



**STALE NIERDZEWNE
AUSTENITYCZNE
O WYSOKIEJ WYTRZYMALOŚCI
W PASAŻERSKICH WAGONACH
KOLEJOWYCH
I W INNYCH ZASTOSOWANIACH**

**Seminarium – Co nowego w
stalach nierdzewnych**

**Stowarzyszenie Stal Nierdzewna
Poznań, 5 czerwca 2013**

**mgr inż. Władysław Jaxa-Rożen
Bombardier Transport –
Ameryka Północna
Montreal, Kanada**

BOMBARDIER
the evolution of mobility

Program referatu

- Wstęp**
- Wagony pasażerskie**
 - **Zarys historyczny**
 - **Materiały**
 - **Zgrzewanie i spawanie**
 - **Konstrukcja**
 - **Wytwarzanie**
 - **Zapewnienie jakości**
- Inne zastosowania**
- Szczególne sytuacje dotyczące omawianych stali**
- Podsumowanie**

Firma Bombardier



Siedziba
zarządu:
Montréal,
Kanada

Zatrudnienie:
ponad 70 000
osób

26 krajów
80 ośrodków
(produkcja i
biura)

Dochód
roczny 16,8
miliardów \$
US

Akcje:
Toronto Stock
Exchange
(BBD)

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Początki

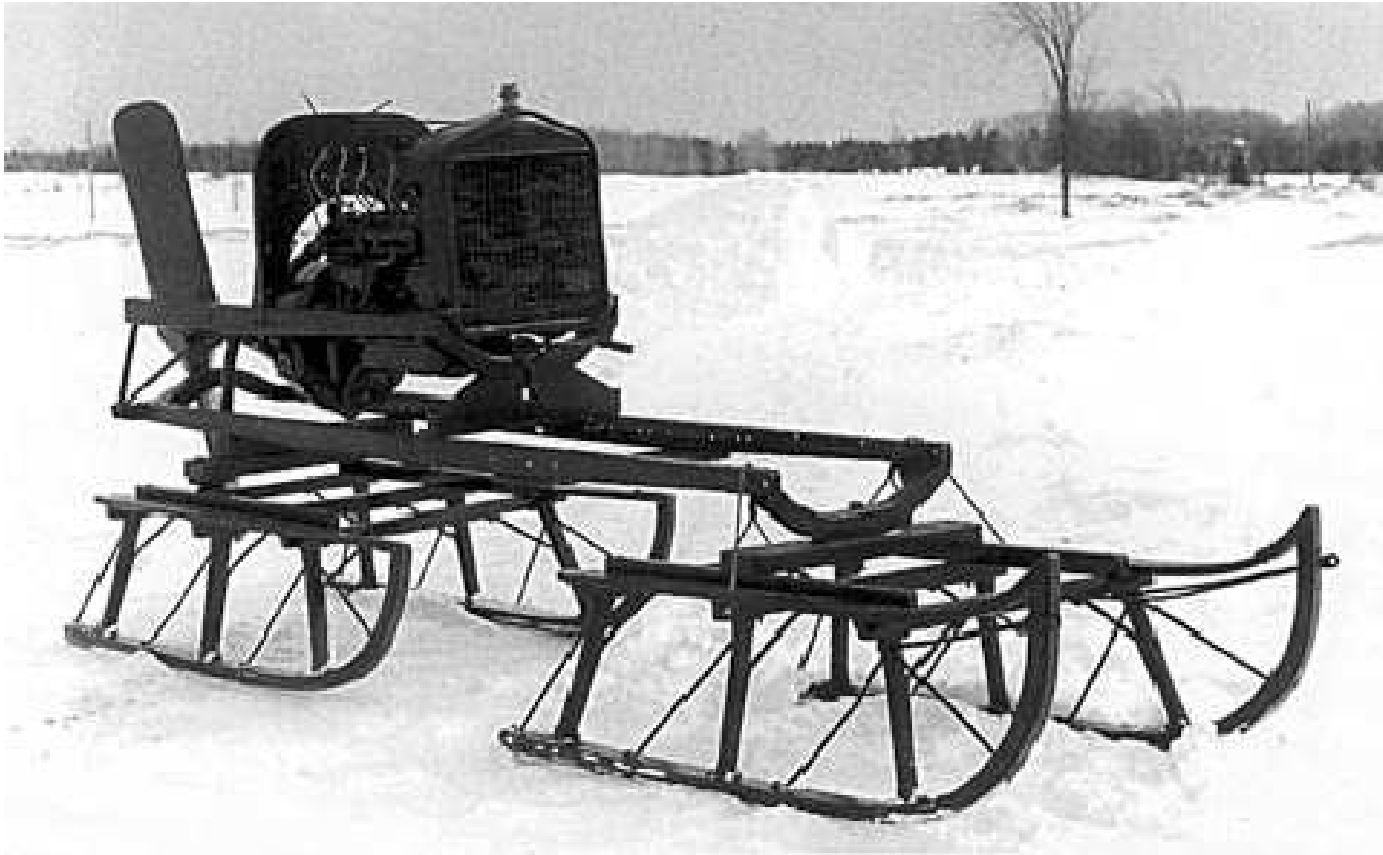


(Museum Joseph-Armand Bombardier)

Joseph-Armand Bombardier (1907 – 1964)
Założyciel firmy Bombardier Inc., 1941
Wynalazca pojazdów do poruszania się po śniegu

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Początki



(Museum Joseph-Armand Bombardier)

1922

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Początki



(Museum Joseph-Armand Bombardier)

Pojazd B-12, 1941

Całkowita produkcja: 7000 sztuk

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Początki



(Bombardier)

Ski-Doo MX Z-REV Edition 007

Co może mieć
wspólnego
skuter śnieżny
z wagonami
pasażerskimi?

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Początki



(Wikipedia)

Moto-Ski
La Pocatière,
prowincja
Quebec



(Bombardier)

Przekształcenie fabryki Bombardier La Pocatière:
1974 - kontrakt na wagony metra dla Montrealu

Początki

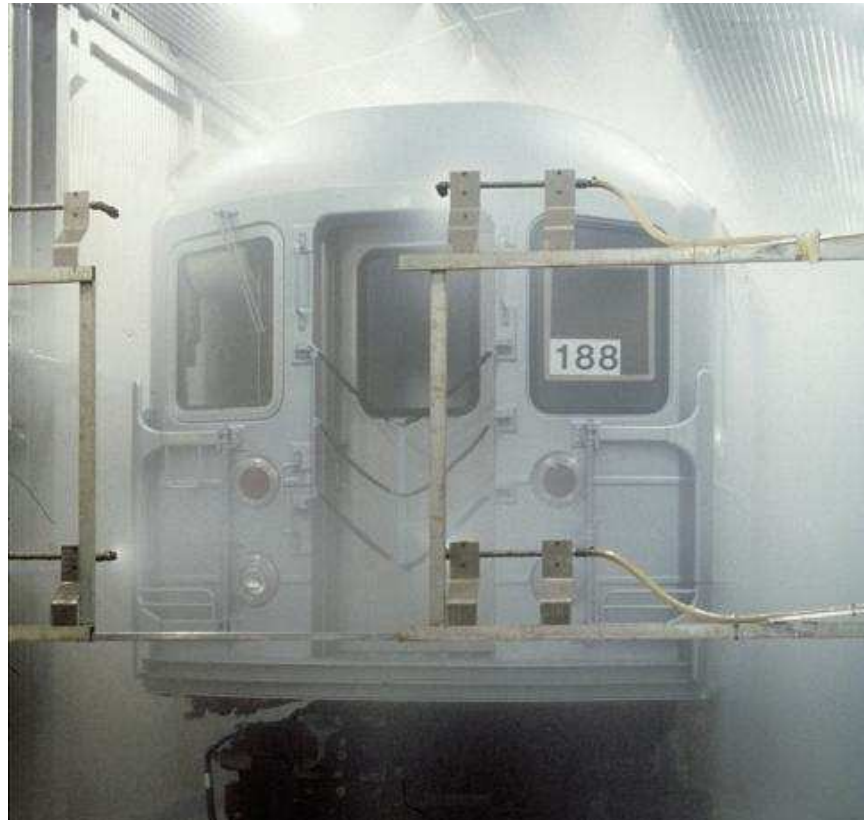


(Bombardier)

Bombardier La Pocatière, 2010

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Początki



(Bombardier)

Bombardier La Pocatière, 1982: kontrakt na 825 wagonów ze stali nierdzewnej dla metra nowojorskiego

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Początki

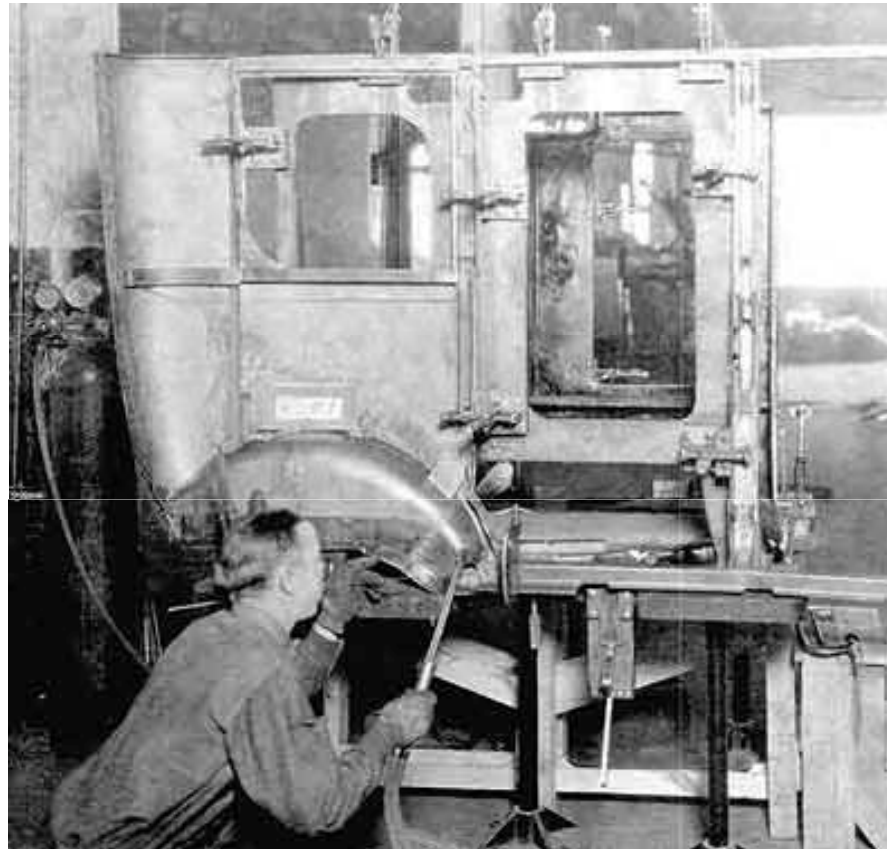


(Hagley Museum & Library)

Edward Gowan Budd (1870 – 1946)
Założyciel firmy Edward G. Budd Mfg. Co (1912)

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Początki



(Coachbuilt encyclopedia – Budd Co.)

