. Unter mechanischen Gesichtspunkten muss das Gehäuse dem Betriebsdruck standhalten, modellabhängig ggf. die Pumpe stützen und Lasten aufnehmen, die von den angeschlossenen Leitungen ausgehen.

Das Spiralgehäuse



Funktion des Spiralgehäuses

Um den Flüssigkeitsdruck weiter zu erhöhen, wenn die Flüssigkeit die Flügel des

Laufrads verlässt, ist das Gehäuse spiralförmig ausgebildet. Der Durchmesser vergrößert sich umso mehr, je weiter sich die Spirale abwickelt. Dadurch vermindert sich die Fließgeschwindigkeit (eine notwendige Voraussetzung für die Erhöhung des Drucks) bei gleichzeitiger Minimierung der Reibungsverluste. Die Herstellung eines spiralförmigen metallischen Gehäuses, das diesen komplexen Konstruktionsprinzipien entspricht, stellt eine Herausforderung dar.

Vom Gehäuse zum Tiefziehteil

Konventionell werden solche Gehäuseformen in Gusseisen, Stahl- oder Bronzeguss ausgeführt. Daneben sind auch Ausführungen aus



Gusseisernes Gehäuse



Gehäuse aus tiefgezogenem nichtrostendem Stahl

tiefgezogenem nichtrostendem Stahl erhältlich. Sie machen sich die außerordentlich hohe spezifische Festigkeit und herausragende Umformbarkeit des nichtrostenden Stahls zunutze und stellen sie in den Dienst



Zentrifugalpumpe mit Gehäuse aus nichtrostendem Stahl

eines leichten und dabei mechanisch hochbeanspruchbaren Produkts.

Nutzen des nichtrostenden Stahls

Gehäuse aus nichtrostendem Stahl sorgen dafür, dass

- das Medium (z.B. Trinkwasser) nicht durch das Gehäusematerial verunreinigt wird,
- die Korrosionsbeständigkeit in vielen gemäßigt aggressiven Medien gesichert ist,
- aufgrund der mechanischen Eigenschaften das Gewicht vermindert werden kann, so



Pumpengehäuse aus einer tiefgezogenen Ronde aus nichtrostendem Stahl. Die Flüssigkeit verlässt das Gehäuse durch eine hydrogeformte Öffnung an der Oberseite.

dass kompakte und leicht transportable Pumpen möglich werden,

- die Oberflächen dekorativ und reinigungsfreundlich sind und
- durch die glatten Oberflächen ein höherer Wirkungsgrad der Pumpen erzielt wird.

Vorteile der Innenhochdruckumformung

Die Konstruktionen können von höchst einfachen Bauformen (mit rundem



Die Spiralform wird durch Innenhochdruckumformung in das Pumpengehäuse eingebracht. Die Auslassöffnung ist mechanisch sorgfältig nachbearbeitet, so dass ein höchstmöglicher Wirkungsgrad erreicht wird.

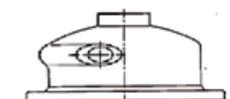
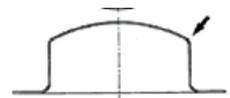
Querschnitt) bis zu vergleichsweise komplexen (mit Spiralform) reichen. Letztere Lösung (zumeist in zweiteiliger geschweißter Ausführung) ermöglicht eine höhere

Pumpleistung. Im Falle des nichtrostenden Stahls ist es möglich, das spiralförmige Gehäuse als einteiliges Bauteil auszubilden. Schweißnähte und die damit einhergehenden Korrosionsrisiken werden dadurch vermieden.

Herstellung eines Pumpengehäuses aus nichtrostendem Stahl durch Innenhochdruckumformung

Eine Ronde von 1,5 bis 3 mm Dicke – je nach Modell – wird in mehreren Schritten verarbeitet:

- Tiefziehen zur Erzielung des erforderlichen Volumens,
- Hydroformen des Spiralgehäuses unter Wasserdruck von > 1000 bar,
- Schneiden und Fräsen der Öffnungen sowie
- Anschweißen der Fittings und Befestigungsteile auf der Außenseite.



Die Verarbeitungsschritte umfassen Tiefziehen, Innenhochdruckumformung, Schneiden und Richten sowie das Einpassen.

8 Drücken eines exklusiven Designprodukts

Das Drücken ist ein Umformprozess, der keinen Materialverlust mit sich bringt. Es erfordert

- ein Ronde oder ein vorgeformtes Tiefziehteil,
- eine Drückwalze,
- eine drehbar gelagerte, rotationsymmetrische Positivform.

Die Ronde wird schrittweise über die Form gedrückt, wobei sowohl das Werkstück als auch die Form durch eine Drehbank in Rotation versetzt werden. Wegen der dabei auftretenden hohen Drücke kommt der Schmierung besondere Bedeutung zu: Das Werkstück darf nicht auf der Form haften, da dies zu Oberflächendefekten führen kann.

