

Podatność Stali Nierdzewnych Na Przeróbkę Plastyczną



Euro Inox

Euro Inox jest europejskim stowarzyszeniem rozwoju rynku stali nierdzewnych.

Członkami Euro Inox są następujące organizacje i instytucje:

- Europejscy producenci stali nierdzewnych
- Krajowe organizacje zajmujące się rozwojem stali nierdzewnych
- Stowarzyszenia producentów dodatków stopowych

Głównym celem Euro Inox jest rozwijanie świadomości na temat wyjątkowych własności stali nierdzewnych, propagowanie ich zastosowania oraz zdobywanie nowych rynków. Aby osiągnąć te cele, Euro Inox organizuje konferencje i seminaria oraz wydaje przewodniki w formie drukowanej i elektronicznej, co umożliwia architektom, projektantom, zaopatrzeniowcom, producentom oraz użytkownikom i producentom, a także użytkownikom końcowym lepsze zaznajomienie się z tym materiałem. Euro Inox wspiera również techniczne i rynkowe prace badawcze.

ISBN 978-2-87997-219-0

978-2-87997-211-4 wersja angielska

978-2-87997-212-1 wersja francuska

978-2-87997-213-8 wersja włoska

978-2-87997-214-5 wersja hiszpańska

978-2-87997-215-2 wersja fińska

978-2-87997-216-9 wersja szwedzka

978-2-87997-217-6 wersja duńska

978-2-87997-218-3 wersja niemiecka

978-2-87997-220-6 wersja czeska

978-2-87997-221-3 wersja turecka

Członkowie zwyczajni

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

Członkowie stowarzyszeni

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

www.swissinox.ch

Nota redakcyjna

Podatność Stali Nierdzewnych Na
Przeróbkę Plastyczną
Wydanie pierwsze 2008
(Seria: Materiały i zastosowania, zeszyt 8)
© Euro Inox 2008

Wydawca

Euro Inox
Biuro główne:
19, rue de Bitbourg
1273 Luksemburg, Wielkie Księstwo Luksemburg
Tel.: +352 26 10 30 50 / Fax: +352 26 10 30 51
Biuro wykonawcze:
Diamant Building, Bd. A. Reyers 80
1030 Bruksela, Belgia
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)

Podziękowania

Fotografie na okładce:

- HDE Solutions, Menden (D)
- ThyssenKrupp Nirosta, Krefeld (D)
- Alessi, Crusinallo (I)

Zastrzeżenie

Euro Inox dołożył wszelkich starań, aby informacje zawarte w tej publikacji były technicznie poprawne. Jednakże, zwraca się uwagę czytelnika, że materiał zawarty w niniejszym opracowaniu stanowi tylko ogólną informację. Euro Inox, jego członkowie, personel i konsultanci nie ponoszą żadnej odpowiedzialności za jakiegokolwiek straty, zniszczenia lub szkody wynikające z wykorzystania informacji zawartych w niniejszym opracowaniu.

Spis treści

1. Wprowadzenie	3
2. Własności mechaniczne	4
3. Podatność na przeróbkę plastyczną	5
4. Wykończenia powierzchni	5
5. Hydroformowane połączenia w samochodowych klatkach bezpieczeństwa	6
6. Higieniczne elementy o jednolitej powierzchni	8
7. Wydajne pompy dzięki hydroformowanej obudowie	10
8. Wyoblanie powierzchni dla ekskluzywnego wzornictwa	12
9. Dekoracyjne felgi samochodowe wykonane przez wyoblanie	14
10. Kształtowniki walcowane na zimno o zwiększonej wytrzymałości	16
11. Płyty wymienników ciepła kształtowane wybuchowo	18
12. Głęboko tłoczone nakrętki zabezpieczające do dekoracji kół	20
13. Blacha falista umożliwiająca zwiększenie ładowności statków towarowych	22
14. Literatura	24

Uwagi o prawie autorskim

Opracowanie niniejsze jest objęte prawem autorskim. Euro Inox zastrzega sobie wszelkie prawa do tłumaczenia na wszystkie języki, przedruku, wykorzystania ilustracji, cytowania lub rozpowszechniania. Żadna część tej publikacji nie może zostać powielona, przechowywana w systemach wyszukiwawczych ani przekazywana w żaden inny sposób: elektroniczny, mechaniczny, za pomocą fotokopii czy nagrań bez uprzedniej pisemnej zgody właściciela praw autorskich tj. Euro Inox, Luksemburg. Naruszenie tych praw może podlegać procedurze prawnej w zakresie odpowiedzialności za wszelkie szkody pieniężne wynikające z tego naruszenia jak również poniesienia kosztów i opłat prawnych oraz podlega ściganiu w ramach przepisów luksemburskiego prawa autorskiego oraz przepisów obowiązujących w Unii Europejskiej.

Stale nierdzewne

Stale odporne na korozję to stopy żelaza zawierające co najmniej 10,5 % chromu (wagowo) i maksymalnie 1,2 % węgla, co jest niezbędne do samoistnego wytworzenia na powierzchni warstewki tlenku chromu – warstwy pasywnej o skłonności do samoczynnego odbudowywania się, zapewniającej materiałowi odporność na korozję (definicja zgodna z PN-EN 10088-1). Dzieli się one, zgodnie z ich głównymi własnościami, na stale nierdzewne, żaroodporne i żarowytrzymałe.

Stężenie pierwiastków stopowych w stalach odpornych na korozję bezpośrednio wpływa na ich strukturę i określa cztery główne grupy tych stali o charakterystycznych własnościach mechanicznych, fizycznych i chemicznych¹:

- austenityczne stale nierdzewne: Fe-Cr-Ni, $C < 0,1$ % (niemagnetyczne)
- ferrytyczne stale nierdzewne: Fe-Cr ($> 10,5$ %), $C < 0,1$ % (magnetyczne)
- ferrytyczno-austenityczne (Duplex): Fe-Cr-Ni (magnetyczne)
- martenzytyczne stale nierdzewne: Fe-Cr,

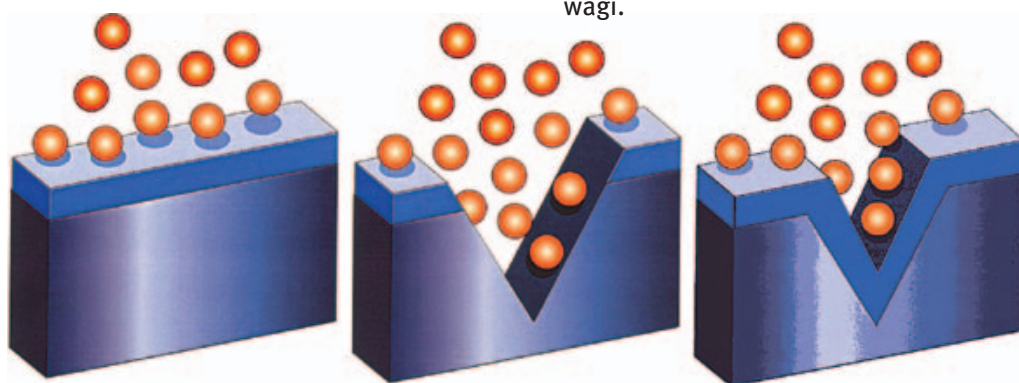
$C > 0,1$ % (magnetyczne i utwardzalne).

Do wymienionych grup stali należą gatunki zawierające także inne pierwiastki stopowe takie jak molibden, tytan, niob i azot. Najczęściej stosowaną grupą są austenityczne stale nierdzewne, które spełniają w przybliżeniu dwie trzecie światowego zapotrzebowania na stal nierdzewną.

Do najpopularniejszych i szeroko dostępnych na rynku gatunków stali nierdzewnych należą gatunki austenityczne: EN 1.4301/1.4307 (AISI 304/304L) i EN 1.4401/1.4404 (AISI 316/316L) i gatunek ferrytyczny: EN 1.4016 (AISI 430) oraz ich odmiany.

Do głównych własności stali nierdzewnych należą:

- odporność na korozję
- estetyczny wygląd
- żaroodporność
- niski koszt życia produktu
- całkowicie podlegają recyklingowi
- neutralność biologiczna
- łatwość w przeróbce
- wysoki współczynnik wytrzymałości do wagi.



Podczas obróbki powierzchni stali nierdzewnej lub w przypadku jej przypadkowego uszkodzenia, dochodzi do natychmiastowego odbudowania się warstwy pasywnej w obecności tlenu z powietrza lub wody.

¹ Szczegółowe informacje na temat własności mechanicznych, fizycznych i składu chemicznego stali nierdzewnych są dostępne na www.euro-inox.org/technical_tables (interaktywna baza danych) lub w drukowanej broszurze: *Tables of Technical Properties* (Materials and Applications Series, Volume 5), wydanie drugie, Luksemburg: Euro Inox, 2007.