Budd Mfg. Co: po raz pierwszy na świecie - metalowe karoserie samochodowe i wprowadzenie produkcji taśmowej

Początki



(Wikipedia)

Lafayette – samobieżny pojazd ze stali nierdzewnej na kołach gumowych, 1932

- Pomysł użycia stali nierdzewnej do produkcji wagonów pasażerskich: Ralph Budd, prezes Burlington Railway (1879 - 1962) i Edward G. Budd
- Najważniejsze aspekty: rewolucyjny materiał o wysokiej wytrzymałości, nowy styl konstrukcji i całkowita zmiana technologii wytwarzania
- Kontrakt: krótki pociąg Zephyr

Początki

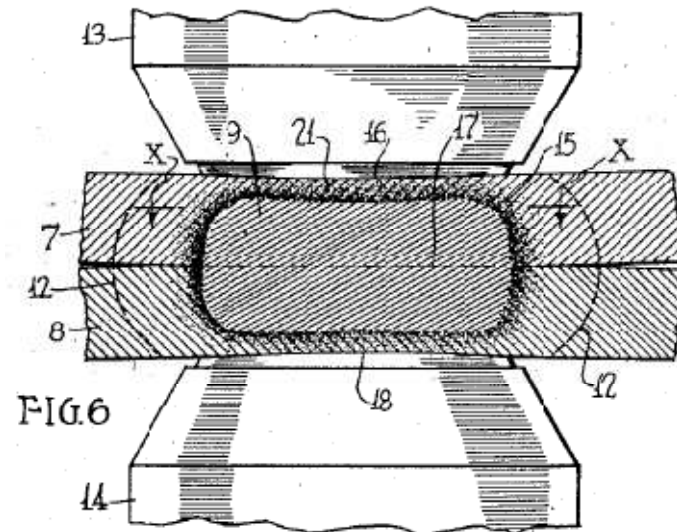
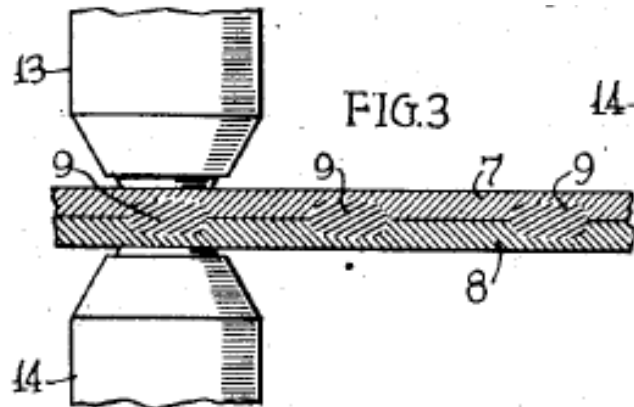
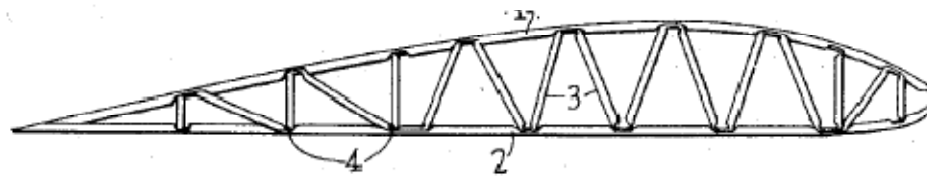
Jan. 16, 1934.

E. J. W. RAGSDALE

1,944,106

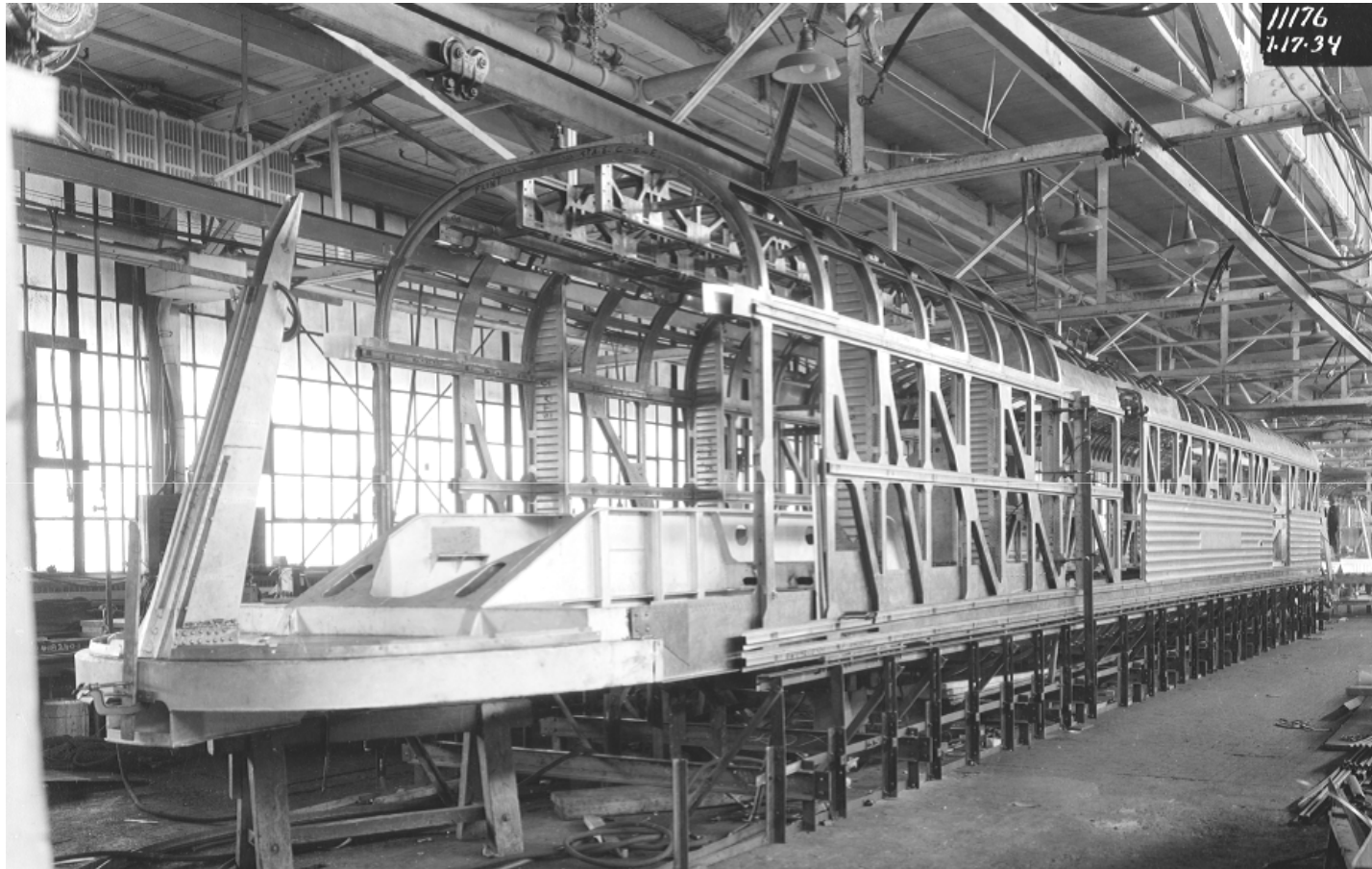
METHOD AND PRODUCT OF ELECTRIC WELDING

Original Filed Aug. 20, 1932



„Shotweld”: odmiana procesu zgrzewania o krótkim cyklu
(uniknięcie wytrącania węglków chromu)

Początki

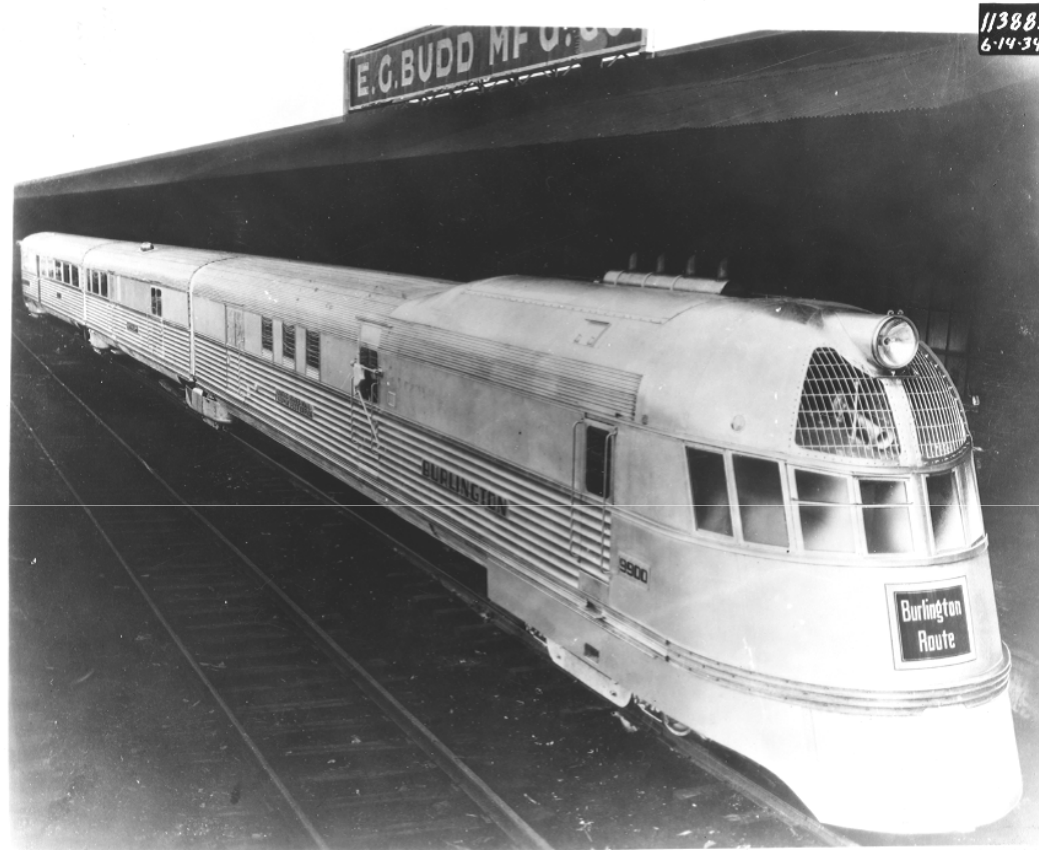


(Hagley Museum & Library)

Zephyr w produkcji

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Początki



(Hagley Museum & Library)

Zephyr: stały skład, po raz pierwszy: wózki między wagonami,
napęd Diesel – elektryczny, kilkakrotna redukcja masy, kształt
aerodynamiczny (początek „streamline design”)

Początki



(Wikipedia)

Zephyr: starannie zaprojektowane wnętrza, oświetlenie jarzeniowe, komfort

Początki



(Wikipedia)
„Zephyrette” przy systemie nagłośnienia

Początki



(Wikipedia)

Przejazd bez zatrzymania z Denver na wystawę światową w Chicago 26 maja 1934:
1633 km, predkość średnia 124 km/h, maksymalna 181 km/h; maskotka Zeph



PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Rozwój



(Wikipedia)

Reklama – „normalny” pociąg z lokomotywą dużej mocy;
„Zephyrette” obsługująca podróżnych

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Rozwój



(Bombardier)

Pullman, USA, później Bombardier, Kanada

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Rozwój



(Wikipedia)

Japonia 1962 (licencja Budd)

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Rozwój



(Wikipedia)

Japonia, lata 2000

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Rozwój



(Wikipedia)

Indie

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Rozwój



(Wikipedia)

Australia

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Rozwój



(Wikipedia)

Szwecja

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Rozwój

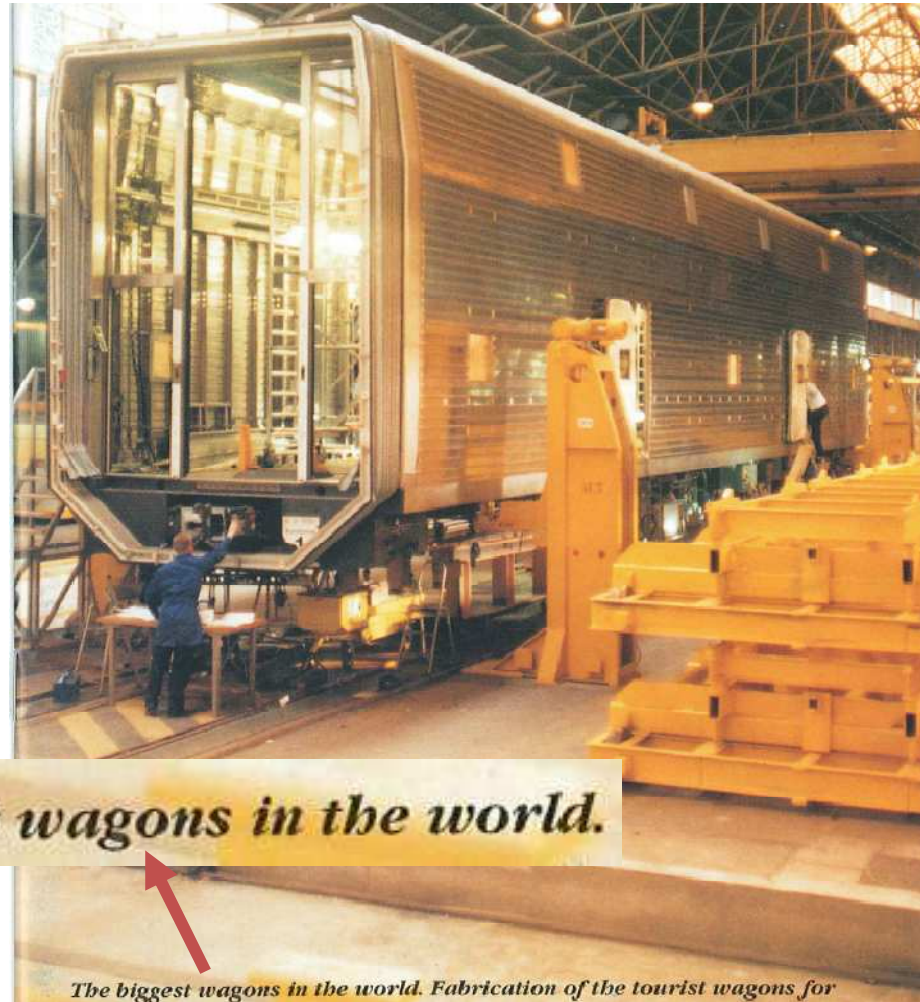


(Nickel Institute)

Eurotunnel: wagony do przewozu samochodów i autobusów przez tunel pod kanałem La Manche. Lokomotywa ma normalny gabaryt. Produkcja pudeł: Bombardier; La Pocatière - podzespoły, Brugge (Belgia) i Crespin (Francja) - montaż ostateczny.

