

**ANALISIS PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN
TERHADAP KETAHANAN *FATIGUE* BAJA AISI 1045
DENGAN PENGUJIAN *ROTARY BENDING***

Roy Ronal Manik¹⁾, Zulhanif^{1)*} dan Tarkono¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung

^{*)} Email Korespondensi: zulhanif@eng.unila.ac.id

Abstrak

Baja merupakan material yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang industri. Salah satu jenis baja yang umum digunakan adalah baja AISI 1045, yang sering diaplikasikan sebagai bahan poros pada komponen mesin. Dalam operasinya, poros bekerja di bawah beban dinamis dalam jangka waktu lama sehingga berpotensi mengalami kegagalan lelah (fatigue). Kekasaran permukaan memiliki pengaruh signifikan terhadap ketahanan lelah suatu komponen; semakin kasar permukaannya, semakin mudah terbentuk retak awal yang dapat berkembang menjadi patahan dan memperpendek umur pakai komponen. Untuk mengetahui pengaruh kekasaran permukaan terhadap ketahanan lelah baja AISI 1045, dilakukan pengujian fatigue dengan metode rotary bending. Pengujian dilakukan dengan variasi pembebanan sebesar 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70% dari tegangan tarik maksimum material, disertai pengamatan makroskopik terhadap pola patahan yang terbentuk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketahanan lelah tertinggi diperoleh pada kekasaran permukaan 0,5–1 μm dengan jumlah siklus 829.080 pada pembebanan 20%, dan nilai tersebut menurun seiring meningkatnya kekasaran permukaan.

Kata kunci: Uji fatigue; rotary bending; baja karbon sedang; AISI 1045.

PENDAHULUAN

Penelitian menunjukkan bahwa kekasaran permukaan hasil pembubutan berpengaruh signifikan terhadap umur lelah baja AISI 1045. Permukaan yang lebih halus meningkatkan umur lelah, sedangkan kekasaran tinggi menurunkannya akibat konsentrasi tegangan yang mempercepat inisiasi retak. Pengaturan kecepatan potong dan laju pemakanan terbukti penting untuk menjaga integritas permukaan. Model prediksi menunjukkan hubungan terbalik antara kekasaran rata-rata (Ra) dan batas lelah material [1].

Pada penelitian analisis pengaruh proses penggulangan permukaan ultrasonik (USRP) terhadap sifat kelelahan paduan aluminium 7075-T6 dengan variasi tekanan statis. Hasil menunjukkan bahwa USRP membentuk lapisan gradien permukaan dengan pengerasan kerja,

tegangan sisa tekan, dan kepadatan dislokasi tinggi.

Pada tekanan 200 N, kekerasan permukaan mencapai 167 HV dan tegangan sisa tekan 560 MPa, yang secara signifikan meningkatkan ketahanan lelah. Tegangan tekan dan pengerasan permukaan menghambat inisiasi serta memperlambat perambatan retak. Akibatnya, umur lelah meningkat hingga $7,9 \times 10^6$ siklus pada 300 MPa, sekitar 100 kali lebih tinggi dibandingkan sampel tanpa perlakuan [2].

Pada penelitian mengevaluasi pengaruh proses penggulangan dalam (deep rolling) terhadap integritas permukaan baja AISI 1045 yang dianil. Hasil menunjukkan bahwa deep rolling secara signifikan menurunkan kekasaran permukaan, terutama pada tekanan 14 MPa, namun tidak meningkatkan ketahanan korosi berdasarkan uji elektrokimia.

Meski demikian, umur fatik meningkat tajam setelah paparan korosi, dengan hasil terbaik pada tekanan 14 MPa dan laju umpan 0,04 mm/rev — bahkan melampaui kondisi tanpa korosi. Analisis mikrostruktur menunjukkan deformasi plastis lokal dan peningkatan kekerasan di lapisan permukaan akibat pengerasan regangan. Fraktografi juga memperlihatkan lebih sedikit tanda ratchet, menandakan mekanisme retak yang lebih terkendali [3].