Im Vergleich zum Tiefziehen erfordert das Drücken einen geringeren Kapitaleinsatz, einen geringeren Werkzeugaufwand sowie geringere Rüstkosten. Allerdings ist die Produktivität begrenzt. Das Verfahren eignet sich daher besonders für die Prototypen- und

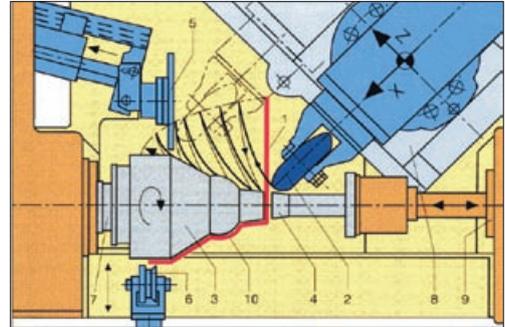
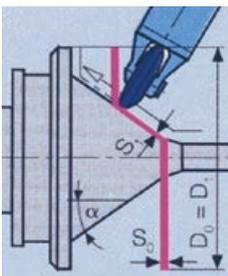


Diagramm: Leifeld Metal Spinning, Ahlen (D)

Kleinserienfertigung. Das Drücken zielt nicht darauf ab, die Wanddicke zu verringern.

Als Alternative können konische Bauteile auch in einem Schritt hergestellt werden, vorausgesetzt, es besteht ein Mindest-Öffnungswinkel von 120 Grad (oder weniger, wenn mehrere Züge vorgesehen sind). Der Durchmesser des offenen Endes entspricht dem Durchmesser der ursprünglichen Ronde. Daher findet (abhängig vom Winkel) eine gewisse Wanddickenreduzierung statt. Dieser Vorgang wird als Projizierdrückwalzen bezeichnet.

Abbildung: Leifeld Metal Spinning, Ahlen (D)



Das Drücken bietet sich als Alternative zu klassischen Umformprozessen wie z.B. Tiefziehen und Streckziehen an, wenn konische oder zylindrische Formen erzielt werden sollen. Derartige Formteile sind sowohl im haushaltlichen Bereich als auch bei industriellen Anwendungen gängig. Ausgehend von einer flachen Ronde können große Höhen-Durchmesser-Verhältnisse erzielt werden.

Fotos: ThyssenKrupp Nirosta, Krefeld (D)



Drücken nichtrostender Stähle

Das Werkzeug bringt erhebliche Druckspannungen in die Ronde ein. Hierdurch kommt es zu beschleunigter Kaltverfestigung mit entsprechend reduzierter Umformbarkeit. Das Drückverfahren wird daher nur in einem begrenzten Wanddickenbereich eingesetzt. Das Verfahren bietet sich für Werkstoffsorten mit eher niedriger Streckgrenze und geringer Kaltverfestigungsneigung an, etwa für ferritische Stähle (z.B. EN 1.4016).

Auch „stabile“ Austenite, die sich nur langsam kaltverfestigen, z.B. 1.4301 oder besser noch 1.4303, kommen in Frage.

Das Drücken ergibt rotationssymmetrische Formen, was eine kostengünstige abschließende Politur ermöglicht.

Design-Hocker aus nichtrostendem Stahl

Ein Barhocker ist ein solches rotations-symmetrisches Produkt. Da der Fuß aus Stabilitätsgründen ein gewisses Gewicht haben soll, sind Eisenwerkstoffe (Stahl bzw. nichtrostender Stahl) zweckmäßiger als Aluminium, das nur ein Drittel der Dichte von Stahllegierungen aufweist. Wegen der regelmäßig erforderlichen Reinigung ist die Haltbarkeit lackierter Füße begrenzt. Reinigungsmittel führen zu einem Abtrag der organischen Beschichtung und entsprechenden optischen Beeinträchtigungen.

Die Herstellung derartiger Teile aus nichtrostendem Stahl hat sich bewährt. Die Symmetrie des Bauteils lässt auch kostengünstiges maschinelles Polieren zu. Die glatten kaltgewalzten Ausgangsoberflächen machen eine aufwändige Oberflächenvorbehandlung überflüssig.



