

SKRIPSI

**PENGARUH KECEPATAN POTONG, KEDALAMAN
POTONG RADIAL DAN AXIAL TERHADAP KEKASARAN
PERMUKAAN PADA PROSES FRAIS KRIOGENIK**



**BIMA SATRIA NUGRAHA
03051381722076**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021**

SKRIPSI

**PENGARUH KECEPATAN POTONG, KEDALAMAN
POTONG RADIAL DAN AXIAL TERHADAP KEKASARAN
PERMUKAAN PADA PROSES FRAIS KRIOGENIK**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**OLEH
BIMA Satria Nugraha
03051381722076**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH KECEPATAN POTONG, KEDALAMAN POTONG RADIAL DAN AXIAL TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN PADA PROSES FRAIS KRIOGENIK

SKRIPSI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar sarjana
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:
BIMA SATRIA NUGRAHA
03051381722076

Palembang, 26 Juli 2021

Diperiksa dan Disetujui Oleh:

Pembimbing I



Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D
NIP 196409111999031002

Pembimbing II



Arie Yudha Budiman ST. MT
NIP 1671090705750004



Irsyad Yani, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 197112251997021001

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :**

SKRIPSI

**NAMA : BIMA SATTRIA NUGRAHA
NIM : 03051381722076
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL SKRIPSI : PENGARUH KEDALAMAN KECEPTAN,
KEDALAMAN POTONG RADIAL DAN AXIAL
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN
PADA PROSES FRAIS KRIOGENIK
DIBUAT TANGGAL : JUNI 2020
SELESAI TANGGAL : JUNI 2021**


Palembang, 26 Juli 2021

Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing Skripsi


Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Mesin

Irsyad Yani, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 197112251997021001


Dipl-Ing. Ir Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D
NIP. 196409111999031002

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Proposal Skripsi ini dengan judul “Pengaruh Kecepatan Potong, Kedalaman Potong Radial dan Axial Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Frais Kriogenik” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 26 Juli 2021.

Palembang, 26 Juli 2021

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Berupa Skripsi

Ketua:

1. Dr. Muhammad Yanis, S.T., M.T.

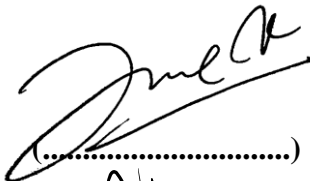
NIP. 197002281994121001


(.....)

Anggota:

1. Dr. H. Ismail Thamrin, S.T., M.T.

NIP. 197209021997021001


(.....)

2. M. A. Ade Saputra, S.T., M.T.

NIP. 198711302019031006



(.....)

Palembang, 26 Juli 2021

Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing Skripsi


Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Mesin
Irsyad Yani, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 197112251997021001


Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D
NIP. 196409111999031002

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Bima Satria Nugraha

NIM : 03051381722076

Judul : Pengaruh Kecepatan Potong, Kedalaman Potong Radial dan Axial
Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Frais Kriogenik

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Corresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, 26 Juli 2021



Bima Satria Nugraha
NIM: 03051381722076

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Bima Satria Nugraha

NIM : 03051381722076

Judul : Pengaruh Kecepatan Potong, Kedalaman Potong Radial dan Axial
Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Frais Kriogenik

Menyatakan bahwa skripsi saya merupakan hasil karya saya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan plagiat dalam skripsi ini. Apabila ditemukan unsur penjiplakan plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, saya buat pernyataan ini dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, 26 Juli 2021



Bima Satria Nugraha

NIM: 03051381722076

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan pada Allah Subhanahuwata'ala atas rahmat-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Skripsi ini. Skripsi ini berjudul “Pengaruh Kecepatan Potong, Kedalaman Potong Radial dan Axial Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Frais Kriogenik”.

Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat mendapatkan gelar Sarjana pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Pada proses penyusunan skripsi, penulis banyak mendapatkan bantuan, saran, dukungan serta do'a dari orang tua. Oleh sebab itu saya mengucapkan terima kasih kepada orang tua atas dukungan moril, bantuan, nasihat, dan materil yang telah diberikan pada penulis.