1 Wprowadzenie

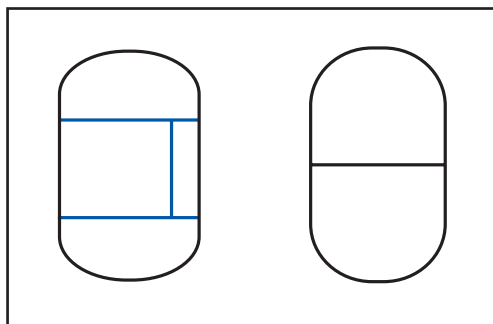
Stale nierdzewne dzięki interesującym właściwościom mechanicznym posiadają znaczne możliwości w produkcji elementów przerabianych plastycznie. Materiał ten charakteryzuje się wysokim współczynnikiem wytrzymałości do wagi, wydłużeniem i umocnieniem odkształceniowym, co sprawia, że często spełnia wymagania elementów o skomplikowanych trójwymiarowych kształtach.

Stale nierdzewne stanowią często właściwszy materiał na takie zastosowania, zarówno komercyjne jak i przemysłowe, do czasu jak ich użycie w takich konstrukcjach nie pogorszy ich własności korozyjnych, żaroodpornych i dekoracyjnych.

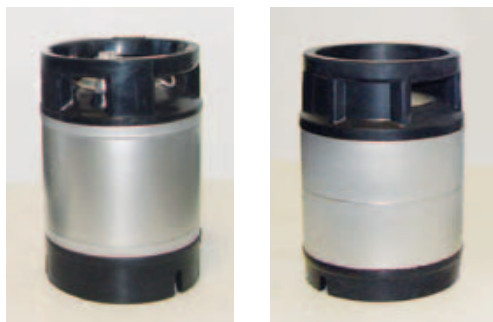
Koszty produkcji wymagają uwzględnienia:

- kosztu materiału
- kosztów przeróbki

Stale nierdzewne nie należą do materiałów najtańszych, dlatego zastosowane dla nich procesy produkcyjne powinny być uproszczone, co może skompensować wysokie koszty materiałowe, na przykład redukując liczbę operacji głębokiego tłoczenia lub etapów obróbki cieplnej.



Dzięki uniwersalnym właściwościom mechanicznym stali nierdzewnych można z nich produkować na wiele sposobów beczki do przechowywania piwa i napojów (zazwyczaj o pojemności od 20 do 70 l). Trzyczęściowa konstrukcja beczki (przykład po lewej) jest jednym z rozwiązań konstrukcyjnych. Element można również wykonać z dwóch wypukłych den i zimnowalcowanej blachy na część środkową. Stal nierdzewna poddana przeróbce plastycznej na zimno i walcowana na zimno charakteryzuje się wyższymi własnościami mechanicznymi. Zastosowanie tak przerabianych blach na część środkową beczki zwiększy jej wytrzymałość i ograniczy grubość ścianek, przy jednakowej wytrzymałości. Wybór takiego wariantu konstrukcji może być korzystniejszy, jeżeli kluczowym kryterium będzie zmniejszenie ciężaru.



W innym przypadku wysoka podatność na przeróbkę stali nierdzewnej umożliwia wykonanie takiego elementu z dwóch identycznych, głęboko tłoczonych połówek (przykład po prawej). Taki wariant konstrukcji jest korzystniejszy w przypadku dążenia do ograniczenia liczby połączeń spawanych. Stal nierdzewna poza podatnością na przeróbkę plastyczną jest często najodpowiedniejszym materiałem do zastosowań na elementy będące w kontakcie z pożywieniem i z łatwością spełnia europejskie przepisy bezpieczeństwa i higieny w tym zakresie.

Porównanie trzyczęściowej i dwuczęściowej konstrukcji beczki. Zdjęcia: AEB, Vimercate (I)

2 Własności mechaniczne

Określenie podatności na przeróbkę plastyczną każdego materiału wymaga zrozumienia jego własności mechanicznych. Do najczęściej wyznaczanych własności mechanicznych należą:

Wytrzymałość: stopień odporności materiału na odkształcenie. Do własności określanych w wyniku statycznej próby rozciągania należą:

- wytrzymałość na rozciąganie (R_m)
- granica plastyczności R_e i w przypadku braku cech wyraźnej granicy plastyczności, umowną granicę plastyczności R_p .

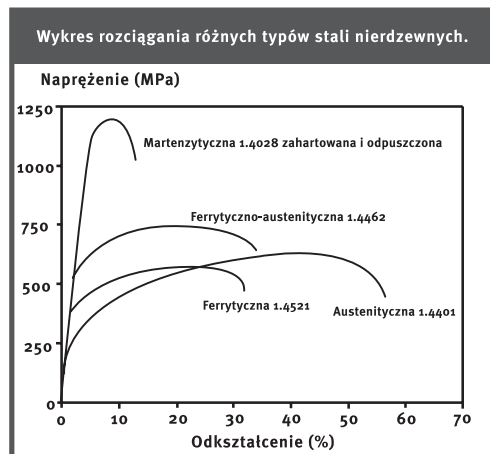
Twardość: czyli opór materiału spowodowany działaniem obciążenia statycznego (statyczna próba twardości).

Ciągliwość: zdolność do absorpcji energii odkształcenia przed zerwaniem.

Plastyczność: zdolność do odkształcenia plastycznego bez powstania przetłomu.

Pojęcia „mocny” i „słaby”, „twardy” i „mięki”, „ciągliwy” i „kruchy” określają różne aspekty własności mechanicznych materiałów i nie powinno się ich mylić. Jak już wspomniano, do wyznaczenia niektórych z wymienionych własności mechanicznych służy statyczna próba rozciągania. Obok przedstawiono charakterystyczny wykres rozciągania różnych stali nierdzewnych w układzie naprężenie-odkształcenie.

Punkt na końcu krzywej rozciągania odpowiada wydłużeniu w momencie zerwania próbki i jest miarą plastyczności materiału. Obszar pod każdą z krzywych, określający ile energii materiał zabsorbuje przed jego zerwaniem, jest miarą jego ciągliwości.



Martenzytyczne stale nierdzewne charakteryzują się wysoką wytrzymałością i raczej niską plastycznością (lub zdolnością do odkształceń plastycznych), podczas gdy stale austenityczne wykazują niższą wytrzymałość i wysoką plastyczność. Stale dwufazowe ferrytyczno-austenityczne i ferrytyczne posiadają własności pośrednie. Granica plastyczności stali ferrytycznych jest generalnie wyższa niż stali austenitycznych, a stali dwufazowych, ferrytyczno-austenitycznych, znacznie wyższa zarówno od granicy plastyczności stali ferrytycznych, jak i austenitycznych. Stale ferrytyczne i dwufazowe typu duplex wykazują natomiast zbliżoną plastyczność².

Z wyjątkiem martenzytycznych stali nierdzewnych, przedstawione zależności obowiązują dla stali w stanie wyżarzonym, w którym zazwyczaj stale nierdzewne są dostarczane. Dla pełnego zrozumienia możliwości kształtowania stali nierdzewnych przez przeróbkę plastyczną należy wspomnieć, że własności mechaniczne materiałów zależą od:

- składu chemicznego
- obróbki cieplnej (w przypadku martenzytycznych stali nierdzewnych)
- zgniotu w wyniku odkształcenia plastycznego na zimno (w przypadku stali austenitycznych i dwufazowych typu duplex).

² Więcej informacji na temat metod badań twardości i odporności na obciążenie dynamiczne (określanych również jako „udarowość”) stali nierdzewnych można znaleźć w publikacji: CUNAT, Pierre-Jean, *Working with Stainless Steel* (Materials and Applications Series, Volume 2), Paryż: Sirpe, 1998.

Wymieniona na końcu własność (zgniot) odnosi się do faktu, że stale nierdzewne w wyniku odkształcenia plastycznego na zimno mogą osiągać wysokie własności wytrzymałościowe. Faktycznie, zjawisko umocnienia przez zgniot wyróżnia te stale od większości

innych materiałów metalowych. Nierdzewne stale austenityczne i ferrytyczno-austenityczne odkształcone plastycznie wykazują interesujące połączenie wysokiej wytrzymałości i odkształcalności, co umożliwia ograniczenie ciężaru elementów.

3 Podatność na przeróbkę plastyczną

W celu przedstawienia możliwości kształtowania stali nierdzewnych przez przeróbkę plastyczną zaprezentowano studium przypadku dla dziewięciu różnych konstrukcji elementów o przeznaczeniu przemysłowym i domowym. Każde studium przypadku zwięźle przedstawia:

- podstawowe etapy operacji kształtowania
- wymagania materiałowe projektowanego produktu
- własności, które sprawiają, że zastosowanie stali nierdzewnej jest uzasadnione
- wytwarzanie produktu ze stali nierdzewnej³.