*Ein Barhocker ist rotationssymmetrisch. Die Ausführung in nichtrostendem Stahl ist beständig gegen aggressive Reinigungsmittel
Foto: Thate, Preetz (D)*



Foto: Thate, Preetz (D)

9 Durch Drücken hergestellte Schmuckfelgen

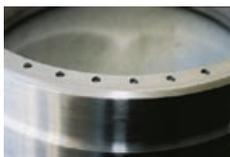
Autobesitzer mit Hang zur Exklusivität suchen vielfach nach Möglichkeiten, ihr Fahrzeug zu individualisieren. Schmuckfelgen entsprechen diesem Trend. Da sich das Drücken für die Kleinserienproduktion anbietet, zeichnen sich so gefertigte Felgen durch folgende Vorteile aus:

- hohe spezifische Ausgangsfestigkeit (und dadurch geringes Gesamtgewicht),
- zusätzlichen Festigkeitsgewinn durch Kaltumformung,
- gute Polierbarkeit aufgrund der glatten kaltgewalzten Ausgangsoberfläche,



- im Vergleich zu klassischen Materialien erhöhte Korrosionsbeständigkeit sowie
- Verzicht auf abplatzungsgefährdete Beschichtungen.

Montage einer typischen Schmuckfelge



Herstellung einer dreiteiligen Schmuckfelge, bestehend aus Felgenstern (oben), Innen- und Außenring. Letzterer ist aus nichtrostendem Stahl gefertigt. Er bietet den Vorteil, hohe Festigkeit, geringes Bauteilgewicht und glatte Oberflächen miteinander zu verbinden.

Je nach Ausführung können Schmuckfelgen in zwei- oder dreiteiliger Ausführung gefertigt werden. Der dreiteilige Aufbau umfasst:

- den Felgenstern (zumeist aus gegossenem Aluminium),
- den Innenring (zumeist aus gegossenem Aluminium) sowie
- den Außenring (der aus nichtrostendem Stahl bestehen kann).

Der Felgenstern ist durch den Innenring hindurch mit dem Außenring verbunden. Dabei werden Nieten aus hochwertigen Legierungen eingesetzt, um Kontaktkorrosion zu vermeiden.

Der Außenring wird durch Drücken hergestellt und anschließend maschinell poliert. Das Polieren ergibt nicht nur deko-



Befestigung des Felgensterns durch den aus nichtrostendem Stahl bestehenden Außenring am Innenring

rative Oberflächen, sondern lässt auch die Korrosionsbeständigkeit des nichtrostenden Stahls in vollem Umfang zur Geltung kommen. Schließlich sind Felgen auch korrosiven Umgebungsbedingungen, z.B. salzhaltigem Tauwasser, ausgesetzt.

Im Herstellungsprozess kann beim Außenring auf potentiell umweltbelastende Oberflächenbehandlungen verzichtet werden.

Drücken des Außenrings

Der Außenring wird aus einer Ronde aus nichtrostendem Stahl geformt. Ronden sind vorgefertigt zu beziehen oder können aus rechteckigen Blechen selbst geschnitten werden. Zur Vereinfachung der Fertigung werden die erforderlichen Öffnungen bereits vor dem Drücken eingebracht. Die Ronde wird in Drehung versetzt und gegen eine rotationssymmetrische Form gepresst. Die Rollen üben zunehmenden Druck auf das Werkstück aus, so dass sich dessen Kontur immer stärker der Form angleicht. Nach und nach werden auf die Achse weitere Ringe aufgesteckt

– die Umformung wird entsprechend immer ausgeprägter. Hierbei ist für ausreichende Schmierung zu sorgen. Bei der Umformung erhöht sich die Festigkeit des Werkstoffs (diese Erscheinung wird als Kaltverfestigung bezeichnet). Während ein Übermaß an Kaltverfestigung den Drückprozess erschweren würde, trägt eine kontrollierte Kaltverfestigung bei nichtrostendem Stahl mehr zu den mechanischen Eigenschaften der Felge bei, als dies bei anderen Werkstoffen möglich wäre. Die Felge widersteht hierdurch schlagartigen Belastungen.



Drücken des Außenrings. Während des Umformprozesses erhöht sich die Festigkeit des nichtrostenden Stahls. Hierdurch wird die Felge robuster gegenüber Stößen.

Felgen aus nichtrostendem Stahl mit überlegener Festigkeit

Austenitische nichtrostende Stähle zeichnen sich durch beachtenswerte mechanische Eigenschaften aus. Sie verfügen bereits im Ausgangszustand über eine hohe Zugfestigkeit (R_m). Durch Kaltumformung, im vorliegenden Fall das Drücken sowie das

zusätzliche Formen des Außenrings, erhöht sich deren Festigkeit weiter. Hierdurch werden die Felgen vergleichsweise resistent gegen Steinschlag und Bordsteinanprall.



10 Kaltgewalzte Profile mit erhöhter Festigkeit



Das Rollprofilieren ist ein gebräuchliches Verfahren zur Herstellung langer, oft komplex geformter Bauteile aus Schmalband. Bei entsprechender Konstruktion lassen sich Fügstellen bei C- und U-Profilen einsparen. Das Rollprofilieren macht es oft möglich, verschiedene Funktionen in einem Bauteil zu vereinen, z.B. Kabelführung, Kühlung, Befestigung usw. Traditionell werden rollgeformte Profile in der Bauindustrie eingesetzt (bei Fenster- und Türrahmen), im Transportsektor (bei LKW, Bussen und Eisenbahnwagen), im Maschinenbau und in der Möbelindustrie. Zunehmend erschließen sich auch Anwendungen in anderen Sektoren, z.B. im PKW-Bau, denn die herausragende Eignung des Rollprofilierens erhöht die Wertschöpfung durch Funktionsintegration.

