

**STUDY KINERJA PANAS (*HOT WORKING*) BAJA LISTRIK
(3% Si) UNTUK APLIKASI LISTRIK PADA TEMPERATUR
1050 °C DAN 1100 °C**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

Raihanunnisa

3334190061

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON - BANTEN
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDY KINERJA PANAS (*HOT WORKING*) BAJA LISTRIK
(3% Si) UNTUK APLIKASI LISTRIK PADA TEMPERATUR
1050 °C DAN 1100 °C**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh :

Pembimbing I



Muhammad Fitrullah S.T., M.T.
NIP. 197804142006041002

Pembimbing II



Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D
NIP.198003072005011002

LEMBAR PERSETUJUAN

STUDY KINERJA PANAS (*HOT WORKING*) BAJA LISTRIK
(3% Si) UNTUK APLIKASI LISTRIK PADA TEMPERATUR
1050 °C DAN 1100 °C

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh

Raihanunnisa

3334190061

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal 11 Januari 2024

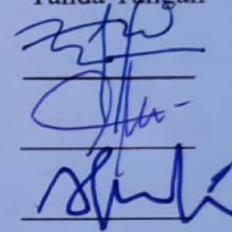
Susunan Dewan Penguji

Tanda Tangan

Penguji I : **Muhammad Fitrullah S.T., M.T.**

Penguji II : **Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D**

Penguji III : **Prof. Agus Pramono, S.T., M.T., Ph.D. Tech**



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 198003072005011002

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Study Kinerja Panas (*Hot Working*) Baja Listrik (3% Si) Untuk Aplikasi Listrik Pada Temperatur 1050°C dan 1100°C

Nama : Raihanunnisa

NIM : 3334190061

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau bahkan seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 15 Januari 2023



RAIHANUNNISA
NIM. 3334190061

ABSTRACT

A very important component for the world to develop progressively is electric power. Where in the distribution of electricity requires a tool, namely a transformer. This transformer consists of an autotransformer that contains several coils of wire made of silicon steel, but the use of silicon steel has disadvantages in excessive energy use that increases global emissions with less than optimal production capacity with a process that requires a lot of time. Various efforts have been made to overcome this problem, one of which is by adding 3% Si in the electrical steel production process and using the hot working process in the manufacturing process. The purpose of this study is to determine how the effect of hot working characteristics of electrical steel at high temperatures of 1050°C and 1100°C and to determine how to solve the exponential mathematical equation, Q value (activation energy), zener hollomon value and DRV rate on the effect of hot working characteristics of electrical steel at high temperatures of 1050°C and 1100°C. All samples tested were first heated to an austenizing temperature of 1100°C at a heating rate of 2°C/sec and held for 120 seconds in order to homogenize the microstructure, then the specimens were cooled to the deformation temperature at a rate of 10°C/s, then the specimens were cooled to test temperatures of 1050°C and 1100 °C and held the specimens were stretched at different actual strain rates of 10^{-1} s^{-1} , 10^{-2} s^{-1} and 10^{-3} s^{-1} and then subjected to hot tensile tests with the same strain values and temperatures. The results of this study indicate that the type of softening at temperatures of 1050 °C and 1100 °C is DRV, where DRV increases with increasing temperature but if DRV increases then the strain rate will decrease. The highest DRV value was obtained by specimen C3 1100 0.001 with a value of 1266.93506 MPa and the lowest DRV value was obtained by specimen C2 1050 0.001 with a value of 306.59125 MPa. The highest Z parameter value obtained from this study is the Z parameter obtained by specimen C3 1050 0.1 with a value of 4.46147×10^{26} and the lowest Z parameter value obtained by specimen C1 1050 0.1 with a value of 1.24263×10^{25} and the highest Q value obtained from this study is obtained by a specimen with a temperature of 1050 °C with a value of 245.37395 KJ/mol and the lowest Q value obtained by a specimen with a temperature of 1100 °C with a value of 245.37128 KJ/mol. It can be concluded that the specimen with the lowest strength or specimen with poor mechanical properties is specimen C2 and for specimens that have the highest strength and have excellent mechanical properties is specimen C3 1100 °C because the lowest Si content among the other 3 specimens and has the largest DRV value among the other 3 specimens this is because the high DRV value will not produce new grain growth so that the mechanical properties of the steel will not decrease.