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Rozwój



The biggest wagons in the world.

The biggest wagons in the world. Fabrication of the tourist wagons for (Transmanche Link)

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Materiały

Podstawowe stale

Składnik	Gatunek / zawartość składnika w %			
	Allegheny 18-8 (1930)	304 (1.4301)	301L (1.4318)	201LN (1.4371)
C	0,12	0,08	0,03	0,03
Cr	17,0 min	18,0-20,0	16,0-18,0	16,0-17,5
Ni	7,0 min	8,0-10,5	6,0-8,0	4,0-5,0
Mn	0,2-2,5	2,0	2,0	6,4-7,5
Si	0,2-1,5	0,75	1,0	0,75
Cu	0,5	-	-	-
N	-	0,10	0,20	0,25

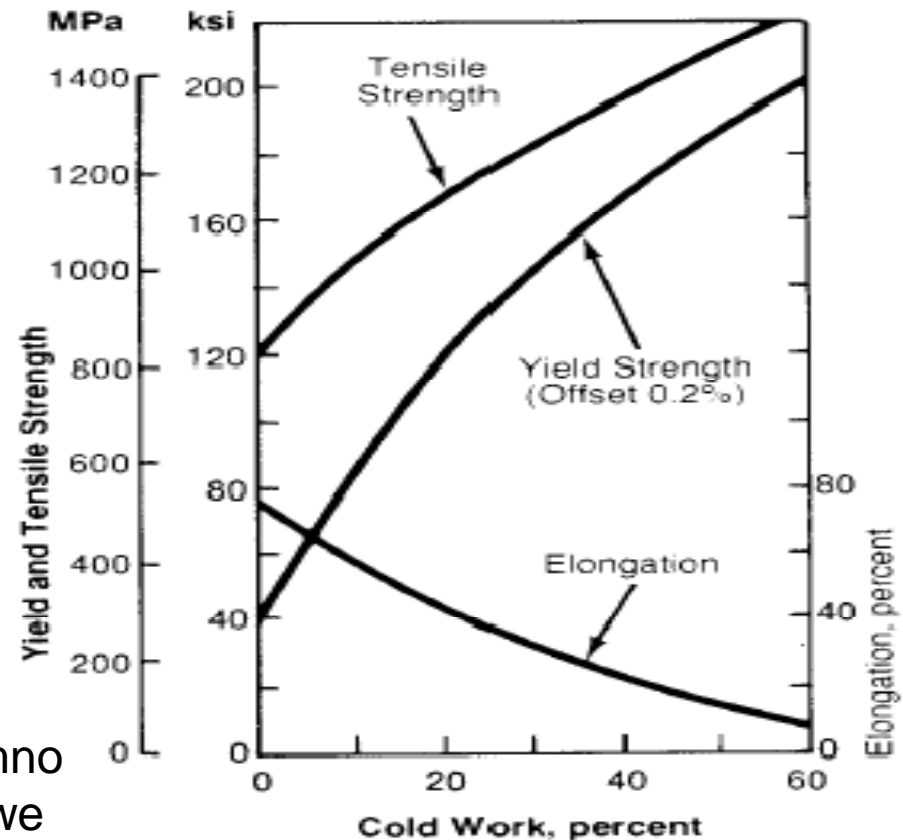
Wartości pojedyncze: zawartość maksymalna.

Materiały

Własności mechaniczne

- Własności zwyczajowo podawane: materiał w stanie wyżarzonym.
- Zgniot na zimno: znaczny wzrost wytrzymałości; normy: ASTM A666, EN 10088-2
- Wagony pasażerskie: główna dziedzina zastosowania nierdzewnych stali austenitycznych o wysokiej wytrzymałości.
- Wykres: wpływ zgniotu na zimno na własności wytrzymałościowe stali 301 (1.4310)

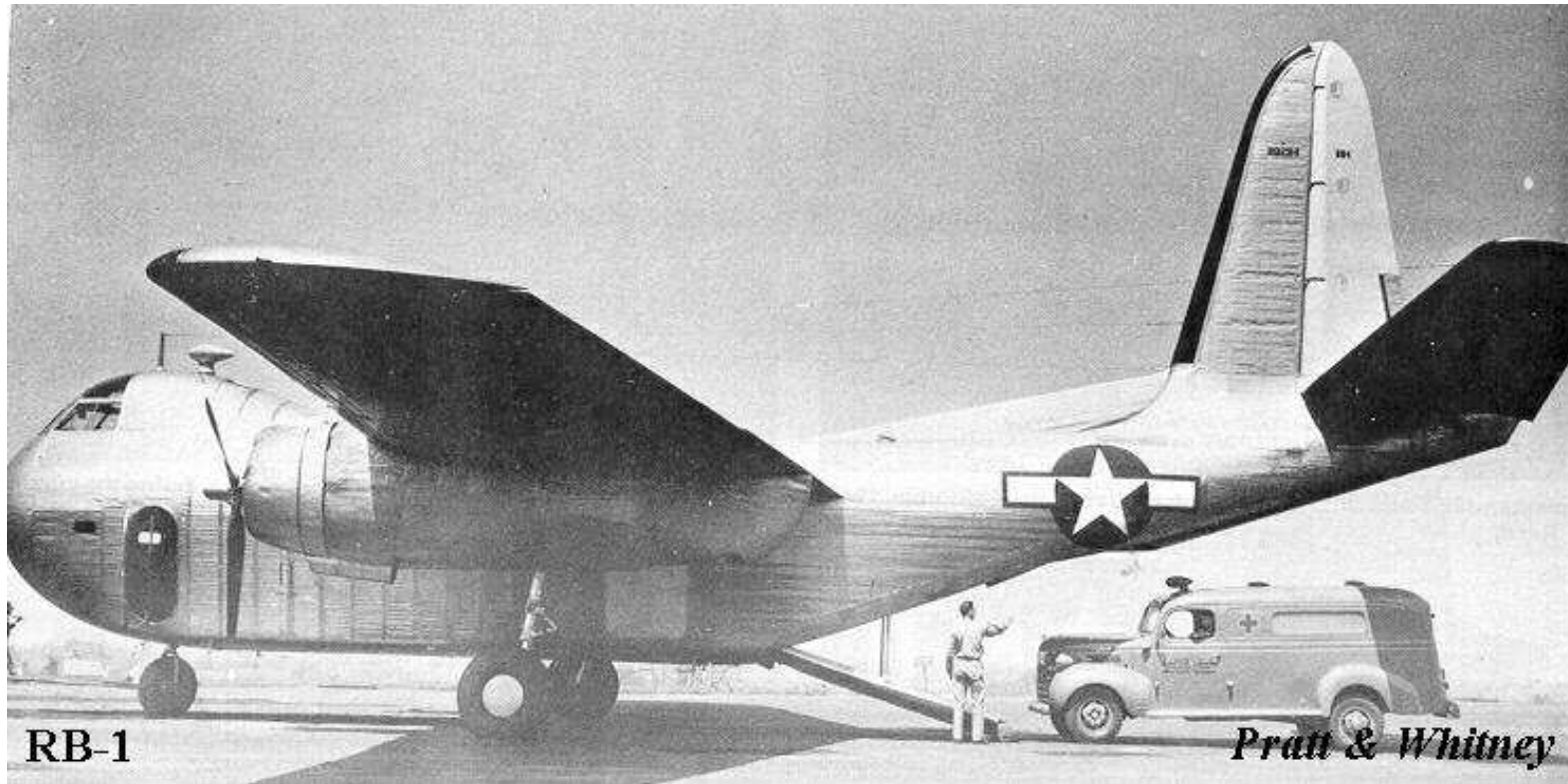
Effect of Cold Work on Mechanical Properties of Type 301 (2)



Nickel Institute Publication 9014

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Materiały



(Wikipedia)

Stale utwardzane zgniotem: wysoki stosunek wytrzymałości do ciężaru właściwego.
Samolot transportowy RB-1, produkcja: Budd, lata 1940, 20 sztuk; kabina pilotów
ponad lukiem na cargo, po raz pierwszy: podwozie trójkołowe i rampa załadunkowa.

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

C



(Hagley Museum & Library)

RB-1 Conestoga w locie

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Materialy



153
• BUDD RB-1 •
CONESTOGA
transport
1944 - 1954
The only all stainless
steel, welded aircraft.
no rivets used
• Donated by •
Ned S. Robinson

RB-1 Conestoga, PIMA Air and Space Museum, Tucson, Arizona

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Materialy



RB-1 Conestoga, PIMA Air and Space Museum, Tucson, Arizona

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Materialy

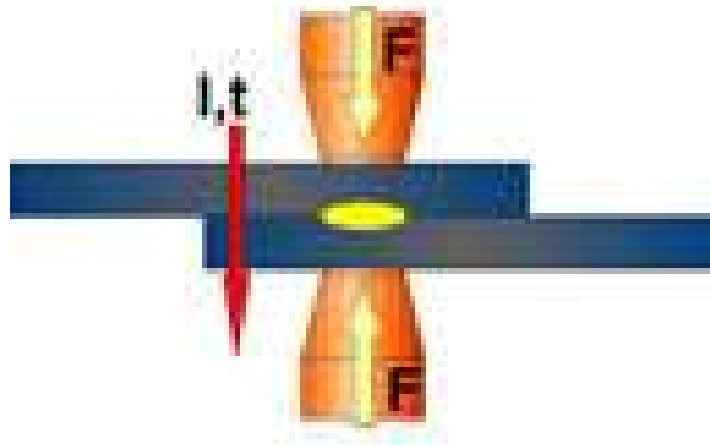


(Nickel Institute)

Przykład zdolności stali nierdzewnej do znacznych odkształceń

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Zgrzewanie



Schemat zgrzewania oporowego

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Zgrzewanie

Stale nierdzewne austenityczne: idealny materiał dla zgrzewania oporowego.

Współczynniki porównawcze – stal nierdzewna austenityczna względem stali węglowej:

- Rezystywność: 3,5
- Przewodność cieplna: 0,3
 - Skutek: stosunkowo niskie prądy zgrzewania
- Rozszerzalność cieplna: 1,4
 - Skutek: wymagane duże naciski elektrod i ich twardość.

Brak przemiany alotropowej (gamma-alfa).

- Skutki: plastyczność zgrzein i stref wpływu ciepła, oraz możliwość zgrzewania materiałów o dużej grubości.