Rollprofilieren von nichtrostendem Bandstahl

Das Verfahren der Rollprofilierung ähnelt jenem der Rohrherstellung. Eine Reihe hintereinandergeschalteter Umformeinheiten (jede von ihnen eine individuell hergestellte feste Umformrolle) formt das zugeführte



Schmalband (zumeist in Abmessungen unterhalb 1.000 mm) zu einem Profil, das entweder offen belassen oder zu einem geschlossenen Hohlprofil verschweißt wird. Nichtrostender Stahl lässt sich nach diesem Verfahren in einem Dickenbereich von 0,4 bis 8 mm umformen. Dabei wird die Fähigkeit des Werkstoffs, plastische Verformungen aufzunehmen, umfassend genutzt. Die fortschreitende Umformung erhöht die Festigkeit des Werkstoffs und ermöglicht dadurch Bauteile von hoher Festigkeit bei gleichzeitig komplexen Formen.

Je größer die Anzahl der Rollenpaare, desto langsamer die plastische Umformung und folglich desto geringer auch die in den Werkstoff eingebrachten Spannungen. Dieser Aspekt kann im Hinblick auf die bei der späteren Montage einzuhaltenden Toleranzen von Bedeutung sein.

Wertschöpfung für eine große Bandbreite von Endanwendungen

Um zur Wertschöpfung beizutragen, können dem Rollumformungsprozess weitere Verarbeitungsschritte nachgelagert werden, z.B.

- Lochung,
- Anschweißen von Halterungen sowie
- Biegen oder Strecken zur Erzielung dreidimensionaler Profile.



Edelstahlprofile für Eisenbahnwagen

Eisenbahnwagen für den Personenverkehr bestehen traditionell aus einem Untergestell und einem Aufbau. Aufbauten werden zumeist aus Werkstoffen wie beschichtetem Stahl, Aluminium oder nichtrostendem Stahl hergestellt. Teile aus nichtrostendem Stahl können aus Bandmaterial in Dicken von 0,4 bis über 6 mm und mit werksseitiger Oberfläche gefertigt werden.

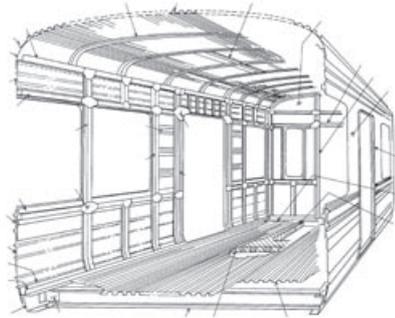


Illustration: Nickel Institute, Toronto (CDN)

Gewichtseinsparungspotential bei Eisenbahnwagen durch nichtrostenden Stahl

Die Sorte 1.4301 ist ein geeigneter Werkstoff, allerdings verfügt der Stahl 1.4318 (mit niedrigerem Nickelgehalt und hinzulegiertem Stickstoff) über eine höhere Ausgangsfestigkeit. Zusätzlich lassen sich durch Nachwalzen im Werk die mechanischen Eigenschaften bereits vor dem Rollformen verbessern. Der Einsatz kaltverfestigten Stahls der Sorte 1.4318 eröffnet daher erhebliche Gewichtseinsparungspotentiale bei Längsträgern und Säulen bzw. Rahmen.

Leichtere Wagen verbrauchen beim Beschleunigen und Bremsen weniger Energie – was sich besonders bei Nahverkehrszügen mit Halte- und Anfahrzyklen in kurzen Intervallen bemerkbar macht.

Besondere Gewichtseinsparungen ergeben sich durch die Kombination von

- nichtrostendem Stahl (anstelle von niedriglegiertem Stahl)
- der Sorte 1.4318 (die eine ausgeprägte Kaltverfestigungsneigung aufweist) mit
- dem Verfahren der Rollumformung.



Foto: ArcelorMittal Stainless Belgium, Genk (B)

Weitere Vorteile des Einsatzes von nichtrostendem Stahl liegen in

- geringem Unterhaltsaufwand (durch Wegfall von Lackierungen),
- langen Lebenszyklen (durch geringen verschleißbedingten Materialabtrag),
- erhöhter Brandsicherheit im Vergleich zu anderen (Leicht-) Metallen sowie
- verbesserter Aufprallsicherheit (durch die mechanischen Eigenschaften).