4 Wykończenia powierzchni

W normie PN-EN 10088-2 zamieszczono informacje odnośnie dostępnych wykończeń powierzchni stali nierdzewnych i sposobu ich oznaczania⁴. Do głównych wykończeń powierzchni i ich typowych zakresów grubości przeznaczonych na elementy do przeróbki plastycznej należą:

- walcowane na zimno, słabo odbijająca światło 2B (0,4 – 8,00 mm)
- walcowane na zimno, odbijająca światło (walcowana wykańczająca) 2R (< 3,00 mm)
- walcowane na zimno i szlifowane (2G) lub szczotkowane (2J).

Stosuje się również wykończenia powierzchni walcowane na gorąco (1D; > 2,00 mm) i

zimno walcowane (2H; < 6,00 mm). Wykończenia dekoracyjne zazwyczaj ulegają zniszczeniu podczas silnych odkształceń powierzchni. Jednak w przypadku stali nierdzewnych można uzyskać relatywnie skomplikowane kształty bez konieczności ponownej obróbki wykańczającej powierzchni. Niektóre tanie zlewozmywaki ze stali nierdzewnej wytwarza się bezpośrednio z blachy wyżarzanej bez nalotu (wyżarzanie jasne) o wykończeniu (2R) bez żadnego dodatkowego polerowania. Fakt, że wykończenie powierzchni przetrwa operacje kształtowania sprawia, że taka kombinacja materiału i technologii kształtowania jest ekonomicznie opłacalna.

Typowe wykończenia powierzchni do dalszej obróbki: 2B, 2R i 2G/2J, 2G/2J, 2G/2J



³ Celem tej publikacji jest przedstawienie wybranych procesów, które najlepiej wykorzystają podatność stali nierdzewnych na przeróbkę plastyczną. Informacje na temat przedsiębiorstw, które wykonują dany proces można otrzymać od członków Euro Inox.

⁴ Porównaj Aneks B z Poradnika dla robot wykończeniowych z zastosowaniem stali nierdzewnych (Seria budowlana, księga 1), Luksemburg: Euro Inox, 2000.

5 Hydroformowane połączenia w samochodowych klatkach bezpieczeństwa

Technologia hydroformowania umożliwia wytwarzanie skomplikowanych kształtów z elementów rurowych. Proces składa się z następujących etapów:

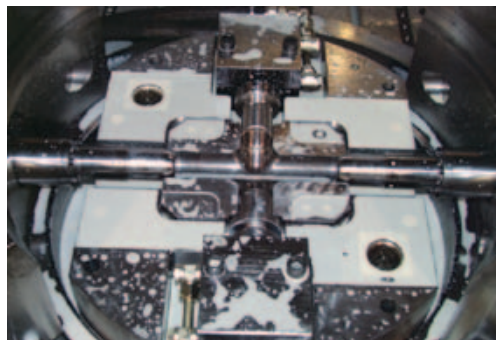
- wprowadzenie rury ze stali nierdzewnej do matrycy
- uszczelnienie zakończeń elementów
- wypełnienie rury płynem roboczym (zazwyczaj wodą lub olejem)
- oddziaływanie ciśnienia na powierzchnie stali nierdzewnej przez połączone zjawiska (radialnego) ciśnienia płynu i (osiowego) ściskania zakończeń rur.

Technologia umożliwiająca formowanie prawie każdego skomplikowanego kształtu posiada następujące zalety w porównaniu do konwencjonalnych technik kształtowania:

- nienaruszona powierzchnia elementów (brak zjawisk zatarcia elementów i korozji czarnej od stempla lub przebarwień od środków smarujących)
- węższe tolerancje wymiarowe kształtów.

Wytwarzanie połączeń (węzłów) samochodowych klatek bezpieczeństwa

Metalowe “kratownice przestrzenne” (na górze po lewej) stosuje się do konstrukcji klatek bezpieczeństwa samochodów osobowych.



Oprzyrządowanie do hydroformowania.
Zdjęcie: ArcelorMittal Centre Auto-Applications, Montataire (F)

W rzeczywistości producenci autobusów od lat stosują ramownice ze spawanych elementów rurowych wykonanych ze stali nierdzewnej. Tradycyjnie pociągało to za sobą zastosowanie połączeń wykonanych przez gięcie, cięcie i spawanie (na górze po prawej).

Do zalet montażu elementów z zastosowaniem technologii hydroformowania należą:

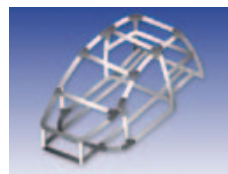
- możliwość zastąpienia tradycyjnej technologii spawania w montażu skomplikowanych wycinanych elementów rurowych
- oddzielenie obszarów spawanych i ciętych (zmiany we własnościach mechanicznych i metalurgicznych znajdują się w różnych obszarach).

Kolejne zalety to:

- standaryzacja produkcji
- rozwiązania modułowe
- wyższa sztywność i wytrzymałość prowadząca do zmniejszenia ciężaru
- ograniczenie kosztów.

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

Zdjęcie: HDE Solutions, Menden (D)



Hydroformowany element kratownicy przestrzennej.
Zdjęcie: ArcelorMittal Stainless Europe, La Plaine Saint-Denis (F)

Zjawiska podczas odkształcania hydroformowanych stali nierdzewnych

Podczas hydroformowania, niektóre obszary elementu ulegają znacznym odkształceniom, co prowadzi do umocnienia przez zgniot stali. Ta dodatkowa zaleta stali nierdzewnej prowadzi do zwiększenia własności mechanicznych elementu, polepszając zarówno statyczne własności mechaniczne jak i własności zmęczeniowe.

Obszary, w których występują maksymalne naprężenia znajdują się z dala od obszarów spawanych. Jest to dokładnie na odwrót w porównaniu do tradycyjnego montażu, gdzie obszary spawane stanowią również najbardziej krytyczne miejsca pod tym względem.



Hydroformowane połączenie (węzeł).
Zdjęcie: HDE Solutions, Menden (D)

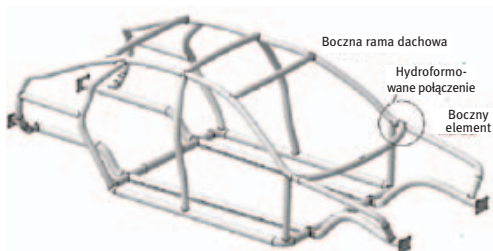
Zalety hydroformowanych połączeń (węzłów) ze stali nierdzewnej

Zalety wynikające z zastosowania technologii hydroformowania dla stali nierdzewnych:

- lepsze wyrównanie osiowe elementów
- idealna prostokątność (brak zniekształceń cieplnych w następstwie spawania)
- możliwość spawania automatycznego (raczej do węzłów niż wewnątrz węzła)

- lepsza grubość/geometryczna dokładność
- lepszy rozkład naprężeń.

Rezultat: niewiele elementów, mniej odpadów, mniej matryc i surowców, co prowadzi do redukcji kosztów.



Model i zdjęcie: ArcelorMittal Stainless Europe, La Plaine Saint-Denis (F)

6 Higieniczne elementy o jednolitej powierzchni

Wymagania projektowe dla naczyń kuchennych będących w kontakcie z pożywieniem uwzględniają:

- higieniczne i łatwe w czyszczeniu powierzchnie
- skuteczne rozprowadzanie ciepła (podczas gotowania) i uchwyty, które nie powodują oparzeń
- odporność na uderzenia i zużycie.

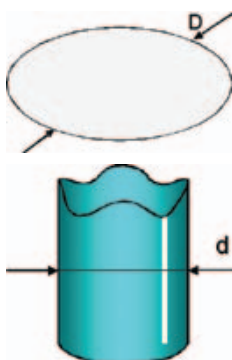
Poza czynnikami typowo technicznymi należy uwzględnić wymagania użytkowe i praktyczne oraz trendy wzornictwa, odnośnie kształtu i wykończenia powierzchni. Przedstawiony poniżej proces wytwarzania garnka do gotowania o ciekawym wzornictwie udowadnia, dlaczego od dawna stal nierdzewna jest materiałem, który spełnia takie wymagania.

Przekształcenie płaskiego arkusza stali do wydrążonej bryły



Wytwarzanie elementu o tak ciekawym kształcie rozpoczyna się od płaskiego dysku blachy o grubości 1 mm i średnicy około 400 mm. Zastosowana stal gatunku EN 1.4301 o powierzchni walcowanej na zimno z wykończeniem 2B (w takim stanie jest dostarczana) jest w stanie zaabsorbować wystarczająco wysokie naprężenia wywołane procesem formowania. Średnica dysku blachy jest redukowana o połowę podczas formowania, co w przybliżeniu stanowi granicę odkształcalności tego materiału⁵.