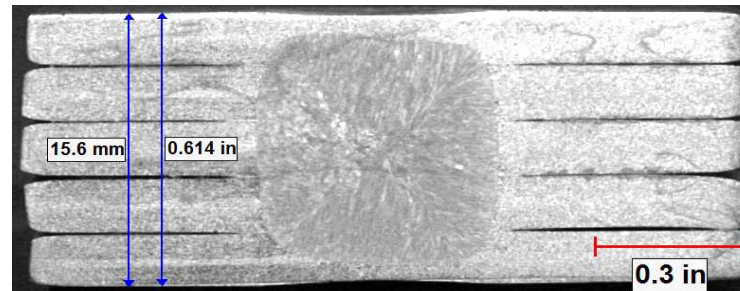
Zgrzewanie



(Bombardier)
Przykład plastyczności zgrzeiny

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Zgrzewanie



Grubość
całkowita:
15,6 mm

(Bombardier)

Przykład zgrzewania materiałów o dużej grubości.

Zgrzewanie

Urządzenia

Wymagania ogólne

- Stosunkowo umiarkowane natężenia prądu względem grubości materiałów; maksimum ok. 15 kA dla zgrzewania punktowego i ok. 30 kA dla zgrzewania liniowego
- Znaczne siły docisku, do 20 kN
- Długie wieloimpulsowe programy dla większych grubości
- Sztywna konstrukcja
- Materiały niemagnetyczne w obrębie obwodu spawania
- W miarę możliwości prostoliniowy ruch elektrod
- Wysoka niezawodność

Zgrzewanie

Zgrzewarki



(Wikipedia)

Zgrzewarka przenośna



(Bombardier)

Zgrzewarka stacjonarna

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Zgrzewanie



(Bombardier)

Zgrzewarka mobilna dostosowana
do pracy stacjonarnej

Zgrzewanie



(Bombardier)

Zgrzewarka kleszczowa specjalna o dużym wsięgu

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

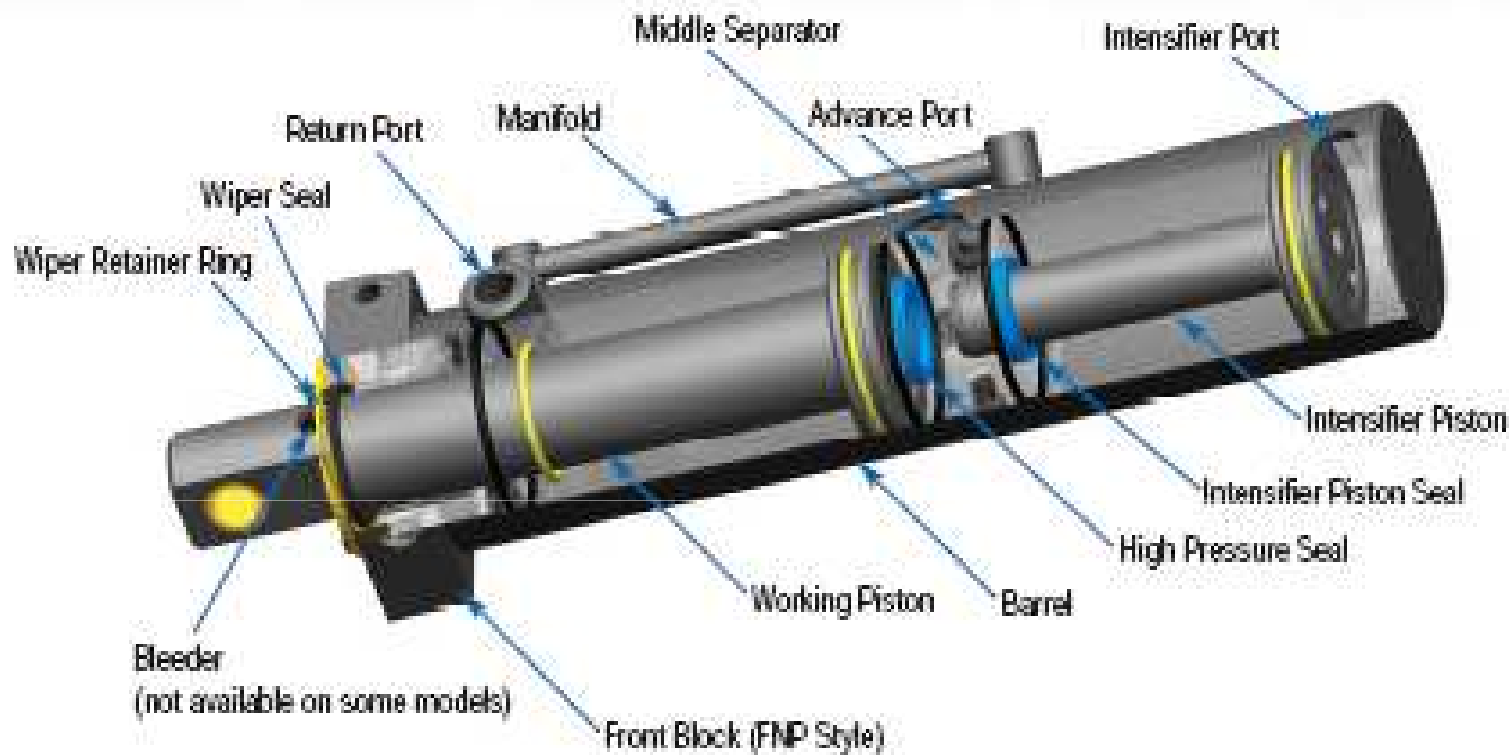
Zgrzewanie

Siłowniki

Wymagania

- Szybki dosuw
 - Długi skok
 - Znaczny docisk
 - Miękki kontakt z powierzchnią części zgrzewanych
 - Ograniczone wymiary
- Trudność: połączenie przeciwstawnych wymagań.
- Rozwiązanie: Siłownik olejno-pneumatyczny z wewnętrznym wspomaganie
- Przyszłość: Siłowniki elektryczne

Zgrzewanie



(Centerline Windsor, Ontario, Kanada)

Siłownik ze wspomaganie wewnętrznym

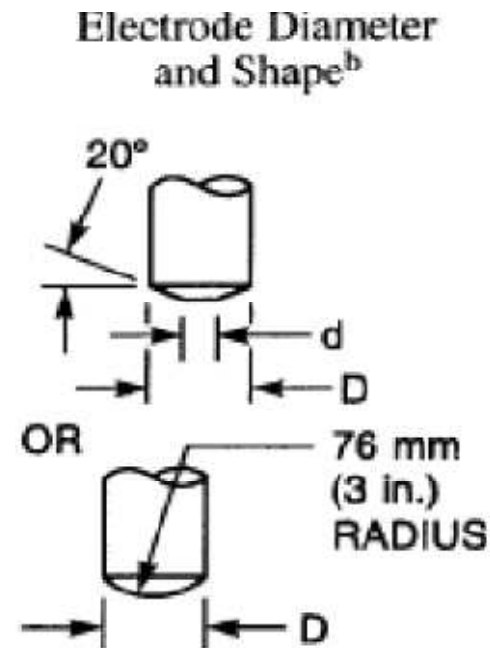
PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Zgrzewanie

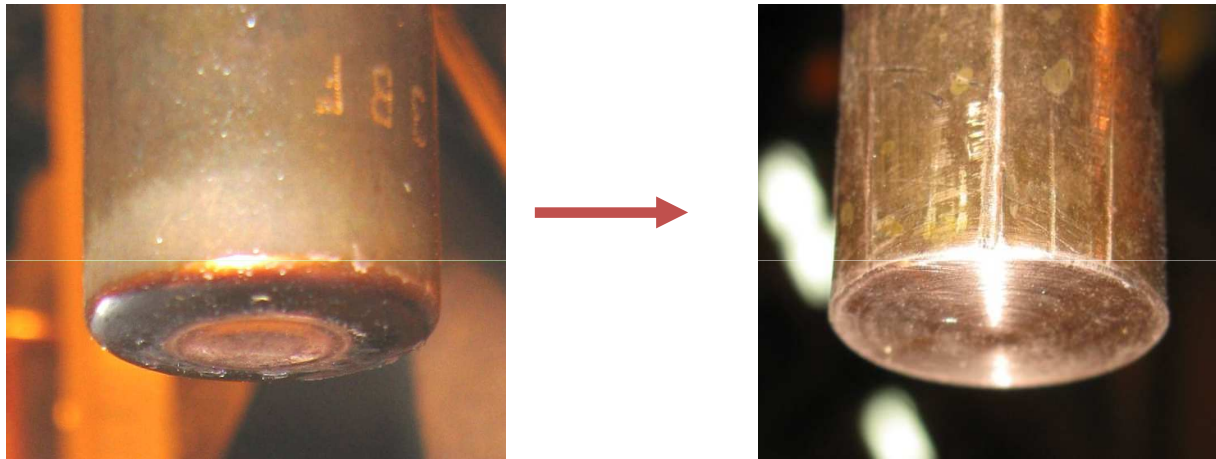
Elektrody

- Materiał: stopy RWMA Class 3: wysoka twardość ale kosztem przewodności
- Tradycja: brąz berylowy, UNS C17510
- Problem: toksyczność berylu
- Rozwiązanie: stop miedzi z niklem, krzemem i chromem, UNS C18000.
- Duże średnice, do 25 mm
- Zaokrąglona powierzchnia kontaktowa

(AWS C1.1 Recommended Practices for Resistance Welding)



Zgrzewanie



(Bombardier)

Konieczność regularnej regeneracji powierzchni roboczych

Zgrzewanie



(Bombardier)

Czyste elektrody – czyste zgrzeiny

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Zgrzewanie

Przemieszczanie zgrzewarek ruchomych

Systemy portalowe i wyciągowe; przemieszczanie :

- ręczne (wzorniki z otworami dla dokładnego pozycjonowania elektrod/zgrzein)
- mechaniczne
- automatyczne
- zrobotyzowane

Zgrzewanie



(Bombardier)

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Zgrzewanie



Tauro System (Bisiach e Carrù, Włochy)

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Zgrzewanie



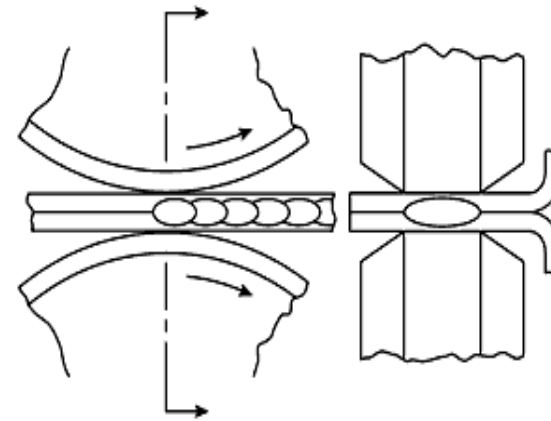
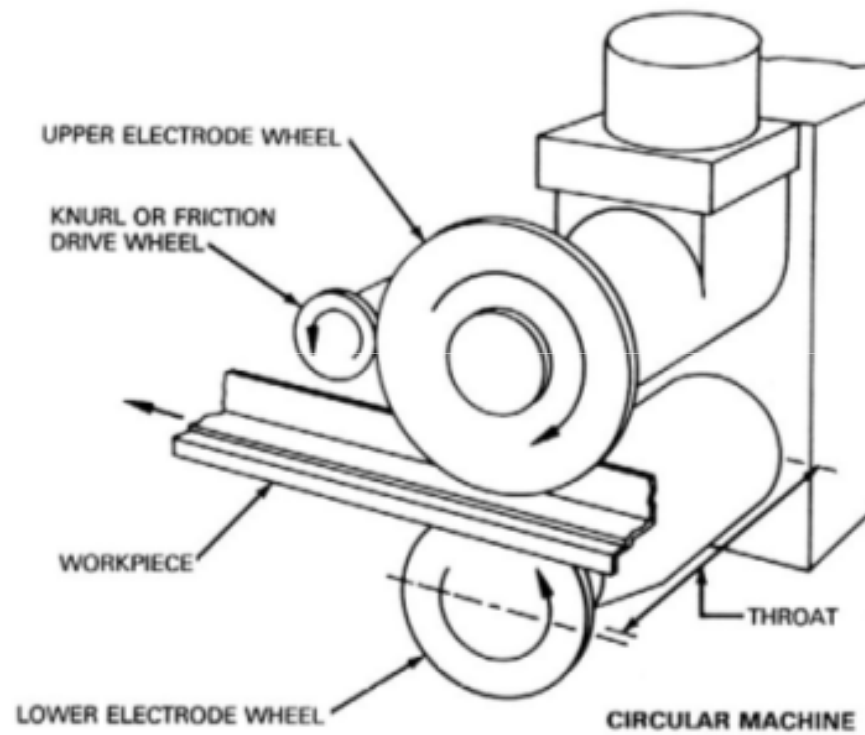
(Bombardier)