Foto: Outokumpu, Espoo (FIN)

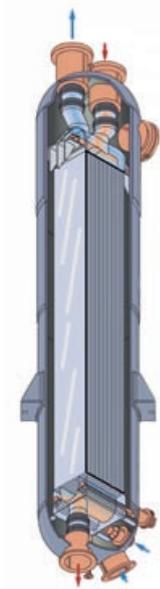
⁶ Detaillierte Informationen enthält auch die Euro-Inox-CD ROM *Stainless Steel for Structural Automotive Applications – Properties and Case Studies* (Automotive Series, Volume 1), Luxemburg: 3. Auflage 2006

11 Explosionsumgeformte Wärmetauscherplatten



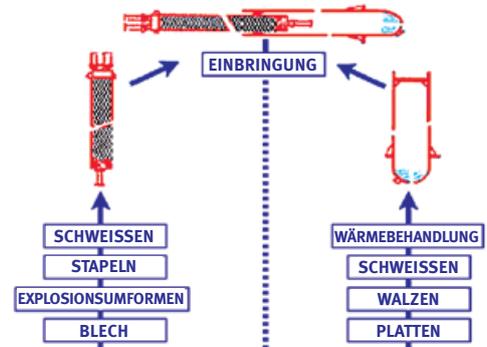
Beim Explosionsumformen wird der hohe dynamische Druck einer Druckwelle dazu genutzt, Bleche mit hoher Geschwindigkeit in eine Form zu pressen. Das Verfahren wird zumeist mit einer explosiven Charge in Wasser ausgeführt, wobei sich das umzuformende Teil in größerem Abstand von der Sprengladung befindet. Die Druckwelle wirkt ähnlich wie ein Stempel. Gegenüber konventionellen Methoden hat das Explosionsumformen folgende Vorteile:

- dank des Einsatzes von Sprengstoffen auch bei großen Blechabmessungen einsetzbar,
- auch für dickere Bleche geeignet (im Falle von Nickelbasislegierungen z.B. > 10 mm),
- ermöglicht die Darstellung komplexer Formen (was u.U. Schweißkonstruktionen und Wärmebehandlungen überflüssig machen kann),
- führt zu Bauteilen von hoher Festigkeit,
- ermöglicht hohe Abmessungsgenauigkeit.



Großformatige Plattenwärmetauscher

Großformatige geschweißte Plattenwärmetauscher finden sich verbreitet in Raffinerien und anderen Bereichen der Mineralölverarbeitung. Hohe Anforderungen an die Wärmeübertragung erfordern große Kontaktflächen, die bei hohen Temperaturen einen guten Wärmeübergang sicherstellen. Beträgt die Kontaktfläche mehrere tausend Quadratmeter, ist ein einziger Plattenwärmetauscher wirtschaftlicher als einzelne Rohrbündel-Wärmetauscher bzw. Reihen solcher Wärmetauscher.



Plattenwärmetauscher bestehen zumeist aus vielen hundert explosionsumgeformten Wärmetauscherblechen aus nichtrostendem Stahl. Jedes einzelne von ihnen kann zwischen 0,8 und 1,5 mm dick sein und eine Breite bis zu 2 m sowie eine Länge



von bis zu 15 m aufweisen. Nachdem sie einzeln explosionsumgeformt worden sind, werden sie gestapelt und zu einem Bündel verschweißt. Das V-förmige Wellenmuster führt zu Verwirbelungen bei den sich kreuzenden Flüssigkeitsströmen und zu einer hocheffizienten Wärmeübertragung.

Das Bündel wird in Druckbehälter eingelassen, die den jeweiligen Bauvorschriften entsprechen müssen. Bündel und Gefäß werden durch Balge miteinander verbunden.

Vorteile des Einsatzes von nichtrostendem Stahl

Der Werkstoff weist mehrere Vorteile auf:

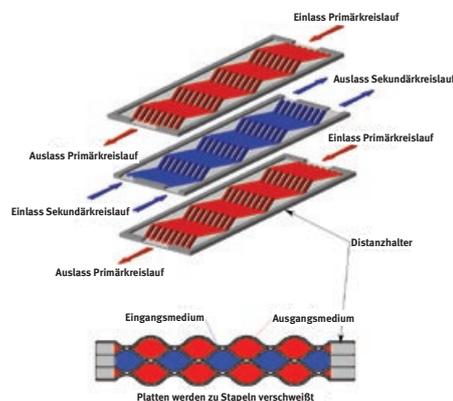
- Die Temperaturen in Wärmetauschern bewegen sich üblicherweise zwischen 300 und 550 °C mit Spitzentemperaturen bis zu 650 °C. Sie sind für Werkstoffe wie den Stahl EN 1.4541 (AISI 321) unproblematisch.
- Nichtrostender Stahl hält Arbeitsdrücken von bis zu 120 bar und Differenzen zwischen Eingangs- und Ausgangsdruck von 40 bar stand.
- Die hohe Umformgeschwindigkeit von bis zu 120 m/s bewirkt bei den Wellplatten eine zusätzliche Kaltverfestigung.
- Das Wellenmuster (das für die Verwirbelungen sorgt) sowie geringe Oberflächenrauigkeit (die durch den Umformprozess nicht beeinträchtigt wird) wirken Verstopfungen (Ablagerungen) und entsprechenden Minderungen des Wirkungsgrades entgegen.
- Beanspruchungsgerechte Werkstoffauswahl vermindert das Risiko von Korrosion z.B. durch schwefelhaltige Bestandteile in Mineralölerzeugnissen.
- Um die Plattenstapel dicht miteinander zu verbinden, können konventionelle Schweißtechniken eingesetzt werden.



