

Optimasi Sifat Mekanik Sambungan Las Rotary Friction Welding (RFW) pada Baja AISI 1008 dengan Variasi Waktu Pengelasan

Optimization of Mechanical Properties of Rotary Friction Welding (RFW) Joints in AISI 1008 Steel with Friction Time Variation

Yustiasih Purwaningrum^{1*}, Rachnaldy Putra¹, Excel Rifky Fachreza¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri,
Universitas Islam Indonesia

Jl. Kaliurang Km. 14,5 Ngemplak Sleman, Yogyakarta 55584, Indonesia

*Corresponding author: yustiasih.purwaningrum@uii.ac.id

ABSTRAK

DOI:
[10.30595/jrst.v9i2.24402](https://doi.org/10.30595/jrst.v9i2.24402)

Histori Artikel:

Diajukan:
06/11/2024

Diterima:
29/05/2025

Diterbitkan:
08/09/2025

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menyambung silinder pejal adalah las gesek putar/Rotary Friction Welding (RFW). RFW merupakan salah satu jenis las solid state yang mempunyai kelebihan yaitu tidak memerlukan filler, gas pelindung serta menghasilkan sifat mekanik yang baik karena proses penyambungan terjadi di bawah temperatur logam induknya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu gesek terhadap sifat fisik dan mekanik sambungan las RFW pada baja AISI 1008. Pengelasan RFW dilakukan dengan kecepatan rotasi 1.170 RPM dan *friction plunge* 3 mm dan *forging depth* 2 mm. Variasi waktu pengelasan yang digunakan adalah 3 menit, 4 menit dan 5 menit. Temperatur rata-rata pada pengelasan RFW dengan variasi waktu gesek 3 menit, 4 menit dan 5 menit adalah 1.022,3°C, 1034,5°C dan 1.062,7°C. Sifat fisik sambungan las didapat dari pengamatan fotomakro dengan menggunakan mikroskop optik dan pengujian korosi dengan metode *weight loss*. Sifat mekanik sambungan las RFW diketahui dari pengujian tarik dan bending menggunakan Universal Testing Machine serta pengujian kekerasan dengan metode Vickers Microhardness. Pengamatan fotomakro menunjukkan semakin lama waktu gesek yang digunakan pada las RFW maka semakin luas daerah lasnya. Hasil pengujian menunjukkan sifat fisik dan mekanik optimal didapat pada sambungan las RFW dengan variasi waktu pengelasan 4 menit. Pada variasi 4 menit didapat nilai kekuatan tarik dan bending paling tinggi dibandingkan dengan variasi waktu yang lain. Sedangkan untuk pengujian kekerasan daerah las variasi ini mempunyai nilai paling kecil dibandingkan dengan variasi waktu pengelasan yang lain (3 menit dan 5 menit). Untuk daerah logam induk dan daerah HAZ, nilai kekerasan untuk semua variasi relatif sama karena material yang digunakan sama dan panas pengelasan tidak cukup tinggi untuk mengubah struktur mikro pada daerah tersebut. Pengujian korosi yang dilakukan selama 50 hari menunjukkan bahwa semua hasil las RFW dengan variasi waktu gesek mempunyai nilai ketahanan korosi sangat baik.

Kata Kunci: Rotary Friction Welding (RFW); Waktu Gesek; AISI 1008

ABSTRACT

One method than can be used to joint solid cylinders is Rotary Friction Welding (RFW). RFW is a Type solid-state welding that has the advantage of not requiring filler, shielding gas and produces good mechanical properties because the joining occurs below the base metal temperature. This study aims was to determine the effect of friction time on the physical and mechanical properties of Rotary Friction Welding (RFW) joints in