Stale nierdzewne można dostosować do wytwarzania głębszych kształtów, przez ponowne przywrócenie odkształcalności elementu. Odbywa się to przez międzyoperacyjną obróbkę cieplną, polegającą na wyżarzaniu w temperaturze ponad 1000 °C. W takiej temperaturze powierzchnia stali nierdzewnej utlenia się i czernieje. Powierzchnia w takim stanie będzie zanieczyszczać oprzyrządowanie do wytłaczania, a nadanie jej połysku jest znacznie trudniejsze, dlatego dla przywrócenia jakości powierzchni i uzyskania ponownie stanu pasywnego przeprowadza się chemiczną obróbkę powierzchni. Tak obrobiony cylindryczny element może być znowu głęboko tłoczony i może uzyskać większą długość.



Graniczny współczynnik tłoczenia (LDR)= D/d .
Typowo wartość LDR dla stali nierdzewnych wynosi od 1,8 do 2.



⁵ Graniczny współczynnik tłoczenia (LDR) określa stosunek maksymalnej średnicy wytłoczki (D), która może być wytłoczona w cylindryczny kształt o średnicy (d) w jednym zabiegu tłoczenia.

Od kształtowania bryły do zaprojektowanego elementu

Dla umożliwienia prawidłowego nagrzewania się garnka, jego dno jest łączone z elementem w kształcie dysku z ferrytycznej (Cr) stali nierdzewnej. Takie dno charakteryzuje się własnościami magnetycznymi, w odróżnieniu do całości garnka wykonanego z austenitycznej (Cr-Ni) stali nierdzewnej.

Dodatkowo w celu polepszenia rozprzewadzenia ciepła, pomiędzy elementy wpro-



wadza się dodatkową aluminiową płytę. Takie trzy elementy są łączone ze sobą w operacji wybijania lub przez lutowanie.

Pomimo, że początkowy matowy wygląd elementów nie ma nic wspólnego z lśniącymi powierzchniami sprzętu do gotowania, ich chropowatość powierzchni jest wystarczająco niska, aby efektywnie przeprowadzić obróbkę wykańczającą powierzchni.

Po zakończeniu głównych etapów mon-



Formowanie stali nierdzewnych nie ogranicza się tylko do kształtów cylindrycznych. Bardziej skomplikowane kształty - zakrzywione profile (po lewej stronie zdjęcia) można uformować do końcowego kształtu z cylindrycznego elementu (po prawej) przy pomocy dwuczęściowej prasy i stempla (na środku) wytwarzanego z szeregu twardych materiałów polimerowych o różnorodnych własnościach.

tażu elementów, powierzchnia garnka jest polerowana. Proces ten może być przeprowadzony przez zastosowanie wielu dostępnych środków ściernych - ściernic Scotch-Brite™ i past polerskich.



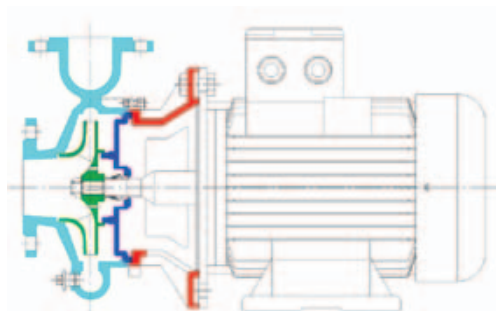
Uniwersalny materiał na “higieniczne” elementy

Stale nierdzewne dzięki swej podatności na formowanie, spawalności i własnościom wykończeń powierzchni, z łatwością spełniają wymogi stawiane elementom wyposażenia kuchennego, w tym jednolitej (więc higienicznej) powierzchni, do której nie przywierają przetwarzane substancje spożywcze, sztywnej konstrukcji, i nadają się do ogrzewania indukcyjnie. Zastosowanie tak wytwarzanych elementów można rozszerzyć poza wyposażenie kuchenne na inne zastosowania, wymagające higienicznych powierzchni.

Uchwyty garnka wykonano z płaskownika, który został przyspawany do ścian naczynia. Zminimalizowanie powierzchni styku i zastosowanie austenitycznej stali nierdzewnej (o niższej przewodności cieplnej w porównaniu do innych gatunków) jest optymalne dla uzyskania bezpiecznych w użytkowaniu – niepowodujących oparzeń uchwytów.

7 Wydajne pompy dzięki hydroformowanej obudowie

Główne elementy typowej pompy odśrodkowej.



Pompa odśrodkowa zwiększa energię (wytwarzaną przez silnik) przepływającego przez nią płynu, przemieszcza go i zwiększa jego ciśnienie. Do głównych elementów takiej pompy należą:

- silnik elektryczny i wał napędowy
- stała obudowa (jasnoniebieski kolor)
- napędzany wirnik (zielony kolor)
- uszczelnienie (kolor niebieski) i połączenie z silnikiem (kolor czerwony).

Napędzany wirnik pompy przekształca energię silnika w energię płynu, która jest sumą energii ciśnienia i energii kinetycznej oraz potencjalnej.

Pod względem hydrauliki zadaniem obudowy jest prowadzenie płynu do wirnika przez otwór wlotowy, odseparowanie stref niskiego i wysokiego ciśnienia płynu, i następnie wyrowadzenie go z wirnika do otworu wylotowego, dodatkowo zwiększając jego ciśnienie przez zmniejszenie jego prędkości. Z mechanicznego punktu widzenia obudowa musi wytrzymać ciśnienie robocze, zapewnić połączenie z silnikiem (w zależności od modelu) i wytrzymać naprężenia od przyłączonego rurociągu.

Rola spiralnej osłony

W celu dalszego zwiększenia ciśnienia płynu, gdy opuści on łopatki wirnika niezbędne jest zastosowanie obudowy o konstrukcji spi-

ralnej, której przekrój poprzeczny zwiększa się wraz z rozwijaniem spirali. Umożliwia to ograniczenie prędkości płynu (niezbędne dla zwiększenia ciśnienia) z możliwie jak najmniejszymi stratami w wyniku tarcia. Wytwarzanie takiej spiralnej obudowy pod względem jej skomplikowanego kształtu wydaje się być dość poważnym wyzwaniem.

Obudowy - od odlewanych do głęboko tłoczonych

Tradycyjnie takie obudowy pomp wytwarzane są z żeliwa lub brązu technologią odlewania. W ostatnim okresie stało się możliwe wytwarzanie takich obudów z głęboko tłoczonych elementów ze stali nierdzewnej,



Żeliwna obudowa.



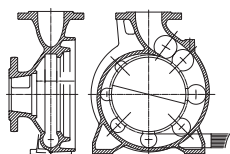
Obudowa ze stali nierdzewnej wykonana przez głębokie tłoczenie.

które łączą w sobie wyższy współczynnik wytrzymałości do wagi i wyśmienitą podatność na kształtowanie, umożliwiając wytwarzanie lekkich i wytrzymałych konstrukcji.



Pompa odśrodkowa z obudową ze stali nierdzewnej.

Konstrukcja spiralnej osłony.



Korzyści z zastosowania stali nierdzewnych

Obudowy ze stali nierdzewnej zapewniają:

- brak zanieczyszczeń (np. wody pitnej) od materiału obudowy
- odporność na korozję w szerokim zakresie łagodnych ośrodków korozyjnych



Obudowa pompy wykonana z głęboko tłoczonej stali nierdzewnej. Otwór wlotowy znajduje się na przedzie, a płyn opuszcza obudowę przez hydroformowaną kryzę u góry.

- redukcję wagi dzięki wyższym własnościom mechanicznym (pompy są łatwiejsze w transporcie i bardziej kompaktowe)
- atrakcyjny wygląd i łatwą w konserwacji powierzchnię
- wyższą sprawność pompy dzięki gładziej powierzchni.

Korzyści z zastosowania technologii hydroformowania



Spiralna osłona jest scalana z obudową pompy przez hydroformowanie. Otwór wylotowy jest starannie wykańczany, co poprawia wydajność roboczą pompy.

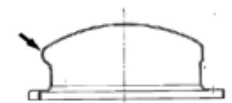
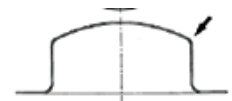
Konstrukcje obudowy mogą być różne, od całkiem prostych (o kołowym przekroju poprzecznym), do zupełnie złożonych (włącznie ze spiralnym kształtem). Złożone kształty zazwyczaj dzielone są na połowę i następnie spawane. Z kolei technologia hydroformowania umożliwia

zintegrowanie w jednym elemencie spiralny kształt osłony w obudowie wykonanej ze stali nierdzewnej - unika się w ten sposób spawania i ogranicza ryzyko wystąpienia korozji.