Penulis juga mengucapkan terima kasih banyak kepada pihak yang telah membantu dalam penyusunan proposal ini baik secara langsung ataupun tak langsung kepada:

1. Ibu Meilinawati sebagai orang tua penulis yang selalu memberi support kepada dan selalu memberi motivasi.
2. Kepada Alm.papa yang menjadi motivasi penulis agar dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
3. Bapak Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu, ilmu yang bermanfaat dan motivasi untuk terus berkembang dalam menyelesaikan penulisan Skripsi ini.
4. Bapak Arie Yudha Budiman ST.,MT selaku dosen pembimbing kedua yang telah meluangkan banyak waktu, ilmu yang bermanfaat dan motivasi untuk terus berkembang dalam menyelesaikan penulisan Skripsi ini
5. Bapak Irsyadi Yani, S.T, M.Eng, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
6. Seluruh Dosen di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya atas ilmu, nasihat dan bimbingan selama proses perkuliahan.
7. Sahabat-sahabat di Teknik Mesin Angkatan 2017, sahabat-sahabat sma yang membantu dan memberi support kepada penulis Ini

Hanya terima kasih yang dapat penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu, semoga Allah Subhanahuwata'ala membalas semua kebaikan yang sudah diberikan kepada saya dengan rahmat dan karunia-Nya. Akhir kata penulis mengharapkan agar skripsi ini dapat bermanfaat untuk kemajuan ilmu pengetahuan di masa yang datang.

Palembang, 26 Juli 2021



Bima Satria Nugraha

NIM: 03051381722076

RINGKASAN

PENGARUH KECEPATAN POTONG, KEDALAMAN POTONG RADIAL DAN AXIAL TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN PADA PROSES FRAIS KRIOGENIK

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 26 Juli 2021

Bima Satria Nugraha, di bimbing oleh Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D
xxv + 48 Halaman, 6 Tabel, 22 gambar, 4 lampiran

RINGKASAN

Di era modern, pekerjaan penelitian utama yang berfokus pada bidang teknologi hijau dan rekayasa keberlanjutan berkembang. Perhatian keberlanjutan yang paling penting adalah penggunaan cairan pemotongan dalam proses pemesinan. Penggunaan cairan pemotongan konvensional dalam proses pemesinan menyebabkan masalah kesehatan, polusi ekologi, dan pengeluaran tinggi untuk cairan pemotongan dibandingkan dengan biaya perkakas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh parameter pemesinan pada proses frais kriogenik terhadap kekasaran permukaan baja karbon menengah S50C menggunakan metode *Respon Surface Methodology*. Parameter pemesinan utama seperti kecepatan potong (V_c), kedalaman potong radial (a_r) dan axial (a_x) digunakan sebagai variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah parameter kekasaran R_a . Persamaan empiris model matematika untuk masing-masing respon kekasaran permukaan dibuat dalam bentuk faktor kode dan analisa varian (ANOVA) digunakan menganalisa persamaan empiris model matematika tersebut. Dari persamaan model matematika R_a didapatkan bahwa kecepatan potong (V_c) berpengaruh lebih besar dari pada kedalaman potong radial (a_r) dan axial (a_x). Semakin besar kecepatan potong maka kekasaran permukaan yang didapat akan semakin halus atau sebaliknya semakin besar kedalaman potong radial (a_r) dan axial (a_x) maka kekasaran permukaan yang dihasilkan akan semakin kasar.

Kata Kunci: Kriogenik, Mesin Frais, S50C, Kekasaran Permukaan

SUMMARY

THE EFFECT OF CUTTING SPEED, RADIAL DEPTH OF CUT AND AXIAL ON SURFACE ROUGHNESS IN THE CRYOGENIC MILLING PROCESS

Pattern Scientific papers in the form of Undergraduate Thesis, 26 July 2021

Bima Satria Nugraha, Supervised by Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D