Eine erfolgreiche Kombination

Für sich betrachtet, sind weder nichtrostender Stahl noch das Explosionsumformen neu. Die Entwicklung großformatiger Plattenwärmetauscher, welche die zur Verfügung stehenden Abmessungen und Werkstoffeigenschaften umfassend nutzen, eröffnet bei Verwendung der Explosionsumformung jedoch erhebliches Einsparungspotential in der Öl- und Gasindustrie.

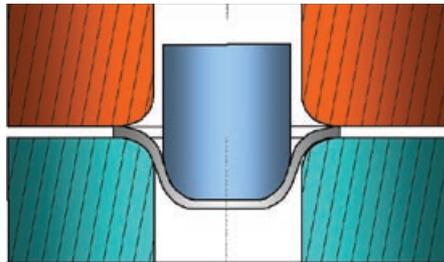
Diese Lösung ist sowohl bei Erstinvestitionen als bei prozessoptimierenden Erneuerungen sinnvoll.



12 Tiefgezogene Schmuckkappen für Radmuttern

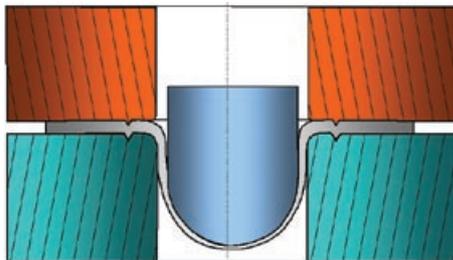
Nichtrostende Stähle zeichnen sich durch herausragende Umformeigenschaften aus. Obwohl die meisten Umformteile aus austenitischen (Cr-Ni-) Stählen bestehen, eignen sich auch ferritische Sorten für bestimmte Umformverfahren. Voraussetzung ist, dass es sich dabei nicht um ein reines Strecken handelt. Der Unterschied zwischen (Tief-) Ziehen einerseits und Streckumformung andererseits wird nachstehend erläutert.

Ziehen



- Das metallische Werkstück kann ungehindert in die Form nachfließen.
- Die Umformung einer Ronde mit großem Durchmesser in einen Zylinder von kleinem Durchmesser ergibt sich aus der Breite und weniger aus der Dicke (= hohe Anisotropie „r“⁷)

Strecken



- Das metallische Werkstück wird durch einen Niederhalter fixiert.
- Es ergibt sich eine deutliche Dickenreduzierung.

- Es treten erhebliche Dehnung (A%) und Kaltverfestigung (n) ein.

In der Praxis handelt es sich zumeist um eine Kombination aus Ziehen und Strecken, was den weit verbreiteten Einsatz von austenitischen Stählen erklärt.

Die Zieheignung ferritischer Sorten

Ferritische Sorten erreichen etwas höhere Grenzziehverhältnis-Werte (siehe S. 8) als austenitische, was ihre besondere Eignung für das Ziehen begründet.

Streifenbildung ist typisch für ferritische Sorten. Allerdings gibt es inzwischen spezielle titan- und nioblegierte Stähle, die gezielte Walz- und Glühbehandlungen durchlaufen. Diese Maßnahmen verhindern Streifenbildung und verbessern die Tiefzieheigenschaften.



Tiefgezogener Zylinder aus der ferritischen Standardsorte 1.4016 mit Streifenbildung (oben) und aus dem austenitischen Stahl 1.4301 (unten). Streifenbildung ist optisch störend und erfordert entsprechende mechanische Oberflächennachbehandlung. Diese Erscheinung lässt sich durch den Einsatz von Ti- oder Nb-stabilisierten ferritischen Sorten bei Einhaltung werkstoffspezifischer Verarbeitungsparameter vermeiden.



⁷ Anisotropie bezeichnet das Verhältnis der Breiten- zur Dickenänderung. Ist sie > 1, ist der Anteil der Streckung höher als jener der Dickenabnahme.