Keywords: *Silicon Steel, DRV, Activation Energy, Hot Working, Parameter Z*

ABSTRAK

Komponen yang sangat penting untuk dunia bisa berkembang secara progresif adalah tenaga listrik. Dimana dalam pendistribusiannya listrik membutuhkan alat yaitu transformator. Trafo ini terdiri dari autotransformer yang berisi beberapa gulungan kawat yang terbuat dari baja silikon, namun penggunaan baja silikon ini memiliki kekurangan dalam penggunaan energi yang berlebihan sehingga meningkatkan emisi global dunia dengan kapasitas produksi yang kurang optimal dengan proses yang membutuhkan banyak waktu. Berbagai upaya dilakukan untuk mengatasi masalah ini, salah satunya adalah dengan melakukan penambahan 3% Si dalam proses produksi baja listrik dan menggunakan proses *hot working* dalam proses pembuatannya. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui bagaimana pengaruh karakteristik pengerjaan panas dari baja listrik pada temperatur tinggi 1050°C dan 1100°C dan mengetahui bagaimana penyelesaian persamaan matematika eksponensial, nilai Q (energi aktivasi), nilai zenner hollomon dan laju DRV terhadap pengaruh karakteristik pengerjaan panas dari baja listrik pada temperatur tinggi 1050°C dan 1100°C. Semua sampel yang diuji pertama-tama dipanaskan hingga suhu austenisasi 1100°C dengan laju pemanasan 2°C/detik dan ditahan selama 120 detik agar terjadi homogenisasi struktur mikro, kemudian spesimen didinginkan hingga suhu deformasi dengan kecepatan 10°C/s, selanjutnya spesimen didinginkan hingga suhu uji 1050°C dan 1100 °C dan ditahan spesimen diregangkan pada laju regangan sebenarnya yang berbeda yaitu 10^{-1} s^{-1} , 10^{-2} s^{-1} dan 10^{-3} s^{-1} selanjutnya dilakukan *hot tensile test* dengan nilai regangan dan temperatur yang sama. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jenis pelunakan pada temperatur 1050 °C dan 1100 °C adalah DRV, dimana DRV meningkat dengan meningkatnya suhu namun apabila DRV meningkat maka laju regangan akan menurun. Nilai DRV tertinggi didapatkan spesimen C3 1100 0,001 dengan nilai 1266,93506 MPa dan nilai DRV terendah didapatkan oleh spesimen C2 1050 0,001 dengan nilai 306,59125 MPa. Nilai parameter Z tertinggi yang didapatkan dari penelitian ini adalah parameter Z yang didapatkan oleh spesimen C3 1050 0,1 dengan nilai $4,46147 \times 10^{26}$ dan nilai parameter Z terendah didapatkan oleh spesimen C1 1050 0,1 dengan nilai $1,24263 \times 10^{25}$ dan nilai Q tertinggi yang didapatkan dari penelitian ini adalah didapatkan oleh spesimen dengan temperatur 1050 OC dengan nilai 245,37395 KJ/mol dan nilai Q terendah didapatkan oleh spesimen dengan temperatur 1100 OC dengan nilai 245,37128 KJ/mol. Dapat disimpulkan bahwa spesimen dengan kekuatan terendah atau spesimen dengan sifat mekanik yang kurang baik adalah spesimen C2 dan untuk spesimen yang memiliki kekuatan tertinggi dan memiliki sifat mekanik yang sangat baik adalah spesimen C3 1100 °C karena kandungan Si yang paling rendah diantara 3 spesimen lainnya dan memiliki nilai DRV yang terbesar diantara 3 spesimen lainnya hal ini dikarenakan nilai DRV yang tinggi akan tidak akan menghasilkan pertumbuhan butir baru sehingga sifat mekanik dari baja tidak akan mengalami penurunan.

Kata Kunci : Baja Silikon, DRV, Energi Aktivasi, Hot Working, Parameter Z

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penyusunan skripsi ini dilaksanakan guna memenuhi syarat kelulusan mata kuliah Skripsi di jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis menyadari tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Maka dari itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
2. Bapak Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc. selaku Koordinator Skripsi Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Bapak Muhammad Fitrullah, S.T., M.T selaku Pembimbing I pada penelitian ini.
4. Bapak Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D selaku Pembimbing II pada penelitian ini.
5. Bapak Prof. Agus Pramono, S.T., M.T., Ph.D. Tech selaku Penguji III pada penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kesalahan serta kekurangan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik serta saran dari pembaca agar skripsi ini menjadi lebih baik. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca atau sebagai bahan kajian serta studi sebagai sumber referensi. Atas perhatiannya, penulis mengucapkan terima kasih.

Cilegon, 15 Januari 2023

Raihanunnisa

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Hipotesis.....	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian <i>Silicon Steel</i>	6
2.2 Sejarah <i>Silicon Steel</i>	8
2.3 Jenis Jenis <i>Electrical Steel</i> dan Aplikasinya	10
2.4 Kandungan <i>Silicon</i> di <i>Silicon Steel</i>	17
2.5 <i>Hot Working</i>	21
2.6 Macam – Macam <i>Hot Working</i>	24
2.7 Struktur Mikro	27

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian	30
3.2	Alat dan Bahan	31
3.2.1	Alat yang Digunakan.....	31
3.2.2	Bahan yang Digunakan	31
3.3	Prosedur Penelitian.....	31

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Penelitian	36
4.2	Pembahasan Penelitian.....	38
4.2.1	<i>Test Machine Hot Compression</i> INSTRON 4507.....	38
4.2.2	<i>Recovery</i> dan Rekrystalisasi.....	40
4.2.3	<i>Dynamic Recovery (DRV)</i> dan <i>Dynamic Recrystallization (DRX)</i> ..	44
4.2.4	Kurva Regangan Sebenarnya dan Tegangan Sebenarnya.....	46
4.2.5	Fenomena DRV Pada Kurva Regangan Sebenarnya dan Tegangan Sebenarnya	49
4.2.6	Parameter Zenner Hollomon	54
4.2.7	Standar ASTM	67
4.2.8	<i>Test Machine Hot Tensile</i> INSTRON 4507	69
4.2.9	Hasil Penelitian <i>Hot Tensile</i> INSTRON 4507	70

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	78
5.2	Saran.....	79

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aspek dan komponen yang sangat penting yang menjadi fondasi dunia modern untuk bisa berkembang secara dinamis dan progresif adalah tenaga listrik. Semua umat manusia sangat membutuhkan tenaga listrik untuk kehidupan sehari-hari, mengirimkannya ke jarak yang jauh, dan setelahnya menggunakan listrik sebagai penyokong di fasilitas yang ditandai dengan parameter gaya listrik yang sangat bervariasi. Dalam mendistribusikan listrik ke jarak yang jauh membutuhkan trans energi dan alat pembentuk trans energi yang paling sederhana adalah transformator. Dimana transformator ini merupakan perangkat elektromagnetik statis sehingga bagiannya tidak bergerak yang digunakan untuk mengubah sistem arus bolak-balik dari satu tegangan menjadi sistem arus bolak-balik dari tegangan lain dengan menggunakan prinsip induksi elektromagnetik pada frekuensi yang tidak berubah dan tanpa kehilangan daya yang besar.