AISI 1008 steel. RFW welding is carried out with a rotation speed of 1,170 RPM and friction plunge of 3 mm and forging depth 2 mm with three kinds of welding time, 3 minutes, 4 minutes and 5 minutes were investigated. The average temperature of RFW welding with variations of welding time (3-minute, 4-minute and 5-minute) are 1,022.3°C, 1034.5°C and 1,062.7°C. The physical properties of the weld joint were obtained from photomacro using an optical microscope and corrosion testing using the weight loss method. The mechanical properties of the RFW weld joint were determined from tensile and bending tests using a Universal Testing Machine as well as hardness testing using the Vickers Microhardness method. Photomacro observations show that the longer the welding time used in RFW welding, the wider the welded area. The test results show that optimal physical and mechanical properties were obtained on RFW weld joints with a welding time variation of 4 minutes. At the 4-minute variation, the highest tensile and bending strength values were obtained compared to other time variations. As for the hardness testing of the welding zone with a friction time of 4 minutes, it has the smallest value compared to other variations in welding time (3 minutes and 5 minutes). For the base metal and the HAZ, the hardness values for all variations are relatively the same because the materials used are the same and the welding heat is not high enough to change the microstructure in the area. Corrosion testing conducted for 50 days showed that all RFW welds with welding time variations had excellent corrosion resistance values.

Keywords: Rotary Friction Welding (RFW); Welding Time; AISI 1008

1. PENDAHULUAN

Sambungan las gesek atau Rotary Friction Welding (RFW) dihasilkan oleh panas yang terjadi akibat gesekan antar muka dan tekanan akibat gaya aksial (Li, dkk, 2018). Gesekan antar muka dipengaruhi oleh koefisien gesek material, kecepatan *spindel* dan waktu pengelasan. Panas gesekan akan berpengaruh terhadap struktur mikro dan sifat mekanik dari sambungan las.

Pengelasan RFW banyak digunakan untuk penyambungan material berbentuk silinder pejal (Mishra, dkk, 2023; Li dkk, 2016). Hasil pengelasan RFW mempunyai kualitas yang bagus karena proses penyambungan terjadi pada temperatur dibawah temperatur leleh bahan tetapi hasil pengelasannya akan membentuk *flash*. Meskipun *flash* tersebut dapat dihilangkan dengan proses permesinan tetapi proses tersebut dapat mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik hasil lasannya (Zanga, dkk, 2022).

Beberapa peneliti yang telah mempelajari pengaruh parameter pengelasan RFW terhadap kualitas hasil sambungan pada material baik material dissimilar seperti titanium/aluminium (Cetkin dkk, 2019), titanium/baja (Li dkk, 2018) dan aluminium/baja (Dang, 2023) maupun material sejenis yang diteliti Nu (2020) pada Ti6Al4V

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan sifat fisik dan mekanik yang optimum pada pengelasan RFW baja 1008 dengan variasi waktu pengelasan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah baja AISI 1008 berbentuk silinder pejal dengan diameter 16 mm dan panjang 100 mm. Alat yang digunakan adalah mesin bubut, gerinda, *tachometer*, *thermogun*, mikroskop optik, *universal testing machine* (UTM), alat uji kekerasan vickers microhardness dan timbangan digital.

2.2 Proses Pengelasan

Proses pengelasan RFW dilakukan dengan menggunakan mesin bubut dengan kecepatan rotasi 1170 rpm, *friction plunge* 3 mm dan *forging depth* 2 mm. Proses pengelasan dapat dilihat pada **Gambar 1**. Pengelasan RFW dilakukan dengan menggunakan variasi waktu pengelasan 3 menit, 4 menit dan 5 menit. Proses pengelasan dilakukan masing-masih 10 sambungan untuk setiap variasi pengelasan.



Gambar 1. Proses pengelasan RFW

2.3 Proses Pengujian

Sifat fisik dan mekanik yang diuji meliputi pengujian tarik dan *bending* menggunakan UTM, pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *Vickers microhardness*, pengamatan fotomakro dan pengujian korosi.