Wytwarzanie hydroformowanej obudowy pompy ze stali nierdzewnej

Materiałem wyjściowym jest arkusz blachy ze stali nierdzewnej (o grubości od 1,5 do 3 mm w zależności od modelu pompy), na którym wykonuje się następujące operacje:

- głębokie tłoczenie, aby uzyskać odpowiednią wielkość obudowy
- hydroformowanie spiralnej osłony przy ciśnieniu wody >1000 bar
- wiercenie i frezowanie otworów wylotowych
- spawanie łączników i połączenia z silnikiem od strony zewnętrznej.



Etapy wytwarzania obudowy: głębokie tłoczenie, hydroformowanie, wiercenie i wyrównywanie powierzchni, montaż.

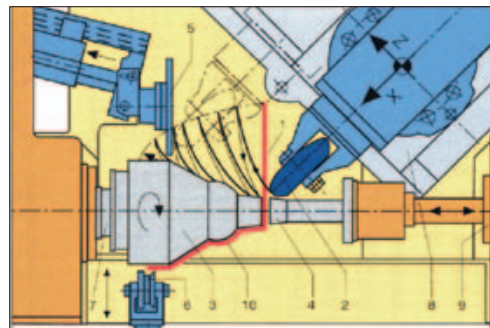
8 Wyoblanie powierzchni dla ekskluzywnego wzornictwa

Wyoblanie to proces formowania niepowodujący ubytku materiału. Wymaga następujących elementów:

- cylindrycznego krążka lub głęboko tłoczzonej wytłoczki
- rolki do wyoblania
- zamontowanej na tokarce matrycy o cylindrycznym kształcie.

Wytłoczka jest wyoblana na matrycy w kolejnych krokach obrotu obu elementów. Z powodu wywierania wysokich naprężeń obrabiany element jest smarowany, co przeciwdziała przywarciu elementu do matrycy i uszkodzeniu jego powierzchni.

Proces wyoblania generalnie wymaga niższych nakładów kapitałowych, mniej oprzyrządowania, niższych kosztów międzyoperacyjnych i jest mniej energochłonny w porównaniu do procesu obciągania. Jednak ze względu na niską wydajność produkcyjną nadaje się raczej do wytwarzania małych serii elementów i prototypowania.

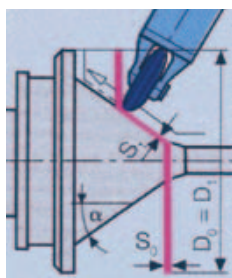


Rysunek: Formowanie przez wyoblanie, Ahlen (D)

Proces jest prowadzony bez próby oddziaływania na pocienienie ścianek elementu.

W tym procesie, w jednej operacji formowania można kształtować również kształty stożkowe pod warunkiem, że kąt roboczy wynosi około 12° lub mniej w przypadku większej liczby operacji. Średnica otworu na końcu stożka odpowiada początkowej średnicy dysku, więc wystąpi pewien stopień ścięcia ścianki (zależny od kąta roboczego). Proces ten nazywany jest także obciąganiem obrotowym lub zginiataniem obrotowym.

Rysunek: Formowanie przez wyoblanie, Ahlen (D)



Wyoblanie, jako technologia alternatywna dla procesów takich jak głębokie tłoczenie lub obciąganie, jest idealne do formowania stożkowych lub cylindrycznych kształtów. Takie kształty można znaleźć w elementach użytku domowego, a nawet przemysłowego. W tym procesie, zaczynając od dwuwymiarowego dysku stali nierdzewnej, można otrzymać znaczny stosunek wysokości do średnicy elementów.

Zdjęcie: ThyssenKrupp Nirosta, Krefeld (D)



Wyoblanie elementów ze stali nierdzewnej

Narzędzie, wywierając siłę na obrabiany element ze stali nierdzewnej, powoduje naprężenia ściskające w materiale, a te z kolei powodują umocnienie zgniotowe i w konsekwencji redukcję jego odkształcalności. Z tego powodu, wyoblanie stosuje się do pewnej ograniczonej grubości materiału. Do tego procesu idealnie nadają się gatunki stali o niskiej granicy plastyczności i niskim umocnieniu przez zgniot, czyli gatunki ferrytyczne (np. EN 1.4016) i niektóre austenityczne (stabilizowane), które umacniają się powoli takie jak EN 1.4301 lub EN 1.4303.

Zastosowanie wyoblania pozwala uzyskać kształty o wysokim stopniu osiowej symetrii, w konsekwencji czego, obróbkę wykańczającą takich elementów można wykonać z małym nakładem kosztów.

Stopka stołka barowego ze stali nierdzewnej

Stopka stołka barowego jest elementem o wysokiej symetrii osiowej. Taki element, aby zapewnić stabilność całości stołka, musi się charakteryzować odpowiednio wysoką wytrzymałością. W tym przypadku zastosowanie stali (niskostopowej lub nierdzewnej) jest lepszym rozwiązaniem niż użycie aluminium, którego gęstość wynosi tylko jedną trzecią stali. Taka stopka jest elementem wymagającym regularnego czyszczenia, a wykonana z pomalowanej konwencjonalnej stali, nie przetrwa zbyt długo ciągłego stosowania produktów czyszczących, które spowodują odpryski farby niekorzystne dla estetyki wyrobu.

Rozwiązaniem takiego problemu jest wytwarzanie takiej stopki ze stali nierdzewnej w procesie wyoblania. Wysoka symetria osiowa elementu zapewnia łatwą obróbkę wykańczającą przy zastosowaniu zautomatyzowanych metod polerskich, a nawet polerowania tarczą polerską.

Wykańczanie zimnowalcowanych powierzchni elementów ze stali nierdzewnej nie wymaga kosztownych operacji przygotowawczych.



Stopka krzesła barowego jest elementem o wysokiej symetrii osiowej. Stopka ze stali nierdzewnej jest odporna na agresywne środki czyszczące.

Zdjęcie: Thate, Preetz (D)



Zdjęcie: Thate, Preetz (D)

9 Dekoracyjne felgi samochodowe wykonane przez wyoblanie

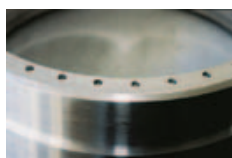
Właściciele samochodów coraz częściej poszukują ekskluzywnych sposobów dostosowania swoich pojazdów do własnego gustu. Jednym z przejawów tego trendu są właśnie designerskie felgi samochodowe. Wyoblanie jest procesem kształtowania odpowiednim dla małych serii. Felgi wykonane ze stali nierdzewnej z zastosowaniem tej techniki, posiadają następujące zalety:

- wysoki współczynnik wytrzymałości do wagi (umożliwiający wytwarzanie lekkich konstrukcji)
- wyższą wytrzymałość, uzyskaną na drodze obróbki plastycznej na zimno



- walcowaną na zimno, gładką powierzchnię ułatwiającą polerowanie
- większą odporność na korozję w porównaniu do tradycyjnych metali
- brak powłoki malarskiej, która mogłaby się kruszyć.

Budowa typowego designerskiego koła samochodowego



W zależności od modelu, dekoracyjne felgi samochodowe mogą być wykonane z dwóch lub trzech części. Model trzyczęściowy składa się z:

- wieloramienno mocowania (wykonanego zwykle z odlewniczego stopu aluminium)
- wieńca wewnętrznego (wykonanego zwykle z odlewniczego stopu aluminium)
- wieńca zewnętrznego (wykonanego możliwie ze stali nierdzewnej).

Wieloramienne mocowanie połączone jest z wieńcem wewnętrznym poprzez wieniec zewnętrzny przy pomocy śrub wykonanych ze stopów szlachetnych, co pozwala uniknąć wystąpienia korozji elektrochemicznej.

Zewnętrzny pierścień ze stali nierdzewnej formowany jest w procesie wyoblania, po którym prowadzone jest zautomatyzowane



Montaż wieloramienno mocowania na wieńcu wewnętrznym poprzez wieniec zewnętrzny wykonany ze stali nierdzewnej.

polerowanie. Oprócz uzyskania atrakcyjnej powierzchni, polerowanie polepsza również odporność korozyjną części, która wystawiona będzie na działanie zmiennych warunków atmosferycznych, uwzględniających mgłę solną.

Zastosowanie w produkcji stali nierdzewnej oznacza dla producenta wyeliminowanie konieczności przeprowadzenia nieprzyjemnej dla środowiska, wykańczającej obróbki powierzchni wieńca zewnętrznego.

Koło zbudowane jest z trzech części: wieloramienno mocowania (u góry), wieńca wewnętrznego (środek) oraz wieńca zewnętrznego (na dole) ze stali nierdzewnej, zapewniającej wysoką wytrzymałość, lekką konstrukcję i gładką powierzchnię elementu.

