

SKRIPSI
SIMULASI METODE ELEMEN HINGGA UNTUK *THIN*
***WALLED* TI-6AL-4V MENGGUNAKAN SOFTWARE**
ADVANTEDGE



MUHAMMAD NUZUL RAHMAT
03051381520061

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2019

SKRIPSI
SIMULASI METODE ELEMEN HINGGA UNTUK *THIN*
***WALLED* TI-6AL-4V MENGGUNAKAN SOFTWARE**
ADVANTEDGE

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



MUHAMMAD NUZUL RAHMAT
03051381520061

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2019

HALAMAN PENGESAHAN

**SIMULASI METODE ELEMEN HINGGA UNTUK
THIN-WALLED TI-6AL-4V MENGGUNAKAN
SOFTWARE ADVANTEDGE**

SKRIPSI

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

Oleh:

MUHAMMAD NUZUL RAHMAT
03051381520061

Palembang, Agustus 2019

Pembimbing


Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin
Irsyadi Yani, S.T, M.Eng, Ph.D
NIP. 19711225 199702 1 001


Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D
NIP. 19640911 199903 1 002

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :

SKRIPSI

NAMA : MUHAMMAD NUZUL RAHMAT
NIM : 03051381520061
JUDUL : SIMULASI METODE ELEMEN HINGGA UNTUK
THIN-WALLED TI-6AL-4V MENGGUNAKAN
SOFTWARE ADVANTEDGE
DIBERIKAN : SEPTEMBER 2018
SELESAI : JULI 2019

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 19711225 199702 1 001

Palembang, Agustus 2019
Diperiksa dan disetujui oleh :
Pembimbing Skripsi


Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D
NIP. 19640911 199903 1 002

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “**Simulasi Metode Elemen Hingga Untuk *Thin-Walled* Ti-6Al-4V Menggunakan *Software* AdvantEdge**” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 20 Juli 2019.

Palembang, 20 Juli 2019

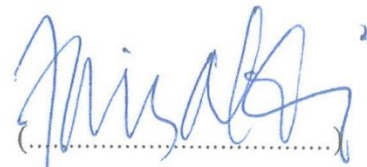
Tim penguji karya tulis ilmiah berupa Skripsi

Ketua:

1. **Ir. H. Zainal Abidin, M.T**
NIP. 195809101986021001

Anggota:

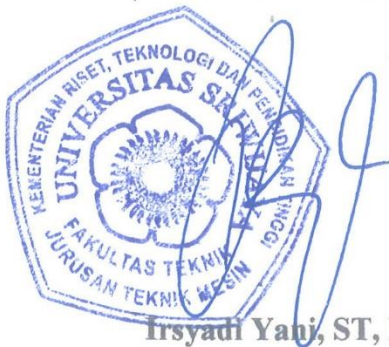
2. **Prof. Dr. Ir. Hasan Basri**
NIP. 195802011984031002
3. **Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T**
NIP. 196004071990031003



Mengetahui,

 Ketua Jurusan Teknik Mesin

Pembimbing Skripsi



Irsyadi Yuni, ST, M.Eng, Ph.D
NIP.19712251997021001


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

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Nuzul Rahmat

NIM : 030513815200061

Judul : Simulasi Metode Elemen Hingga Untuk *Thin Walled* Ti-6Al-4V
menggunakan *Software* AdvantEdge

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

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



Palembang, Agustus 2019



Muhammad Nuzul Rahmat
NIM. 030513815200061

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Nuzul Rahmat

NIM : 03051381520061

Judul : Simulasi Metode Elemen Hingga Untuk *Thin Walled* Ti-6Al-4V
menggunakan *Software* AdvantEdge

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, Agustus 2019



Muhammad Nuzul Rahmat
NIM. 03051381520061

RINGKASAN

SIMULASI METODE ELEMEN HINGGA UNTUK *THIN WALLED* TI-6AL-4V
MENGUNAKAN *SOFTWARE* ADVANTEDGE.

Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi, 20 Juli 2019

Muhammad Nuzul Rahmat; Dibimbing oleh Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin
Mohruni, Ph.D.