xxv+ 48 Pages, 6 Tabels, 22 Picture,4 Attachements

SUMMARY

In the modern era, major research work focusing on the areas of green technology and sustainability engineering is developing. The most important sustainability concern is the use of cutting fluids in machining operations. The use of conventional cutting fluids in machining operations causes health problems, ecological pollution, and high costs of cutting fluids compared to tooling costs. The purpose of this study was to analyze the effect of machining parameters on the cryogenic milling process on the surface roughness of carbon medium steel S50C using the method Response Surface Methodology. The main machining parameters such as cutting speed (V_c), radial depth of cut (a_r) and axial (a_x) used as independent variables. The dependent variable in this study is the roughness parameter R_a . The empirical equation of the mathematical model for each surface roughness response is made in the form of factor codes and analysis of variance (ANOVA) is used to analyze the empirical equations of the mathematical model. From the equation of the mathematical model R_a , it is found that the cutting speed (V_c) has a greater effect than the radial depth of cut (r_a) and axial (a_x). The greater the cutting speed, the smoother the surface roughness obtained or vice versa, the larger the radial depth of cut (r_a) and axial (a_x) the rougher the resulting surface roughness.

Keyword: Cryogenic, Milling Machine, S50C, Surface Roughness

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	iii
Halaman Pengesahan	v
Halaman Persetujuan Agenda	vii
Halaman Persetujuan.....	ix
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi	xi
Halaman Pernyataan Integritas	xiii
Kata Pengantar	xv
Ringkasan	xvii
Summary	xix
Daftar Isi.....	xxi
Daftar Gambar.....	xxv
Daftar Tabel	xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pendingin Kriogenik	5
2.2 Teknologi kriogenik.....	6
2.2.1 LN ₂	6
2.2.2 CO ₂	7
2.2.3 Aplikasi Pada Pendingin Kriogenik.....	8
2.3 Aplikasi Pendingin Kriogenik	10
2.3.1 Material	11
2.3.2 <i>Tools</i>	12
2.3.3 Pendingin Pada Zona Pemotongan.....	12
2.3.4 Pendingin Pada Benda Kerja.....	12
2.3.5 Pendingin Tidak Langsung	12

2.3.6	Pengaruh Pendingin CO ₂ Kriogenik Pada Suhu Pemotongan....	13
2.3.7	Pengaruh Kriogenik Terhadap Kekasaran Permukaan	13
2.3.8	Perlakuan Kriogenik	15
2.4	Mesin Frais	15
2.4.1	Proses Frais	16
2.4.2	<i>Cutting Speed and Feed Per Tooth</i>	18
2.4.3	Pisau Frais	19
2.5	<i>Cutting Tool</i>	20
2.6	Baja Karbon Menengah.....	21
2.7	Kekasaran Permukaan	22
2.8	<i>Green Machining</i>	23
2.9	Ringkasan Penelitian Sebelumnya	24
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		27
3.1	Pengenalan	27
3.2	Prosedur Percobaan	27
3.3	Benda Kerja Penelitian.....	28
3.4	Pisau Frais	29
3.5	Sistem Pendingin.....	29
3.6	Pengaturan kriogenik pada CO ₂	30
3.7	Pengukuran Kekasaran Permukaan	31
3.8	Experimental Desain	32
BAB 4 HASIL DAN DISKUSI.....		35
4.1	Pengukuran Temperatur	35
4.2	Kekasaran Permukaan Pada Pemesinan Kriogenik S50C.....	36
4.3	Analisa Kekasaran Permukaan Menggunakan RSM	36
4.3.1	Persamaan Linear model Kekasaran Permukaan.....	37
4.3.2	Persamaan Model <i>Quadratic</i>	38
4.3.3	Grafik 3D Respon.....	39
4.4	Nilai Prediksi Dari Kekasaran Permukaan.....	40
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		43
5.1	Kesimpulan.....	43
5.2	Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA.....		45
LAMPIRAN RUMUS		49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram fasa untuk CO ₂ dan nitrogen (Nazma Sultana et al., 2019)..	6
Gambar 2.2 Skema diagram pengaturan pendingin kriogenik.....	8
Gambar 2.3 Penyemprotan CO ₂ external	9
Gambar 2.4 Pemegang alat dan pendingin yang dikeluarkan dari nosel	9
Gambar 2.5 Modifikasi <i>cutting insert</i> untuk suplai internal LN ₂ pada pembubutan	10
Gambar 2.6 Pengaruh laju umpan pada Ra pada DOC 1 mm dan kecepatan potong 150 m/min (Davim, 2018).....	14
Gambar 2.7 (a) <i>end milling</i> , (b) <i>face milling</i> , dan (c) <i>peripheral milling</i>	17
Gambar 2.8 (a) <i>Down-milling</i> dan (b) <i>up-milling</i>	17
Gambar 2.9 <i>Feed per tooth</i> pada operasi frais (Norberto López de Lacalle et al., 2011).....	19
Gambar 2.10 Prosedur pemilihan bahan pahat untuk pengoptimalan pemesinan (Stephenson and Agapiou, 2018)	20
Gambar 2.11 Keausan sisi pada pahat (Groover, 2010).....	21
Gambar 2.12 Kekasaran permukaan pada benda kerja (Groover, 2010)	22
Gambar 2.13 Faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan (Tseng et al., 2016).....	23
Gambar 3.1 Diagram alir.....	28
Gambar 3.2 Baja karbon menengah	28
Gambar 3.3 Endmill hss	29
Gambar 3.4 Diagram fasa CO ₂	30
Gambar 3.5 Skema proses pengujian	30
Gambar 3.6 Proses Pengujian	31
Gambar 3.7 <i>Accretech HANDYSURF E-35A/E</i>	32