2.4 Analisis Data

Pengambilan kesimpulan diperoleh dari rata-rata data yang telah didapatkan. Pada pengukuran suhu proses pengelasan, data diambil sebanyak 10 kali setiap variasi pengelasan. Sedangkan untuk kekuatan tarik dan kekuatan *bending*, pengujian dilakukan dengan menggunakan 3 spesimen pada setiap variasi pengelasan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan pada logam induk dengan menggunakan *spectrometer*. Hasil pengujian komposisi kimia dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja AISI 1006

Komponen	%
C	0,0740
Si	0,1571
S	0,0094
P	0,0180
Mn	0,4507
Ni	0,0106
Cr	0,0224
Mo	0,0023
Cu	0,0118
Ti	0,0005
Sn	0,0005
Al	0,0027
Ca	0,0009
Fe	99,24

Dari tabel terlihat bahwa kadar karbon pada logam induk yang digunakan adalah 0,074 % sehingga dapat dikategorikan sebagai baja karbon rendah. Baja karbon rendah mempunyai kekuatan tarik (304 - 352) Mpa, regangan (30-40)%, dan nilai kekerasan (95-100) skala Brinnel. (Wirjosumarto dan Okumura, 2015).

Dilihat dari diagram fasa, baja dengan kadar karbon 0,074 mempunyai titik lebur antar 1400°C -1550°C. Temperatur lebur ini digunakan untuk membuktikan bahwa pengelasan RFW yang dilakukan terjadi pada kondisi *solid state* dengan cara membandingkan dengan temperatur yang diukur pada saat proses pengelasan.

3.2 Pengukuran Temperatur Pengelasan

Pada saat proses pengelasan dilakukan pengukuran temperatur daerah las menggunakan *thermogun*. Data hasil pengukuran temperatur dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Dari tabel 2 terlihat bahwa semakin lama waktu pengelasan maka akan semakin tinggi temperaturnya.

Tabel 2. Suhu Proses Pengelasan

Percobaan	3 menit (°C)	4 menit (°C)	5 menit (°C)
1	1.027	950	1.041
2	956	1.044	913
3	1.079	1.146	1,001
4	936	942	1.111
5	1.036	992	1.110
6	1.048	1.080	1.089
7	948	1.182	1.089
8	1.102	905	1.102
9	1.010	966	1.025
10	1.081	1.138	1.146
Rata-rata	1.022,3	1.034,5	1.062,7

Data menunjukkan bahwa suhu yang terjadi pada saat proses pengelasan rata-rata adalah (1.022 -1.062) °C yang mempunyai nilai dibawah 80 % dari titik leleh material yaitu (1.400 -1.550)°C. Sehingga proses las RFW yang dilakukan masuk kategori pengelasan *solid state*. Pengelasan *solid state* dapat mengurangi masalah yang banyak terjadi pada pengelasan fusi yaitu mengurangi cacat pengelasan, memperbaiki struktur mikro sehingga meningkatkan kekuatan dan kelenturan, meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan kelelahan.

3.3 Pengamatan Fotomakro

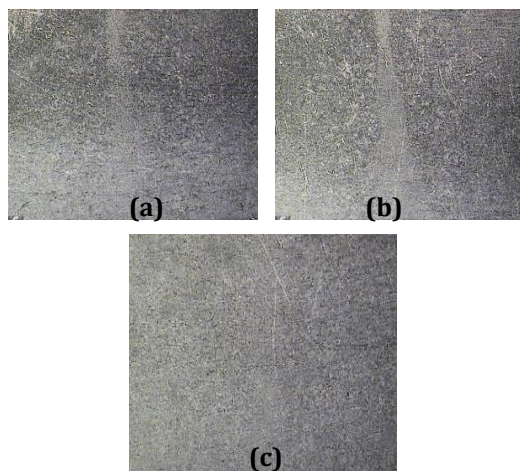
Bentuk spesimen pengamatan fotomakro dapat dilihat pada **Gambar 2** dan hasil pengamatan fotomakro terdapat pada **Gambar 3**. Terlihat di gambar 2 dan 3 bahwa sambungan terbentuk dengan baik. Tidak terlihat adanya cacat pada sambungan.



Gambar 2. Spesimen fotomakro

Daerah hasil pengelasan (**Gambar 3**) dibagi menjadi 4 daerah yaitu daerah las, TMAZ

(thermo-mechanically affected zone), HAZ (heat affected zone) dan logam induk (Wang, dkk, 2018).