FINITE ELEMENT METHOD SIMULATION ON THIN WALLED TI-6AL-4V
USING ADVANTEDGE.

xxixi + 25 halaman, 5 tabel, 14 gambar, 5 lampiran

RINGKASAN

Thin walled (Ti-6AL-4V) adalah komponen yang sering digunakan pada industri dirgantara dikarenakan beban yang ringan, memiliki kekuatan spesifik yang baik, kemampuan anti korosi yang baik, kemampuan anti retak yang baik, dan tingkat konduktifitas thermal yang sangat rendah sehingga menjadi komponen yang sangat tepat untuk kebutuhan pesawat terbang. Namun, ada beberapa masalah dalam melakukan proses pemesinan thin walled Ti-6Al-4V karena menggunakan material titanium alloy (Ti-6Al-4V) yang memiliki kemampuan mesin (*Machinability*) yang buruk disebabkan konduktifitas material tersebut rendah yang kemudian dibentuk menjadi komponen thin wall dimana struktur dari komponen tersebut memiliki rasio height to depth 15:1 dengan ketebalan dinding 3-5mm sangat tipis sehingga adanya defleksi pada saat proses pemesinan komponen tersebut dapat dipastikan terjadi dan hal tersebut masih menjadi masalah umum pada bidang manufaktur. Maka, pada penelitian ini akan menghitung defleksi yang terjadi pada proses pemesinan thin walled Ti-6Al-4V menggunakan simulasi FEM dengan metode pemesinan *freis* dan bantuan software *Advantedge* dimana parameter yang digunakan telah ditentukan pada eksperimen yang sudah dilakukan sebelumnya, penelitian ini dapat mengurangi adanya *trial* dan *error* pada eksperimen sehingga dapat mengurangi biaya eksperimen. Setelah dilakukan simulasi Nilai defleksi yang didapat dengan menggunakan simulasi software *AdvantEdge* dibandingkan jauh dengan hasil eksperimen yang sudah dilakukan.

Kata Kunci: *Thin Wall*, Ti-6Al-4V, *helical end mill*, defleksi, AdvantEdge, Simulasi

SUMMARY

FINITE ELEMENT METHOD SIMULATION ON THIN WALLED TI-6AL-4V
USING ADVANTEDGE.

Scientific Writing in the form of Thesis, July 20 2019

Muhammad Nuzul Rahmat; Supervised by Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni,
Ph.D.

SIMULASI METODE ELEMEN HINGGA UNTUK *THIN WALLED* TI-6AL-4V
MENGUNAKAN *SOFTWARE* ADVANTEDGE.

xxixi + 25 pages, 5 tables, 14 figures, 5 attachments

SUMMARY

Thin walled (Ti-6AL-4V) is a material component widely used in aerospace industry due to its low mass, excellent strength, corrosion resistance, toughness, and low thermal conductivity that makes this material an excellent component for aeroplane parts. However, there are some problems that occur during thin-wall Ti6Al4V machining process as this material has low machinability caused by its low thermal conductivity that formed to a thin-wall component where the component structure height to depth ratio is 15:1 with wall thickness of 3-5mm the wall is so thin that caused deflection during machining process of the component creating severe surface roughness which is still a general problem in manufacturing to maintain the dimensional accuracy. Hence, this research main purpose is to calculate the deflection occurred in thin-wall Ti6Al4V machining process using FEM simulation with milling process using AdvantEdge software. The simulation helps to reduce trial and error that occur during machining process and to reduce experiment cost that take a lot because of the expensive material. Parameter used in this research has been determined in the experiment earlier. The result of simulation shows that the deflection value obtained is far compared to the result of the experiment this occur because of the parameter given by the reference doesn't have enough information. Therefore, the simulation use additional parameter that given by the default of AdvantEdge software.

Keyword: Thin Wall, Ti-6Al-4V, helical end mill, deflection, AdvantEdge, Simulation

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur saya panjatkan kepada Allah S.W.T. berkat rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan Skripsi ini yang berjudul “Simulasi Metode Elemen Hingga Untuk *Thin Walled* Ti-6Al-4V Menggunakan *Software AdvantEdge*”. Dimana Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan dukungan dari orang tua dan kerabat terdekat, karenanya, penulis ingin menyampaikan sebanyak-banyaknya terimakasih kepada Ayah dan Ibu yang telah banyak memberikan asupan nasihat dan dukungan.

Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan arahan, sedari awal pelaksanaan hingga selesainya skripsi, baik secara langsung maupun tidak langsung kepada:

- 1) Bapak Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan ilmu yang bermanfaat dan memberikan motivasi yang memberikan semangat untuk mengerjakan proposal skripsi ini.
- 2) Mama dan Papa yang selalu mendukung dari awal perkuliahan hingga sampai selesainya skripsi ini, terimakasih tidak akan berhenti diucapkan untuk mama dan papa hingga akhir hayat penulis.
- 3) Seluruh Dosen di Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis sehingga makin bertambahnya wawasan.
- 4) Muhammad Zahir, S.T. alumni Teknik Mesin Universitas Sriwijaya angkatan 2009 yang telah banyak memberikan nasihat sehingga proposal kami ini syaa Allah di jalan yang lurus.
- 5) Teman-teman Jurusan Teknik Mesin yang banyak menghibur dan memberikan arahan sehingga penulis dapat melengkapi proposal.

- 6) Vania Windri Efitri mahasiswi Teknik Kimia Universitas Sriwijaya angkatan 2015 yang selalu menemani mengerjakan dan memberikan arahan.

Hanya terimakasih yang dapat penulis berikan, semoga Allah SWT membalas segala kebaikan yang telah diberikan kepada penulis dengan rahmat dan karunia-Nya. Penulis mengharapkan adanya kritik dan saran untuk meningkatkan kualitas skripsi ini dan semoga dapat bermanfaat bagi semua yang membaca.

Palembang, Juli 2019

Muhammad Nuzul Rahmat

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN AGENDA.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN.....	vii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	ix
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	xi
RINGKASAN	xiii
SUMMARY	xv
KATA PENGANTAR	xvii
DAFTAR ISI.....	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL.....	xxiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pemesinan Freis (<i>Milling</i>)	5
2.2 Cutting Tools.....	6
2.3 Geometri.....	6
2.4 Perhitungan Kecepatan.....	7
2.5 Titanium Alloy Ti-6Al-4V	7
2.6 Thin Wall Machining	8
2.7 <i>Definisi</i> Thin Wall	8
2.8 <i>Proses</i> Thin Wall Milling.....	8
2.9 Defleksi.....	9
2.10 Chatter	10
2.11 Penelitian Sebelumnya (<i>Previous Study</i>).....	10

BAB 3 METODOLOGI	13
3.1 Diagram Alir	13
3.2 Parameter Cutting Tools dan Workpiece	14
3.3 Cutting Tools	14
3.4 Benda Kerja	14
3.5 Metode Pemesinan	15
3.6 AdvantEdge 7.1.....	15
3.7 Expected Result	16
Bab 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1 Pembahasan.....	17
4.2 Langkah-Langkah Pengerjaan Simulasi	18
4.3 Hasil	23
BAB 5 KESIMPULAN DAN REKOMENDASI	29
5.1 Kesimpulan	29
5.2 Rekomendasi.....	29
DAFTAR RUJUKAN.....	31
LAMPIRAN	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Peripheral milling</i> (a) dan <i>face milling</i> (b) (Groover, 2010)	5
Gambar 2.2 <i>Up milling</i> (a) dan <i>down milling</i> (b) (Bayly et al., 2003).....	6
Gambar 2.3 <i>Bending Of Beams</i>	9
Gambar 3.1 Diagram Alir.....	14
Gambar 4.1 Parameter <i>Cutting Tools</i>	17
Gambar 4.2 (A) Pengaturan Metode Pemesinan dan (B) Metode Pemotongan....	19
Gambar 4.3 (A) Pengaturan Parameter <i>Workpiece</i> dan (B) Parameter Proses	20
Gambar 4.4 Kondisi permodelan <i>thin wall</i>	21
Gambar 4.5 AdvantEdge <i>Job Monitor</i>	22
Gambar 4.6 Hasil <i>Meshing</i>	22
Gambar 4.7 (A) Grafik Gaya dan (B) Defleksi terhadap sumbu X.....	23
Gambar 4.8 (A) Grafik Gaya dan (B) Defleksi terhadap sumbu Y.....	24
Gambar 4.9 (A) Grafik Gaya dan (B) Defleksi terhadap sumbu Z.	25
Gambar 4.10 (A) Hasil grafik defleksi dan (B) gaya pada eksperimen (Gang, 2009).....	26