Trafo ini terdiri dari autotransformer yang berisi beberapa gulungan kawat yang saling berinsulasi yang ditutupi oleh fluks magnet dan digulung pada konduktor magnet (inti) yang terbuat dari bahan lunak magnetis feromagnetik. Bahan lunak magnetis feromagnetik ini sebagian besar memiliki sifat-sifat transformator pada umumnya. Bahan lunak magnetis feromagnetik memiliki beberapa ciri, yaitu magnetisasi yang mudah, magnetisasi pembalikan permeabilitas magnet tinggi), memiliki tingkat induksi magnet tinggi, dan memiliki nilai kerugian minimum untuk magnetisasi pembalikan. Dua kondisi pertama ini menentukan ukuran dan berat belitan listrik dan inti magnetik. Kerugian minimum untuk pembalikan magnetisasi sangat menentukan efisiensi dari transformator dan suhu operasi transformatornya. Pada saat ini inti dan bagian aktif magnet yang merupakan bahan perangkat elektroteknik diproduksi dari jenis baja anisotropik elektroteknik (EAS). Tingkat dari sifat magnet ini dievaluasi dari beberapa karakteristik yang utama adalah kehilangan magnet spesifik $P_{1.7} 50$, W kg yang

diukur dalam medan dengan nilai induksi sebesar 1,7 T pada frekuensi medan 50 Hz) dan induksi elektromagnetik B800 dimana T diukur pada nilai tetap 800 A m dari intensitas medan magnet.

Baja listrik adalah bahan fungsional dan canggih digunakan dalam motor, generator listrik dan transformer untuk aplikasi listrik. Baja silicon mengandung Si merupakan bahan feromagnetik terpenting yang diproduksi saat ini dan membentuk inti dari berbagai macam mesin listrik. Baja listrik ini memiliki banyak jenis yaitu baja listrik yang tidak berorientasi dan baja listrik berorientasi. Banyak faktor yang mempengaruhi pembuatan baja listrik yaitu sifat magnetik, resistivitas, ukuran butir, dan tekstur yang dapat dikontrol melalui pilihan komposisi dan dikontrol melalui kondisi pemrosesan yang tepat. Beberapa parameter penting harus diperhatikan dalam pembuatan baja listrik yaitu permeabilitas relatif, koersivitas, magnetisasi saturasi, dan konduktivitas listrik. Baja listrik biasanya diproduksi dengan *continuous casting* dan dilebur dalam tungku oksigen, kemudian masuk ke proses *hot rolling* setelahnya masuk ke *annealing process* dan *descaling process*, di mana kotoran dan kerak dihilangkan dari permukaan. Setelah itu, selanjutnya masuk ke proses *cold reduction*, di mana ketebalan baja dikurangi dan dikoreksi sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Selanjutnya, kandungan karbon dalam baja dikurangi dengan anil dekarbonisasi, di mana gulungan baja dipanaskan dalam campuran hidrogen, nitrogen, dan uap air. Kontaminan tambahan, seperti sulfur dihilangkan dalam proses ini. Untuk baja tipe berorientasi butir kumparan mengalami anil kumparan suhu tinggi (HTCA) pada sekitar 1100 °C untuk mencapai sifat magnetik dan pertumbuhan butir yang diperlukan.

Baja listrik yang merupakan bahan magnetik lunak dengan sifat listrik yang ditingkatkan banyak digunakan di seluruh aplikasi seperti relai kecil, solenoida, motor listrik, generator, dan banyak perangkat elektromagnetik lainnya dan dapat disimpulkan bahwa baja listrik bisa diaplikasikan di semua elemen perkembangan dunia, hal ini didukung dengan baja listrik terbuat dari besi feromagnetik yang mengandung silikon (Si) dalam jumlah yang bervariasi antara 1% hingga 6,5%. Baja listrik juga disebut sebagai baja silikon, baja transformator, atau baja laminasi dan digunakan terutama dalam sistem distribusi tenaga listrik dan industri otomotif.

Perkembangan baja listrik didorong oleh banyaknya perangkat listrik yang membutuhkan baja, karena hal inilah wajib untuk mengetahui bagaimana pengaruh karakteristik pengerjaan panas (*hot working*) dari baja listrik yang merupakan inti dari trafo pada temperatur tinggi, untuk penelitian ini menggunakan temperatur sebesar 1050°C-1100°C yang berguna untuk menunjang perkembangan baja listrik dalam pembangunan dunia yang lebih baik.

Baja listrik memiliki sifat yang diinginkan berikut untuk mendukung pembangkitan, distribusi dan konsumsi listrik dunia ini, sifat tersebut adalah baja listrik memiliki permeabilitas tinggi yaitu peningkatan kapasitas untuk mendukung medan magnet, memiliki tingkat magnetostriksi rendah yaitu memiliki kecenderungan rendah untuk mengembang atau menyusut dalam medan magnet, memiliki resistivitas listrik tinggi yang dapat mengurangi kehilangan inti dengan mengurangi komponen arus eddy dan memiliki penurunan kehilangan histeresis, dimana kehilangan histeresis rendah berarti lebih sedikit energi yang terbuang dalam bentuk panas dari gaya magnetisasi bolak-balik. Karena hal inilah penting untuk mengetahui bagaimana pengaruh karakteristik pengerjaan panas (*hot working*) dari baja listrik yang merupakan inti dari trafo pada temperatur tinggi sehingga diperlukan uji kompresi panas pada temperatur tinggi sebesar 1050°C-1100°C dan output dari penelitian ini didapatkan hasil pengujian berupa grafik dan persamaan matematika untuk temperatur 1050°C-1100°C.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dirumuskan, didapat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana penyelesaian persamaan matematika eksponensial terhadap pengaruh karakteristik pengerjaan panas (*hot working*) dari baja listrik yang merupakan inti dari trafo pada temperatur tinggi 1050°C dan 1100°C.
2. Bagaimana cara untuk mengetahui nilai energi aktivasi, nilai zenner hollomon dan nilai laju DRV terhadap pengaruh karakteristik