Wyoblanie zewnętrznego wieńca felgi wykonanego ze stali nierdzewnej

Zewnętrzne wieńce kształtowane są z okrągłych arkuszy ze stali nierdzewnej. Mogą być one zakupione bezpośrednio u dostawcy lub wycięte z prostokątnych arkuszy.

Dla ułatwienia produkcji, przed wyoblaniem w arkuszu wykonywane są otwory montażowe. Arkusz montowany jest na wyoblance wyposażonej w okrągłą matrycę. Wyoblak wywiera nacisk na arkusz, który stopniowo przyjmuje kształt matrycy. Z czasem do wyoblarki dodawane są kolejne pierścienie, umożliwiając w ten sposób dalsze formowanie arkusza. W procesie wyobla-

nia należy zastosować odpowiednie środki poślizgowe.

Podczas kształtowania na zimno, stal nierdzewna ulega umocnieniu (zjawisko znane jako umocnienie przez zgniot). Chociaż zbyt wysoki stopień umocnienia utrudnia wyoblanie, powoduje on wzrost wytrzymałości wieńca zewnętrznego, którego zadaniem będzie amortyzacja wstrząsów powstałych w wyniku nieoczekiwanych uderzeń podczas jazdy.



Wyoblanie zewnętrznego wieńca ze stali nierdzewnej. Podczas formowania wytrzymałość stali nierdzewnej wzrasta, czego wynikiem jest podwyższona zdolność do amortyzowania wstrząsów.

Wyższa wytrzymałość kół ze stali nierdzewnej

Austenityczne stale nierdzewne charakteryzują się interesującymi własnościami mechanicznymi. Ich już i tak wysoka wytrzymałość na rozciąganie (R_m) może być zwiększana poprzez procesy kształtowania na zimno, takie jak wyoblanie oraz dalsze for-

mowanie krawędzi wieńca zewnętrznego. Wysoka wytrzymałość nie tylko uniemożliwia uszkodzenia felgi spowodowane uderzeniami żwiru, ale również sprawia, że stal nierdzewna jest materiałem wysoce odpowiadającym na elementy narażone na przypadkowy kontakt z kamienną nawierzchnią.



10 Kształtowniki walcowane na zimno o zwiększonej wytrzymałości



Walcowanie kształtowników jest dobrze znaną metodą produkcji długich, często skomplikowanych metalowych kształtowników z taśm metalowych. Znaczną redukcję kosztów uzyskać można analizując proces już na etapie projektowania, na przykład, poprzez wyeliminowanie odcinków połączeń spawanych w kształcie litery C i/lub U. Walcowanie kształtowników jest znakomitym sposobem łączenia kilku funkcji (przewodzenie kabli, chłodzenie, zamocowanie, itp.) w zaledwie jednym elemencie.

Tradycyjnie, proces walcowania kształtowników dostarcza rozwiązań dla budownictwa (okna i futryny drzwiowe), transportu (samochody ciężarowe, autobusy i wagony kolejowe) oraz inżynierii i przemysłu produkcji mebli biurowych. Dzięki niezwykłej zdolności łączenia różnych funkcji w jednym elemencie konstrukcyjnym, produkowanym w procesie walcowania kształtowników, pojawiają się również inne sektory, w których znajduje on zastosowanie (m.in. przemysł motoryzacyjny).

Walcowanie kształtowników z taśm ze stali nierdzewnej

Proces walcowania kształtowników jest bardzo podobny do procesu walcowania rur.



Linia modułów kształtujących (każdy składający się z twardych rolek formujących o indywidualnym kształcie) przekształca taśmę metalową (zwykle o szerokości < 1000 mm) w kształtownik, który może być otwarty lub po zespawaniu - zamknięty. Grubość kształtowanej w ten sposób taśmy ze stali nierdzewnej mieści się w zakresie od 0,4 do 8 mm, co umożliwia stopniowe wykorzystanie wyjątkowej zdolności stali nierdzewnej do pochłaniania odkształcenia plastycznego. Proces stopniowego kształtowania polepsza własności mechaniczne stali nierdzewnej i prowadzi do uzyskania kształtowników o wyższej wytrzymałości oraz skomplikowanym kształcie.

Im więcej jest modułów kształtujących, pochłanianie odkształcenia plastycznego odbywa się w sposób bardziej stopniowy, a co za tym idzie - generowane w materiale naprężenia są mniejsze. Może być to istotne do spełnienia wymagań tolerancji wymiarowej podczas montażu.

Zwiększanie różnorodności zastosowań

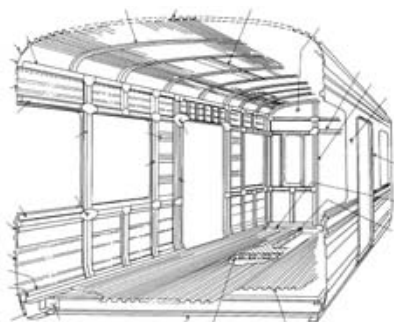
Aby zwiększyć użyteczność kształtownika, proces walcowania może być uzupełniony o takie operacje jak:

- punktowanie otworów
- spawanie
- gięcie lub obciążanie w produkcji profili zamkniętych.



Kształtowniki ze stali nierdzewnej stosowane w nadwoziach wagonów osobowych

Kolejowe wagony osobowe złożone są tradycyjnie z ramy podwozia oraz nadwozia. Nadwozie wykonywane jest z materiałów, takich jak stal węglowa malowana lub stal nierdzewna. Elementy ze stali nierdzewnej mogą być wykonane z kształtowników walcowanych z taśm dostarczanych w zakresie grubości od 0,4 do ponad 6 mm.



Ilustracja: Nickel Institute, Toronto (CDN)

Potencjał stali nierdzewnych do zmniejszania ciężaru kolejowych wagonów osobowych

W tym przypadku stosowany może być gatunek stali 1.4301, jednak 1.4318 (z dodatkiem azotu oraz niższą zawartością niklu) oferuje wyższe własności mechaniczne. Ponadto, własności mechaniczne tego gatunku stali mogą być polepszane, jeśli stal nierdzewna przed walcowaniem poddana zostanie utwardzaniu (przeróbce plastycznej na zimno)⁶. Dlatego też, zastosowanie gatunku stali nierdzewnej 1.4318 do walcowania kształtowników, utrzymuje bezprecedensowy potencjał do zmniejszania ciężaru słupków, belek oraz ram wagonów kolejowych.

Lżejsze nadwozia wagonów wykorzystują mniej energii podczas przyspieszania i zwalniania – jest to niezwykle ważny aspekt ekonomiczny w przypadku pociągów o zasięgu lokalnym, które zatrzymują się i ruszają w krótkich przedziałach czasu.

Znaczny potencjał do zmniejszenia wagi można uzyskać w wyniku połączonego zastosowania:

- stali nierdzewnej (zamiast stali węglowej)



Zdjęcie: ArcelorMittal Stainless Belgium, Genk (B)

- gatunku 1.4318 (dla uzyskania większej wytrzymałości poprzez umocnienie)
- walcowanych kształtowników.

Inne korzyści, wynikające z zastosowania stali nierdzewnej w budowie nadwozi wagonów osobowych, to:

- zwykła konserwacja (brak konieczności malowania nadwozi)
- długi okres trwałości użytkowania (brak redukcji grubości spowodowanej zużyciem)
- poprawa bezpieczeństwa pożarowego w porównaniu do innych metali (lekkich)
- poprawa mechaniki zniszczenia (ze względu na własności mechaniczne).



Zdjęcie: Outokumpu, Espoo (FIN)

⁶ Szczegółowe informacje dostępne są na CD-ROM Euro Inox, *Stainless Steel for Structural Automotive Applications – Properties and Case Studies* (Automotive Series, Volume 1, Release 3), Luksemburg: 2006

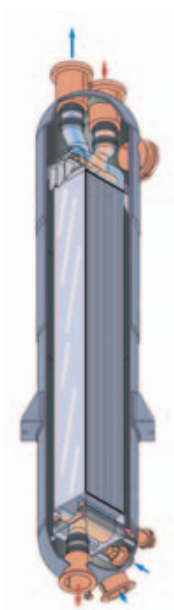
11 Płyty wymienników ciepła kształtowane wybuchowo



Kształtowanie wybuchowe wykorzystuje wysokie ciśnienie dynamiczne fali uderzeniowej, które powoduje przyciśnięcie blachy do matrycy z dużą prędkością. W procesie tym ładunek wybuchowy jest zwykle umieszczany w wodzie, w pewnej odległości od formowanej części. Fala uderzeniowa zachowuje się jak stempel.