Gambar 3.8 <i>Central Composite Design</i>	33
Gambar 4.1 kekasaran permukaan pada (a) interaksi antara a_r dan V_c (b) interaksi antara a_x dan V_c	40
Gambar 4.2 Aktual dan prediksi.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Input variabel dan kode level pada CCD	33
Tabel 3.2 Konfigurasi variabel masukan, data pengujian dan hasil percobaan	34
Tabel 4.1 <i>Vapour table for CO₂ liquid-vapour</i> (Messer, 2018)	35
Tabel 4.2 hasil kekasaran permukaan dari pengujian pemesinan kriogenik	36
Tabel 4.3 <i>First-order</i> ANOVA model linear pada R_a	37
Tabel 4.4 <i>Second-order</i> ANOVA model quadratic pada R_a	38
Tabel 4.5 Prediksi Kekasaran Permukaan.....	41

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era modern, pekerjaan penelitian utama yang berfokus pada bidang teknologi hijau dan rekayasa keberlanjutan berkembang. Perhatian keberlanjutan yang paling penting adalah penggunaan cairan pemotongan dalam operasi pemesinan. Penggunaan cairan pemotongan konvensional dalam operasi pemesinan menyebabkan masalah kesehatan, polusi ekologi, dan pengeluaran tinggi untuk cairan pemotongan dibandingkan dengan biaya perkakas. Efektivitas cairan pendingin konvensional dapat gagal karena dua aspek: kegagalan menyebar ke daerah pemotongan dan pergerakan *chip* selama periode mesin. (Jebaraj and Pradeep Kumar, 2019).

Untuk mengurangi atau menghilangkan efek yang dihasilkan oleh pemotongan fluida, perlu untuk beralih ke teknik pemesinan seperti menggunakan sedikit fluida pemotongan, nitrogen cair, minyak sayur atau udara terkompresi sebagai media pelumasan pendingin. Pendingin kriogenik terbukti lebih efisien, ekonomis, hemat biaya, dan ramah lingkungan jika dibandingkan dengan pendingin konvensional, terutama dalam produksi massal. Dalam pemesinan material yang sulit dipotong seperti material berdinding tipis untuk industri dirgantara, aplikasi pendinginan diperlukan (Budiman and Mohruni, 2020).

Kriogenik merupakan salah satu bidang dimana material memegang peranan yang sangat penting dalam kemajuannya. Teknologi berbasis kriogenik memiliki aplikasi di berbagai bidang, seperti metalurgi, kimia, industri tenaga, kedokteran, propulsi roket dan simulasi ruang, pemrosesan makanan dengan pendinginan, serta banyak lainnya (Zohuri, 2018).