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Chemical Properties dari Ti6Al4V(Liu et al., 2015)	8
Tabel 2.2 Mechanical Properties dari Ti6Al4V(Feng et al., 2015).....	8
Tabel 3.1 Spesifikasi End Mill (Gang, 2009)	14
Tabel 4 Spesifikasi Benda Kerja (Gang, 2009).....	15
Tabel 3.3 Parameter Pemesinan (Gang, 2009).....	15

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Halaman depan <i>Software AdvantEdge</i>	33
Lampiran 2	Arah pemotongan dan gerak makan.....	33
Lampiran 3	Opsi Simulasi.....	34
Lampiran 4	Parameter <i>Meshing Workpiece</i>	35
Lampiran 5	Parameter <i>Meshing Cutting Tools</i>	35

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Titanium Alloy (Ti6Al4V) sering digunakan pada industri dirgantara, dan mengalami perkembangan yang sangat pesat dikarenakan memiliki kekuatan spesifik yang baik, kemampuan anti korosi yang baik, kemampuan anti retak yang baik, ringan, dan tingkat konduktifitas thermal yang sangat rendah.(Amin et al., 2007) Kebutuhan berat dan intensitas untuk bagian yang digunakan pada industry dirgantara modern meningkat secara bertahap. Struktur dinding tipis (*Thin-Walled*) secara luas digunakan untuk *girder* pesawat, pelat dinding, dan lainnya. *Thin Wall* memiliki banyak keuntungan seperti kekuatan yang baik dan relatif ringan.(Wu et al., 2016)

Teknologi modern menantang para manufaktur untuk mengerjakan proyek yang lebih kompleks dan memakan biaya tinggi, yang menyangkut persoalan reabilitas dan kendala keamanan, proyek-proyek seperti ini biasanya terdapat pada industry dirgantara dimana reabilitas dan keselamatan adalah kepentingan yang sangat krusial. Proyek seperti ini juga harus memikirkan tentang perlindungan terhadap lingkungan hidup (Dhatt et al., 2015). Keakuratan sebuah produk adalah hal yang kritis bagi seorang manufaktur, khususnya pada komponen pesawat. Produk yang memiliki tingkat toleransi yang sempit akan sukar untuk memperoleh struktur yang kompleks pada proses pemesinan, walaupun produk berada pada batas toleransi. Proses pemesinan untuk *Thin-Wall* atau dinding tipis adalah salah satu struktur yang memiliki tingkat kesulitan yang tinggi. (Shokrani et al., 2018). Titanium alloy (Ti6Al4V) memiliki mampu mesin (*Machinability*) yang buruk dikarenakan tingkat konduktifitas yang rendah sehingga mengakibatkan temperature pemotongan yang tinggi sehingga mata pahat cepat mengalami keausan.(Amin et al., 2007)

Untuk memprediksi deformasi *chip* dan *dimensional error*, tingkat keakuratan dari gaya potong sangat penting untuk meningkatkan performa pemesinan dan kualitas permukaan benda kerja pada proses pemesinan. (Gang, 2009)

Banyaknya flute dan bentuk helikal pada *end-mill* membuat besar simpangan yang terjadi bervariasi dan membuat gaya potong yang dinamis sepanjang proses pemotongan, proses seperti ini akan memakan banyak biaya pemesinan karena akan melewati proses trial dan error, maka menggunakan *Finite Element Modelling* (FEM) adalah solusi yang baik untuk mendapatkan parameter optimum tanpa memakan banyak biaya.

1.2 Rumusan Masalah

Beberapa penelitian mencoba menghindari error pada pemesinan dengan menganalisis beberapa parameter pada pemesinan, salah satunya dengan mengurangi deformasi yang terjadi pada *thin walled* Ti-6Al-4V yang umumnya dilakukan secara eksperimental maupun permodelan *finite element*. Pada penelitian ini akan menganalisis deformasi pada komponen *thin wall* menggunakan simulasi FEM dengan parameter yang sudah ditentukan. Hasil dari simulasi tersebut akan dicocokkan dengan simulasi yang telah dilakukan sebelumnya dengan aplikasi yang berbeda.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari terjadinya kesalahan maka Batasan masalah pada penelitian ini adalah menganalisis parameter pemesinan *milling* pada *thin walled* Ti-6Al-4V. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan simulasi FEM AdvantEdge.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menghitung defleksi yang terjadi pada proses pemesinan *thin walled* Ti-6Al-4V menggunakan simulasi FEM.
2. Mencocokkan hasil eksperimen yang telah dilakukan dengan simulasi FEM yang bertujuan untuk mendapat parameter yang optimum.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian berikut adalah :