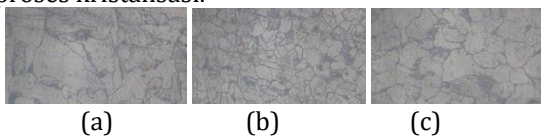


Gambar 3. Fotomakro hasil LAS RFW (a) 3 menit (b) 4 menit (c) 5 menit

Daerah las paling lebar terdapat pada waktu pengelasan 5 mm. Hal tersebut sesuai dengan pengujian temperatur yang menunjukkan temperatur tertinggi terdapat pada hasil las dengan waktu pengelasan 5 menit. Semakin tinggi temperatur yang terjadi maka akan semakin besar daerah yang tersambung.

Hasil pengamatan strukturmikro dapat dilihat pada **Gambar 4**. Struktur mikro logam induk dan HAZ berupa ferit dan perlit. Ukuran butiran strukturmikro pada HAZ lebih kecil. TMAZ dan HAZ mengalami paparan panas yang kecil sehingga terjadi perubahan ukuran karena rekristalisasi sebagian

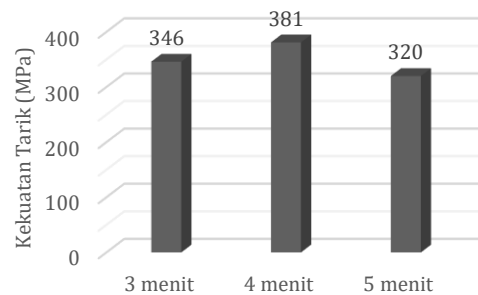
Sedangkan untuk daerah las strukturnya adalah bainit. Daerah las mengalami perubahan bentuk struktur mikro yang terjadi karena proses kristalisasi.



Gambar 4. Fotomikro hasil LAS RFW (a) Daerah Las (b) HAZ (c) Logam Induk

3.4 Pengujian Kekuatan Tarik

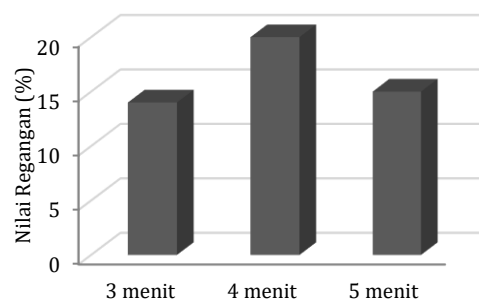
Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan standar ASTM E-8. Pengujian dilakukan 3x untuk setiap variasi waktu pengelasan. Spesimen pengujian tarik mengalami patah pada daerah HAZ. Hasil pengujian tarik berupa nilai rata-rata kekuatan tarik dan nilai rata-rata regangan dapat dilihat pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**.



Gambar 5. Nilai kekuatan tarik hasil las RFW

Nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada hasil las RFW dengan waktu pengelasan 4 menit dengan nilai 381 MPa diikuti dengan waktu pengelasan 3 menit dan nilai terendah terdapat pada waktu pengelasan 5 menit. Nilai kekuatan tarik yang tinggi yang terdapat pada waktu pengelasan 4 menit berhubungan dengan terbentuknya struktur mikro yang lebih halus karena rekristalisasi yang disebabkan oleh temperatur gesekan yang optimum dan deformasi plastis yang terjadi antara permukaan las (Vairis dkk, 2016)

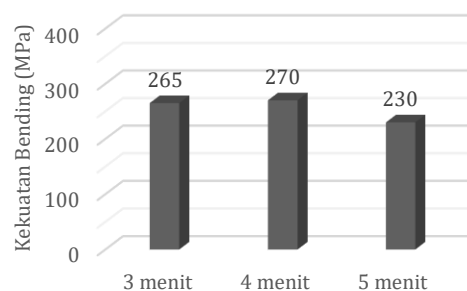
Gambar 6 menunjukkan nilai regangan tertinggi terdapat pada hasil las RFW variasi waktu 4 menit dengan nilai 20 %.