System do zgrzewania dachów i ścian bocznych

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Zgrzewanie

Zgrzewanie liniowe



(Wikipedia)

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Zgrzewanie



(Bombardier)

Zgrzewarka liniowa

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

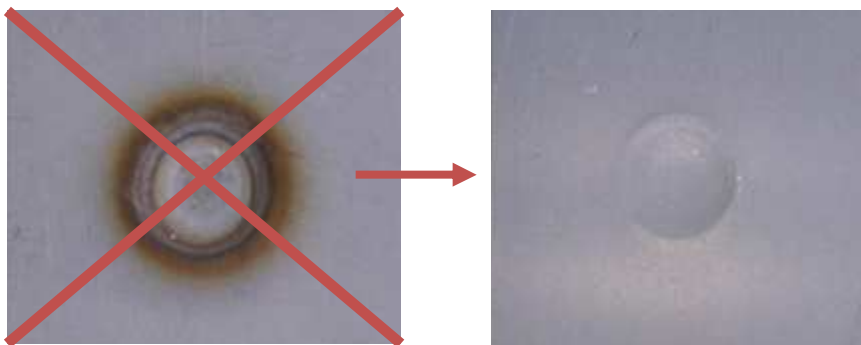
Zgrzewanie

JAKOŚĆ

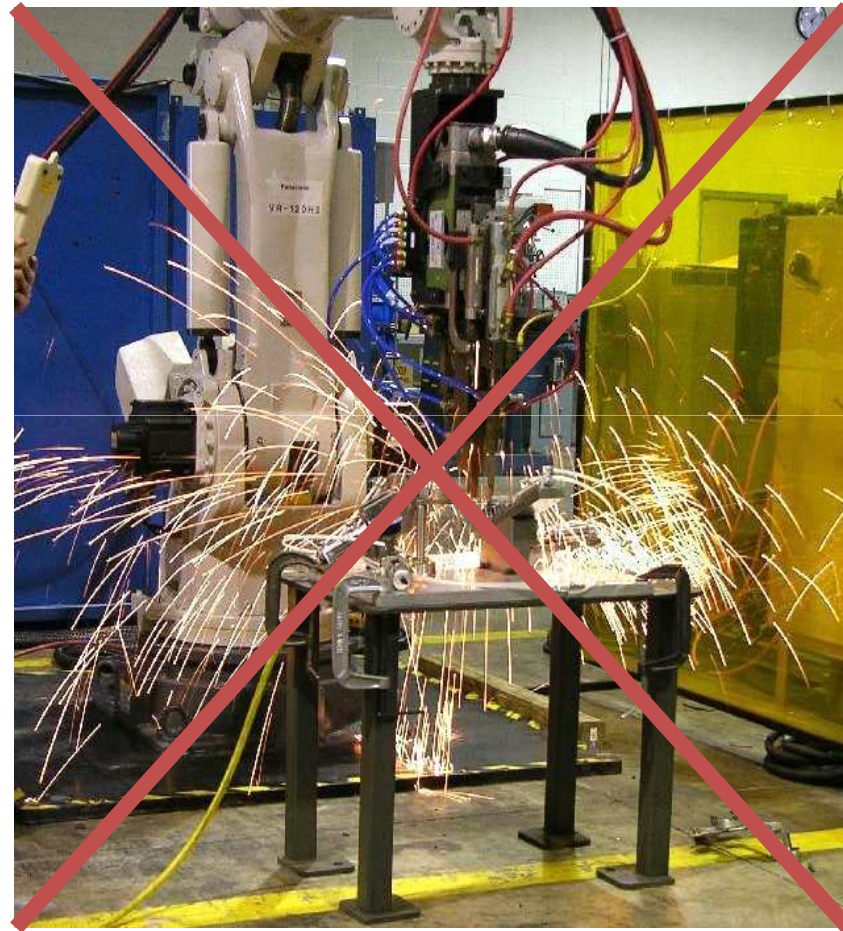
Każda zgrzeina się liczy.

Wymagania ogólne:

- nie dopuszcza się wytrysku jądra
- wgniot od elektrod: płytki i jednolity
- nie dopuszcza się barw nalotowych na powierzchniach zewnętrznych.



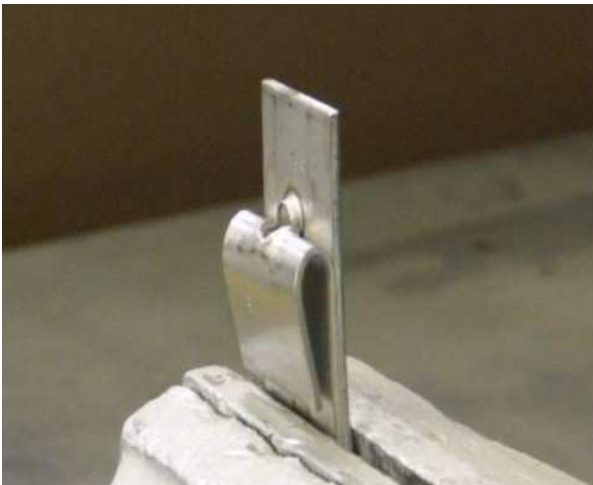
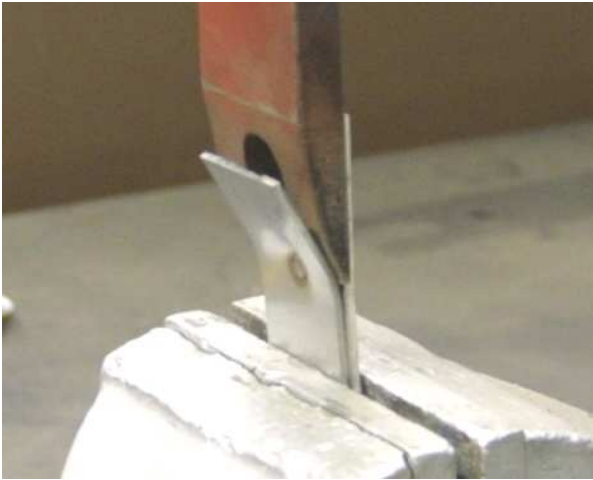
(Bombardier)



(Wikipedia)

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Zgrzewanie



(Bombardier)

Próba wyluskiwania zgrzeiny

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Zgrzewanie

Kontrola jakości

Ścisła kontrola produkcji:

- częste próby wyłuskiwania zgrzein
- okresowe powtarzanie prób kwalifikacyjnych
- miejscowe i zdalne monitorowanie parametrów
- nieustanna czujność pracowników

Zgrzewanie

SPAWANIE ŁUKOWE

- Procesy: GMAW (MAG, 135); GTAW (TIG, 141; głównie spoiny punktowe). Zastosowanie ograniczone.
- Złącza: stal nierdzewna ze stalą nierdzewną i ze stalą niskostopową
- Trudności:
 - odkształcenia
 - barwy nalotowe

Spawanie łukowe

Przenoszenie ciekłego metalu w łuku:

- zwarciove; klasyczne lub sterowane elektronicznie, wszystkie pozycje
- prądem pulsującym, zwłaszcza w pozycji pionowej

Metale dodatkowe

- ER308L (19 9L): stal nierdzewna ze stalą nierdzewną
- ER309L (23 12L): stal nierdzewna ze stalą węglową i niskostopową
- ER“307” (18 8 Mn): zastosowanie uniwersalne; uwaga: wysoka zawartość węgla
- ER312 (29 9): wysoka wytrzymałość, zastosowanie uniwersalne, wysoka zawartość węgla; “duplex”

Gazy ochronne

- He + Ar + CO₂ : mieszanki preferowane ale drogie
- Ar + 2% CO₂ : kompromis między własnościami i ceną

Spawanie łukowe



(Bombardier)

Palnik z odsysaniem pyłów (Cr_{VI})



PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Spawanie laserowe

SPAWANIE LASEROWE: technologia XXI wieku

Proces w początkach zastosowania w produkcji wagonów pasażerskich

- eliminacja wgniotu zgrzein
 - duża szybkość
 - istotne zmiany jakościowe

Najważniejsze aspekty:

- koszt
- wybór partnerów i współpraca z nimi
- opanowanie procesu
- zasadnicze zmiany w konstrukcji i w produkcji wyrobu
- własności złącz
- instalacja: laser, robot, zamknięta przestrzeń robocza, oprzyrządowanie
- zapewnienie jakości

W razie powodzenia: **wielki sukces**

W razie niepowodzenia: **wielki problem**

Konstrukcja pudeł

Granica plastyczności:

Stale nierdzewne

A666/EN10088-2; Re:

- 515/500 MPa
- 700 MPa

Stale niskostopowe

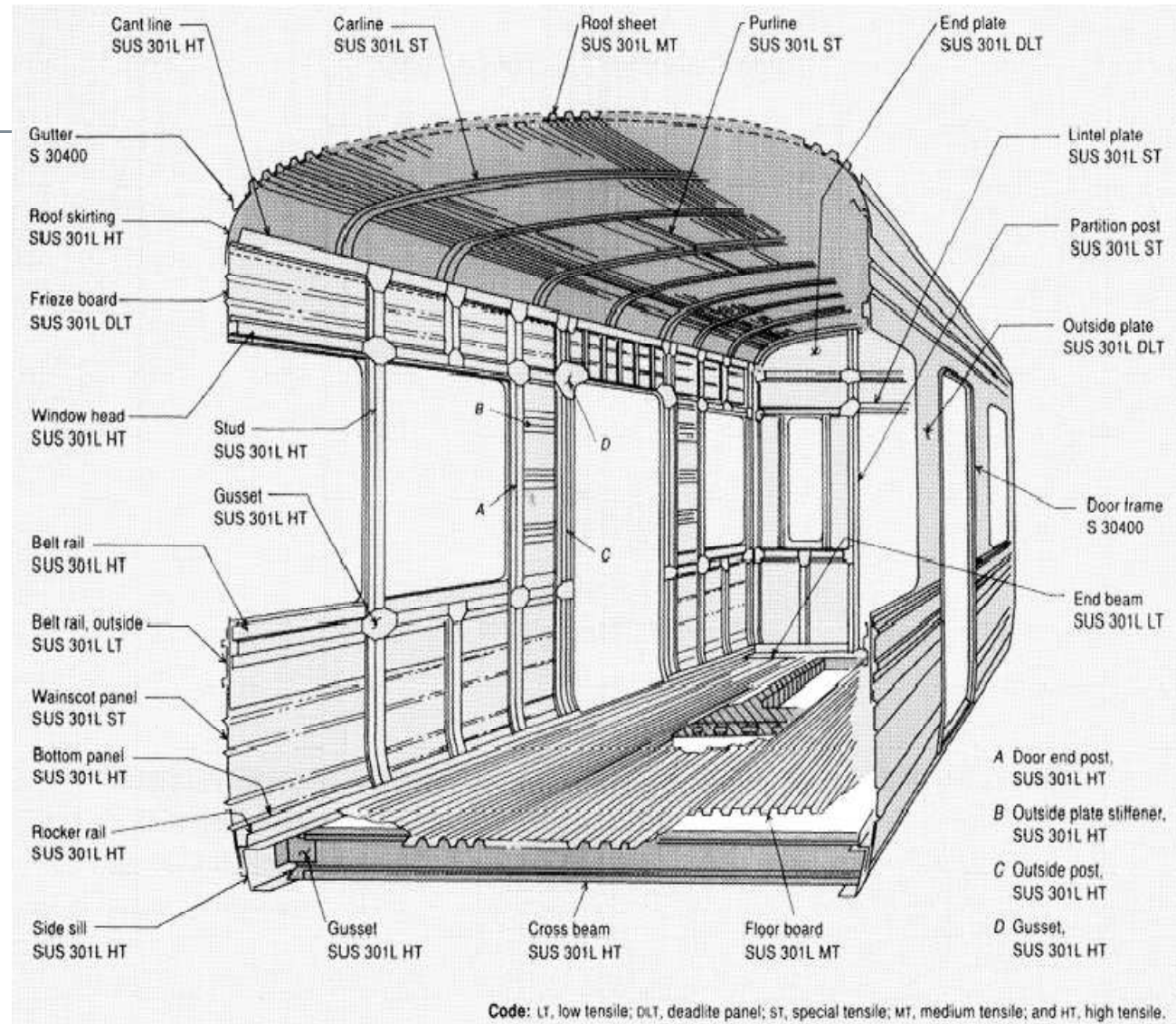
Re do 700 MPa

Masa pudła

- stal nierdzewna: 5-10 ton
- stal niskostopowa: 4-8 ton

Próby pudła:

- ściskanie wzdłużne
- obciążenie podłogi
- podnoszenie po przekątnej
- setki tensometrów



(Nickel Institute dokument 14025)

Konstrukcja

Wytrzymałość złącz

Zgrzeiny punktowe

- wytrzymałość na ścinanie: AWS C1.1, AWS D17.2

Zgrzeiny liniowe

- pomijane w obliczeniach

Spoiny

Wytrzymałość stopiwa jest niższa niż materiału rodzimego (1)

- niewielkie zmiękczenie strefy wpływu ciepła
- własności złącz określane w wyniku prób

(1) Sytuacja dozwolona pod pewnymi warunkami w AWS D1.6 Structural Welding Code – Stainless Steel i uwzględniana w obliczeniach. Nie powoduje trudności – złącza doczołowe pracujące na rozciąganie występują bardzo rzadko.