Tiefziehen von Schmuckkappen aus ferritischem nichtrostendem Stahl für Radmuttern

Unter dem Blickwinkel der Umformung stellen Schmuckkappen für die Felgenmuttern von PKW und LKW, wie sie nebenstehend abgebildet sind, eine besondere Herausforderung dar.

Die Form lässt auf einen hohen Anteil des Ziehens im Umformungsprozess schließen, der im vorliegenden Fall aus mehreren Schritten besteht.

Nichtrostender Stahl erfüllt nicht nur besondere optische Anforderungen, sondern ermöglicht auch hohe Festigkeiten und eine vereinfachte Konstruktion, da komplexe Bauteile in einem Stück, d.h. ohne Schweiß- oder Klebeverbindungen, hergestellt werden können. Traditionell wurden derartige Teile aus austenitischem nichtrostendem Stahl, z.B. EN 1.4301 (AISI 304) gefertigt. Die Umformeigenschaften geeigneter Sorten machen es jedoch auch möglich, derartige Kappen aus ferritischem nichtrostendem Stahl zu fertigen – im vorliegenden Fall aus dem mit Chrom, Molybdän und Niob legierten Stahl EN 1.4526 (AISI 436):

- Diese Sorte ist aufgrund ihrer Anisotropie- und Verarbeitungseigenschaften für das Ziehen geeignet.
- Ferritische Sorten weisen besondere Farb- und Glanzeigenschaften auf, wie sie bei Schmuckteilen für Fahrzeuge erwünscht sind.
- Molybdän erhöht die Beständigkeit gegen Korrosion, z.B. aufgrund von Tausalzen oder atmosphärischer Feuchtigkeit.
- Niob trägt dazu bei, die Neigung zur Streifenbildung zu verringern (und vermindert dadurch den Nachbearbeitungsbedarf).
- Schmuckkappen aus nichtrostendem Stahl können durch Kleben, Hartlöten oder Bördeln mit den Muttern verbunden werden. Kappen aus nichtrostendem Stahl machen Oberflächen-Nachbehandlungen (z.B. organische Beschichtungen oder metallische Überzüge) überflüssig und lassen sich am Ende der Nutzungsdauer vollständig recyceln.



13 Profilierte Bleche im Dienst höherer Nutzlast



Photo: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (NL)

Tanker müssen unterschiedlichste Flüssigkeiten aufnehmen, z.B. (petro-)chemische Substanzen wie Phosphorsäure, Schwefelsäure und Mineralölprodukte oder Lebensmittel wie Pflanzenöle und Molasse. Im Hafen werden die Tanks, die Tausende von Kubikmetern Fassungsvermögen haben können, unmittelbar befüllt. Zumeist ist der Frachtraum unterteilt, so dass ein Schiff verschiedene Flüssigkeiten aufnehmen kann.

Korrosive Flüssigkeiten



Foto: Outokumpu, Degerfors (S)

Wellblech ermöglicht erhöhte Steifigkeit

Die Steifigkeit der lastbeanspruchten Bauteile ist proportional zum Trägheitsmoment. Letzteres kann erhöht werden, indem möglichst viel Masse außerhalb des Schwerpunktes verlagert wird, wobei vergleichsweise dünne, profilierte Bleche gegenüber dickeren, aber flachen Blechen Vorteilen bieten. Eine Aneinanderreihung von Laderäumen, die voneinander durch Schotten aus profilierten Blechen getrennt sind, kann die Steifigkeit eines Schiffes erhöhen.

Schotten aus profiliertem Blech sind zudem leichter zu reinigen als Konstruktionen, die innen zusätzliche Aussteifungen enthalten.

Da Tankschiffe erhebliche Investitionen darstellen, sollen sie möglichst vielfältig einsetzbar sein. Die austenitischen Sorten EN 1.4406 (AISI 316LN) und EN 1.4434 (AISI 317LN) sowie der Duplex-Stahl 1.4462 werden verbreitet für Tanks verwendet, da sie gegenüber den genannten korrosiven Medien beständig sind. Diese Chrom-Nickel-Molybdän-Sorten halten nicht nur einer größeren Bandbreite von aggressiven Flüssigkeiten stand, sondern ermöglichen auch höhere Betriebstemperaturen, was beim Laden und Löschen von Bedeutung sein kann.