Gambar 6. Nilai regangan hasil las RFW

3.5 Pengujian Kekuatan Bending

Proses pengujian bending dilakukan dengan metode 3 point bending dengan menggunakan mesin UTM. Hasil pengujian bending dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Nilai kekuatan bending hasil las RFW

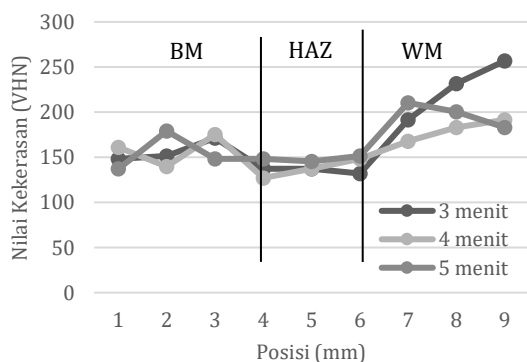
Nilai kekuatan *bending* las RFW dengan variasi waktu pengelasan mempunyai kecenderungan sama dengan hasil pengujian tarik. Nilai rata-rata kekuatan *bending* tertinggi terdapat pada waktu gesek 4 menit dengan nilai 270 Mpa, diikuti oleh waktu gesek 3 menit dengan nilai 265 MPa, dan nilai rata-rata terendah terdapat pada waktu gesek 5 menit dengan nilai 230 MPa.

Nilai kekuatan *bending* pada penelitian ini mempunyai nilai lebih rendah dibandingkan dengan nilai kekuatan tariknya karena hasil pengelasan RFW tidak bersifat homogen. Kemampuan menahan beban arah aksial dan transversal pada hasil las RFW tidak sama disebabkan oleh adanya cacat yang menyebabkan terpusatnya tegangan secara lokal.

3.6 Pengujian Kekerasan

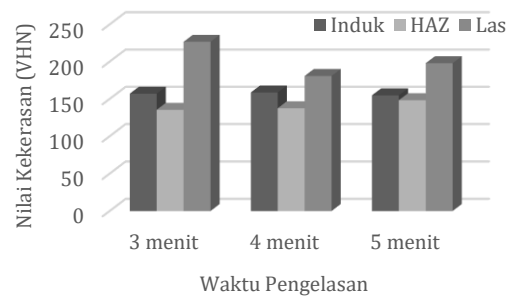
Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode *Vickers Microhardness* dengan menggunakan beban 200 gr dan waktu penekanan 10 detik.

Distribusi kekerasan *Vickers Microhardness* dapat dilihat pada Gambar 8 dan 10. BM (*Base Metal*) adalah daerah logam induk, HAZ (*Heat Affected Zone*) adalah daerah yang terkena pengaruh panas dan WM (*Weld Metal*) adalah daerah las.



Gambar 8. Distribusi nilai kekerasan hasil las RFW

Nilai kekerasan pada WM lebih tinggi dibandingkan dengan BM dan HA karena daerah ini mengalami deformasi plastis yang disebabkan oleh perubahan strukturmikro dan rekristalisasi (Dhamotharakannan, dkk, 2022). Nilai kekerasan daerah WM meningkat rata-rata 28,81 % dibandingkan dengan logam induk. Hal tersebut dapat dikaitkan dengan strukturmikro pada daerah tersebut yang berupa bainit. Struktur mikro bainit mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan ferit dan perlit yang ada di daerah BM.



Gambar 9. Nilai kekerasan hasil las RFW

Gambar 9 menunjukkan rata-rata nilai kekerasan hasil las RFW dengan variasi waktu las. Nilai kekerasan daerah las tertinggi terdapat pada hasil las dengan waktu las 3 menit diikuti dengan waktu las 5 menit, dan nilai terendah terdapat pada hasil las dengan waktu las 4 menit.

Nilai kekerasan terendah terdapat pada daerah HAZ. Hasil pengujian ini sesuai dengan pengujian tarik yang dilakukan yang menunjukkan bahwa semua spesimen uji tarik patah pada daerah HAZ.

3.7. Pengujian Korosi

Tabel 3 menunjukkan nilai laju korosi hasil pengujian RFW. Dari tabel terlihat bahwa hasil las untuk semua variasi waktu las mempunyai laju korosi yang masuk kategori sangat baik.