Wytwarzanie

Cięcie

- cięcie prostoliniowe: nożyce
- cięcie profilowe: głównie laserem, cięcie plazmą wychodzi z użycia

Gięcie

- łatwość gięcia i profilowania rolkowego nawet w stanie utwardzonym; przykład: dla materiału o $R_e = 700 \text{ MPa}$, promień gięcia $R = 2t$ w obu kierunkach

Nieustanna dbałość

- Zanieczyszczenie żelazem i zadrapania są niedopuszczalne.

Wytwarzanie

➤ Trudności	➤ Rozwiązania
Zadrapania i zanieczyszczenia powierzchni zewnętrznych są niedopuszczalne.	Plastyczna folia ochronna. Przestrzeganie zasad dotyczących manipulacji i procesów technologicznych.
Naprawa wykończenia powierzchni jest bardzo trudna.	Jak wyżej. Specjalne metody w razie potrzeby.
Prostowanie cieplne blach poszycia jest niemożliwe.	Blachy równane rozciąganiem. Kolejność spawania i zgrzewania.
Powierzchniowe wady zgrzein są niedopuszczalne.	Dbłość o elektrody zgrzewarek.
Barwy nalotowe wokół zgrzein są niedopuszczalne.	Długi czas przekuwania. Gaz ochronny.

Wytwarzanie



(Wikipedia)

Dwa wyroby: wymagania estetyczne podobne, ale wielkość całkiem inna...



(Bombardier)

© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Stacja końcowa



(Bombardier)

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Stacja końcowa



(Bombardier)

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Konstrukcje rurowe

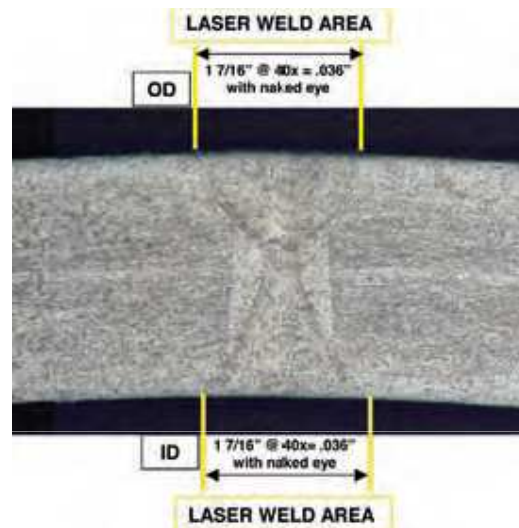
Profile spawane: TIG, laser, prądy wysokiej częstotliwości



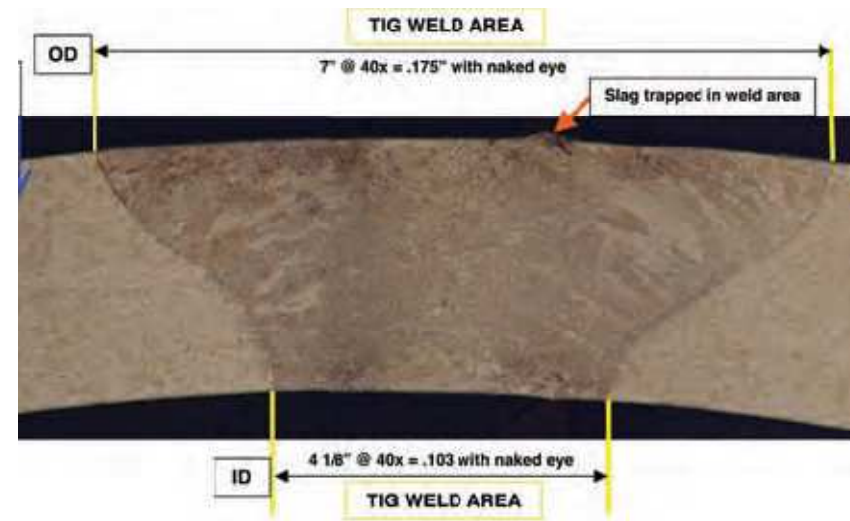
(Stalatube, Finlandia)

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Konstrukcje rurowe



(United Industries, USA)



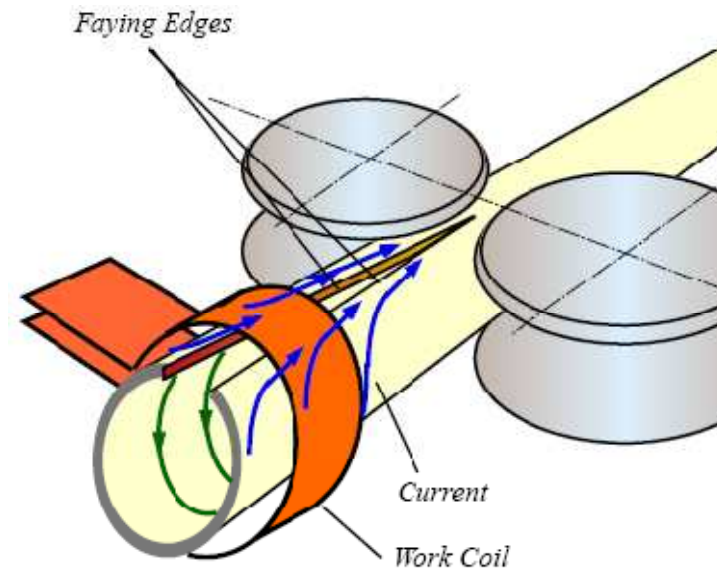
Wąska spoina laserowa ma wyższą wytrzymałość niż spoina wykonana metodą TIG.

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Konstrukcje rurowe



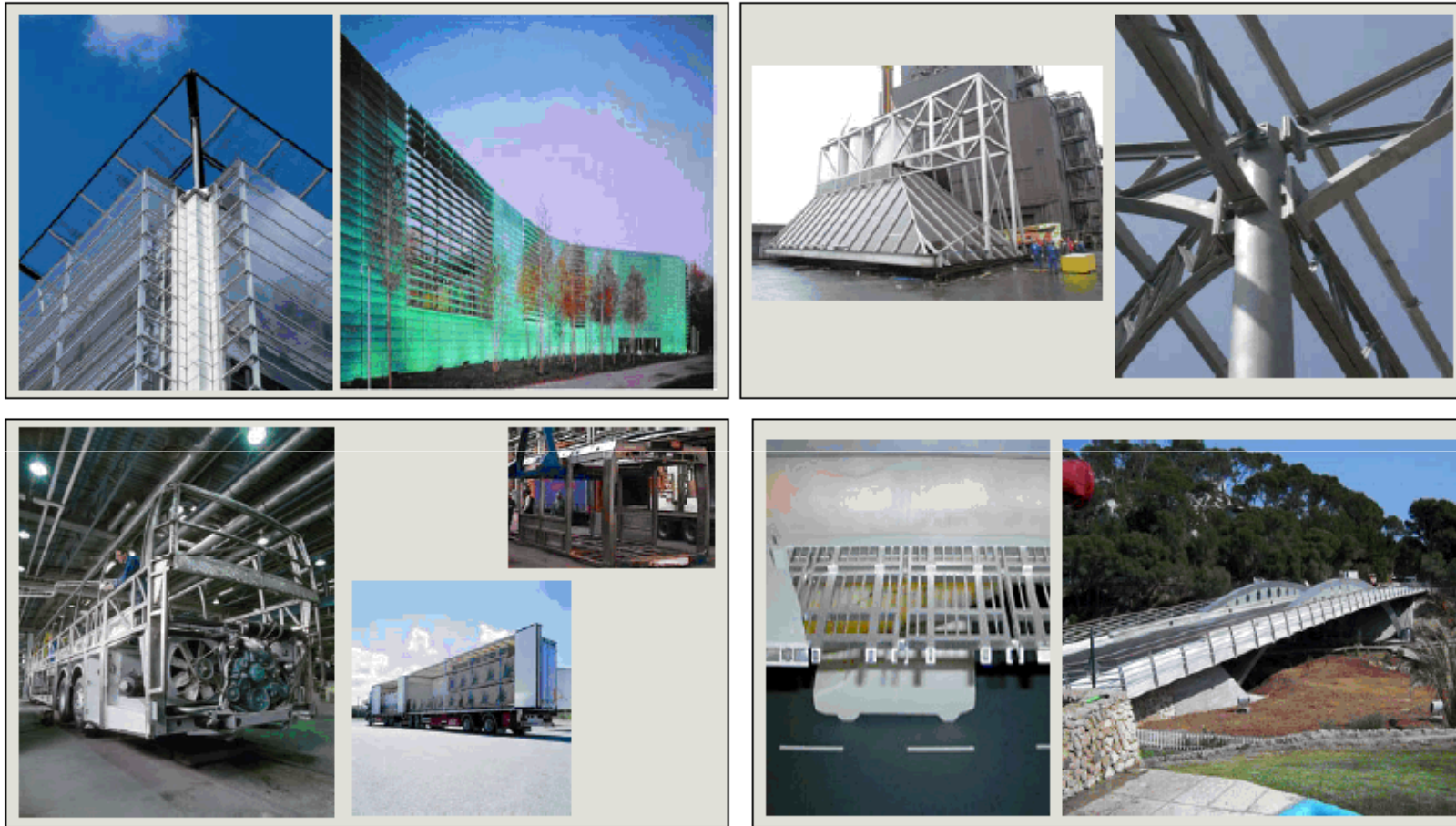
(Electronic Heating Equipment, Inc., USA)



Zgrzewanie prądami wysokiej częstotliwości

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Konstrukcje rurowe



PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Pekka Yrjölä, Finnish Constructional Steelwork Association, INSAPTRANS presentation / Stal tube Oy

Konstrukcje rurowe

Longwood Gardens,
Pennsylvania, USA



(Stalatable Oy)

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Konstrukcje rurowe



(Millerbernd Mfg. Co., USA)

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Zbiorniki



(Aperam)

Beczka na piwo: 304 (1.4301)

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Zbiorniki



(Outokumpu/Nordic Tank)

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Zbiorniki



(Wikipedia)
Kontener standartowy ISO, około 1800 kg stali 316
(Hans Groth, Outokumpu)

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Zbiorniki



Zbiornik fermentacyjny

Obwód : 100 m.

Górny pierścień: 316 (opary – korozja), reszta 304.

Re = 530 MPa zamiast 275 MPa.

Zmniejszenie masy z 17 ton do 11.5 tony.

Zmniejszenie kosztu materiału o 40%.