1.2 Rumusan Masalah

Menurut latar belakang yang telah dijelaskan maka penelitian ini dapat ditunjukkan berfokus pada penggunaan pendingin kriogenik yang memakai CO₂ pada proses pemesinan frais menggunakan baja karbon menengah S50C untuk mendapatkan kondisi pemesinan terbaik.

1.3 Batasan Masalah

Untuk dapat mengetahui pelebaran pada suatu masalah, maka penelitian ini diberi batasan masalah sebagai berikut:

1. Menganalisa kekasaran pada permukaan.
2. Penggunaan pendingin kriogenik
3. Proses pemesinan frais.
4. Material yang digunakan baja karbon menengah S50C.
5. V_c , a_r , a_x sebagai variabel bebas.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini yang bertujuan:

1. Untuk mendapatkan kondisi pemesinan terbaik dalam hal nilai kekasaran permukaan (R_a) terkecil yang dihasilkan dari variasi variabel kecepatan potong (V_c), kedalaman potong radial (a_r), dan kedalaman potong axial (a_x).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat yang dilakukan pada penelitian ini adalah turut berkontribusi terhadap pengembangan ilmu pemesinan yang ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aramcharoen, A., Chuan, S.K., 2014. An experimental investigation on cryogenic milling of inconel 718 and its sustainability assessment. *Procedia CIRP* 14, 529–534. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.076>
- Arsene, B., Pascariu, G.P., Sarbu, F.A., Barbu, M., Calefariu, G., 2018. Green manufacturing by using organic cooling-lubrication fluids. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 399. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/399/1/012001>
- Ashby, M.F., Jones, D.R.H., 2013. Steels 1—Carbon Steels. *Eng. Mater.* 2 205–220. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-096668-7.00012-7>
- Balaji, V., Ravi, S., Chandran, P.N., Damodaran, K.M., 2015. Review of the Cryogenic Machining in Turning and Milling Process. *Int. J. Res. Eng. Technol.* 04, 38–42. <https://doi.org/10.15623/ijret.2015.0410008>
- Budiman, A.Y., Mohruni, A.S., 2020. a Review on Thin Walled Cryogenic Machining on Inconel or 2 Cryogenic Machining. *J. Mech. Sci. Eng.* 7, 1–5. <https://doi.org/2354-9467>
- Davim, J.P., 2018. *Manufacturing Engineering*, 1st ed. Springer Nature Singapore Pte Ltd, 152 Beach Road, #21-01/04 Gateway East, Singapore 189721, Singapore. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-13-6287-3>
- Deshpande, Y.V., Andhare, A.B., Padole, P.M., 2018. How cryogenic techniques help in machining of nickel alloys? A review. *Mach. Sci. Technol.* <https://doi.org/10.1080/10910344.2017.1382512>
- Ezugwu, E.O., Bonney, J., Yamane, Y., 2003. An overview of the machinability of aeroengine alloys. *J. Mater. Process. Technol.* 134, 233–253. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)01042-7](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)01042-7)

- Fletcher, P., 1995. *An Introduction to Basic Milling*. EnTra Publications Ltd., Whippendell Road, Watford.
- Groover, M.P., 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*, 4th ed. ed, John Willey & Sons, Inc. Dr. Gregory L. Tonkay, Associate Professor of Industrial and Systems Engineering, Lehigh University, United States of America.
- Hamedon, Z., Mon, T.T., Sharif, S., Venkatesh, V.C., Masri, A.R.M., Sue-Rynley, E., 2011. Performance of nitrogen gas as a coolant in machining of titanium. *Adv. Mater. Res.* 264–265, 962–966. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.264-265.962>
- Jadhav, M.S.R., 2019. Cryogenic Machining: A Sustainable Solution. *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.* 7, 465–468. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2019.12077>
- Jebaraj, M., Pradeep Kumar, M., 2019. Effect of cryogenic CO₂ and LN₂ coolants in milling of aluminum alloy. *Mater. Manuf. Process.* 34, 511–520. <https://doi.org/10.1080/10426914.2018.1532591>
- Karkalos, N.E., Galanis, N.I., Markopoulos, A.P., 2016. Surface roughness prediction for the milling of Ti-6Al-4V ELI alloy with the use of statistical and soft computing techniques. *Meas. J. Int. Meas. Confed.* 90, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.04.039>
- Klocke, F., Settineri, L., Lung, D., Claudio Priarone, P., Arft, M., 2013. High performance cutting of gamma titanium aluminides: Influence of lubricoolant strategy on tool wear and surface integrity. *Wear* 302, 1136–1144. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2012.12.035>
- M'Saoubi, R., Axinte, D., Soo, S.L., Nobel, C., Attia, H., Kappmeyer, G., Engin, S., Sim, W.M., 2015. High performance cutting of advanced aerospace alloys and composite materials. *CIRP Ann. - Manuf. Technol.* 64, 557–580. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2015.05.002>