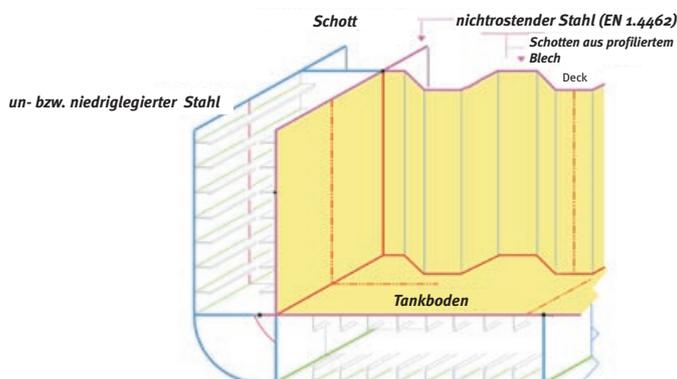
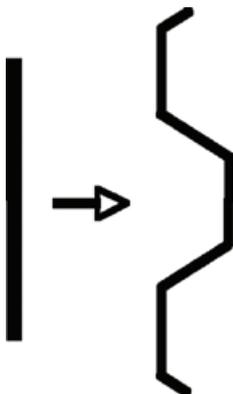


Illustration: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (NL)

Statik

Steifigkeit und Korrosionsbeständigkeit sind nicht die einzigen Anforderungen, die es bei einem 35-Mio-Dollar-Tanker zu erfüllen gilt. Transport und Umschlag von Chemikalien unterliegen strengen gesetzlichen Bestimmungen. Die Belastungsgrenzen z.B. von Tankwandungen sind im wesentlichen durch das Überschreiten der Streckgrenze definiert. Dies bedeutet, dass die 0,2%-Streckgrenze ein wichtiges Kriterium für die Werkstoffauswahl darstellt.

Nichtrostende Duplex-Stähle weisen eine deutlich höhere Streckgrenze auf als austenitische Sorten und werden daher für die Herstellung von Schotten bevorzugt. Diese Stähle ermöglichen gewichtssparende Konstruktionen, die die Nutzlast maximieren und damit einer zentralen Anforderung der Reedereien nachkommen.

Vielfältige Vorteile des nichtrostenden Duplex-Stahls

Zunächst besitzen nichtrostende Duplex-Stähle in weiten Bereichen eine ähnlich gute Umformeignung wie austenitische



Foto: Cantiere Navale De Poli, Venedig (I)

Sorten. Diese Eigenschaften sind für gewellte Bauformen, welche die Steifigkeit der Tankwandungen verbessern, relevant. Zudem ermöglicht die hohe Dehngrenze erhebliche Gewichtseinsparungen, da sich die Wanddicken unter Wahrung der im Schiffbau geltenden statischen Anforderungen vermindern lassen.

Schließlich macht die Kombination von Chrom, Molybdän und Stickstoff diese Gruppe der nichtrostenden Stähle besonders resistent gegenüber Lokalkorrosion, insbesondere Loch- und Spaltkorrosion. Hierdurch vergrößern sich die Vielfalt der in Frage kommenden zu transportierenden Chemikalien sowie der zulässige Temperaturbereich.

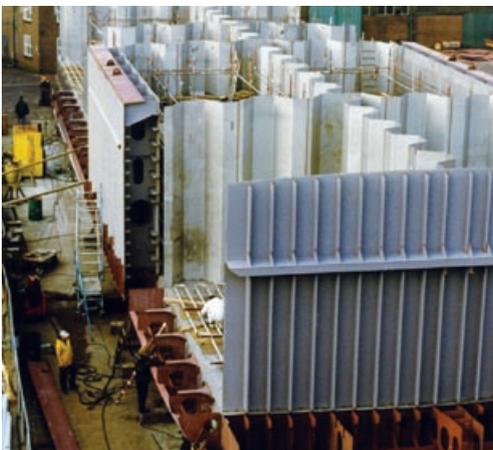


Foto: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (NL)

14 Literaturhinweise

- [1] DE MEESTER, Paul, *Kwaliteitscontrole en mechanische eigenschappen van materialen*, 2. Auflage, Leuven: Acco, 1988
- [2] LAGNEBORG, Rune, “Not only stainless but also an interesting structural material”, *Stainless steel for structural automotive applications – Properties and case studies* (Automotive Series, Volume 1), 3. Auflage, Luxemburg: Euro Inox, 2006
- [3] *Stainless steel for structural automotive applications – Properties and case studies* (Automotive Series, Volume 1), 3. Auflage, Luxemburg: Euro Inox, 2006, Kapitel “Forming”
- [4] “Deformazione plastica a freddo dell’acciaio inossidabile”, *Inossidabile 154*, Mailand: Centro Inox, 2003
- [5] *Handbook “Spinning and shear forming”*, 2. Auflage, Ahlen: Leifeld Metal Spinning, 2002
- [6] *Thate gedrückte Präzision*, Preetz: Thate, 2005
- [7] “Rolvormprofilieren (koudwalsen)”, *Roestvast Staal 3/2005*, Leiden: TCM, 2005
- [8] NEESSEN, Fred; BANDSMA, Piet, “Tankers – A composition in duplex stainless”, *Welding Innovation, Volume XVIII, No. 3*, Cleveland: The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 2001
- [9] “Visit to De Poli shipyard in Venice, Italy”, *IMOA Newsletter January 2001*, London: International Molybdenum Association, 2001

ISBN 978-2-87997-218-3