Perlakuan Surface Mechanical Rolling Treatment (SMRT) pada baja AISI 1045 menghasilkan penghalusan dan rekombinasi mikrostruktur permukaan melalui deformasi plastis dan fragmentasi sementit. Uji fatik menunjukkan peningkatan kekuatan dan daktilitas fatik, dengan kontribusi utama berasal dari struktur mikro gradien dibanding tegangan sisa. Semua retak terinisiasi di permukaan tanpa adanya titik tekuk pada kurva regangan-kelelahan [4].

Pembubutan kering baja AISI 1045 dengan sisipan cermet tak berlapis menunjukkan bahwa laju pemakanan berpengaruh utama terhadap kekasaran permukaan, sedangkan kecepatan potong berpengaruh kecil. Keausan abrasif menjadi mekanisme dominan, dengan umur pahat 35 menit pada 175 m/menit dan 23 menit pada 275 m/menit. Tidak ditemukan cacat mikrostruktur, sehingga proses ini dinilai efektif dan berkelanjutan untuk pembubutan baja 1045 [5]

Logam merupakan material kebutuhan manusia yang banyak penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu contoh logam yang sangat banyak penggunaannya ialah Baja. Baja adalah sebuah senyawa antara besi (Fe) dan karbon (C), dimana untuk memenuhi kriteria sifat-sifat yang diinginkan pada baja sering ditambahkan unsur paduan lain untuk mendapatkan sifat yang dikehendaki.

Pada bidang industri baja merupakan salah

satu material logam yang banyak digunakan baik dalam bidang konstruksi, permesinan dan lain-lain. Baja AISI 1045 yang tergolong dalam baja karbon sedang yang banyak digunakan sebagai bahan utama pada mesin seperti poros, gear, dan batang penghubung piston pada kendaraan bermotor. Dalam penggunaannya sebagai bahan pembuat poros yang berfungsi untuk meneruskan daya baik berupa puntiran torsi maupun bending kekasaran permukaan suatu komponen mempengaruhi kekuatan lelah (*fatigue*) dari benda tersebut yang mengakibatkan umur pakai benda atau komponen tersebut menjadi panjang ataupun pendek karena semakin kasar permukaannya mengakibatkan mudah timbulnya awal retak yang berakhir dengan perpatahan akibat lelah [6].

Poros yang mengalami pembebanan berulang mengakibatkan *crack* yang akhirnya mengalami kegagalan dalam operasinya. Kegagalan ini umum terjadi, karena pada prinsipnya setiap komponen pasti memiliki batas usia pakai, akan tetapi setidaknya kita dapat mengetahui batas pemakaian dari komponen yang kita gunakan sehingga dapat memperbaiki atau menggantinya, sehingga mesin dapat bekerja secara optimal sesuai dengan keperluan. Kegagalan bahan dapat timbul akibat retak (*crack*) yang terus berkembang hingga terjadi perambatan yang kemudian menyebabkan bahan menjadi patah. Salah satu tipe pengujian untuk memprediksi kegagalan material akibat beban berulang (*fatigue*) adalah pengujian dengan menggunakan mesin uji *fatigue rotary bending* [7].

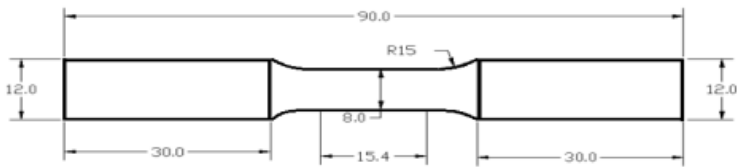
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kekasaran permukaan terhadap ketahanan lelah baja karbon sedang AISI 1045 serta melakukan perbandingan antara berbagai tingkat kekasaran permukaan tersebut.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Spesimen uji *fatigue*



Gambar 6. Dimensi spesimen uji *fatigue* ASTM E 466.