Tabel 3. Nilai laju korosi hasil las RFW

Laju Korosi	Nilai (mmpy)	Waktu (menit)		
		3	4	5
Outstanding	<0,02			
Excellent	0,02-0,1	0,08-0,06	0,06-0,05	0,06-0,05
Good	0,1-0,5			
Fair	1,5-1			
Poor	0,1-0,5			
Unacceptable	>0,5			

4. SIMPULAN

Dari hasil pengujian disimpulkan bahwa sifat fisik dan mekanik optimum pada sambungan las RFW baja AISI 1008 dengan diameter 16 mm adalah pada variasi waktu pengelasan 4 menit.

Hasil pengamatan fotomakro menunjukkan tidak terlihat adanya cacat pada hasil pengelasan RFW untuk semua variasi waktu pengelasan. Nilai ketahanan korosi hasil las RFW adalah *excellent* untuk semua variasi waktu pengelasan. Nilai kekuatan tarik hasil las RFW dengan waktu pengelasan 4 menit adalah 381 Mpa, sedangkan untuk variasi waktu

pengelasan 3 menit dan 5 menit mempunyai nilai 346 Mpa dan 320 Mpa. Nilai kekuatan bending tertinggi terdapat pada hasil las dengan waktu pengelasan 4 menit yaitu 270 Mpa. Nilai kekerasan pada daerah las untuk semua variasi pengelasan mempunyai nilai lebih tinggi dibandingkan dengan daerah logam induk dan daerah HAZ.

REFERENSI

- Cetkin, E., Çelik, Y.H., Temiz, S., (2019). Microstructure and Mechanical Properties of AA7075/ AA5182 Jointed by FSW. *J Mater Process Tech* ; 268:107–116. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.01.005>
- Dang, Z., Qin, G., Guo, X., (2023). Formation and Growth Mechanism of Cu-rich Layer at Aluminum/Steel Friction Welding Interface. *J Mater Res Technol* ;27:35–47. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.09.285>
- Dhamotharakannan T., Sivaraj P., Seeman M., Balasubramanian V., (2022). Mechanical and Metallurgical Characteristics of Rotary Friction Welded Low Carbon Steel Plate/ Rod Joints. *Key Eng. Mater.* 934 153–160. <http://dx.doi.org/10.4028/p-51a271>
- Li, P., Dong, H., Xia, Y., Hao, X., Wang, S., Pan, L., (2018). Inhomogeneous Interface Structure and Mechanical Properties of Rotary Friction Welded TC4 Titanium Alloy/316L Stainless Steel Joints. *J Manuf Process* 2018; 33:54–63. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.05.001>
- Li, W., Vairis, A., Preuss, M., Ma, T., (2016). Linear and Rotary Friction Welding Review. *Int. Mater. Rev.* 61, 71–100. <https://doi.org/10.1080/09506608.2015.1109214>
- Mishra, N.K., Churasiya, Y.K., Shrivastava, A., (2023). Dissimilar Interface and Joint Strength of SS 304 and Titanium Friction Stir Spot Welds: A Numerical and Experimental Analysis. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 129, 3485–3496.
- Nu, H.T.M., Loc, N.H., Minh, L.P., (2020). Influence of the Rotary Friction Welding Parameters on the Microhardness and Joint Strength of Ti6Al4V Alloys. *Proc Inst Mech Eng Part B: J Eng Manuf* ; 235:795–805. <https://doi.org/10.1177/0954405420972549>
- Vairis A., Papazafeiropoulos G., Tsainis A.M., (2016). A comparison between friction stir welding, linear friction welding and rotary friction welding, *Adv. Manuf.* 4 (4) 296–304.
- Wang, G., Li, J., Xiong, J., Zhou, W., Zhang, F., (2018). Study on microstructure evolution of AISI 304 stainless steel joined by rotary friction welding, *Weld. World* 62 (6) 1187–1193.
- Zanga K., Qiana X., Chena J. (2022). Non-monotonic Evolution of Microstructure and Fatigue Properties of Round Bar-Plate Rotary Friction Welding Joints in 304 Austenitic Stainless Steel, *Int. J. Material & Design*, Vol. 224. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.111400>