pengerjaan panas (*hot working*) dari baja listrik yang merupakan inti dari trafo pada temperatur tinggi 1050°C dan 1100°C.

3. Bagaimana pengaruh karakteristik pengerjaan panas (*hot working*) dan kandungan baja listrik 3% Si dari baja listrik yang merupakan inti dari trafo pada temperatur tinggi 1050°C dan 1100°C.

1.3 Hipotesis

Hipotesis awal dari penelitian ini adalah kinerja panas baja listrik (*hot working*) semakin baik seiring meningkatnya temperature yang menghasilkan sifat magnetik yang sangat baik sehingga dapat mempelancar dan meningkatkan produksi dengan proses yang singkat sehingga dapat menyebabkan penghematan energi dan pengurangan emisi global.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Mengetahui penyelesaian persamaan matematika eksponensial terhadap pengaruh karakteristik pengerjaan panas (*hot working*) dari baja listrik yang merupakan inti dari trafo pada temperatur tinggi 1050°C dan 1100°C.
2. Mengetahui nilai energi aktivasi, nilai zenner hollomon dan nilai laju DRV terhadap pengaruh karakteristik pengerjaan panas (*hot working*) dari baja listrik yang merupakan inti dari trafo pada temperatur tinggi 1050°C dan 1100°C.
3. Mengetahui pengaruh karakteristik pengerjaan panas (*hot working*) dan kandungan baja listrik 3% Si dari baja listrik yang merupakan inti dari trafo pada temperatur tinggi 1050°C dan 1100°C.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun yang menjadi manfaat pada penelitian ini adalah:

1. Sarana informasi bahwa silikon dapat dijadikan sebagai unsur tambahan pada baja.

2. Bagi peneliti, sebagai sarana untuk menambah dan memperdalam ilmu pengetahuan tentang baja listrik dan pengaplikasiannya.
3. Bagi peneliti selanjutnya, diharapkan dapat dijadikan sebagai sumber rujukan yang membahas tentang baja listrik.
4. Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat di berbagai bidang.

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Variasi temperatur yang digunakan pada penelitian yaitu 1050°C dan 1100°C.
2. Komposisi baja yang digunakan yaitu menggunakan baja listrik yang mengandung 3% Si.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadabadi, R. M., Naderi, M., Mohandesi, J. A., & Cabrera, J. M. (2017). The Effect of Hot Deformation Parameters on Grain Size Refinement in a Martensitic Stainless Steel. *IJMF Iranian Journal of Materials Forming*, 4(2), 25–36.
- Akbari, Z., Mirzadeh, H., & Cabrera, J. M. (2015). A simple constitutive model for predicting flow stress of medium carbon microalloyed steel during hotdeformation. *Materials and Design*, 77, 126–131.
- Akca, E., & Trgo, E. (2015). Metallographic Procedures and Analysis – A review. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, 3(2).
<https://doi.org/10.21533/pen.v3i2.51>
- Akta, S., Richardson, G. J., & Sellars, C. M. (2005). Hot deformation and recrystallization of 3% silicon steel part 3: Effect of hot deformation variables on static recrystallization. *ISIJ International*, 45(11), 1686–1695.
<https://doi.org/10.2355/isijinternational.45.1686>
- Al Omar, A., Chenaoui, A., Dkiouak, R., Cabrera, J. M., & Prado, J. M. (2006). Aproximación al control de la microestructura de dos aceros microaleados con contenido medio de carbono en condiciones de conformado en caliente. *Revista de Metalurgia (Madrid)*, 42(2), 103–112.
- Azarbarmas, M., Aghaie-Khafri, M., Cabrera, J. M., & Calvo, J. (2016a). Dynamic recrystallization mechanisms and twinning evolution during hot deformation of Inconel 718. *Materials Science and Engineering: A*, 678, 137–152.
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.09.100>
- Azarbarmas, M., Aghaie-Khafri, M., Cabrera, J. M., & Calvo, J. (2016b).

Microstructural evolution and constitutive equations of Inconel 718 alloy under quasi-static and quasi-dynamic conditions. *Materials and Design*, 94, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.12.157>

Berrios Ortiz, J. ., Huaman Marros, P. K., & Higuera Cobos, O. F. (2022). Comportamiento a la fatiga de un cobre refinado sin y con severa deformación mediante Presión en Canal Angular Constante. *Revista Minerva*, 1(1), 9–17. <https://doi.org/10.5377/revminerva.v1i1.12548>

Binti Abdullah, A. F., & Adesta, E. Y. T. (2015). Implementation of functional analysis using value analysis value engineering (VAVE). *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(21), 10072–10076.

Blum, W., Dvořák, J., Král, P., Eisenlohr, P., & Sklenička, V. (2019). Strain rate contribution due to dynamic recovery of ultrafine-grained cu–zr as evidenced by load reductions during quasi-stationary deformation at 0.5 Tm. *Metals*, 9(11), 1–17. <https://doi.org/10.3390/met9111150>

Botelho, R. A., Diniz, S. B., Da Cunha, M. A., & Brandao, L. P. (2015). Properties of NGO 3% silicon steel asymmetrically cold rolled. *Materials Research*, 18(Suppl 2), 143–147. <https://doi.org/10.1590/1516-1439.352714>

Bulín, T., Švábenská, E., Hapla, M., Ondrůšek, C., & Schneeweiss, O. (2017). Magnetic properties and structure of non-oriented electrical steel sheets after different shape processing. *Acta Physica Polonica A*, 131(4), 819–821. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.131.819>

Byon, S. M., Roh, Y. H., Yang, Z., & Lee, Y. (2021). A roll-bending approach to suppress the edge cracking of silicon steel in the cold rolling process. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 235(1–2), 112–124.

- Cabrera, J. M., Al Omar, A., Jonas, J. J., & Prado, J. M. (1997). Modeling the flow behavior of a medium carbon microalloyed steel under hot working conditions. *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, 28(11), 2233–2244. <https://doi.org/10.1007/s11661-997-0181-8>
- Calvo, J., Rodriguez-Calvillo, P., Cabrera, J. ., & Mateo, A. (2012). Características de la deformación en caliente de los aceros TWIP. In XIII Congreso nacional de propiedades mecánicas de sólidos.
- Chen, X., Liao, Q., Niu, Y., Jia, W., Le, Q., Cheng, C., Yu, F., & Cui, J. (2019). A constitutive relation of AZ80 magnesium alloy during hot deformation based on Arrhenius and Johnson-Cook model. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(2), 1859–1869. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.01.003>
- Choi, S., & Park, N. (2014). Evolution of Goss Orientation during Heating with Different Heating Rates in Cold-Rolled Grain-Oriented Electrical Steel. 4(4), 136–140. <https://doi.org/10.5923/j.ijme.20140404.03>
- Chwastek, K. R. (2022). The Effects of Sheet Thickness and Excitation Frequency on Hysteresis Loops of Non-Oriented Electrical Steel. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(20). <https://doi.org/10.3390/s22207873>
- Cross, A. J., & Skemer, P. (2019). Rates of Dynamic Recrystallization in Geologic Materials. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124(2), 1324–1342. <https://doi.org/10.1029/2018JB016201>
- De Oliveira, T. S., Silva, E. S., Rodrigues, S. F., Nascimento, C. C. F., Leala, V. S., & Reis, G. S. (2017). Softening mechanisms of the AISI 410 martensitic stainless steel under hot torsion simulation. *Materials Research*, 20(2), 395–406. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2016-0795>

- Diniz, S. B., & Brandao, L. P. (2015). Properties of NGO 3 % Silicon Steel Asymmetrically Cold Rolled. November 2016. <https://doi.org/10.1590/1516-1439.352714>
- Dough, F. (2019). Non-oriented fully processed electrical steels. Accelor Mital, L.
- Ebrahimi, R., & Shafiei, E. (2012). Mathematical Modeling of Single Peak Dynamic Recrystallization Flow Stress Curves in Metallic Alloys. Recrystallization, March. <https://doi.org/10.5772/34445>
- El Wahabi, M., Cabrera, J. M., & Prado, J. M. (2003). Hot working of two AISI 304 steels: A comparative study. *Materials Science and Engineering: A*, 343(1–2), 116–125. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(02\)00357-X](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(02)00357-X)
- El Wahabi, M., Gavard, L., Cabrera, J. M., Prado, J. M., & Montheillet, F. (2005). EBSD study of purity effects during hot working in austenitic stainless steels. *Materials Science and Engineering: A*, 393(1–2), 83–90.
- El Wahabi, M., Gavard, L., Montheillet, F., Cabrera, J. M., & Prado, J. M. (2005). Effect of initial grain size on dynamic recrystallization in high purity austenitic stainless steels. *Acta Materialia*, 53(17), 4605–4612.
- Fedoriková, A., Kvačkaj, T., Kočiško, R., Bidulský, R., & Petroušek, P. (2017). Hot compression test of heat resistant steel. *Acta Physica Polonica A*, 131(5), 1340–1343. <https://doi.org/10.12693/APHYSPOLA.131.1340>
- Feng, Z. (2022). Roles of Silicon Content and Normalization Temperature on Cold Workability and Recrystallization of High-Grade Non-Oriented Silicon Steel. April. <https://doi.org/10.3390/cryst12050593>
- Franceschi, M., Pezzato, L., Gennari, C., Fabrizi, A., Polyakova, M., Konstantinov,

- D., Brunelli, K., & Dabalà, M. (2020). Effect of intercritical annealing and austempering on the microstructure and mechanical properties of a high silicon manganese steel. *Metals*, 10(11), 1–19. <https://doi.org/10.3390/met10111448>
- Guerrero, G. A. (2012). Determination of the critical parameters for the onset of dynamic recrystallization (DRX) in advanced ultrahigh strength steels (A-UHSS) microalloyed with boron. *Computer Methods in Materials Science*, 12(3), 152–162. <http://upcommons.upc.edu/e-prints/handle/2117/18712>
- Hashimoto, K. (1994). High temperature deformation behavior of TiAl. *Keikinzo/Journal of Japan Institute of Light Metals*, 44(11), 609–613. <https://doi.org/10.2464/jilm.44.609>
- He, J., Zhang, D., Zhang, W., Qiu, C., & Zhang, W. (2017). Constitutive equation and hot compression deformation behavior of homogenized Al-7.5Zn-1.5Mg-0.2Cu-0.2Zr alloy. *Materials*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/ma10101193>
- Hill, A. S., Searle, J., Bingham, P., & Robinson, F. (2011). Understanding and Development of Pseudo Glass Film for Grain Oriented Electrical Steel. *Materials and Manufacturing Academy*, 5.
- Honda, A., Obata, Y., & Okamura, S. (1998). History and recent development of non-oriented electrical steel in Kawasaki Steel. *Kawasaki Steel Technical Report*, 39(39), 13–20.
- Huang, K., & Logé, R. E. (2016). A review of dynamic recrystallization phenomena in metallic materials. *Materials and Design*, 111(November 2017), 548–574. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.09.012>
- Ivaniski, T. M., De Souza, T. F., Épp, J., & Da Silva Rocha, A. (2020). Constitutive modelling of high temperature flow behaviour for a low carbon high silicon

bainitic steel. *Materials Research*, 23(5). <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2020-0264>

Ji, H., Cai, Z., Pei, W., Huang, X., & Lu, Y. (2020). DRX behavior and microstructure evolution of 33Cr23Ni8Mn3N: Experiment and finite element simulation. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 4340–4355. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.02.059>

Jiménez-Lugos, J. C., Cabrera-Marrero, J. M., Chávez-Alcalá, J. F., Hallen-López, J. M., & López-Rodríguez, J. (2022). Constitutive Modeling of Hot Deformation of Carbon Steels in the Intercritical Zone. *Materials Research*, 25. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2021-0275>

Karthikeyan, G., & Jinu, G. R. (2017). Tensile behaviour and fractography analyses of LM6/ZrO₂ composites. *Materiali in Tehnologije*, 51(3), 549–553. <https://doi.org/10.17222/mit.2015.319>

Kim, K., Park, H. W., Ding, S., Park, H. W., & Yanagimoto, J. (2021). Flow stress of duplex stainless steel by inverse analysis with dynamic recovery and recrystallization model. *ISIJ International*, 61(1), 280–291.

Kingkam, W., Li, N., Zhang, H. X., & Zhao, C. Z. (2017). Hot Deformation Behavior of High Strength Low Alloy Steel by Thermo Mechanical Simulator and Finite Element Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 205(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/205/1/012001>

Kvackaj, T., Bella, P., Bidulský, R., Kociško, R., Petroušek, P., Fedoriková, A., Bidulská, J., Jandacka, P., Lupták, M., Cerník, M., & Pernise, R. (2017). The effect of cryo-rolling and annealing on magnetic properties in non-oriented electrical steel. *Acta Physica Polonica A*, 131(4), 1105–1107. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.131.1105>

- Lei, Y., Yang, Y., Tan, Y., Zhang, W., Wu, S., & Ma, M. (2022). Effect of Hot Working Parameters on Microstructure and Texture Evolution of Hot-Deformed Zr-45Ti-5Al-3V Alloy. *Materials*, 15(4).
- Li, M., Duan, Y., Yao, D., Guan, Y., & Yang, L. (2020a). Constitutive model and flow behavior of B1500hs high-strength steel during the hot deformation process. *Metals*, 10(1), 1–21. <https://doi.org/10.3390/met10010064>
- Liu, F., Wu, J., Chen, K., & Xue, D. (2010). Morphology Study by Using Scanning Electron Microscopy. *Microscopy: Science, Technology, Applications and Education*, February 2015, 1781–1792.
- Lobanov, M. L., Rusakov, G. M., & Redikul'tsev, A. A. (2011). Electrotechnical anisotropic steel. Part 1. History of development. *Metal Science and Heat Treatment*, 53(7–8), 326–332. <https://doi.org/10.1007/s11041-011-9391-1>
- López-Chipres, E., Mejía, I., Maldonado, C., Bedolla-Jacuinde, A., El-Wahabi, M., & Cabrera, J. M. (2008). Hot flow behavior of boron microalloyed steels. *Materials Science and Engineering: A*, 480(1–2), 49–55.
- Ma, Y., Du, Z., Cui, X., Cheng, J., Liu, G., Gong, T., Liu, H., Wang, X., Chen, Y., Y., Rusnák, J., Malega, P., Svetlík, J., Rudy, V., Šmajda, N., Processes, F., Sethi, G., Myers, N. S., German, R. M., Working, C., ... Thouas, G. A. (2016). MANUFACTURING PROCESSES. *Progress in Natural Science: Materials International*, 28(6), 1–57.
- Mei, R., Bao, L., Li, G., Zhang, X., Qi, X., & Liu, X. (2017). Tensile Deformation Behavior and Fracture of Fe-3.3%Si Steel At a Wide Range of Moderate Temperatures. *International Journal of Advanced Research*, 5(12), 37–43. <https://doi.org/10.21474/ijar01/5934>

- Mejía, I., López-Chipres, E., Maldonado, C., Bedolla-Jacuinde, A., & Cabrera, J. M. (2008). Modeling of the hot deformation behavior of boron microalloyed steels under uniaxial hot-compression conditions. *Zeitschrift Fuer Metallkunde/Materials Research and Advanced Techniques*, 99(12), 1336–1345. <https://doi.org/10.3139/146.101771>
- Mejía, I., López-chipresa, E., Maldonado, C., & Bedolla-jacuinde, A. (2008). Pemodelan perilaku deformasi panas baja mikroalloy boron di bawah kondisi kompresi panas uniaksial. 99, 1336–1345.
- Mirzadeh, H., Cabrera, J. M., Najafizadeh, A., & Calvillo, P. R. (2012). EBSD study of a hot deformed austenitic stainless steel. *Materials Science and Engineering: A*, 538, 236–245. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.01.037>
- Mirzadeh, H., Cabrera, J. M., Prado, J. M., & Najafizadeh, A. (2011). Hot deformation behavior of a medium carbon microalloyed steel. *Materials Science and Engineering: A*, 528(10–11), 3876–3882.
- Mirzadeh, Hamed, Cabrera, J. M., & Najafizadeh, A. (2011). Constitutive relationships for hot deformation of austenite. *Acta Materialia*, 59(16), 6441–6448. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2011.07.008>
- Mirzadeh, Hamed, Cabrera, J. M., & Najafizadeh, A. (2012). Modeling and prediction of hot deformation flow curves. *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, 43(1), 108–123. <https://doi.org/10.1007/s11661-011-0836-3>
- Mirzaie, T., Mirzadeh, H., & Cabrera, J. M. (2016). A simple Zerilli-Armstrong constitutive equation for modeling and prediction of hot deformation flow stress of steels. *Mechanics of Materials*, 94, 38–45.

- Model, T., & Control, S. C. R. P. (1952). Product Data Sheet Model 5620 Power Control Solution High Reliability / Low Maintenance Phase Angle Power Control Multiple Line Voltages / Amperages Phase Angle Control. 4–5.
- Morito, N., Komatsubara, M., & Shimizu, Y. (1998). History and recent development of grain oriented electrical steel at Kawasaki Steel. Kawasaki Steel Technical Report, 39(39), 3–12.
- Nakanishi, D., Kawabata, T., & Aihara, S. (2016). An Observation of Brittle Crack Propagation in Coarse Grained 3% Silicon Steel. *Procedia Structural Integrity*, 2, 493–500. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2016.06.064>
- Obiko, J., Chown, L., Whitefield, D., & Bodunrin, M. (2022). Metal flow behaviour and processing maps of high heat resistant steel during hot compression. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 121(5–6), 4153–4167. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09577-3>
- Ouchi, C., & Okita, T. (1983). DYNAMIC RECOVERY AND STATIC RECRYSTALLIZATION OF 1. 8% Al STEEL IN HOT DEFORMATION. *Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*, 23(2), 128–136. <https://doi.org/10.2355/isijinternational1966.23.128>
- Páramo-Kañetas, P., Öztürk, U., Calvo, J., Cabrera, J. M., & Guerrero-Mata, M. (2018). High-temperature deformation of delta-processed Inconel 718. *Journal of Materials Processing Technology*, 255(2), 204–211.
- Qaiser, M. H., Umar, S., Nauman, S., Dudy, L., Aulbach, J., & Lara, A. (2021). Fatigue behaviour of thin Fe-Si steel sheets for electric motor production Fatigue behaviour of thin Fe-Si steel sheets for electric motor production. 0–11. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1038/1/012004>

- Qiang, F., Bouzy, E., Kou, H., Zhang, Y., Wang, L., & Li, J. (2021). Grain fragmentation associated continuous dynamic recrystallization (CDRX) of hexagonal structure during uniaxial isothermal compression: High-temperature α phase in TiAl alloys. *Intermetallics*, 129, 0–41.
- Quan, G. Z., Wang, X., Li, Y. L., & Zhang, L. (2017). Analytical descriptions of dynamic softening mechanisms for Ti-13Nb-13Zr biomedical alloy in single phase and two phase regions. *Archives of Metallurgy and Materials*, 62(4), 2029–2043. <https://doi.org/10.1515/amm-2017-0302>
- Reyes, F., Calvo, J., Cabrera, J. M., & Mejía, I. (2012). Effect of v on hot deformation characteristics of TWIP steels. *Steel Research International*, 83(4), 334–339. <https://doi.org/10.1002/srin.201100320>
- Rezayat, M., Parsa, M. H., Mirzadeh, H., & Cabrera, J. M. (2019). Texture development during hot deformation of Al/Mg alloy reinforced with ceramic particles. *Journal of Alloys and Compounds*, 798, 267–272. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.05.233>
- Rohaľ, V., Spišák, E., Mulidrán, P., & Majerníková, J. (2020). Basic classification and processing of electrical steels. 1–6. <https://doi.org/10.9790/1813-0907010106>
- Romero, P., Otero, N., Cabrera, J. M., & Masagué, D. (2010). Laser Assisted Conical Spin Forming of dual phase automotive steel. Experimental demonstration of work hardening reduction and forming limit extension. *Physics Procedia*, 5(PART 2), 215–225.
- Saadatkia, S., Mirzadeh, H., & Cabrera, J. M. (2015). Hot deformation behavior, dynamic recrystallization, and physically-based constitutive modeling of plain carbon steels. *Materials Science and Engineering: A*, 636, 196–202.

<https://doi.org/10.1016/j.msea.2015.03.104>

Sablik, M. J., Landgraf, F. J. G., Magnabosco, R., Fukuhara, M., de Campos, M. F., Machado, R., & Missell, F. P. (2006). Fitting the flow curve of a plastically deformed silicon steel for the prediction of magnetic properties. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 304(2), 155–158.

Salas-Reyes, A. E., Mejía, I., & Cabrera, J. M. (2017). Influence of Nb Microaddition on Microstructure and Texture Evolution in a Fe-21Mn-1.3Al-1.5Si-0.5C TWIP Steel under Uniaxial Hot-Tensile Conditions. *MRS Advances*, 2(61), 3797–3803. <https://doi.org/10.1557/adv.2017.600>

Sampson, B. (2010). Heat treatment. *Professional Engineering*, 23(7), 19–20. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v15.a0005230>

Shinozaki, M., Matoba, I., Kan, T., & Gotoh, T. (1978). Effect of Primary Recrystallized Texture on the Behavior of Secondary Recrystallization in 3% Silicon Steel. In *Trans Jpn Inst Met* (Vol. 19, Issue 2, pp. 85–91). <https://doi.org/10.2320/matertrans1960.19.85>

Silva, M. B. dos R., Gallego, J., Marrero, J. M. C., Balancin, O., & Jorge Júnior, A. M. (2018). Análise Do Tempo Entre Passes Na Evolução Microestrutural De Aços Inoxidáveis Austeníticos De Alto Nitrogênio, Com E Sem Nióbio. 105–114. <https://doi.org/10.5151/12abinox-26989>

Silva, M. B. dos R., Gallego, J., Marrero, J. M. C., Balancin, O., & Jorge Júnior, A. M. (2019). Efeito Do Tempo Entre Passes Na Interação Recristalização-Precipitação De Um Aço Ino-Xidável Austenítico Com Alto Teor De Nióbio E Nitrogênio. 8834–8845. <https://doi.org/10.5151/1516-392x-25069>

Singh, R. (2016). *Introduction to Basic Manufacturing Processes and Workshop*

Technology. University of Basrah College of Engineering Mechanical Engineering Department, 1–8.

Tehovnik, F., Žužek, B., & Burja, J. (2016). Hot tensile testing of SAF 2205 duplex stainless steel. *Materiali in Tehnologije*, 50(6), 989–993. <https://doi.org/10.17222/mit.2016.242>

Thomas, A., El-Wahabi, M., Cabrera, J. M., & Prado, J. M. (2006). High temperature deformation of Inconel 718. *Journal of Materials Processing Technology*, 177(1–3), 469–472.

Varela-Castro, G., Calvo, J., & Cabrera, J. M. (2010). Analysis of hot tensile and compression curves to assess the hot ductility of C-Mn steels. *Materials Science Forum*, 638–642, 3158–3163.

Wang, L., Ji, L., Yang, K., Gao, X., Chen, H., & Chi, Q. (2022). The Flow Stress–Strain and Dynamic Recrystallization Kinetics Behavior of High-Grade Pipeline Steels. *Materials*, 15(20). <https://doi.org/10.3390/ma15207356>

Wang, R., Wang, M., Li, Z., & Lu, C. (2018). Physics-based Constitutive Model for the Hot Deformation of 2Cr11Mo1VNbN Martensitic Stainless Steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 27(9), 4932–4940. <https://doi.org/10.1007/s11665-018-3527-z>

Wang, W., Ma, R., Li, L., Zhai, R., Ma, S., Yan, H., Zhang, S., & Gong, S. (2020). Constitutive analysis and dynamic recrystallization behavior of as-cast 40CrNiMo alloy steel during isothermal compression. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(2), 1929–1940.

WANG, X., LI, Z., XIAO, Z., & QIU, W. ting. (2020). Microstructure evolution and hot deformation behavior of Cu–3Ti–0.1Zr alloy with ultra-high strength.

Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition), 30(10), 2737–2748. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(20\)65416-4](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(20)65416-4)

Watson, H., Cockbain, A. J., Spencer, J., Race, A., Volpato, M., Loadman, P., Toogood, G., & Hull, M. A. (2016). Author ' s Accepted Manuscript Author ' s Accepted Manuscript. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 115, 60–66. <https://doi.org/10.1097/JU.0000000000002945>

Wouters, R., & Froyen, L. (1996). Scanning electron microscope fractography in failure analysis of steels. Materials Characterization, 36(4–5), 357–364. [https://doi.org/10.1016/s1044-5803\(96\)00070-8](https://doi.org/10.1016/s1044-5803(96)00070-8)

Xiao, F., Zhang, Z. H., & Fu, H. D. (2019). Effect of Si content on hot deformation behavior and dynamic recrystallization of high-silicon electrical steel. Gongcheng Kexue Xuebao/Chinese Journal of Engineering, 41(3), 332–342. <https://doi.org/10.13374/j.issn2095-9389.2019.03.006>

Yao, Z., Wang, H., Dong, J., Wang, J., Jiang, H., & Zhou, B. (2020). Characterization of hot deformation behavior and dislocation structure evolution of an advanced nickel-based superalloy. Metals, 10(7), 1–18. <https://doi.org/10.3390/met10070920>

Yu, T., Hansen, N., Huang, X., & Godfrey, A. (2014). Observation of a new dynamic recovery mechanism in the high strain regime. Proceedings of the 35th Risoe International Symposium on Materials Science: New Frontiers of Nanometals, 35, 493–500.

You, D., & Park, H. (2018). Developmental trajectories in electrical steel technology using patent information. Sustainability (Switzerland), 10(8). <https://doi.org/10.3390/su10082728>

- Zhang, X., Wang, X., & Zhang, D. (2019). Investigation into constitutive equation and hot compression deformation behavior of 6061 Al Alloy. *Tehnicki Vjesnik*, 26(5), 1376–1382. <https://doi.org/10.17559/TV-20190606144011>
- Zhang, Yi, Huili, S., Volinsky, A. A., Tian, B., Chai, Z., Liu, P., & Liu, Y. (2016). Hot Deformation and Dynamic Recrystallization Behavior of the Cu-Cr-Zr-Y Alloy. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 25(3), 1150–1156. <https://doi.org/10.1007/s11665-016-1914-x>
- Zhang, Yingbo, Zou, D., Wei, T., Li, J., Tong, L., & Zhang, W. (2020). Microstructural evolution and precipitation behavior of the 0.1C-18Cr-1Al-1Si ferritic heat-resistant stainless steel during hot deformation. *Materials Research Express*, 7(3), 36513. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab7d0d>