Sebagai bahan yang akan di uji untuk mengetahui nilai siklus ketahanan lelahnya (*fatigue*) yang mempunyai kekasaran sesuai dengan hasil dari variasi kecepatan bubut pada proses pembentukan.

2. Alat uji kekasaran (*Roughness tester*)
Digunakan sebagai alat untuk menguji keakasan permukaan.
3. Spedometer
Alat ini digunakan untuk mengukur jumlah siklus yang dihasilkan pada saat pengujian kekuatan lelah, dimana pada alat ini mempunyai skala 1:60 yaitu satu angka yang berputar pada spedometer menunjukkan 60 putaran yang sesungguhnya yang dialami spesimen uji.
4. Alat uji *fatigue* tipe *rotary bending*
Alat yang digunakan sebagai alat pengujian utama untuk mengetahui nilai siklus ketahanan *fatigue* yang mampu dicapai oleh baja AISI 1045 yang dipengaruhi kekasarannya.

Prosedur Pengujian

Seluruh spesimen yang dibentuk sesuai dimensi ASTM untuk uji *fatigue* selanjutnya di lakukan uji kekasaran permukaan yang kekasarannya berbeda-beda akibat variasi kecepatan potong pada saat pembentukan spesimen dan perlakuan tambahan penghalusan untuk spesimen yang paling halus. Kekasaran dibagi menjadi 3 range bagian yaitu 0,5µm - 1µm, 1,5µm - 2µm, dan 2,5µm - 3µm

Tabel 1. Kekasaran permukaan

No. Spesimen	2,5µm - 3µm	1,5µm-2µm	0,5µm-1µm
1	3.05	1.70	0.69
2	3.03	1.95	0.87
3	2.72	2.05	0.65
4	2.93	2.02	0.92
5	2.73	1.86	0.74
6	2.74	1.91	0.99

Selanjutnya pengujian dilanjutkan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Penentuan nilai pembebanan
Menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{W \cdot L}{\frac{\pi}{32} \cdot d^3} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

- σ = Tegangan lentur (MPa)
- W = Beban lentur (N)
- d = Diameter benda uji (mm)
- L = Panjang benda uji (mm)

Nilai pembebanan yang diberikan yaitu sebesar 20%, 30%, 40%, 50% 60% dan 70% dari nilai UTS.

2. Uji *Fatigue*
Pengujian *fatigue* dilakukan pada spesimen baja AISI 1045 dimulai dengan kekasaran paling tinggi dan pemberian beban terbesar yaitu 70% dari UTS, hingga beban terkecil pada 20% UTS.
3. Pengamatan pola perpatahan
Pengambilan gambar secara makro terhadap permukaan patahan spesimen uji *fatigue* untuk mengetahui jenis patahan yang terjadi pada pembebanan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan ASTM (*America Society of Testing Material*) kekuatan tarik baja AISI 1045 adalah sebesar 625 Mpa. Dan dengan menggunakan persamaan 3, diperoleh nilai pembebanan sebagai berikut:

Tabel 2. Nilai pembebanan uji *fatigue*

No	UTS (N/mm ²)	(%) tegangan		W/Kg
1	625	20%	125	6,3
2		30%	187,5	9,4
3		40%	250	12,6
4		50%	312,5	15,7
5		60%	375	18,8
6		70%	437,5	22

Adapun hasil pengujian kekuatan *fatigue* pada baja AISI 1045 sesuai dengan nilai kekasarannya bahwa permukaan yang halus mempunyai kekuatan lelah yang lebih tinggi:

Tabel 3. Hasil uji *fatigue*

No	Beban (kg)	Siklus 2,5µm-3µm	Siklus 1,5µm-2µm	Siklus 0,5µm-1µm
1	6,3	801420	829080	829080
2	9,4	513540	537180	537180
3	12,6	303300	333241	333241
4	15,7	165660	199860	199860
5	18,8	88200	120000	120000
6	22	41580	76200	76200

Hasil pengujian *fatigue* pada gambar grafik S-N. Hasil pengujian diketahui bahwa nilai siklus maksimum yang mampu dicapai dari pengujian *fatigue rotary bending* baja AISI 1045 pada kekasaran 0,5µm-1µm adalah sebesar 82.9080 siklus pada pembebanan 20%.