Przybliżona prawidłowość (SSAB):

Masa 1/Masa 2 = $\sqrt{Re1/Re2}$

$\sqrt{530/275} = 1,39$

$17/11,5 = 1,48$

(Aperam)

Naczepy



(Outokumpu/Briab)

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Samochody osobowe



(Wikipedia)

Ford Tudor 1936

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Samochody osobowe



Ordinary Ford, model 1986



Stainless Steel Ford, model 1936

Trends and challenges for stainless steel

November 7, 2005

Pekka Erkkilä, EVP – General Stainless & Production Operations

www.outokumpu.com

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Samochody osobowe

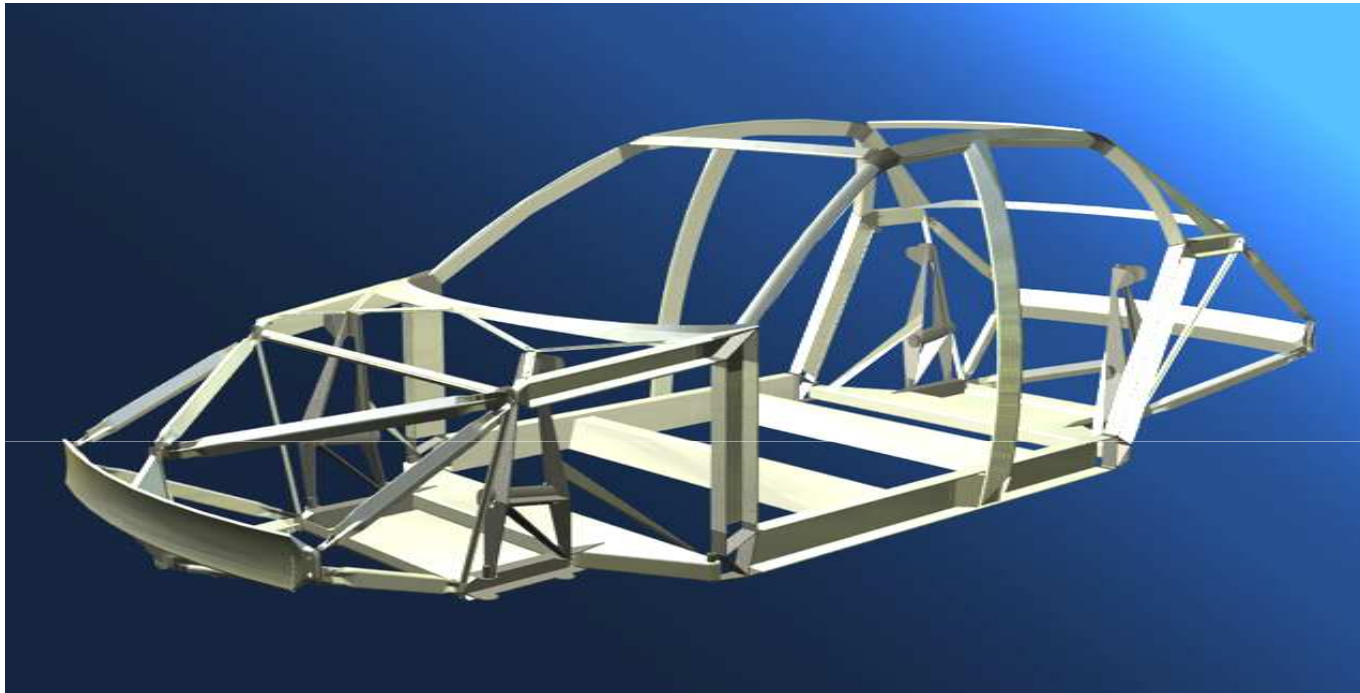


(Wikipedia)

1981 DeLorean DMC12

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Samochody osobowe

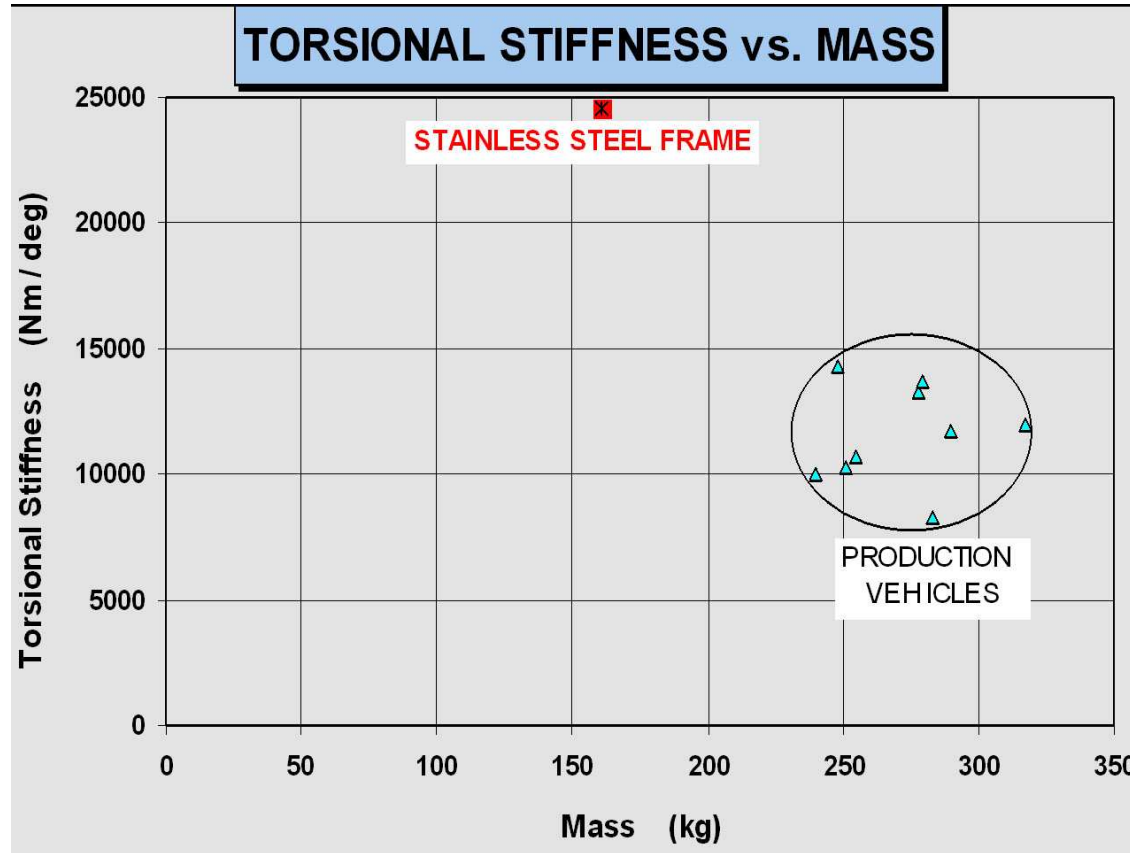


(Autokinetics)

US Patent 5 882 064, Modular Vehicle Frame, Autokinetics

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Samochody osobowe

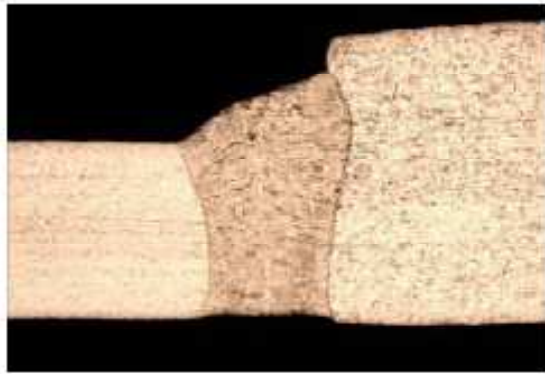


(Autokinetics)

Pod względem odporności na zderzenia, sztywności i kosztu, rama przestrzenna Autokinetics przewyższa tradycyjną konstrukcję ze stali węglowej.

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Samochody osobowe



H400-H400
(Thyssen Krupp)



HXT600X+Z-1.4318c



1.4318C1000 - DP600ZE

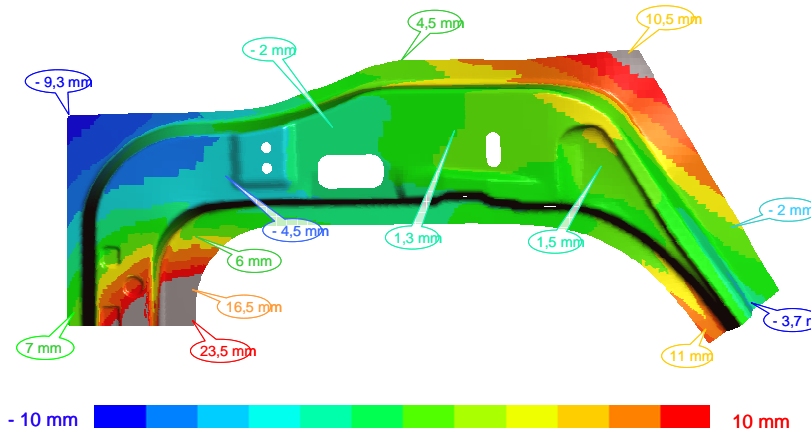
Projekt NGV (Next Generation Vehicle)
Taśmy spawane laserowo

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

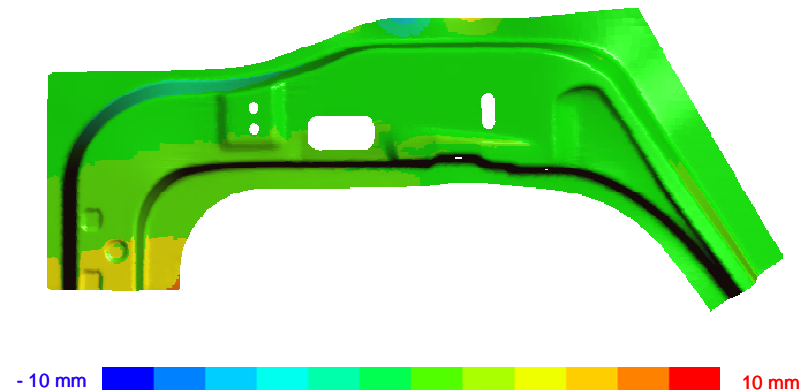
Samochody osobowe

Projekt NGV

Powrót elastyczny bez kompensacji



Powrót elastyczny z kompensacją



(Aperam)



PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Autobusy



(Wikipedia)



Eurobus (Włochy)

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

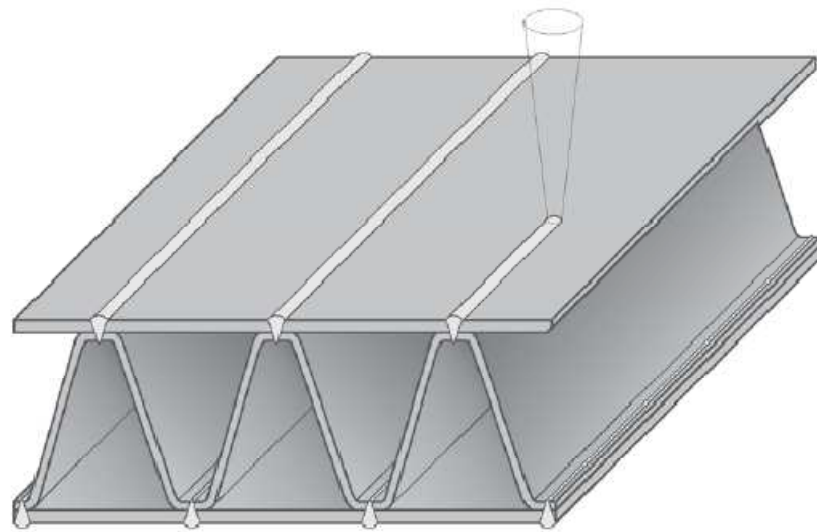
Autobusy



(Solaris)

Solaris (Polska)

Panele przekładkowe



Pennsylvania State University
(LASCOR)