1. Menjadi salah satu cara untuk menghitung defleksi yang terjadi pada proses pemesinan komponen *thin wall* dengan menggunakan simulasi FEM.
2. Untuk mengurangi biaya yang dikeluarkan dikarenakan *trial* dan *error* pada eksperimen.
3. Sebagai kontribusi dalam ilmu pengetahuan, khususnya pada memprediksi defleksi yang terjadi pada proses pemesinan *thin walled* Ti-6Al-4V.

DAFTAR RUJUKAN

- Altintas, Y., 2011. Manufacturing Automation. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511843723>
- Amin, A.K.M.N., Ismail, A.F., Nor Khairusshima, M.K., 2007. Effectiveness of uncoated WC-Co and PCD inserts in end milling of titanium alloy-Ti-6Al-4V. *Journal of Materials Processing Technology*, 192–193 147–158. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.04.095>
- Bayly, P. V, Insperger, T., Mann, B.P., Ste, G., 2003. Stability of up-milling and down-milling, part 1: alternative analytical methods ´. 43 25–34.
- Bolar, G., Das, A., Joshi, S.N., 2018. Measurement and analysis of cutting force and product surface quality during end-milling of thin-wall components. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 121 190–204. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.02.015>
- Chen, T.T., Rong, B., Yang, Y.F., Zhao, W., Li, L., He, N., 2014. FEM-Based Prediction and Control of Milling Deformation for a Thin-Wall Web of Ti-6Al-4V Alloy. *Materials Science Forum*, 800–801 368–373. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.800-801.368>
- Dhatt, G., Touzot, G., Lefrançois, E., 2015. Numerical Methods Series - Finite Element Method, Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Feng, J., Sun, Z., Jiang, Z., Yang, L., 2015. Identification of chatter in milling of Ti-6Al-4V titanium alloy thin-walled workpieces based on cutting force signals and surface topography. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7509-0>
- Gang, L., 2009. Study on deformation of titanium thin-walled part in milling process. *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (6): 2788–2793. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.06.029>
- Groover, M.P., 2010. Fundamentals of modern manufacturing, Material processing and Systems.
- Gross, D., Hauger, W., Schroder, J., Wall, W.A., Bonet, J., 1987. Engineering Mechanics, 2nd ed, The Mathematical Gazette. Springer. <https://doi.org/10.2307/3617859>
- Izamshah, R., Yuhazri, M.Y., Hadzley, M., Amran, M., Subramonian, S., 2013. Effects of End Mill Helix Angle on Accuracy for Machining Thin-Rib Aerospace Component. *Applied Mechanics and Materials*, 315 773–777. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.315.773>
- Izamshah, R.R.A., Mo, J.P.T., Ding, S., 2010. Finite element analysis of machining thin-wall parts. *Key Engineering Materials*, 458 283–288. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.458.283>

- Liu, Z.Q., Cai, X.J., Chen, M., An, Q.L., 2015. Investigation of cutting force and temperature of end-milling Ti – 6Al – 4V with different minimum quantity lubrication (MQL) parameters. 225 1273–1279. <https://doi.org/10.1177/2041297510393793>
- Polishetty, A., Goldberg, M., Littlefair, G., Puttaraju, M., Patil, P., Kalra, A., 2014. A preliminary assessment of machinability of titanium alloy Ti 6Al 4V during thin wall machining using trochoidal milling. *Procedia Engineering*, 97 357–364. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.259>
- Quintana, G., Ciurana, J., 2011. Chatter in machining processes: A review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 51 (5): 363–376. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2011.01.001>
- Shokrani, A., Dhokia, V., Newman, S.T., 2018. Energy conscious cryogenic machining of Ti-6Al-4V titanium alloy. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 232 (10): 1690–1706. <https://doi.org/10.1177/0954405416668923>
- Wu, S., Li, R., Liu, X., Yang, L., Zhu, M., 2016. Experimental Study of Thin Wall Milling Chatter Stability Nonlinear Criterion. *Procedia CIRP*, 56 422–427. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.10.075>