Selanjutnya, berdasarkan grafik hasil pengujian *fatigue* yang telah dilakukan, didapatkan persamaan logaritmik sebagai berikut:

$$\sigma = -129\ln(x) + 1887 \dots\dots\dots(2)$$

Persamaan logaritmik hasil pengujian *fatigue* kemudian disubstitusikan pada persamaan berikut [5]:

$$S = B + C \ln(N_f) \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

S = tegangan / beban yang diberikan(MPa)

B = nilai pada sumbu Y (MPa)

C = nilai pada sumbu X (Siklus pengujian)

N_f = siklus teoritik

sehingga diperoleh :

$$\sigma = 20\%UTS$$

$$\sigma = -91.8\ln(x) + 1387$$

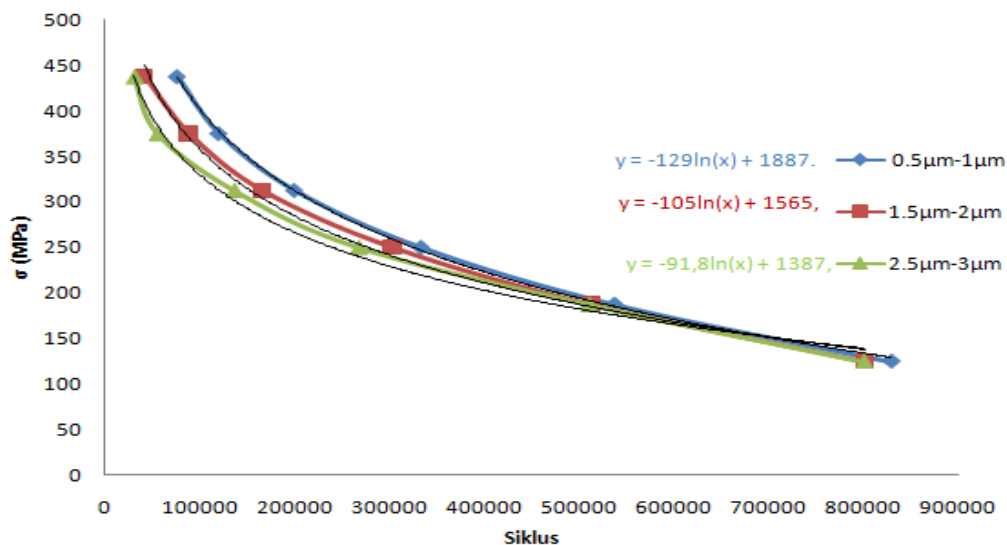
$$91.81 \ln(N_f) = 1387 - \sigma$$

$$\ln(N_f) = \frac{1387 - \sigma}{91.81}$$

$$\ln(N_f) = \frac{1387 - 125}{91.81}$$

$$N_f = 855049.6$$

Perbandingan tegangan dan siklus

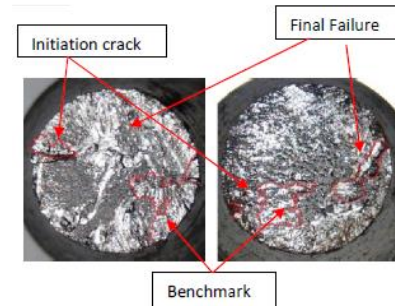
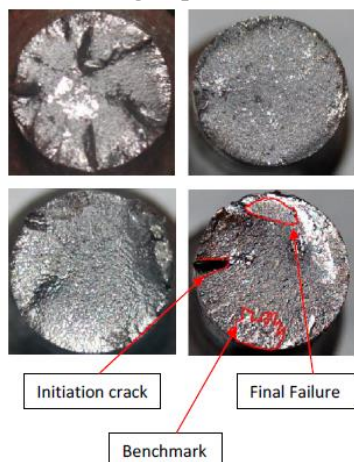