- MacHai, C., Biermann, D., 2011. Machining of β -titanium-alloy Ti-10V-2Fe-3Al under cryogenic conditions: Cooling with carbon dioxide snow. *J. Mater. Process. Technol.* 211, 1175–1183. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2011.01.022>
- Masmiasi, N., Sarhan, A.A.D., Hassan, M.A.N., Hamdi, M., 2016. Optimization of cutting conditions for minimum residual stress, cutting force and surface roughness in end milling of S50C medium carbon steel. *Meas. J. Int. Meas. Confed.* 86, 253–265. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.02.049>
- Maytal, B.Z., Pfothauer, J.M., 2013. *Miniature Joule-Thomson cryocooling: Principles and practice*, 1st ed, Springer. Springer-Verlag New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8285-8>
- Messer, 2018. *Properties of carbon dioxide*.
- Mukkoti, AU, V.V., Sankaraiah, G., 2018. Effect of cryogenic treatment of tungsten carbide tools on cutting force and power consumption in CNC milling process. *Prod. Manuf. Res.* 6, 149–170. <https://doi.org/10.1080/21693277.2018.1436011>
- Nazma Sultana, M., Ranjan Dhar, N., Binte Zaman, P., 2019. A Review on Different Cooling/Lubrication Techniques in Metal Cutting. *Am. J. Mech. Appl.* 7, 71. <https://doi.org/10.11648/j.ajma.20190704.11>
- Norberto López de Lacalle, L., Campa, F.J., Lamikiz, A., 2011. Milling, in: *Modern Machining Technology: A Practical Guide*. Spain, pp. 213–303. <https://doi.org/10.1533/9780857094940>
- Okafor, A.C., 2020. Cooling and machining strategies for high speed milling of titanium and nickel super alloys, *High Speed Machining*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815020-7.00005-9>
- Shokrani, A., Dhokia, V., Muñoz-Escalona, P., Newman, S.T., 2013. State-of-the-art cryogenic machining and processing. *Int. J. Comput. Integr. Manuf.* 26, 616–648. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2012.749531>

- Singh, S.S., Awale, A.S., Chaudhari, A., Nahak, B., 2019. Monitoring the microstructural changes of heat treated medium carbon steel by Barkhausen noise and hysteresis loop techniques. *Mater. Today Proc.* 26, 1198–1202. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.241>
- Stephenson, D.A., Agapiou, J.S., 2018. *Metal Cutting Theory and Practice*, Third. ed, Metal Cutting Theory and Practice. © 2016 by Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business. <https://doi.org/10.1201/9781315373119>
- Tseng, T.L. (Bill), Konada, U., Kwon, Y. (James), 2016. A novel approach to predict surface roughness in machining operations using fuzzy set theory. *J. Comput. Des. Eng.* 3, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2015.04.002>
- Yanis, M., Mohrni, A.S., Sharif, S., Yani, I., 2019. Optimum performance of green machining on thin walled ti6al4v using rsm and ann in terms of cutting force and surface roughness. *J. Teknol.* 81, 51–60. <https://doi.org/10.11113/jt.v81.13443>
- Yildiz, Y., Nalbant, M., 2008. A review of cryogenic cooling in machining processes. *Elsevier Ltd.* 48, 947–964. <https://doi.org/10.1016/2008.01.008>
- Zohuri, B., 2018. *Cryogenic Equipment, Systems, and Applications, Physics of Cryogenics*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814519-7.00016-1>