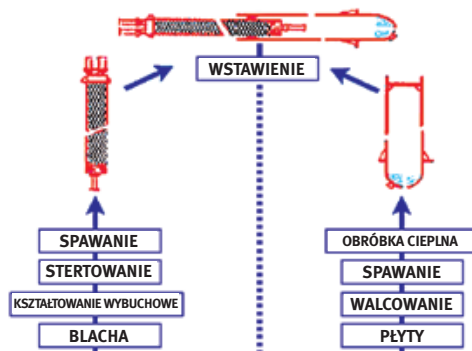
W porównaniu do bardziej tradycyjnych metod formowania, kształtowanie wybuchowe umożliwia:

- obróbkę blach o większych wymiarach (dzięki zastosowaniu materiału wybuchowego)
- obróbkę blach o dużej grubości (> 10 mm w przypadku stopów Ni)
- uzyskanie różnych kształtów (redukując konieczność wykonania operacji takich jak spawanie czy obróbka cieplna)
- otrzymanie produktów o wysokiej wytrzymałości mechanicznej
- uzyskanie dużej dokładności wymiarowej.



Płytowe wymienniki ciepła o dużych wymiarach

Duże, spawane, płytowe wymienniki ciepła (PHE) zwykle znajdują zastosowanie w rafineriach ropy naftowej oraz w przemyśle petrochemicznym. Wysokie wymagania, dotyczące procesu wymiany ciepła, zakładają występowanie dużej powierzchni stykowej związanej z wydajnym ruchem ciepła w wysokiej temperaturze. Jeżeli wymiary powierzchni stykowej wymiennika ciepła przekraczają kilka tysięcy metrów kwadratowych, jego zastosowanie może okazać się bardziej opłacalne niż użycie pojedynczego wymiennika ciepła płaszczowego lub



rurowego (lub nawet całej ich serii).

Płytowe wymienniki ciepła o dużych wymiarach składają się zwykle z setek kształtowanych wybuchowo blach ze stali nierdzewnej. Grubość pojedynczego arkusza wynosi $0,8 - 1,5$ mm, szerokość do 2 m,



natomiast długość nawet 15 m. Po procesie formowania wybuchowego każdego arkusza są one stertowane, a następnie spawane do postaci pakietu. Faliste ukształtowanie płyt w tzw. „jodełkę” wywołuje ruch turbulentny cieczy, co zapewnia wysoką wydajność wymiany ciepła.

Pakiet jest umieszczany w zbiorniku ciśnieniowym, zgodnym z przepisami dotyczącymi konstrukcji, a częścią łączącą oba te elementy jest kondensator mieszkowy.

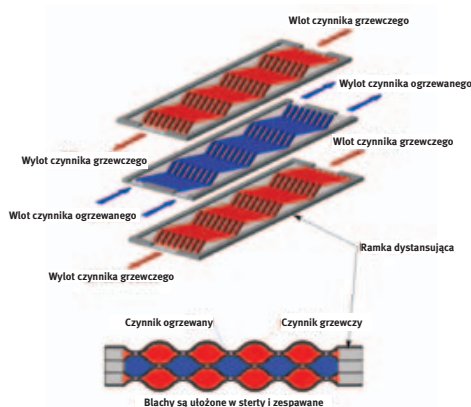
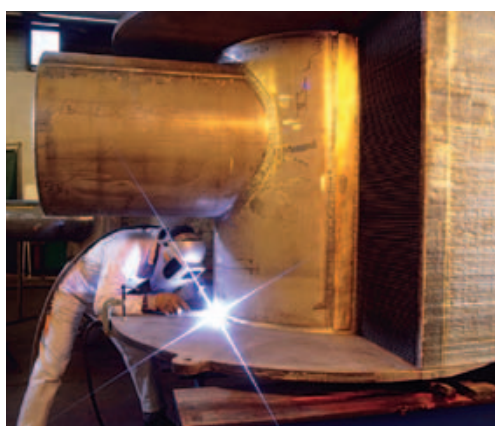
Korzyści płynące z zastosowania stali nierdzewnej

- Typowa temperatura procesu w wymienniku ciepła PHE mieści się w zakresie od 300 do 550 °C (maksymalnie 650 °C). Takie warunki pracy nie stanowią problemu dla gatunków takich jak EN 1.4541 (AISI 321).
- Stale nierdzewne wytrzymują ciśnienia robocze do 120 barów oraz spadki ciśnienia na wlocie/wylocie rzędu 40 barów.
- Zastosowanie dużych prędkości formowania (do 120 m/s) w kształtowaniu wybuchowym powoduje dodatkowe umocnienie blach falistych ze stali nierdzewnej.
- Faliste ukształtowanie płyt (powodujące przepływ turbulentny) połączone z małą chropowatością powierzchni (która nie jest pogarszana w wyniku procesu kształtowania) ogranicza ryzyko zanieczyszczenia („zatykania się”) i zapewnia efektywną wymianę ciepła.
- Właściwy dobór gatunku stali redukuje ryzyko wystąpienia korozji spowodowanej, np. frakcjami siarki produktów olejowych.
- Do szczelnego połączenia pakietu blach falistych mogą być zastosowane konwencjonalne techniki spawania.



Idealne połączenie

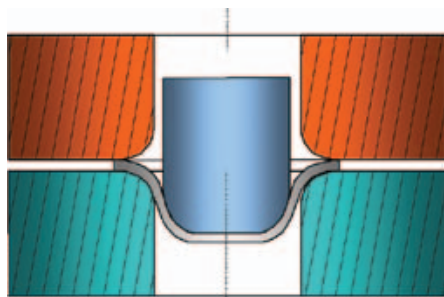
Proces kształtowania wybuchowego oraz stali nierdzewne, nie są już postrzegane jako innowacje. Rozwój dużych, płytowych wymienników ciepła, w których w pełni wykorzystane są ich wymiary, własności stali nierdzewnych oraz proces kształtowania wybuchowego, powoduje znaczne obniżenie kosztów w codziennym funkcjonowaniu przemysłu petrochemicznego i gazowniczego. Rozwiązanie to jest korzystne zarówno w przypadku inwestowania w nowe urządzenia, jak i modernizacji, zmieniających do optymalizacji procesów.



12 Głęboko tłoczone nakrętki zabezpieczające do dekoracji kół

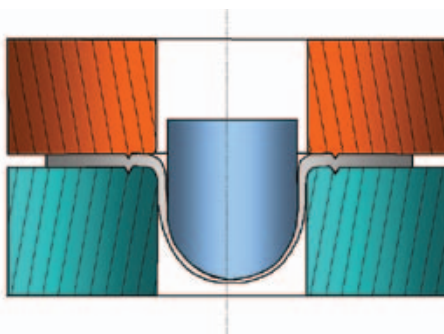
Stale nierdzewne zazwyczaj są bardzo podatne na przeróbkę plastyczną. Podczas gdy najczęściej kształtowana jest austenityczna stal nierdzewna (Cr-Ni), gatunki ferrytyczne również nadają się do zastosowania do pewnych operacji formowania, w których metal poddawany jest obciążaniu. Różnica pomiędzy (głębokim) tłoczeniem, a obciążaniem została opisana poniżej.

Tłoczenie



- metal jest swobodnie odkształcany w matrycy
- odkształcenie dużego krążka blachy w wąski cylinder odbywa się w większej mierze w wyniku zmniejszenia jego szerokości niż zmiany grubości (= wysoka anizotropia "r"²)

Obciążanie



- metal przytrzymywany jest przez dociskacz
- znaczna redukcja grubości
- wymagane duże wydłużenie (A%) oraz umocnienie zgniotowe (n)

W praktyce sposób odkształcania jest kombinacją rozciągania i kształtowania plastycznego, co wyjaśnia częste zastosowanie austenitycznych gatunków stali.

Tłoczność gatunków ferrytycznych

Gatunki ferrytyczne charakteryzują się nieznacznie wyższym współczynnikiem LDR (patrz strona 8) niż gatunki austenityczne, co sprawia, że są one wyjątkowo odpowiednie do zastosowania na elementy tłoczone.

Uszkodzenia powierzchni w formie „rys i bruzd” są typowe dla klasycznych gatunków ferrytycznych, co można wyeliminować stosując gatunki stali ferrytycznej zawierające tytan i niob.



Głęboko tłoczony cylinder ze standardowej stali ferrytycznej EN 1.4016 (powyżej) z widocznymi zarysowaniami oraz cylinder ze stali austenitycznej EN 1.4301 (poniżej). Uszkodzenia pogarszają wygląd powierzchni, która wymaga dodatkowej obróbki wykańczającej. Można tego uniknąć poprzez wybór stabilizowanych gatunków ferrytycznych (Ti lub Nb) oraz ścisłą kontrolę parametrów procesu.



² Współczynnik anizotropii "r" definiuje się jako stosunek odkształceń poprzecznych do odkształcenia grubości. Jeżeli $r > 1$, blacha ulega w większej mierze rozciąganiu niż pocienieniu.