Gambar 4. Grafik S-N Hasil Uji Fatigue

Dari hasil perhitungan teoritik bahwasanya siklus yang dihasilkan lebih besar dari pada proses pengujian, hal ini terjadi karena pada saat operasional pengujian terdapat hal yang memengaruhi kekuatan lelah material, diantaranya temperatur lingkungan dimana, saat pengujian temperatur panas yang dihasilkan dari motor listrik dan bearing yang bergesekan ter-alir secara konduksi menuju spesimen sehingga temperatur spesimen ikut meningkat terutama pada pada pembebanan 20% atau spesimen yang mempunyai kekuatan lelah yang tinggi, karena bearing mengalami gesekan yang lama dan juga motor listrik berputar lebih lama sehingga temperatur yang dihasilkan lebih tinggi juga. Selanjutnya getaran, pada saat pengujian bearing menghasilkan getaran hal ini disebabkan oleh kehausan yang terjadi pada bearing karena pemakaian dalam jangka waktu yang cukup lama dan juga putaran yang tinggi, faktor ini juga mempengaruhi kekuatan lelah pada spesimen karena spesimen dapat berputar melewati garis simetrisnya.

Analisis Pola Perpatahan

Berikut merupakan gambar pola patahan permukaan patahan yang mewakili masing – masing spesimen pada tiap pembebanan yang diambil dengan pembesaran 10 kali.



Gambar 5. Penampang perpatahan spesimen dari pembebanan 70% hingga 20% dari UTS dengan kekasaran $0,5\mu\text{m} - 1\mu\text{m}$

Pada gambar tersebut merupakan penampang perpatahan spesimen dengan kekasaran $0,5\mu\text{m} - 1\mu\text{m}$ yang dimulai dari pembebanan 70% hingga 20% dari UTS (*Ultimate Tensile Strength*). Dari gambar dapat dilihat secara umum bahwa semakin ringan pembebanan yang diberikan maka perpatahan yang terjadi semakin ulet, hal ini dinilai dari warna pada penampang pola patahan. Warna gelap pada penampang pola patahan menunjukkan patah yang getas sedangkan warna yang lebih terang atau mengkilat menunjukkan pola patahan patah ulet.

Patahan yang terjadi berasal dari awal retak (*intiation crack*) dimana awal retak akan menyebar atau membesar sehingga spesimen terpisah. Pada saat proses perambatan retak tersebut permukaan spesimen yang telah retak sebelumnya saling bergesekan dengan penampang permukaan didepannya yang menyebabkan mengkilatnya permukaan tersebut.

Pada pembebanan 70%, 60%, dan 50% tidak jelas terlihat dimana awal retak yang terjadi dan sulit untuk ditentukan, spesimen patah begitu spontan tanpa ada retak yang merambat ini terjadi karena pembebanan yang besar, yang mampu mematahkan spesimen secara cepat.

Warna permukaan, pola patahan spesimen yang gelap, permukaan yang rata, dan tanpa adanya pola yang terjadi pada permukaan pola patahan menyimpulkan bahwa patahan Adalah patahan getas.