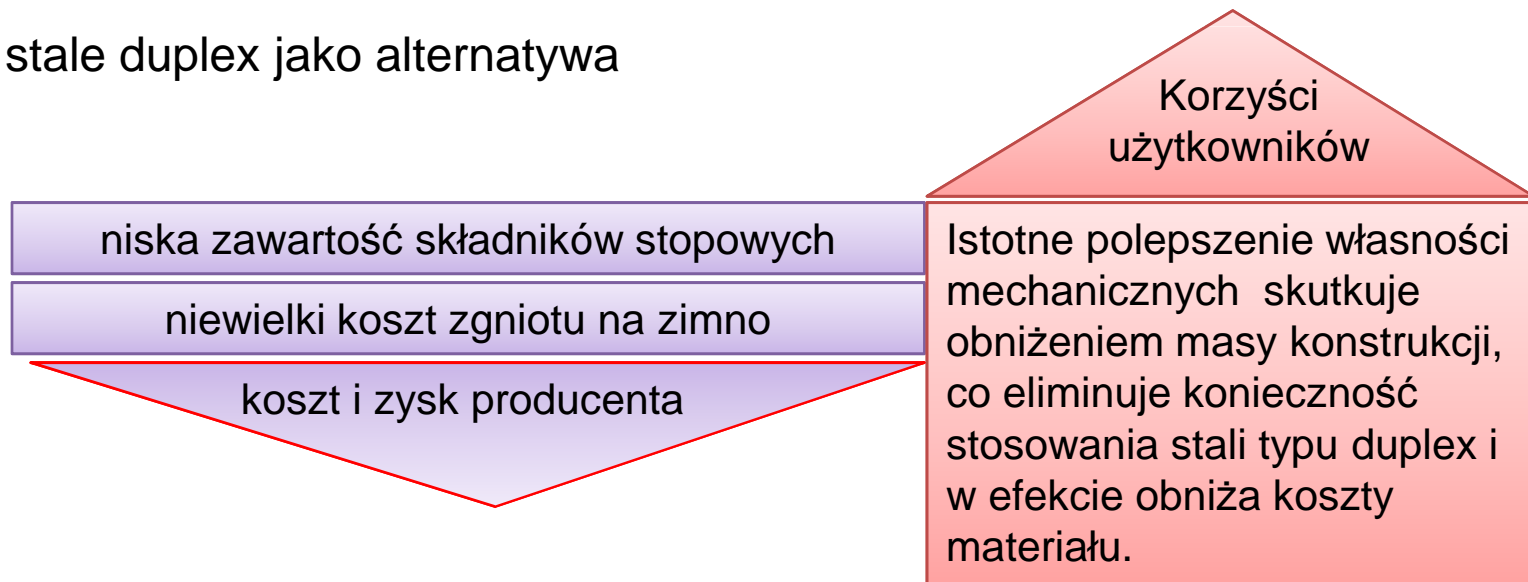
Uniwersytet w Pizie

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Szczególne sytuacje dotyczące omawianych stali

Producenci

- szczególna kompetencja jest niezbędna dla osiągnięcia wymaganych własności mechanicznych i płaskości
- wysoka wytrzymałość = mniejsza masa wyrobu = mniejsza wartość sprzedaży
- niewielki popyt = ograniczona produkcja
- stale duplex jako alternatywa



Szczególne sytuacje dotyczące omawianych stali

Użytkownicy

- Wielu potencjalnych użytkowników nie wie o istnieniu tych materiałów.
- Typowe opisy stali austenitycznych podają ich własności mechaniczne tylko w stanie zmiękczonej.
- Cytowana informacja jest typowa jeśli chodzi o porównanie stali duplex ze stalami austenitycznymi.
- N.B. Norma ASTM A666 określa własności stali 304, 316 i innych w stanie utwardzonej.

MECHANICAL PROPERTIES

The combination of a duplex structure and high nitrogen content provide significantly higher strength levels than 316L stainless steel. Often a lighter gage of [REDACTED] can be utilized to achieve the same strength levels of a 300 series fabrication. The resultant weight savings can dramatically reduce the material and fabrication costs of a vessel.

Table 1 – Tensile Properties Plate

Alloy	Ultimate Tensile Strength, ksi	0.2% Yield Strength, ksi	% Elong	Hardness Brinell
	Min	Min	Min	Max
[REDACTED]	94	65	30	290
304/304L	75	30	40	201
316/316L	75	30	40	217

Szczególne sytuacje dotyczące omawianych stali

Przykład strategii marketingowej

- Projektowano dużą konstrukcję, typowo wykonywaną ze stali węglowej, z dużą ilością specjalnie wytwarzanych falistych płyt.
 - Użytkownik zdecydował zastosować stal 1.4301. Grubość materiału obliczona na podstawie własności nominalnych (w stanie zmiękczonej) wyniosła 6 do 9 mm – za dużo na formowanie płyt.
 - Dział sprzedaży producenta stali nierdzewnej znalazł rozwiązanie: stal duplex, wytrzymałość wyższa niż 1.4301 – zmniejszenie grubości do 4 do 5 mm. Wynik: zastosowanie stali nierdzewnej stało się możliwe, masa została znacznie zmniejszona, obniżył się również całkowity koszt materiału.
- Pytanie: korozja nie stanowiła problemu, dlaczego zatem nie zaproponowano stali austenitycznej o wysokiej wytrzymałości, o lepszych własnościach i cenie niższej niż duplex?

Szczególne sytuacje dotyczące omawianych stali

Ostateczny skutek

- Wielu potencjalnych użytkowników omawianych stali stosuje stale węglowe lub niskostopowe, duplex, lub stal o zawartości 12% chromu.

A przy tym:

- Do grubości 6 mm, typowa wytrzymałość omawianych stali jest wyższa niż wytrzymałość pozostałych materiałów.
- Cena oszczędnościowych stali austenitycznych jest niższa niż cena oszczędnościowych stali duplex. (Dodatkowy koszt utwardzania zgniotem nie przekracza 5 % całkowitej ceny materiału.)
- Korozja: omawiane stale są odpowiednie dla większości zastosowań konstrukcyjnych.
- Koszt życia konstrukcji z omawianych stali jest niższy od tego kosztu dla konstrukcji ze stali węglowej lub niskostopowej, malowanej bądź cynkowanej.

➤ Rozwiązanie

- Wszechstronna promocja omawianych stali.

Szczególne sytuacje dotyczące omawianych stali

Normy obliczeniowe, Eurokody

PN-EN 1993 Eurokod 3: *Projektowanie konstrukcji stalowych, Część 1-4: Reguły ogólne. Reguły uzupełniające dla konstrukcji ze stali nierdzewnych,*

Tabela 2.1 Własności stali nierdzewnych

- R_e : tylko dla materiałów w stanie zmięczonym.
- Najwyższa wartość $R_e = 350$ MPa dla stali 1.4318, dla 1.4301, $R_e = 230$ MPa.
- $R_e = 420$ MPa and 480 MPa dla dwóch stali duplex.
- Wartości dla stali utwardzanych zgniotem muszą być uzasadnione badaniami o skomplikowanym programie.
- Eurokody wymagają zastosowania materiałów dodatkowych gwarantujących wytrzymałość spoin co najmniej równą wytrzymałości materiałów rodzimych, również dla stali nierdzewnych i bez wyjątku dla spoin pachwinowych.

➤ Skutek

Preferencja dla stali duplex de szkoda dla zastosowania stali austenitycznych o wysokiej wytrzymałości.

Nota bene w obliczeniach złączy stopów aluminium przyjmuje się, iż spoina jest słabsza niż materiał rodzimy.

Szczególne sytuacje dotyczące omawianych stali

Inne normy

SEI/ASCE 8 *Specification for the Design of Cold-Formed Stainless Steel Structural Members* (USA) uwzględnia stale objęte normą ASTM A666.

Złącza doczołowe: wytrzymałość na rozciąganie jak dla materiału zmiękczonego. Wyższe wartości mogą być ustanowione w wyniku prób, prostszych niż według Eurokodu EN 1993-1-4.

Spoiny pachwinowe są obliczane według własności stopiwa, które mogą być niższe niż dla materiału rodzimego.

AWS D1.6 *Structural Welding Code - Stainless Steel* zawiera podobne zasady. Wynik próby rozciągania złącza doczołowego może być niższy niż wytrzymałość materiału rodzimego pod warunkiem że przewyższa wartość przyjętą do obliczeń.

AS/NZS 1554.6 *Structural steel welding. Part 6: Welding stainless steels for structural purposes* : wynik próby rozciągania złącza doczołowego musi być co najmniej równy wytrzymałości materiału rodzimego.

Szczególne sytuacje dotyczące omawianych stali

Kryteria obliczeń zmęczeniowych

Eurokod PN EN 1993-1-4 odsyła do PN EN 1993-1-9 *Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Zmęczenie*.

Norma AWS D1.6 zawiera uwagę dotyczącą konstrukcji cienkościennych: charakterystyczne dla nich odkształcenia mogą wpłynąć ujemnie na wytrzymałość zmęczeniową.

Anizotropia i asymetria własności mechanicznych

Własności mechaniczne omawianych stali różnią się zależnie od kierunku i zwrotu naprężeń.

Szczególnie istotna jest różnica w granicy plastyczności między ściskaniem i rozciąganiem. Design Manual for Structural Stainless Steel, opublikowany przez Euro Inox, określa stosunek pomiędzy tymi dwiema wartościami na 0,8. Wyższe wartości granicy plastyczności w ściskaniu mogą być ustalone drogą prób, co jest szczególnie ważne dla profili giętych i rur.

Szczególne sytuacje dotyczące omawianych stali

➤ Proponowane akcje zaradcze

- użycie rzeczywistych własności materiałów zamiast wartości z norm (Groth, Baddoo)
- kontynuacja projektów badawczych pozwalających na zastosowanie do omawianych stali wzorów obliczeniowych opracowanych dla stali w stanie zmiękczonej (Gardner , Young)
- dopuszczenie przez Eurokody złączy spawanych ze stopiwem o wytrzymałości niższej niż wytrzymałość materiału rodzimego; przykład : AWS D1.1 *Structural Welding Code - Steel*

Table 2.3
Allowable Stresses (see 2.6.4 and 2.16.1)

Type of Applied Stress	Allowable Stress	Required Filler Metal Strength Level
CJP Groove Welds		
Tension normal to the effective area ^a	Same as base metal	Matching filler metal shall be used ^b
Compression normal to effective area	Same as base metal	Filler metal with a strength level equal to or one classification (10 ksi [70 MPa]) less than matching filler metal may be used.

Szczególne sytuacje dotyczące omawianych stali

Potencjalny projekt

Złącza doczołowe w stalach austenitycznych o wysokiej wytrzymałości

- Niektóre normy odzwierciedlają pogląd, że wytrzymałość tych złączy odpowiada wytrzymałości materiału rodzimego w stanie zmiękczonej. W rzeczywistości jest ona wyższa.
- Cel projektu: *Określenie zasad obliczeniowych dla złączy doczołowych w stalach austenitycznych o wysokiej wytrzymałości opartych na badaniach.*
- Istotne aspekty: gatunek stali i jej wytrzymałość na rozciąganie, proces spawalniczy, cykl cieplny spawania, własności stopiwa
- Do rozważenia: użycie materiałów dodatkowych duplex lub nawet martenzytycznych, jak również spoin laserowych. Te ostatnie, jako węższe, odznaczają się wyższą wytrzymałością.

Podsumowanie

Utwardzane zgniotem stale austenityczne o wysokiej wytrzymałości mają za sobą długą historię. Ich pierwotne zastosowanie w budowie wagonów pasażerskich jest wybitnym przykładem odważnej wizji, doskonałego zarządzania, oraz twórczego myślenia i działania.

Dziedzictwo Edwarda Budda jest nadal żywe: corocznie produkuje się tysiące połyskujących wagonów ze stali nierdzewnej. W ten sposób niezwykle możliwości omawianych materiałów znajdują nieustające potwierdzenie. Pojawiły się też nowe zastosowania w praktyce industrialnej, a jeszcze inne czekają na swoją kolej. Zależy od nas, zainteresowanych stalami nierdzewnymi, czy ich możliwości zostaną w pełni zrealizowane.

Podziękowania

*Dziękuję Państwu
za uwagę*

*Dziękuję też panu Markowi Karasiowi
za współpracę edytorską.*