Głęboko tłoczone samochodowe nakrętki zabezpieczające z ferrytycznej stali nierdzewnej

Ze wszystkich elementów ze stali nierdzewnej stosowanych w produkcji dekoracyjnych części samochodowych, przedstawiona po prawej stronie zatyczka na śruby koła, stanowi jedno z największych wyzwań dla kształtowania. Jej kształt wskazuje na wysoki stopień tłoczenia, które w tym przypadku prowadzone jest w następujących po sobie krokach.

Stal nierdzewna nie tylko spełnia wymagania estetyczne, ale również oferuje wysoką wytrzymałość oraz umożliwia tworzenie prostych konstrukcji – przedmiot wykonany jest z jednej części, bez konieczności spawania lub wykorzystania innego spoiwa. Tradycyjnie, dzięki dobrym własnościom tłocznym, części te produkowane były z zastosowaniem gatunków austenitycznych, takich jak EN 1.4301 (AISI 304), jednak mogą być również produkowane z gatunków ferrytycznych (EN 1.4526 – AISI 436) zawierających chrom, molibden oraz niob:

- gatunek ten jest zwykle odpowiedni do stosowania w procesie tłoczenia (anizotropia, obróbka)
- gatunki ferrytyczne na ogół charakteryzują się połączeniem połysku i koloru, który zachęca producentów dekoracyjnych części samochodowych
- molibden zwiększa ochronę przed koro-

zją wżerową (pojawiającą się w wyniku działania soli, która stosowana jest w celu usunięcia oblodzenia oraz w przypadku działania wilgotnych warunków meteorologicznych)

- niob pomaga w wyeliminowaniu zarysowań, a przez to redukuje konieczność polerowania.

Ze względu na bardzo małe rozmiary, omawiane elementy złączne nadają się idealnie do masowego polerowania w bębnoch, które nadaje stali nierdzewnej wykończenie na wysoki połysk.

Nakrętki zabezpieczające ze stali nierdzewnej mogą być klejone, lutowane lub przyspawane do nakrętki. Są one bardziej wytrzymałe niż części wykonane z innych materiałów konstrukcyjnych, redukują obróbkę poprodukcyjną (taką jak malowanie lub nakładanie powłok) i mogą być w pełni ponownie wykorzystane po upływie okresu użytkowania pojazdu.



13 Blacha falista umożliwiająca zwiększenie ładowności statków towarowych



Zdjęcie: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (NL)

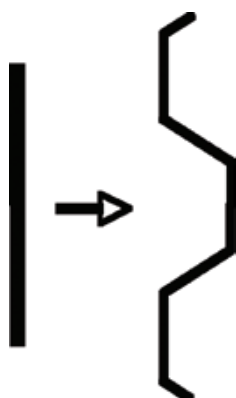
Chemikaliowce transportują dużą różnorodność płynnych chemikaliów. Typowe ładunki to produkty chemiczne, petrochemiczne i spożywcze, np. kwas fosforowy, kwas siarkowy, produkty ropy naftowej, oleje roślinne oraz melasa. W porcie, produkty są bezpośrednio przepompowywane do jednego ze zbiorników statku, który może mieć wymiary tysięcy metrów sześciennych. Zbiornikowiec zwykle posiada ich kilka, co umożliwia transportowanie wielu różnych ładunków.

Płyny korozyjne



Zdjęcie: Outokumpu, Degerfors (S)

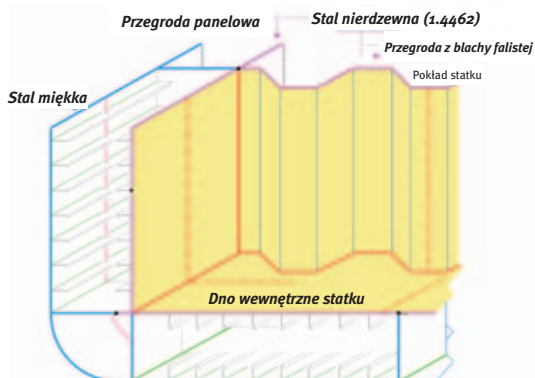
Blacha falista do zwiększania sztywności



Sztywność elementu konstrukcyjnego jest proporcjonalna do jego momentu bezwładności. Moment ten może być zwiększony poprzez przesunięcie możliwie jak największej masy z dala od środka ciężkości. Blacha falista może okazać się bardziej interesującym elementem konstrukcyjnym niż płaska płyta o większej grubości. Seria bardzo dużych przedziałów wykonanych z pofalowanej stalowej ściany („przegrody”), zwiększa sztywność, np. statku transportowego.

Przegrody z blachy falistej są również łatwiejsze w czyszczeniu po każdym ładunku od tradycyjnych rozwiązań, złożonych z wewnętrznych elementów usztywniających.

Ponieważ jednostki pływające stanowią poważną inwestycję, muszą być możliwie najbardziej uniwersalne. Gatunki stali austenitycznej EN 1.4406 (AISI 316LN), EN 1.4434 (AISI 317LN) lub gatunek duplex EN 1.4462 są zwykle stosowane do transportu agresywnych płynów, takich jak te wymienione już wcześniej. Gatunki Cr-Ni-Mo nie tylko są bardziej odporne na działanie większości czynników korozyjnych niż gatunki Cr-Ni, ale również umożliwiają pracę w wyższych temperaturach, ułatwiając dzięki temu obsługę zbiornikowca podczas załadunku i/lub rozładunku.

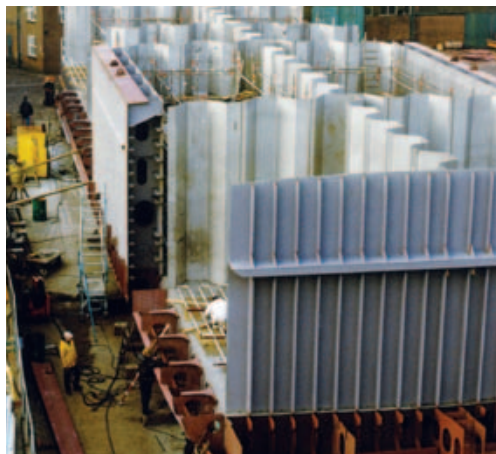


Schemat: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (NL)

Odporność konstrukcji na zniszczenie

Sztywność i odporność na korozję to właściwości niezbędne, ale zarazem niewystarczające do sprostania wymaganiom konstrukcyjnym zbiornikowca, który wart jest 35 milionów dolarów. Magazynowanie oraz transport chemikaliów obwarowane są surowymi przepisami budownictwa okrętowego. Kryterium uszkodzenia, na przykład stalowej przegrody, związane jest zasadniczo z symptomem uszkodzenia plastycznego, co oznacza, że granica plastyczności ($R_{p0.2}$) materiału konstrukcyjnego stanowi ważne kryterium jego doboru.

Nierdzewne stale typu duplex wykazują znacznie wyższą granicę plastyczności niż austenityczne stale nierdzewne, dzięki czemu są one preferowanym materiałem na przegrody. Zastosowanie tych stali umożliwia tworzenie lżejszych konstrukcji, co z kolei podwyższa ładowność statku - bardzo istotne kryterium w przewozie ładunków.



Zdjęcie: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (NL)



Zdjęcie: Cantiere Navale De Poli, Venice (I)

Różnorodne korzyści z zastosowania nierdzewnych stali typu duplex

Nierdzewne stale typu duplex posiadają taką samą unikalną podatność na przeróbkę plastyczną jak austenityczne stale nierdzewne – właściwości w pełni odpowiednie do budowy falistych struktur, które zwiększają sztywność przedziałów zbiornikowca. Dodatkowo, wysoka granica plastyczności nierdzewnych stali typu duplex oraz ich znaczny potencjał do zmniejszania ciężaru poprzez możliwość stosowania zmniejszonych grubości ścian sprawia, że spełniają one wymogi budownictwa okrętowego.

Dzięki kombinacji chromu, molibdenu oraz azotu, gatunek ten jest wysoce odporny na korozję lokalną, wżerową oraz szczelinową. Poszerza to gamę chemikaliów (o różnych temperaturach), jakie może transportować jeden statek, ostatecznie zwiększając grupę klientów zainteresowanych tym typem dóbr inwestycyjnych.

14 Literatura

- [1] DE MEESTER, Paul, *Kwaliteitscontrole en mechanische eigenschappen van materialen*, 2nded., 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, CD-ROM), 3rded., Luxemburg: Euro Inox, 2006
- [3] *Stainless steel for structural automotive applications – Properties and case studies* (Automotive Series, Volume 1, CD-ROM), 3rded., Luxemburg: Euro Inox, 2006, “Forming” chapter
- [4] “Deformazione plastica a freddo dell’acciaio inossidabile”, *Inossidabile 154*, Milan: Centro Inox, 2003
- [5] *Handbook “Spinning and shear forming”*, 2nded., 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 978-2-87997-219-0