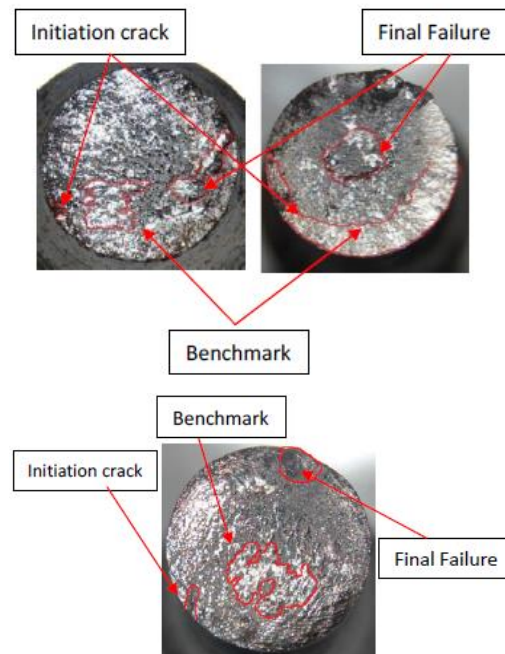
Namun berbeda dengan pembebanan 40%, 30%, dan 20% jika dilihat dari penampang spesimen yang ada, terdapat warna yang mengkilat pada penampang spesimen. Diindikasikan bahwa awal retak terdapat pada pinggiran spesimen yang mengkilat tersebut, dimana seperti penjelasan sebelumnya awal retak yang terjadi akan merambat atau disebut *Benchmark* (disebut *beachmark* karena mereka menyerupai riak-riak yang tertinggal di pasir laut akibat mundurnya gelombang laut) dan selama proses perambatan retak tersebut permukaan pola patahan saling bergesekan yang mengakibatkan warna yg mengkilat pada permukaan patahan penampang.

Pada gambar pembebanan 40%, 30% dan 20% juga terlihat bahwa semakin kecil beban yang diberikan maka rambatan retak (*benchmark*) yang terjadi semakin besar. Ini terjadi karena beban kecil yang diberikan tidak mampu mematahkan spesimen secara cepat dan spontan sehingga *benchmark* atau rambatan retak terus terjadi dan membesar hingga sisa permukaan spesimen yang masih menyambung secara utuh semakin sedikit dan tidak mampu lagi menahan beban ringan sekali-pun hingga akhirnya patah. Dan jika hal ini terjadi, maka kita dapat menyimpulkan letak terakhir dimana bagian permukaan pola patahan yang terakhir kali menyambung secara utuh atau disebut *final failure* seperti pada gambar pembebanan 20%.

Pengaruh Kekasaran

Kekasaran mempengaruhi kekuatan lelah dari baja AISI 1045 yang kita lakukan

pengujian, berikut analisis pola patahan yang dipengaruhi kekasarannya.



Gambar 6. Penampang pola patahan dengan tegangan atau beban 20% UTS pada kekasaran 0,5 – 1, 1,5 – 2, dan 2,5 – 3 mikron.

Pada gambar penampang pola patahan dengan beban 20% dengan variasi kekasarannya hampir memiliki pola patah yang dapat dikatakan sama dimana terlihat *intiation crack* yang terdapat pada pinggiran permukaan pola patahan spesimen, yang kemudian merambat atau disebut *benchmark* secara perlahan hingga permukaan yang sobek semakin besar dan bergesekan yang mengakibatkan permukaan mengkilat. Disebabkan oleh rambatan retak terus terjadi, permukaan yang terhubungan secara utuh semakin sedikit karena beban yang ringan sebesar 6,3 Kg merambatkan retak secara perlahan hingga akhirnya luas penampang yang masih menyambung pada spesimen menjadi kecil dan tidak mampu lagi menahan beban yang diberikan yang berujung terjadinya perpatahan dan

menghasilkan tonjolan ataupun cekungan bila dari sisi sebaliknya yang merupakan *final failure* – nya atau perpatahan akhir.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dihasilkan dari proses pengujian analisis pengaruh kekasaran permukaan terhadap ketahanan *fatigue* baja AISI 1045 dengan pengujian rotary bending adalah sebagai berikut:

1. Kekasaran permukaan berpengaruh terhadap pengujian *fatigue* atau ketahanan lelah seperti pada pembebanan 70% dari uts dimana pada kekasaran 2,5 μ m - 3 μ m menghasilkan siklus sebesar 30780 sedangkan pada kekasaran 1,5 μ m - 2 μ m siklus yang dihasilkan meningkat sebesar 41580 dan meningkat kembali pada kekasaran 0,5 μ m – 1,5 μ m sebesar 76200 siklus. Peningkatan siklus terjadi disetiap penurunan kekasaran permukaan spesimen di-setiap pembebanan yang diberikan
2. Beban merupakan faktor terbesar dari kekuatan lelah, dari hasil data juga dapat dinilai bahwa penggunaan jenis material baja AISI 1045 lebih baik digunakan dengan pembebanan kurang dari 20% dari UTS nya agar tidak terjadi kegagalan pada saat penggunaannya.
3. Semakin berat beban yang diberikan mengakibatkan patah getas hal ini dapat dilihat dari penampang pola patahan dengan pembebanan 70% dari UTS, dimana pola patahan yang dihasilkan berwarna gelap dan tidak terlihatnya rambatan retak dan *final failure*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Kimakh, K. H., Chouaf, A., Saoud, A., Mallil, E. H., Aghzer, S., & Milouki, H. Experimental investigation of surface roughness effect on fatigue performance of AISI 1045 carbon steel and fatigue limit prediction. *Frattura ed Integrità Strutturale*, Vol. 13, No. 48, Pp. 429–441. (2019). <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.48.41>
- [2]. Xiaohui Liu, Tianjian Yu, Shuaixing Wang, Shujing Liu, Chaojun Xu, Nan Du. Influence of ultrasonic surface rolling process on the microstructure and rotating-bending fatigue properties of 7075-T6 aluminum alloys, *Journal of Materials Research and Technology*, Vol 35, Pp. 185-192, ISSN 2238-7854, (2025). <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.01.009>
- [3]. Cangussu, V. M., Abrão, A. M., Magalhães, F. C., Oliveira, D. A., & Brito, P. P. The influence of deep rolling on the surface integrity of annealed AISI 1045 steel. *Research Square*. (2025). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-6787308/v1>
- [4]. Linye Zhang, Yuxuan Song, Xiaogui Wang, Shuiqing Zhou, Zhenyu Ding, Weiya Jin, Zengliang Gao, Yanyao Jiang. A study of fatigue property enhancement of 1045 steel processed by surface mechanical rolling treatment with an emphasis on residual stress influence, *International Journal of Fatigue*, Vol. 189, Pp. 108560, ISSN 0142-1123, (2024). <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2024.108560>
- [5]. Magalhães LC, Carlesso GC, López de Lacalle LN, Souza MT, de Oliveira Palheta F, Binder C. Tool Wear Effect on Surface Integrity in AISI 1045 Steel Dry Turning. *Materials (Basel)*. Vol. 15, No. 6, Pp. 2031, (2022). <https://doi.org/10.3390/ma15062031>. PMID: 35329482; PMCID: PMC8949504.
- [6]. Kokavec, M., Konecna, R., & Nicoletto, G., Influence of Surface Quality on Fatigue Behavior of Nodular Cast Iron, *Acta Metallurgica Slovaca*, Vol. 17, No.2, Pp. 99-105. (2011)

- [7]. Alang, N.A., Razak, N.A. & Miskam, A.K. Effect of Surface Roughness on Fatigue Life of Notched Carbon Steel, International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS Vol. 11 No. 01, Pp. 160-163. (2011).
- [8]. ASTM Standard, “Annual Book of ASTM Standard, Vol. 03.01. Metal Mechanical-Testing; Elevated and Low Temperature” America Standard Material Hand Book; Race Street, Philadelphia.



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY).