

ISSN 1311-3321 (print)
ISSN 2535-1028 (CD-ROM)
ISSN 2603-4123 (on-line)

UNIVERSITY OF RUSE “Angel Kanchev”
РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ “Ангел Кънчев”

BSc, MSc and PhD Students & Young Scientists
Студенти, докторанти и млади учени

PROCEEDINGS

Volume 60, book 2.2.

**Mechanical Engineering and Machine-Building
Technologies**

НАУЧНИ ТРУДОВЕ

Том 60, серия 2.2.

Механика и машиностроителни технологии

Ruse
Русе
2021

Volume 60 of PROCEEDINGS includes the papers presented at the scientific conference RU & SU'21, organized and conducted by University of Ruse "Angel Kanchev" and the Union of Scientists - Ruse. Series 2.2. contains papers reported in the Mechanical Engineering and Machine-Building Technologies.

Book	Code	Faculty and Section
Agrarian and Industrial Faculty		
1.1.	FRI-ONLINE-1-AMT&ASVM	Agricultural Machinery and Technologies, Agrarian Science and Veterinary Medicine
	FRI-ONLINE-1-MR	Maintenance and Reliability
	FRI-ONLINE-1-THPE	Thermal, Hydro- and Pneumatic Equipment
	FRI-ONLINE-1-EC	Ecology and Conservation
	FRI-ONLINE-1-ID	Industrial Design
1.2.	WED-ONLINE-SSS-AMT&ASVM	Agricultural Machinery and Technologies, Agrarian Science and Veterinary Medicine
	WED-ONLINE-SSS- MR	Maintenance and Reliability
	WED-ONLINE-SSS-THPE	Thermal, Hydro- and Pneumatic Equipment
	WED-ONLINE-SSS-EC	Ecology and Conservation
	WED-ONLINE-SSS-ID	Industrial Design
Faculty of Mechanical and Manufacturing Engineering		
2.1.	FRI-ONLINE-1-MEMBT	Mechanical Engineering and Machine-Building Technologies
2.2.	WED-ONLINE-SSS-MEMBT	Mechanical Engineering and Machine-Building Technologies
Faculty of Electrical Engineering Electronics and Automation		
3.1.	FRI-ONLINE-1-EEEA	Electrical Engineering, Electronics and Automation
3.2.	FRI-ONLINE-1-CCT	Communication and Computer Technologies
3.3.	THU-ONLINE-SSS-EEEA	Electrical Engineering, Electronics and Automation
	THU-ONLINE-SSS-CCT	Communication and Computer Technologies
Faculty of Transport		
4.1.	FRI-2.209-1-TMS	Transport and Machine Science
4.2.	FRI-2.204-SITSTL	Sustainable and Intelligent Transport Systems, Technologies and Logistics
4.3.	WED-ONLINE-SSS-TMS	Transport and Machine Science
Faculty of Business and Management		
5.1.	FRI-ONLINE-1-EM	Economics and Management
5.2.	FRI-ONLINE-1-LIPC	Linguoculturology, Intercultural and Political Communication
5.3.	THU-ONLINE-SSS-EM	Economics and Management
5.4.	FRI-ONLINE-1-ESIS	European Studies and International Security
8.2.	FRI-ONLINE-1-SW	Social Work
Faculty of Natural Sciences and Education		
6.1.	FRI-ONLINE-1-MIP	Mathematics, Informatics and Physics
6.2.	FRI-ONLINE-1-PP	Pedagogy and Psychology
6.3.	FRI-ONLINE-1-LL	Linguistics and Literature
	FRI-ONLINE-1-AS	Art Studies
6.4.	FRI-ONLINE-1-ERI	Education - Research and Innovations

6.5.	THU-ONLINE-SSS-FM	Financial Mathematics
	THU-ONLINE-SSS-PP	Pedagogy and Psychology
Faculty of Law		
7.1.	FRI-ONLINE-1-LS	Law Studies
7.2.	FRI-ONLINE-1-NS	National Security
7.3.	MON-ONLINE-SSS-L	Law Studies
Faculty of Public Health and Health Care		
8.1.	FRI-ONLINE-1-HP	Health Promotion
8.3.	FRI-ONLINE-1-HC	Health Care
8.4.	FRI-ONLINE-1-MCDA	Medical and Clinical Diagnostic Activities
8.5.	THU-ONLINE-SSS-HP	Health Promotion
	FRI-ONLINE-SSS-HC	Health Care
	THU-ONLINE-SSS-MCDA	Medical and Clinical Diagnostic Activities
Quality of Education Directorate		
9.1.	FRI-ONLINE-QHE	Quality of Higher Education
Razgrad Branch of the University of Ruse		
10.1.	FRI-LCR-1-CT(R)	Chemical Technologies
10.2.	FRI-LCR-1-BFT(R)	Biotechnologies and Food Technologies
10.3.	TUE-ONLINE-SSS-BFT(R)	Biotechnologies and Food Technologies
	TUE-ONLINE-SSS-CT(R)	Chemical Technologies
Silistra Branch of the University of Ruse		
11.1.	FRI-ONLINE-DPM(S)	Didactics, Pedagogy and Methodology of training in...
	FRI-ONLINE-LTLHF(S)	Linguistics; Theory of Literature and History; Philosophy
	FRI-ONLINE-ELENSTS(S)	E-Learning; Electrical; Technical Sciences
11.2.	FRI-ONLINE-SSH(S)	Humanities
	FRI-ONLINE-SSS-PPTM(S)	Pedagogy, Psychology, and Teaching Methodology
	FRI-ONLINE-SSS-TS(S)	Technical Sciences

The papers have been reviewed.

ISSN 1311-3321 (print)

ISSN 2535-1028 (CD-ROM)

ISSN 2603-4123 (on-line) Copyright © authors

The issue was included in the international ISSN database, available at <https://portal.issn.org/>.

The online edition is registered in the portal ROAD scientific resources online open access



PROGRAMME COMMITTEE

- **Prof. Amar Ramdane-Cherif**
University of Versailles, France
- **Assoc. Prof. Manolo Dulva HINA**
ECE Paris School of Engineering, France
- **Prof. Leon Rothkrantz**
Delft University of Technology, Netherlands
- **Assoc. Prof. Antonio Jose Mendes**
University of Coimbra, Portugal
- **Prof. Ville Leppanen**
University of Turku, Finland
- **Assoc. Prof. Marco Porta**
University of Pavia, Italy
- **Prof. Douglas Harms**
DePauw University, USA
- **Prof. Zhanat Nurbekova**
L.N.Gumilyov Eurasian National University, Nur Sultan, Kazakhstan
- **Prof. Mirlan Chynybaev**
Kyrgyz State Technical University, Bishkek, Kyrgyzstan
- **Prof. Ismo Hakala, PhD**
University of Jyväskylä, Finland
- **Prof. Dr. Artur Jutman**
Tallinn University of Technology, Estonia
- **Prof. RNDr. Vladimir Tvarozek, PhD**
Slovak University of Technology in Bratislava, Bratislava, Slovakia
- **Doc. Ing. Zuzana Palkova, PhD**
Slovak University of Agriculture in Nitra, Nitra, Slovakia
- **Andrzej Tutaj, PhD**
AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland
- **Prof. Valentin NEDEFF Dr. eng. Dr.h.c.**
“Vasile Alecsandri” University of Bacău, Romania
- **Dr. Cătălin POPA**
“Mircea cel Bătrân” Naval Academy, Constantza, Romania
- **Prof. dr Larisa Jovanović**
Alfa University, Belgrade, Serbia
- **Prof. dr hab. Edmund LORENCOWICZ**
University of Life Sciences in Lublin, Poland
- **Assoc. Prof. Ion MIERLUS - MAZILU, PhD**
Technical University of Civil Engineering, Bucharest, Romania
- **Prof. Dojčil Vojvodić PhD**
Faculty of Philosophy, University of Novi Sad, Serbi
- **Assoc. Prof. Alexandrache Carmen, PhD**
Departament of Teacher Training, “Dunarea de Jos”, Galati University, Romania
- **Prof. Alberto Cabada**
University of Santiago de Compostela, Faculty of Mathematics, Santiago de Compostela, Spain
- **Kamen Rikev, PhD**
Institute of Slavic Philology, Maria Curie-Skłodowska University in Lublin, Poland
- **Dra. Clotilde Lechuga Jiménez, PhD**
Education Science Faculty (Teatinos Campus), University of Malaga (Spain)

- **Assoc. Prof. Despina Sivevska, PhD**
Faculty of Educational Sciences, University "Goce Delcev"-Stip, Macedonia
- **Liqaa Habeb Al-Obaydi, PhD**
English Department, College of Education for Human Sciences, University of Diyala, Iraq
- **Prof. Igor Kevorkovich Danilov, DSc**
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia
- **Prof. Aleksander Valentinov Sladkowski, DSc**
Silesian University of Technology, Poland
- **Prof. Dr. Vera Karadjova,**
"St. Kliment Ohridski" University – Bitola, Faculty of tourism and hospitality – Ohrid, Republic of North Macedonia
- **Prof. Dr. Aleksandar Trajkov**
"St. Kliment Ohridski" University - Bitola, Faculty of tourism and hospitality – Ohrid, Republic of North Macedonia
- **Prof. Dr. Petar Pepur**
University of Split, Croatia
- **Prof. Dr. Korhan Arun**
Namik Kemal University, Tekirdağ, Turkey
- **Prof. Yuliya Yorgova, PhD**
Burgas Free University, Bulgaria
- **Prof. Claudia Popescu, PhD**
Bucharest University of Economic Studies, Romania
- **Prof. Dr. Gerhard Fiolka**
University of Fribourg, Switzerland
- **Prof. Haluk Kabaalioglu, PhD**
Yeditepe University, Turkey
- **Prof. Silva Alves, PhD,**
University of Lisbon, Portugal
- **Hanneke van Brugge, DHC mult**
Appeldoorn, The Netherlands
- **Prof. Nino Žganec, DSc**
President of European Association of Schools of Social Work, University of Zagreb, Croatia
- **Prof. Violeta Jotova**
Direction Pediatrics at St. Marina University Hospital - Varna, Bulgaria, Chair ESPE
Postgraduate Qualification Committee
- **Prof. Tanya Timeva, MD, PhD**
Obstetrics and Gynecology Hospital "Dr. Shterev", Sofia, Bulgaria
- **Prof. Kiril Stoychev, PhD,**
Institute of Metal Science, Equipment and Technologies "Acad. A. Balevsci" with
Haydroaerodinamics centre – BAS, Bulgaria
- **Assoc. Prof. Mark Shamtsyan, PhD**
Technical University, Saint Petersburg, Russia
- **Assoc. Prof. Oleksii Gubenia, PhD**
National University of Food Technologie, Kiev, Ukraine
- **Assoc. Prof. Olexandr Zaichuk, DSc**
Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine
- **Prof. Eugene Stefanski, DSc**
Samara University, Russia
- **Doc. Dr Tatiana Strokovskaya**
International University of Nature "Dubna", Dubna, Russia

- **Prof. DSc. Petar Sotirow**
Maria Curie-Sklodowska University of Lublin, Poland
- **Prof. Papken Eghiasar Hovsepian**
Sheffield Hallam University, Sheffield, UK
- **Accos. Prof. Krassimir Dochev Dochev, PhD**
University of Portsmouth School of Engineering, UK
- **Mariana Yordanova Docheva, PhD**
University of Portsmouth School of Engineering, UK
- **Assoc. Prof. Ivan Antonov Lukanov, PhD**
University of Botswana, Faculty of Engineering and Technology, Gaborone, Botswana
- **Assoc. Prof. Petko Vladev Petkov, PhD**
Research Associate Cardiff University, UK
- **Prof. Stepan Terzian DSc**
Bulgarian Academy of Science, Bulgaria
- **Prof. Dr. Gabriel Negreanu**
University Politehnica of Bucharest, Romania

ORGANISING COMMITTEE

♦ **ORGANIZED BY: UNIVERSITY OF RUSE (UR) AND
UNION OF SCIENTISTS (US) - RUSE**

♦ **ORGANISING COMMITTEE:**

• **Chairperson:**

COR. MEM Prof. Hristo Beloev, DTSc – Rector of UR, Chairperson of US - Ruse

• **Scientific Secretary:**

Prof. Diana Antonova PhD, Vice-Rector Research,
dantonova@uni-ruse.bg, 082/888 249

• **Members:**

- **Agricultural Machinery and Technologies, Agrarian Sciences and Veterinary Medicine**
- **Maintenance and Reliability**
- **Thermal, Hydro- and Pneumatic Equipment**
- **Ecology and Conservation**
- **Industrial Design**
Assoc. Prof. Plamen Manev,
pmanev@uni-ruse.bg, 082 888 542
- **Contemporary Foreign Language Teaching; Didactics, Pedagogy and Psychology;**
(16.10., Silistra)
Assoc. Prof. Diana Zhelezova-Mindizova, PhD,
dmindizova@uni-ruse.bg
- **Linguistics; Theory of Literature and History; Philosophy** (16.10., Silistra)
Assoc. Prof. Romyana Lebedova, PhD,
rlebedova@uni-ruse.bg
- **E-Learning; Energy Effectiveness; Natural Sciences; Technical Sciences; Mathematics and Informatics** (16.10., Silistra)
Pr. Assist. Evgenia Goranova, PhD,
egoranova@uni-ruse.bg
- **Chemical Technologies** (06-07.11., Razgrad)
- **Biotechnologies and Food Technologies** (06-07.11., Razgrad)
Assoc. Prof. Tsvetan Dimitrov, PhD,
conf_rz@abv.bg, 0887 631 645
- **Mechanical Engineering and Machine-building Technologies**
Assoc. Prof. Dimitar Dimitrov, PhD,
ddimitrov@uni-ruse.bg, 0886 474 834, 082/888 653
- **Electrical Engineering, Electronics and Automation**
Assoc. Prof. Boris Evstatiev, PhD,
bevstatiev@uni-ruse.bg, 082 888 371
- **Communication and Computer Systems**
Assoc. Prof. Galina Ivanova, PhD, giivanova@uni-ruse.bg, 082 888 855
Pr. Assist. Ivanka Tsvetkova, PhD, itsvetkova@uni-ruse.bg, 082 888 836
- **Transport and Machine Science**
Assoc. Prof. Simeon Iliev, PhD,
spi@uni-ruse.bg, 082 888 331

- **Sustainable and intelligent transport systems, technologies and logistics**
Prof. Velizara Pencheva, PhD,
vpencheva@uni-ruse.bg, 082 888 558, 082 888 608
- **Economics and Management**
Pr. Assist. Miroslava Boneva, PhD, mboneva@uni-ruse.bg, 082/888 776
Pr. Assist. Elizar Stanev, PhD, estanev@uni-ruse.bg, 082/888 703
- **European studies, security and international relations**
Prof. Vladimir Chukov, DSc, vlachul@gmail.com, +359 82 825 667
Assoc. Prof. Mimi Kornazheva, PhD, mkornazheva@uni-ruse.bg, +359 82 825 667
- **Mathematics, Informatics and Physics**
Prof. Tsvetomir Vasilev, PhD,
tvasilev@uni-ruse.bg, 082/888 475
- **Education – Research and Innovations**
Assoc. Prof. Emilia Velikova, PhD,
evelikova@uni-ruse.bg, 0885 635 874
- **Pedagogy and Psychology**
Assoc. Prof. Bagryana Ilieva, PhD,
bilieva@uni-ruse.bg 082 888 219
- **History, Ethnology and Folklore**
Pr. Assist. Reneta Zlateva, PhD
rzlateva@uni-ruse.bg, 082/888 752
- **Linguistics, Literature and Art Science**
Assoc. Prof. Velislava Doneva, PhD,
doneva_v@uni-ruse.bg, 0886 060 299
- **Health Promotion**
Assoc. Prof. Stefka Mindova, PhD,
smindova@uni-ruse.bg, 0882 895 149
- **Social Work**
Prof. Sasho Nunev DSc,
snunev@uni-ruse.bg, 0886 802 466
- **Medical and clinical diagnostic activities**
Assoc. Prof. Nikola Sabev, DSc,
nsabev@uni-ruse.bg, 0882 123 305
- **Health Care**
Pr. Assist. Greta Koleva, PhD,
gkoleva@uni-ruse.bg, 0882 517 173
- **Law**
Assoc. Prof. Elitsa Kumanova, PhD,
ekumanova@uni-ruse.bg, 0884 980 050
- **National Security**
Assoc. Prof. Milen Ivanov, DSc,
poligon@abv.bg, 082 888 736
- **Quality of Higher Education**
Prof. Ivanichka Serbezova, PhD, iserbezova@uni-ruse.bg
Daniela Todorova, dtodorova@uni-ruse.bg, 082 888 378.

- **REVIEWERS:**

Prof. Ivelin V. Ivanov, PhD

Assoc. Prof. Yuliyang Angelov, PhD

Assoc. Prof. Maria Nikolova, PhD

Assoc. Prof. Rosen Radev, PhD

Assoc. Prof. Alexander Ivanov, PhD

Assoc. Prof. Dimityr Dimitrov, PhD

Pr. Assist. Prof. Mariyana Ilieva, PhD

MECHANICAL ENGINEERING AND MACHINE-BUILDING TECHNOLOGIES

Content

1. WED-ONLINE-SSS-MEMBT-01	10
Friction Stir Welding: a Review	
Daniela Nenova, Dobromir Kamenov, Nikolay Ferdinandov, Danail Gospodinov	
2. WED-ONLINE-SSS-MEMBT-02	17
Effect of Joint Preparation on Mechanical Properties of Weldements of High Strength Steel 700MC	
<i>Petar Petrov, Danail Gospodinov, Nikolay Ferdinandov</i>	
3. WED-ONLINE-SSS-MEMBT-03	24
Development of Technology and Fixtures for Assembling and Machining of a Crane Column	
<i>Konstantin Radkovski, Nikolay Stankov</i>	
4. WED-ONLINE-SSS-MEMBT-04	40
Development of Technology and Fixture for Assembling of Flanges for Crane Columns	
<i>Ilker Ali, Nikolay Stankov</i>	
5. WED-ONLINE-SSS-MEMBT-05	54
Investigation of a Technological Chain for Rapid Prototyping of Castings Produced in Ceramic Block Forms	
<i>Daniela Nenova, Trifon Gospodinov, Darinka Krasteva</i>	
6. WED-ONLINE-SSS-MEMBT-06	61
Technological Lasers – Principals And Applications	
<i>Veselin Hristov</i>	
7. WED-ONLINE-SSS-MEMBT-07	66
Contemporary Materials and Technologies in Orthodontics	
<i>Veselina Dukova</i>	

WED-ONLINE-SSS-MEMBT-01

FRICITION STIR WELDING: A REVIEW¹

Daniela Nenova – Student

Department of Material Science and Technology,
University of Ruse “Angel Kanchev”
Tel.: +373 22 319129
E-mail: danke027@abv.bg

Dobromir Kamenov – Student

Department of Material Science and Technology,
University of Ruse “Angel Kanchev”
Tel.: +373 22 319129
E-mail: dobri_kamenov@abv.bg

Assist. Prof. Nikolay Ferdinandov, PhD

Department of Material Science and Technology,
University of Ruse “Angel Kanchev”
Phone: 086-821 521
E-mail: nferdinandov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Danail Gospodinov, PhD

Department of Material Science and Technology,
University of Ruse “Angel Kanchev”
Phone: 086-821 521
E-mail: dgospodinov@uni-ruse.bg

Abstract: *The paper reviews Friction stir welding. It is one of the most exciting achievements in the world welding industry in the last thirty years. Friction stir welding is a new welding method but it already had found its way in the welding industry. Owing to its many advantages this welding methods gives new trends in welding technology. Friction stir welding allows a variety of problems typical for fusion welding to be resolved. The present report familiarize with the peculiarities of friction stir welding. Its advantages and drawbacks are described, and the applications of friction stir welding are outlined. The main welding parameters that influence the welding quality are described. Tools with different configurations for friction stir welding of different materials and thickness are discussed.*

Keywords: *Friction Stir Welding, Peculiarities, Applications*

ВЪВЕДЕНИЕ

Едно от най-интересните световни постижения в областта на заваряването през последните три десетилетия е разработването и комерсиализирането на един принципно нов метод за заваряване чрез триене с разбъркване/размесване (ЗТР, англ. FSW – Friction Stir Welding). Той е с цифров код 43 съгласно БДС EN ISO 4063:2011. Този метод е патентован през 1991 г. от Британския институт по заваряване (TWI) и днес се развива усилено в цял свят (Mishra, R., Ma, Z., 2005). Той открива напълно нови насоки в заваръчната технология и позволява да се решат редица проблеми характерни за методите на заваряване с разтопяване. Процесът се осъществява в твърдо състояние (без разтопяване), като завареното съединение е

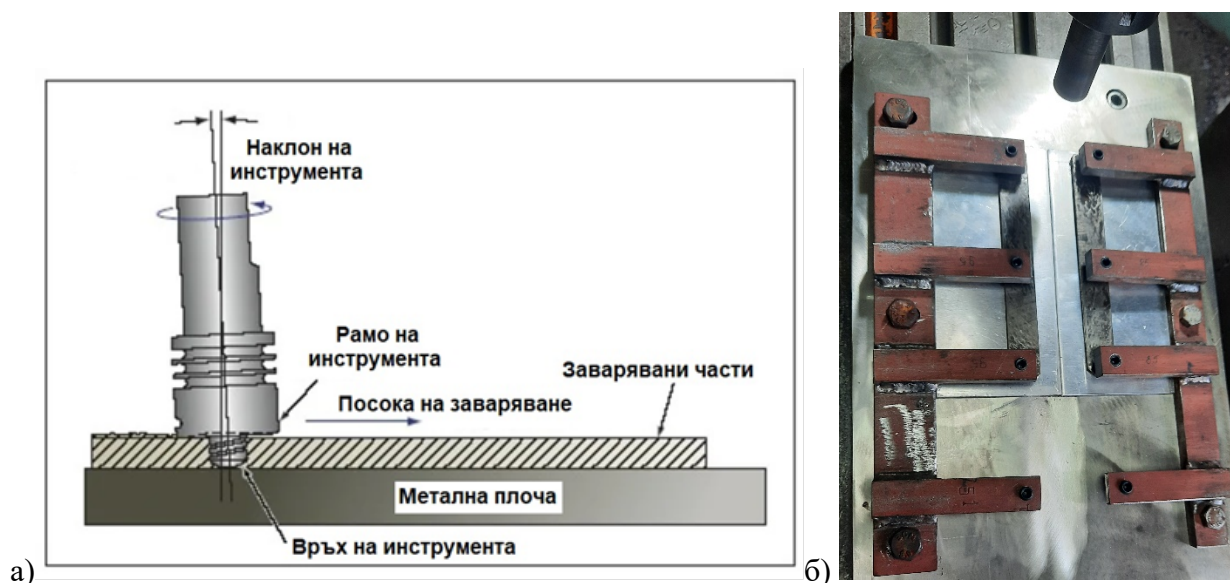
¹ Докладът е представен на студентската научна сесия на 28.05.2021 в секция Механика и машиностроителни технологии с оригинално заглавие на български език: ЗАВАРЯВАНЕ ЧРЕЗ ТРИЕНЕ С РАЗБЪРКВАНЕ: ОБЗОР.

с високо качество, получено за по-кратко време с по-малко енергия и вредни за околната среда странични продукти.

Заваряването чрез триене с разбъркване се използва основно за съединяване на материали със сравнително ниски температури на топене и преди всичко на алуминий и алуминиеви сплави (Cavaliere, P., 2013; Kumbhar, N., Dey, G., Bhanumurthy, K., 2011), но е възможно и използването му за полимери, разнородни цветни метали, стомани и други сплави и метали с висока температура на топене (Lambiase, F., Derazkola, H., Simchi, A., 2020; Gojocar, R., Botila, N., 2020).

ИЗЛОЖЕНИЕ

Същността на метода е свързана с използването на специален въртящ се инструмент състоящ се от две основни части - рамо (цилиндрична част) и връх (работна част). В процеса на работа инструментът навлиза между частите на дълбочина по-малка от дебелината им с $0,2 \div 0,3 \text{ mm}$, изпълнявайки въртеливо и постъпателно движение. В резултат на силите на триене между инструмента и заваряваните части, основният метал се нагрива до пластично състояние без обаче да се разтопява, смесва се с помощта на въртящия се инструмент и се измества в свободното пространство зад него (Sidhu, M., Sukhpal, C., 2012; Kumbhar, N., Dey, G., Bhanumurthy, K., 2011). Обемът, в който се формира шева е ограничен отгоре от рамото на инструмента. В процеса на работа инструментът е наклонен назад спрямо посоката на заваряване. На фигура 1,а е показана схема на метода, а на фигура 1,б - външен вид на заваръчното оборудване използвано в Русенски университет.



Фиг. 1. Схема (а) и общ вид (б) на заваряване чрез триене с разбъркване.

В процеса на работа е необходимо да се създаде и поддържа постоянно налягане на инструмента по посока на оста му, като силата може да достигне 100 kN.

При заваряване частите се поставят върху масивна метална плоча (подложка) изработена най-често от неръждаваща стомана или титан.

Основните параметри на режима на работа са: скорост на заваряване (20...500 mm/min), честота на въртене на инструмента (150...1400 rpm), сила на притискане на инструмента към заваряваните части (9...80 kN), ъгъл на наклон на инструмента (1...5°). Тези параметри зависят основно от вида и дебелината на заваряваните части (Kumar, H., Ramana, V., 2014; Verbitchi V., Cojocar, R., Lia-Nicoleta, B., 2018).

На фигура 2 са показани заварени съединения от алуминиева сплав с дебелина 4 mm, изработени в Русенски университет чрез ЗТР. Използвани са следните режими на работа: скорост на заваряване – 150 и 200 mm/min; честота на въртене на инструмента 800 rpm; ъгъл на наклон на инструмента - 2°.

Освен описаните параметри на режима важен фактор за получаването на висококачествени съединения е избора на конструкция на инструмента и материала, от който е изработен той. За изработването му обикновено се използва инструментална топлоустойчива стомана X40CrMoV5-1, X38CrMoV5, HS10-4-3-10 или мартензитна неръждаема стомана. При температури на работа по-ниски от 400°C е възможно и използването на конструкционни подобряеми стомани с ниска топлоустойчивост като C45 или 42CrMo4.



Фиг. 2. Външен вид на челни заварени съединения получени чрез ЗТР

Геометрията на инструмента играе решаваща роля в разбъркването, потока на материала, както и в управлението на скоростта на заваряване. Температурните характеристики на процеса и качеството на горната част на шева до голяма степен зависят от формата и диаметъра на рамото на инструмента (FSW Handbook for Specialists & Engineers. 2017; Rai, R., De, A., Bhadeshia, H., DebRoy, T., 2011), а качеството на смесване се определя основно от формата на работната му част – върха. На фигура 3 е показан външен вид на инструменти използвани при ЗТР, а на фигура 4 - външен вид на инструментите използвани в Русенски университет за заваряване на алуминий и сплавите му.

Основните предимства на ЗТР в сравнение с методите на заваряване с разтопяване са: висока якост на завареното съединение, която в сравнение с основния материал може да достигне 100%; малки деформации и отсъствието на дефекти, характерни за заваряването чрез разтопяване; ниската работна температура - около 70% от температурата на топене на съответния материал води до по-малки ъглови деформации; липса на необходимост от добавъчни материали, защитни газове и флюси е свързано с по-ниски оперативни разходи; възможност за заваряване на всички съществуващи видове алуминиеви сплави включително и тези, които се класифицират като незаваряеми; изчислено е, че ако 10% от заварените конструкции в САЩ бъдат изпълнени чрез ЗТР емисиите на парникови газове ще намалеят с 200 милиона килограма годишно.

Освен множеството си предимства, този метод притежава и някои недостатъци: висока цена на специализираното заваръчно оборудване; необходимост от използване на входни и изходни планки, поради образуването на отвор в края на шева (фиг. 5); не могат да се

изпълняват заварени съединения, когато за получаването им се изисква добавъчен материал например при ъглово съединение; трудно или невъзможно е заваряването на метали с ниска пластичност; намаляване (с 0,1 – 0,2mm) на дебелината на метала в областта на шева поради контакта на рамото на инструмента с повърхността на детайлите.



а) б) в) г)
Фиг. 3. Външен вид на инструменти използвани при ЗТР: а) инструмент с традиционна форма; б) инструмент за дълбоко проваряване; в) инструмент със специална форма; г) инструмент за двустранно заваряване

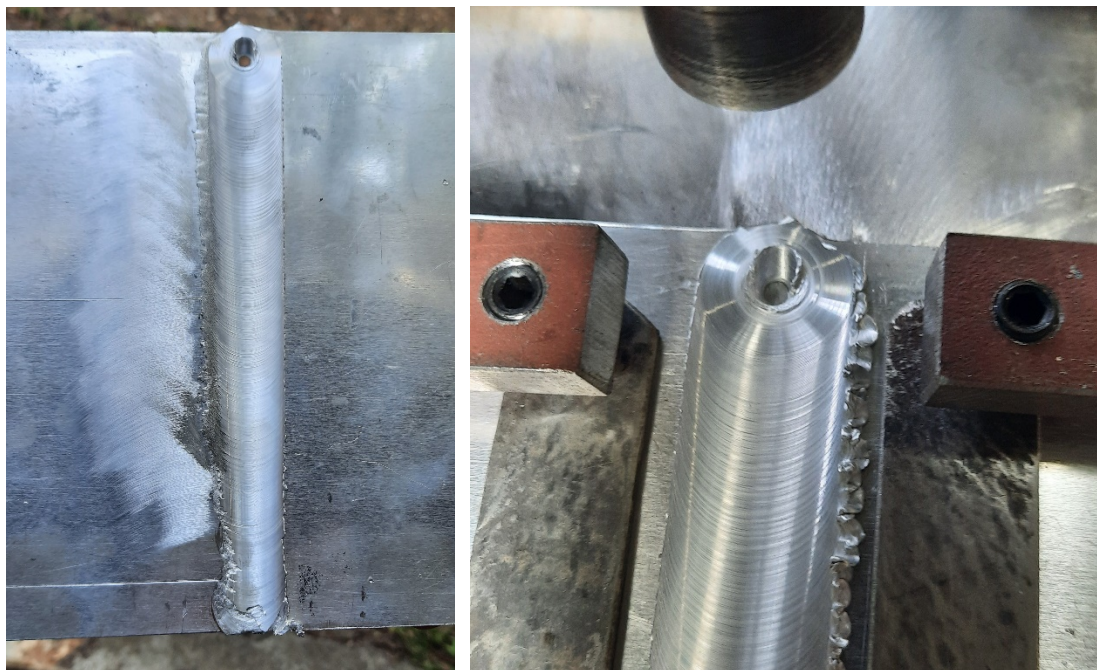


а) б)
Фиг. 4. Външен вид на инструменти използвани в Русенски университет за ЗТР: а) инструмент с гладка цилиндрична форма на върха; б) инструмент с цилиндричен връх с резба;

Методът се използва основно за заваряване на алуминий и алуминиеви сплави от типа 6082 (Al-Mg-Si), 1570C (Al-Mg-Sc), високояка алуминиева сплав 7075 (Al-Zn-Mg-Cu), заваряване на медна сплав (М1, М3) към алуминиева сплав (АД1 и АД32), заваряване на деформируеми магнезиеви сплави и други. Дебелините на заваряваните части варират от 0,5 до над 100mm, като най-често се прилага за дебелини от 3 до 40mm (FSW Handbook for

Specialists & Engineers. 2017; Muravyev, V., Bakhmatov, P., Melkostupov, K., 2010; Prakash, P., Jha, S., La, S., 2013; Botila, N., Gojocar, R., Verbitchi, V., Ciuca, C., 2019).

Предимствата на метода позволяват той да намери приложение в различни индустрии, като корабно-, вагоно-, автомобилно-, самолето- и ракетостроенето и др.



Фиг. 5. Външен характерен за ЗТР дефект – отвор в края на шева

Космическите агенции на практически всички страни по света в една или друга степен са въвели този процес в производството на различни свои продукти. Лидерите в тази област са САЩ, Европейският съюз и Китай. Методът се използва за производството на резервоари за гориво за ракети-носители "Space Shuttle", при производство на ракети "Delta II" и "Delta IV", за заваряване на ракети от "Falcon 1" до "Falcon 9", за "Boeing C-17 Globemaster III" и „Boeing 747 Large Cargo Freighter“. Покривните панели на самолета "Airbus A400M" също са заварени с помощта на този метод. ЗТР се използва и при самолетите Airbus A350 и Eclipse 500. Така се произвеждат и резервоари за гориво за ракети-носители "Ангара" и при производството на външните панели на крила на самолет Ту-204СМ.

Точковото ЗТР е патентовано от Mazda през 2003 г. Процесът се използва за производство на каросерията на автомобила Mazda RX - 8. В корабостроенето методът се използва за заваряване на палубни надстройки и прегради, в железопътния и метро транспорта за каросерии, рамки и талиги на влакове, в електрическата промишленост за корпуси на електродвигатели, в строителната индустрия за алуминиеви мостове, алуминиеви тръбопроводи, топлообменници и климатици, в хранително-вкусовата промишленост за контейнери за бира, вино, мляко и др. (Technical Handbook, Friction Stir Welding, ESAB).

ИЗВОДИ

1. Методът на заваряване чрез триене с разбъркване се осъществява в твърдо състояние при сравнително ниски температури и позволява да се решат редица проблеми свързани с методите на заваряване чрез разтопяване.

2. Качеството на шева получен чрез ЗТР зависи основно от параметрите на режима на работа: скорост на заваряване, честота на въртене на инструмента, сила на притискане на инструмента към заваряваните части, ъгъл на наклон на инструмента, формата и размерите му както и материала, от който е направен той.

3. За метода са характерни редица предимства: високата якост и качество на завареното съединение, малко топовлагане, малки деформации и отсъствието на дефекти, липса на вредни за околната среда странични продукти.

4. Използването на метода е свързано и с някои ограничения: висока цена на оборудването, необходимост от използване на входни и изходни планки, невъзможност за заваряване на метали с ниска пластичност, отвори в края на шева и други.

5. Заваряването чрез триене с разбъркване се използва основно за съединяване на материали със сравнително ниски температури на топене, като по този начин могат да се заваряват всички съществуващи видове алуминиеви сплави, включително и различни комбинации между тях.

6. Поради редицата си предимства методът намира все по-широко приложение при производството на кораби, вагони, автомобили, самолети, ракети много други.

Благодарности

Изследването е реализирано по проект 2021 - МТФ - 01, към Фонд „Научни изследвания“ на РУ „Ангел Кънчев“.

REFERENCES

Mishra, R., Ma, Z. (2005). Friction stir welding and processing. Materials Science and Engineering. 2005. pp 1–78.

Cavaliere, P. (2013). Friction stir welding of Al alloys: analysis of processing parameters affecting mechanical behavior. 2nd International Through-life Engineering Services Conference, Procedia CIRP 11. 2013. pp 139 – 144.

Sidhu, M., Sukhpal, C. (2012). Friction Stir Welding – Process and its Variables: A Review. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. Vol. 2, Issue 12. December 2012. pp 275-279.

Kumbhar, N., Dey, G., Bhanumurthy, K. (2011). Friction Stir Welding of Aluminium Alloys. Barc Newsletter. Issue 321. July - Aug. 2011, pp 11-17.

Prakash, P., Jha, S., La, S. (2013). A study of process parameters of friction stir welded AA 6061 aluminum alloy. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 2, Issue 6. June 2013. pp 2304-2309.

Lambiase, F., Derazkola, H., Simchi, A. (2020). Friction StirWelding and Friction Spot Stir Welding Processes of Polymers - State of the Art. Materials 2020, 13, 2291, pp 44.

Kumar, H., Ramana, V. (2014). An Overview of Friction Stir Welding (FSW): A New Perspective. International Journal of Engineering And Science. Vol. 4, Issue 6, June 2014, pp 01-04.

Verbitchi V., Cojocaru, R., Lia-Nicoleta, B. (2018). Technical Characteristics of the Equipment for Friction Stir Welding (FSW), Depending on the Base Metals. Advanced Materials Research. Vol. 1153. 2018. pp 7-15.

Rai, R., De, A., Bhadeshia, H., DebRoy, T. (2011). Review: friction stir welding tools. Science and Technology of Welding and Joining. Vol 16. 2011. pp 325-342.

FSW Handbook for Specialists & Engineers. (2017). Project E+ 2017-1-SK01-KA202-035415. pp 162

Technical Handbook, Friction Stir Welding, ESAB

Botila, N., Gojocaru, R., Verbitchi, V., Ciucu, C. (2019). Friction stir processing in multiple passes of cast aluminum alloy EN AW 4047 (AlSi12). Welding & Material Testing. №2. 2019. pp 13-17.

Gojocaru, R., Botila, N. (2020). Possibilities to apply friction stir lap welding to some couples of aluminium – copper dissimilar materials. Welding & Material Testing. №3, 2020, pp 3-8.

Muravyev, V., Bakhmatov, P., Melkostupov, K. (2010). On the issue of using friction stir welding (FSW) technology for welding of high duty aluminum alloys. Science notes №2. 2010. pp 110-125.

WED-ONLINE-SSS-MEMBT-02

EFFECT OF JOINT PREPARATION ON MECHANICAL PROPERTIES OF WELDEMENTS OF HIGH STRENGTH STEEL 700MC²

Petar Petrov – Student

Department of Material Science and Technology,
University of Ruse “Angel Kanchev”
Tel.: +373 22 319129

Assoc. Prof. Danail Gospodinov, PhD

Department of Material Science and Technology,
University of Ruse “Angel Kanchev”
Phone: 086-821 521
E-mail: dgospodinov@uni-ruse.bg

Assist. Prof. Nikolay Ferdinandov, PhD

Department of Material Science and Technology,
University of Ruse “Angel Kanchev”
Phone: 086-821 521
E-mail: nferdinandov@uni-ruse.bg

Abstract: During the last years high strength steels find wide applications for heavily loaded welded constructions such as bridges, tanks, containers, cranes, civil and industrial engineering that work at room or elevated temperatures. As the carbon content of these steels is low they possess good weldability when manufacturers' recommendations are followed.

Mechanical properties of the weldments of high strength steels depend on different factors such as the cooling time $t_{8/5}$ that is defined by the maximal allowed values of the hardness and impact toughness of the heat affected zone. The used filler materials and protection methods are among the numerous factors that affect the mechanical properties of the weldments. However, the information about the joint preparation and especially about the weld gap is scanty or missing. The present work introduces findings on the influence of joint preparation on some mechanical properties and structure of weldments of high strength steel S700MC welded using submerged arc welding.

Keywords: Friction Stir Welding, Peculiarities, Applications

ВЪВЕДЕНИЕ

Създаването и прилагането на стомани с висока (HSS) и свръхвисока якост (UHSS) е резултатът от многогодишните усилия за усъвършенстване на съществуващите и разработване на нови видове стомани. Необходимостта от такива стомани е свързана със съвременните изисквания за оптимизиране на конструкциите от гледна точка на намаляване на тяхната маса при същевременно увеличаване на носещата им способност и тяхната надеждност.

Подобреният комплекс от механични свойства, съчетаващ висока якост и граница на провлачване при запазване на висока пластичност и жилавост се постига чрез комбинираното използване на различни механизми за уякчаване. Най-често се използват методите на комплексно микролегиране, съчетано с контролирано пластично деформиране и охлаждане.

Тези стомани са предназначени основно за изработване на отговорни, високо натоварени заварени конструкции, като: мостове, резервоари, кранове, съдове под налягане, промишлено

² Докладът е представен на студентската научна сесия на 28.05.2021 в секция Механика и машиностроителни технологии с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ПОДГОТОВКАТА НА ЧАСТИТЕ ВЪРХУ МЕХАНИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЗАВАРЕНИ СЪЕДИНЕНИЯ ОТ ВИСОКОЯКА СТОМАНА S700MC.

и гражданско строителство, тръбопроводи, минно строителство и други проектирани за работа при стайна или понижена температура (J. Górka. 2012; Mrňa, L. et al 2013; Mazur, M. et al 2013; Ali, H., T. ALSultan 2018).

Все по-масовото навлизане на строителните стомани с висока якост в инженерната практика е предопределено от предимствата им пред досега използваните стомани, а именно: по-малко конструкционно тегло, по-малки транспортни разходи, занижен обем на заваръчните шевове, увеличаване на сигурността срещу крехко разрушаване, на икономическата изгода и много други.

При използването на дребнозърнестите стомани е необходимо да се отчитат и някои техни особености, като например: конструкционните части трябва по възможност да бъдат натоварени предимно статично на опън; намаляването на дебелината на стената е по принцип ограничено от влиянието на околната атмосфера. Корозионната устойчивост на тези стомани е еднаква с тази на конвенционалните стомани. Якостта на умора на дребнозърнестите високояки стомани не е пропорционална на границата на провлачане, налице е силно изразена не пропорционалност. Поради силната им чувствителност към надрезно действие и най-малките дефекти влияят на склонността към образуване и разпространение на пукнатините.

За разлика от нормализираните стомани, за които може да се приеме, че съдържанието на въглерод е приблизително до 0,2%, при термомеханично уякчените стомани (например S700MC) то е подчертано по-ниско - 0,05...0,15%. Намаленото въглеродно съдържание, в съчетание с начинът на валцоване на ТМ-стоманите, техният химичен състав и много високата чистота гарантират добрата им обработваемост чрез студено пластично деформиране, намалена структурна слоистост и ивичност на неметалните включвания (www.strenx.com; Lisiecki, A. 2015; Silva, B. Szczucka-Lasota et al 2019). Тези стомани, в сравнение с конвенционалните такива, използвани за изработване на конструкции, са с подобрена сигурност срещу крехко разрушаване, поради по-добрите показатели на ударната жилавост, както при стайна, така и при понижена температура.

Дребнозърнестите стомани притежават гарантирана заваропригодност по всички ръчни, полумеханизирани и механизирани процеси на електродъгово заваряване, като 111, 135 и 121. Въпреки това при заваряването им е възможно да възникнат три основни проблема свързани с образуване на студени пукнатини, окрехкостяване на участъка на уедряване на зърното и разякчаване на зоната на термично влияние (Kříž, M. Zajíček 2011; Dzyubyk, A. et al 2017).

Най-благоприятна изходна структура по отношение на жилавостта им се постига при малка линейна енергия на заваряване и използване на предварително нагряване (доколкото е необходимо то) главно в диапазона 80 ... 120°C. Температурата между отделните преходи не трябва да превишава 200°C, а най-подходящото време за охлаждане $t_{8/5}$ е в интервала от 10 до 25 s.

При подготовката на краищата за заваряване на тази група стомани се използват най-често препоръките на стандартите EN ISO 9692. Когато обаче заваръчната междина се различава съществено от препоръките поради обективни причини (явява се затварящо звено при производството на конструкцията) е важно влиянието на този фактор да бъде изследвано и установено.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Методика

Използваната в изследването стомана е високояка, дребнозърнеста, термомеханично валцована стомана марка S700MC, под формата на листов прокат с дебелина 8 mm. Произведена е от фирма Voestalpine Stahl GmbH, Австрия.

Химичният състав, по сертификат от фирмата производител е поместен в табл.1

За получаване на заварените съединения е използвано подфлюсово заваряване с постоянен ток и обратна полярност на свързване DC (+). Използваните заготовки са с размери 500x150x8 mm, като са съобразени с изискванията на ISO 15614-1:2017.

Таблица 1. Химичен състав на стомана 700MC (по сертификат)

Химичен състав, [%]													
C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Nb	Ti	B
0.065	0.049	1.83	0.006	0.0006	0.051	0.025	0.009	0.002	0.009	0.008	0.049	0.123	0.0002

Таблица 2. Механични свойства на стомана 700MC (по сертификат)

Механични свойства	$R_{p0.2}$ MPa	R_m MPa	A_5 (wt%)	KV-40* J
S700MC	758	793	19.7	121

*резултатите от изпитване на ударна жилавост са за пробно тяло с размери 10x1, където t е дебелината на листовия прокат

Подготовката на частите е съобразена с EN ISO 9692-2:2001, като изключение прави заваръчната междина, чието влияние се изследва. Скосяването е осъществено механично и е на 30° (общо 60°) без притъпяване.

Използваните в изследването заваръчни междини са 0 (режим 1), 4 (режим 2), 6 (режим 3) и 8 (режим 4) mm (според EN ISO 9692-2:2001 при дебелина на заваряваните части 8 mm междината трябва да е $b \leq 2$ mm). Изследвания диапазон от междини се налага, тъй като при производството на реални конструкции (например телескопични стрели) калиброването на заготовките с цел постигане на изискванията на EN ISO 9692-2:2001 е много трудоемко и скъпо.

Като добавъчни материали е използван електроден тел с диаметър 1,2 mm. Той е с означение: G 69 4 M Mn3Ni1CrMo съгласно EN ISO 16834:2012 (или съответно ER 100S-G съгласно AWS A 5.28). Флюсът е S A AB 1 56 AC H5 съгласно EN ISO 14174:2019.

В зависимост от заваръчната междина броят на проходите се изменя от два (без заваръчна междина) до шест (заваръчна междина 8 mm). Големината на тока се изменя от 240 до 270 A, при напрежение 31...32 V. Скоростта на заваряване се изменя в интервала 250...280 mm/min (за корена/корените на шева) и в интервала 120...180 mm/min за останалите проходи. Пълна информация за режимите на заваряване може да бъде намерена в (Ferdinandov, N. et al 2020).

Заварените съединения са изпълнени в позиция PA съгласно EN ISO 6947:2019. В процеса на работа е спазвана препоръката за междуслойна температура от 100°C (www.strenx.com.). За всяка заваръчна междина са изработени по две плочи – общо 8 за изследваната стомана.

За макроструктурният анализ е използван реактив със следния състав – 20.3 g FeCl₃, 12.5 ml HCl, дейонизирана вода до 200 ml разтвор. Макроструктурата е наблюдавана с увеличение от 1 до 10 пъти.

Твърдостта на основния материал (ОМ), зоната на термично влияние (ЗТВ) и на заваръчния шев (ЗШ) е измерена по метода на Викерс, съгласно изискванията на EN ISO 6507-1:2018 с натоварване 1 kg.

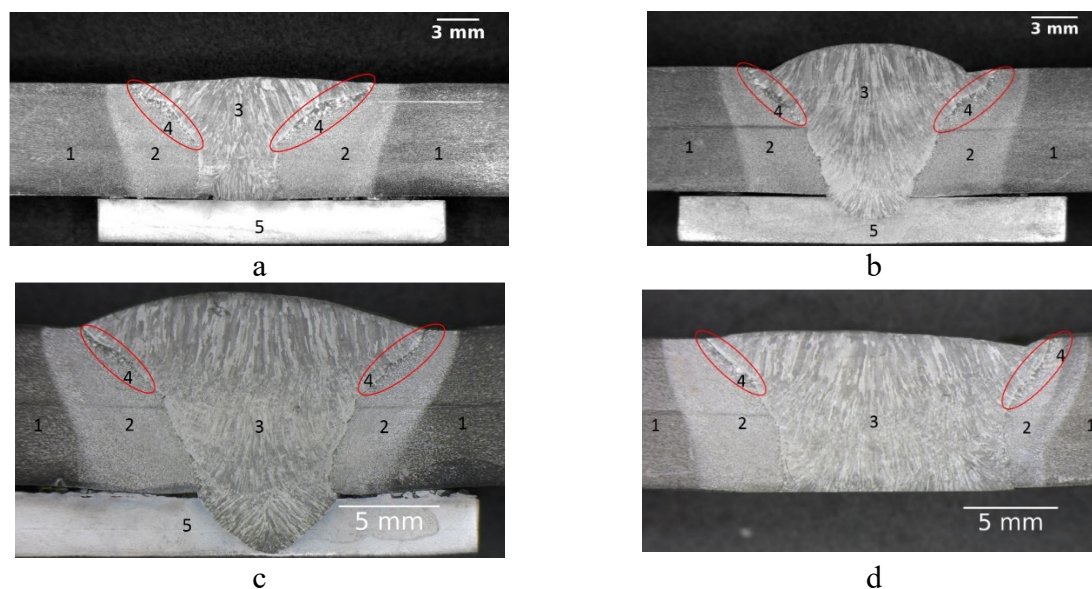
Изпитването на опън е извършено съгласно общите изисквания на EN ISO 6892-1:2020 и специфичните изисквания на EN ISO 4136:2012.

Резултати

Макроструктурен анализ

На фиг.1a, b, c and d са показани резултатите, получени след проявяване на макроструктурата на заварените съединения. С 1 е отбелязан основният метал; 2 – зоната на

термично влияние; 3 – заваръчния шев; 4 – уедрена (частично разтопена) зона вследствие на термичното въздействие на границата зона на термично влияние – заварена зона; 5-подложка. От фигурата се вижда, че режима на заваряване оказва влияние, както на формата, така и на размерите на различните зони. Може да се отбележи липсата на дефекти в зоната на шева, както и наличието на пълен провар, което показва, че избраните добавъчни материали и режими на заваряване (скорост, ток, брой проходи) са подходящи за случая. Наличието на уедрена зона на границата между зоната на термично влияние и заваръчния шев (полуразтопена зона) е предпоставка за намалени механични свойства в тези обеми. Както се вижда от фигурата, най-ясно изразена е тази зона при режим 1.



Фиг. 1. Схема (а) и общ вид (б) на заваряване чрез триене с разбъркване

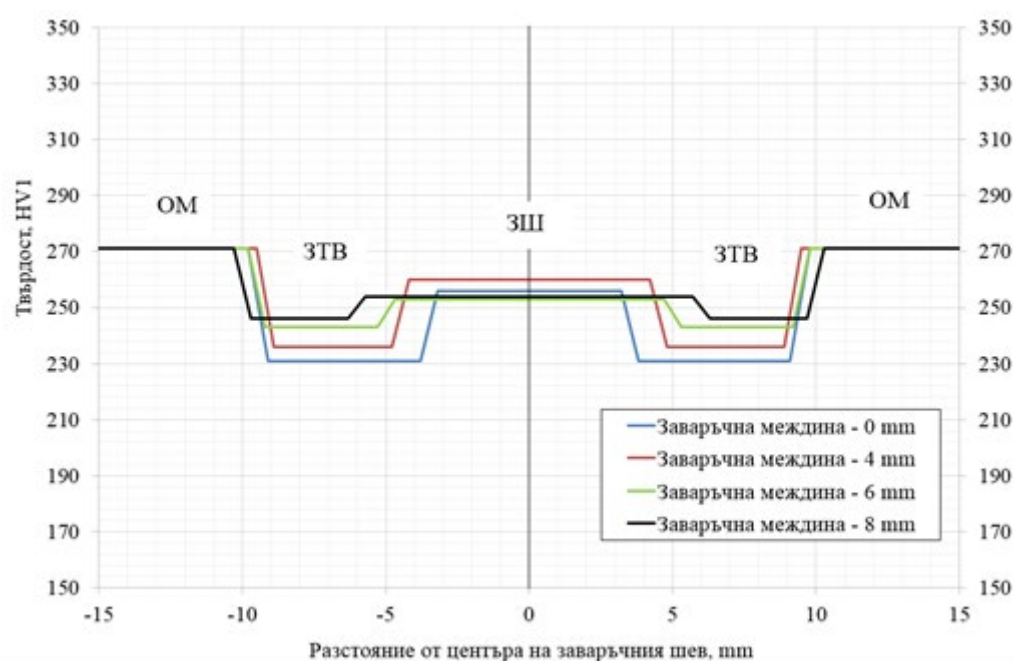
Според (www.strenx.com) наличието на такава зона при заваряване на термомеханично валцовани стомани е неминуемо, но то не оказва съществено влияние върху якостните свойства, ако са спазени определени технологични условия при реализиране на завареното съединение. Тези условия са свързани най-вече с количеството въвеждана топлина. Според (www.strenx.com) при линейна енергия не по-голяма от 1 kJ/mm (за стомана 700МС и дебелина 8 mm) най-често разрушаването при изпитване на опън се наблюдава в основния материал или в заваръчния шев.

Многопроходното заваряване с ниска линейна енергия може да ограничи уедрените зони. За да се постигне максимална ударна жилавост на заварените съединения при дебелина от 8 mm се препоръчва броят на проходите да бъде между 3 и 4 (заваръчна междина 4 mm) (www.strenx.com).

Твърдост

На фиг. 2 са показани резултатите получени след измерването на твърдостта в отделните зони, за различните режими. Те потвърждават тези поместени в специализираната литература (www.strenx.com; Kříž, M. Zajíček 2011). Най-високите стойности са измерени в основния материал, а най-ниски в зоната на термично влияние.

Резултатите от режимите със заваръчна междина, в сравнение с тези получени без заваръчна междина показват тенденция за нарастване на твърдостта в ЗТВ, при същевременно запазване на стойностите ѝ в шева. Това е логично предвид факта, че твърдостта в шева зависи основно от добавъчния материал, докато тази в ЗТВ зависи основно от термичния цикъл $t_{8/5}$.



Фиг. 2. Влияние на заваръчната междина върху размерите и твърдостта на отделните зони

Изпитване на опън

Резултатите от изпитването на опън са показани в таблица 3. Поместените стойности са средно аритметични от изпитването на три пробни тела. Изработените пробни тела са стандартни, петкратни (EN ISO 6892-1:2020). Началната изчислителна дължина е съобразена допълнително с изискванията на EN ISO 4136:20120. Размери: начална изчислителна дебелина (a_0) равна на дебелината на ламарината 8 mm; начална изчислителна ширина $b_0=25$ mm; начална изчислителна дължина $L_0=80$ mm.

Таблица 3. Резултати от изпитването на опън на заварените съединения

Размер на заваръчната междина, mm	R _{p0.2}	R _m	A ₅	Изменение на механичните свойства след заваряване		
	MPa	%	R _{p0.2}	R _m ,	A ₅ ,	
			%			
Основен материал	733	809	19	-	-	-
Режим 1	634	748	10	86.6	92.5	53
Режим 2	677	761	5.1	92.4	93.6	27
Режим 3	676	786	7.7	92.2	97.4	41
Режим 4	668	757	6.4	89.6	93.4	34

В таблица 3 са посочени и резултатите от изпитването на опън в състояние на доставка на ламарината. Получените след заваряване и изпитване на опън механични свойства са отнесени към тях с цел оценяване на процентното им изменение.

Получените резултати от изпитването на опън на заварените съединения показват, че както якостните, така и деформационните свойства намаляват спрямо тези на основния материал.

Намаляването на якостните характеристики не надвишава 10%, с изключение на $R_{p0.2}$ при режим едно. Намаляването на относителното удължение е значително и достига стойности

до 27% (при междина 4 mm) от стойността на характеристиката в състояние на доставка. Основната причина за понижаването на пластичността е факта, че пластичната деформация е съсредоточена в ЗШ и ЗТВ, като разрушаването на образците настъпва преди деформацията да обхване зоните от основния материал.

ИЗВОДИ

Все по-широкото използване на високояки стомани през последните години се дължи освен на завишените им механични характеристики/показатели и на сравнително добрите им технологични свойства. Повишените изисквания към заварените конструкции определят необходимостта и от по-сериозно изследване на факторите, влияещи върху поведението на високояките стомани по време на заваряване.

В зоната на шева твърдостта се запазва без значение от броя на проходите. Твърдостта на ЗТВ нараства с увеличаване на броя на проходите от 231 до 246 HV1. Най-висока твърдост е измерена в ОМ, а най-ниска в ЗТВ.

Използването на режими на работа осигуряващи по-високи стойности на линейната енергия ($>1 \text{ kJ/mm}$) е свързано с нарастване на производителността за сметка на значително намаляване на пластичността (A_5). Понижаването на якостните характеристики ($R_{p0.2}$, R_m) е по-малко и е в рамките на около 10%.

Благодарности

Изследването е реализирано по проект 2021 - МТФ - 01, към Фонд „Научни изследвания“ на РУ „Ангел Кънчев“.

REFERENCES

Górka J. (2012). An influence of welding thermal cycles on properties and HAZ structure of S700MC steel treated using thermomechanical method, *Scientific Proceedings IX International Congress "Machines, Technologies, Materials"*, pp. 41-44.

Information on [http:// www.strenx.com](http://www.strenx.com).

Kříž M., Zajíček (2011). Impact of welding process on mechanical properties of Domex 700MC steel and comparison of welded joint of S355NJ structural steel, *Metal 2011*, Brno, Czech Republic.

Dzyubyk A., V. Palash, I. Khomych, S. Hrynus. (2017). Optimization of welding modes for high-strength low-alloy Domex 700 steel, *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*, Vol. 3, No. 2, pp. 47-54.

Mrňa L., L. Kopecký, T. Němeček, Š. Mikmeková, I. Dohnal. (2013). Laser welding of Domex steel and heterogeneous weld with DC01, *Metal 2013*, Brno, Czech Republic.

Mazur, M., R. Ulewicz, F. Novy, P. Szataniak. (2013). The structure and mechanical properties of Domex 700MC steel, *Communications*, No. 4, pp. 54-57.

Lisiecki, A. (2015). Welding of thermomechanically rolled steel by Yb:Yag disk laser, *Archives of metallurgy and materials*, Vol. 60, pp. 2851-2859.

Ali, H., T. ALSultan. (2018). Study the microstructure and impact toughness of welded joints for Weldox 700MC high strength steel, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, Vol. 9, pp. 402-408.

Silva, B. Szczucka-Lasota, T. Węgrzyn, A. Jurek. (2019). MAG welding of S700MC steel used in transport means with the operation of low arc welding method, *Welding Technology Review*, Vol. 91, pp. 23-28.

Ferdinandov, N., D. Gospodinov, M. Ilieva, R. Radev, (2020). Effect of the Root Gap on the Structure and Properties of High Strength Steel S700MC Welds, *Key Engineering Materials*, Vol. 890, pp. 201-208.

WED-ONLINE-SSS-MEMBT-03

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND FIXTURES FOR ASSEMBLING AND MACHINING OF A CRANE COLUMN³

Eng. Konstantin Radkovski – Student

Department of Machine Tools & Manufacturing,

University of Ruse “Angel Kanchev”

Phone: +359 886 554157

E-mail: koko0505@abv.bg

Assist. Prof. Eng. Nikolay Stankov, PhD

Department of Machine Tools & Manufacturing,

University of Ruse “Angel Kanchev”

Phone: +359 886 707366

E-mail: nstankov@uni-ruse.bg

Abstract: The paper presents the developing of a technology and the designing of fixtures for assembling and machining a crane column. The whole process related to the production of a certain crane column is considered - from the 3D model to the real product. A technology and a fixture for assembling of the column have been developed. A technology and a fixture for machining the column have been developed. A control card to control the dimensions at each stage of the production of the column was made. A program for machining on a specific CNC machine has been made. The 3D models are designed with the CAD system SolidWorks. Complete design documentation is created for each of the fixtures and the process is automated by using SolidWorks template files.

Keywords: Crane Column, Cranes, Development, Design, Control, 3D Models, CAD System, SolidWorks Template Files, Design Documentation

ВЪВЕДЕНИЕ

В доклада е разгледан процеса на изработване на един от основните компоненти на крановете, това е крановата колона. Крановата колона се монтира на различни видове кранове, автокранове, гондоли за скрап, лекотоварни автомобили и други специализирани машини. Крановете се използват за товарно-разтоварни дейности на различни материали.



³ Докладът е представен на студентската научна сесия на 28.05.2021 г. в секция Механика и машиностроителни технологии с оригинално заглавие на български език: РАЗРАБОТВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЯ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ЗА СГЛОБЯВАНЕ И МЕХАНИЧНА ОБРАБОТКА НА КРАНОВА КОЛОНА.

Фиг. 1. Кран на фирма ATLAS с колона 6129589

Разнообразието на колони е голямо и основно зависи от предназначението им и тавароносимостта на конструкцията. Колоните представляват специализирана конструкция, устойчива на голямо натоварване. Монтирането ѝ към крана става чрез зацепване на зъбно колело със зъбна рейка. На тялото на колоната се монтират хидравлични цилиндри, които са закрепени на крановите стрели и осигуряват съответния им ход. Колоната осигурява завъртането на телескопичната стрела по време на работа. Това позволява по-голям обхват на действие на стрелата и разширява възможностите на крана.

На фиг. 1 е показана крановата колона 6129589, чиито процес на изработване се разглежда в доклада [16].

Основен проблем при изработване на подобен тип изделия е сложната форма и конструкция, която имат. Необходимо е постигането на точното разположение на детайлите, за да се получат зададените в конструкторската документация форма и размери на колоната. Това важи особено за детайл зъбно колело, който е с точно определена ориентация в колоната.

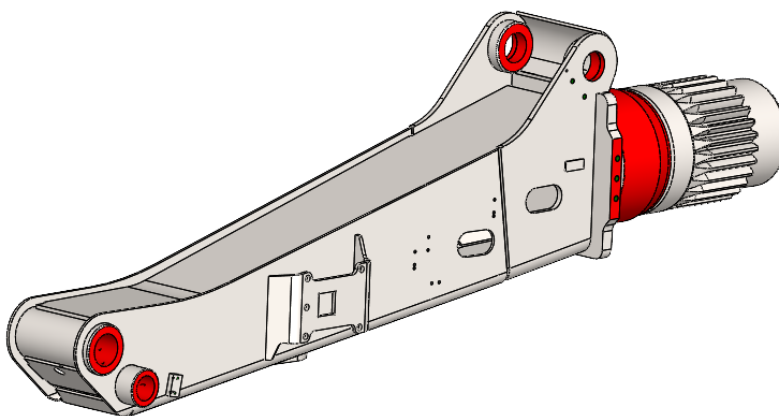
Съгласно изискванията на чертежите се прави механична обработка на функционалните повърхнини, за да може да се извърши монтаж на изделието и то да изпълнява предназначението си.

Това налага за сглобяването и механичната обработка на колоната да се разработят и използват при производството ѝ специализирани приспособления или т. нар. нестандартна технологична екипировка.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Общи сведения за колоната

На фиг. 2 е показан общият вид на колоната, която ще бъде разгледана. Изделието е част от производствена програма на фирма „СЛ Индъстрис“ ЕООД, град Русе [15].



Фиг. 2. Общ вид на колоната

На фиг. 3 е показан разглобен вид на колоната. Тя се състои от множество детайли.

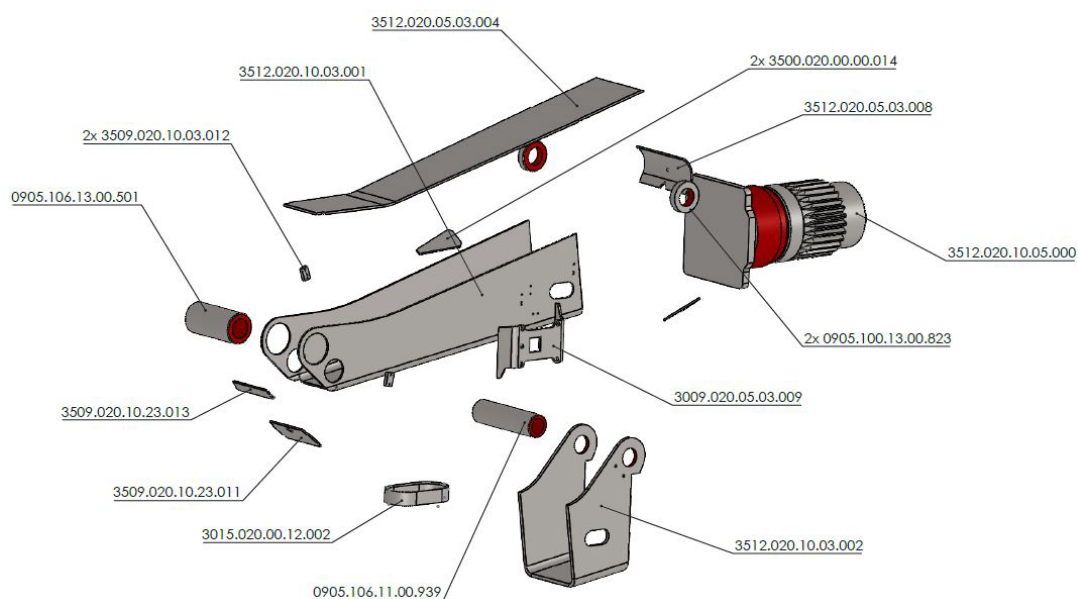
Съгласно разработената технология, за сглобяване на колоната се използва специализирано приспособление. Чрез приспособлението се извършва ориентиране и установяване на детайлите на колоната в определено положение. За позициониране на някои от детайлите се използват шаблони.

Технологична подготовка на изделието

Съгласно документацията на изделието, предоставена от фирма ATLAS, се налага предварително да се подготвят технологично детайлите му, за да бъдат изработени в условията на фирмата.

Етапите от технологичната подготовка на изделието са следните:

- създаване на тримерни модели на детайлите и на изделието;
- разработване технологията за изработване на детайлите и на изделието;
- създаване на нови чертежи на детайлите и на изделието;
- подготовка на файловете за разкрой на детайлите от листов материал;
- създаване на възли в изделието;
- разработване на технология за сглобяване на изделието;
- разработване на технологична екипировка за сглобяване;
- разработване на технология за механична обработка на изделието;
- разработване на технологична екипировка за механична обработка;
- разработване на методика за контрол на изделието;
- избор на машина за извършване на механичната обработка.



Фиг. 3. Съставни елементи на колоната.

Създаването на тримерни модели е важна стъпка от процеса на разработване на дадено изделие. Тримерните модели могат да се използват за създаване на нова конструкторска документация за нуждите на фирмата. В тримерните модели се задава необходимата информация чрез атрибути, която може да се използва за управление на документацията при налична PDM система, както и от другите отдели във фирмата при налична ERP система [4, 5, 10, 11].

На база моделите се определя и технологията за изработване на детайлите – добавяне на отвори, прибавки за механична обработка, предварителна обработка на определени повърхнини. Това налага създаването на нова конструкторска документация, която да се използва в производството. След уточняване на всички особености, тримерните модели могат да се използват за създаване на файловете за разкрой на детайлите от листов материал.

За да се намали времето за изработване, много често се прилага метода на разделяне на изделието на възли, които предварително да се изработят, след което да се използва приспособление за сглобяването им в крайното изделие.

Последен етап е създаването на необходимата екипировка за сглобяване и за механична обработка на изделието.

В случая за колона 6129589 са разработени тримерните модели на детайлите, направени са технологични промени, свързани с производството им и са създадени нови възли от изделието.

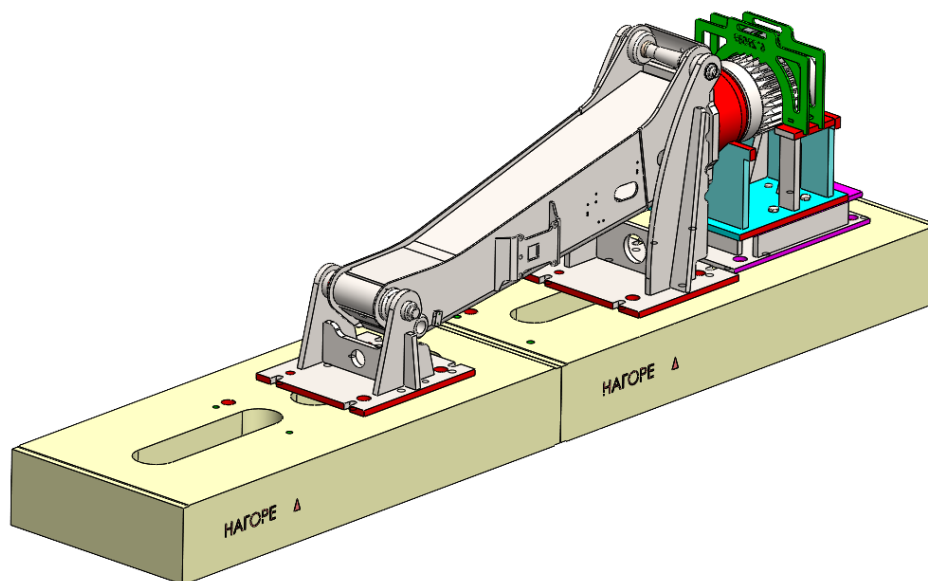
Тримерните модели са разработени с CAD системата SolidWorks [1, 2, 3, 6, 7, 17].

Приспособление за сглобяване на колоната

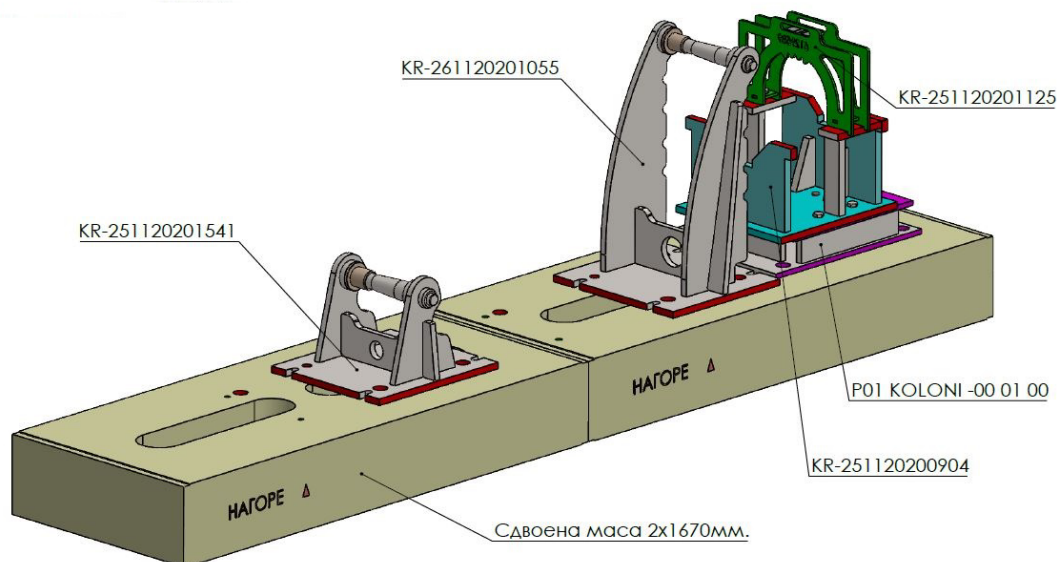
След като е уточнена технологията за изработването на детайлите, се разработва технологията за сглобяване на колоната и необходимата екипировка за реализиране на тази технология.

Приспособлението е разработено, чрез CAD системата SolidWorks и на фиг. 4 е показан общият му вид с установени детайли на колоната.

На фиг. 5 е показано приспособлението с всичките му съставни елементи. То осигурява позициониране на детайлите в определено положение и с точно определени разстояния между тях [8, 9, 12, 13, 14].



Фиг. 4. Общ вид на приспособлението за сглобяване на колона 6129589



Фиг. 5. Съставни елементи на приспособлението.

Стойка предна KR-251120201541, Стойка средна KR-261120201055, Шаблон за ориентиране на зъбното колело KR-251120201125, Основа P01 KOLONI-00 01 00, Призми KR-251120200904, Маса сдвоена

За реализиране на технологията за сглобяване на колоната е разработено приспособление, състоящо се от няколко възела. Те се установяват на механично обработена

сдвоена маса с размери 2x1670 mm, върху която са направени центрови отвори Ø43 mm и проходни резбови отвори M20 за центроване и закрепване на възлите. На всеки един възел от приспособлението се извършва механична обработка на показаните с червен цвят повърхнини.

С механичната обработка се постига точност на размерите и на взаимното разположение на функционалните повърхнини на приспособлението.

Приспособлението осигурява висока производителност, не е сложно за манипулация, с цел да се избегнат всякакви грешки от субективен характер.

На фиг. 6 е показано изработеното приспособление.



Фиг. 6. Приспособление за сглобяване на колона 6129589.



Фиг. 7. Колоната след сглобяване с приспособлението.

Технология на сглобяване на колоната е следната. Изграждането на колоната започва с установяване на зъбното колело 3512.020.10.05.000 върху призмите. Ориентирането на зъба от зъбното колело спрямо центъра на колоната става с шаблон. Втулките с номер 0905.100.13.00.823 се прихващат към детайл 3512.020.10.03.002 и заедно се установяват на приспособлението с дорник, минаващ през отворите им. Следващият детайл, който се установява е 3512.020.05.03.004. Към него се прихващат втулките с номера 0905.106.13.00.501 и 0905.106.11.00.939. Те се центроват към приспособлението с дорник, минаващ през отворите. След установяване на основните елементи на колоната се добавят и всички останали детайли, показани на фиг. 3. Всички детайли се закрепват в съответното им положение чрез прихващане.

На фиг. 7 е показана колоната, изработена с приспособлението.

След изваждане на колоната от приспособлението следва цялостното ѝ заваряване съгласно изискванията на заваръчния чертеж. След заваряване, колоната се почиства от пръски. Извършва се контрол на функционалните ѝ размери и контрол на разположението на детайлите ѝ. Ако има някакви отклонения в размерите и в разположението на детайлите, се

извършват корекции за отстраняването им. Извършва се също контрол на качеството на изпълнение на заваръчните шевове и ако има някакви отклонения и дефекти, те се отстраняват.

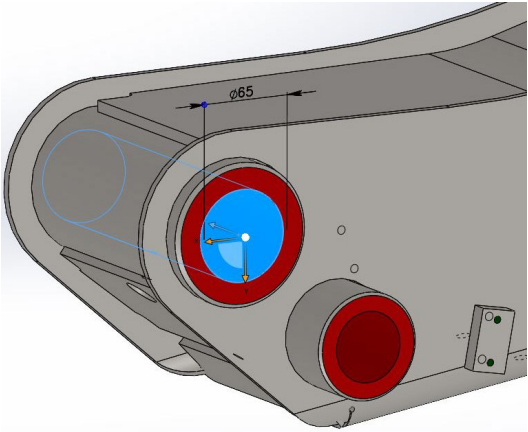
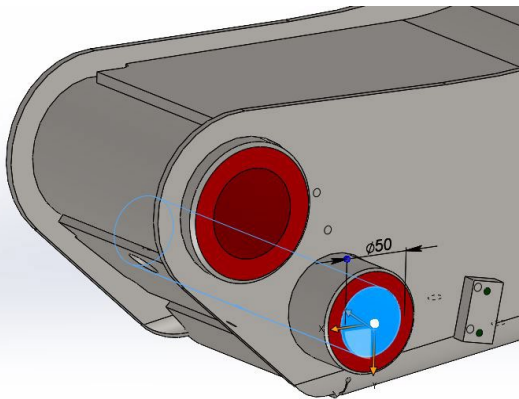
След като колоната е заварена, може да се пристъпи към следващия етап от технологията за изработването ѝ – механичната ѝ обработка. За установяването на колоната на машината с ЦПУ също се използва специализирано приспособление.

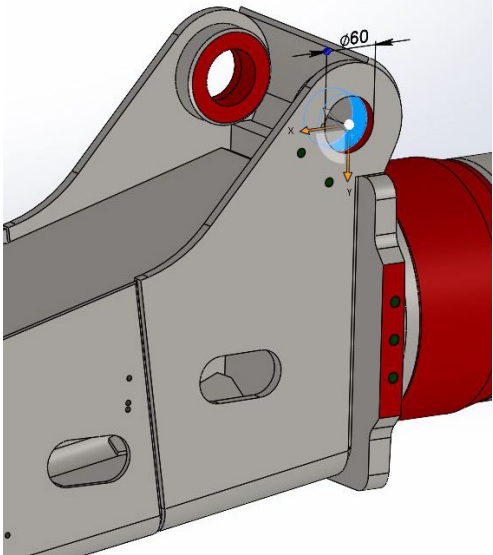
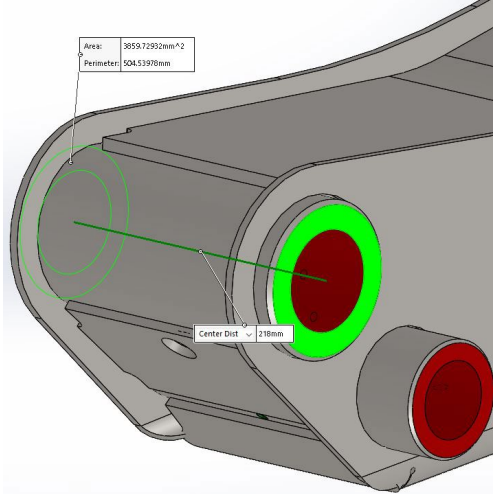
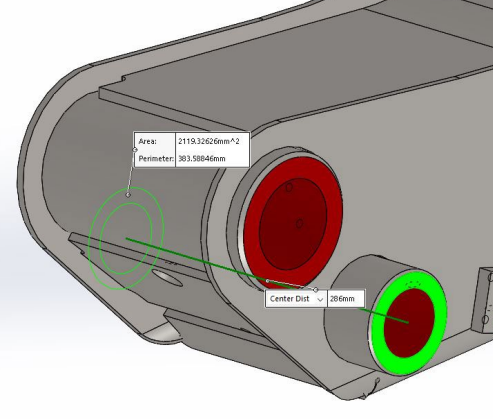
Технология за механична обработка на колоната

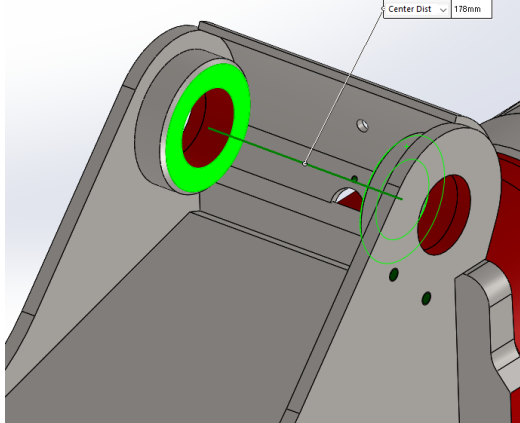
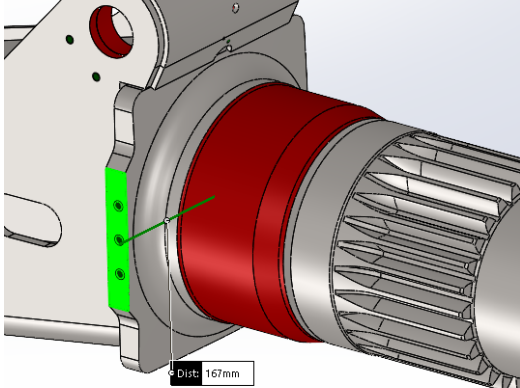
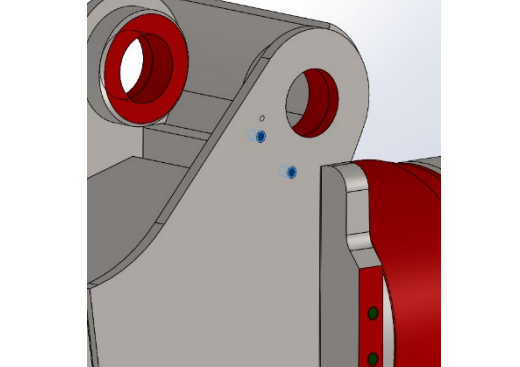
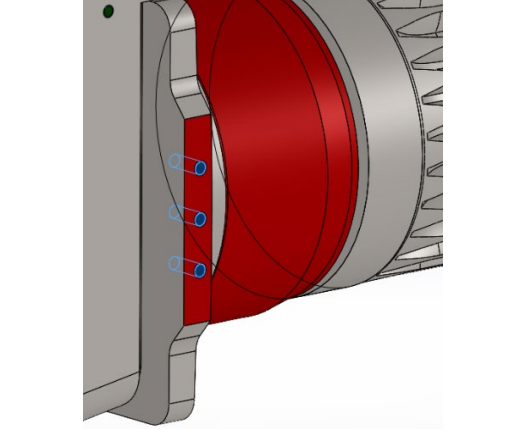
След като е уточнена технологията за сглобяване, се разработва технологията за механична обработка на колоната и се разработва необходимата екипировка. Механична обработка ще се извърши на една установка. Ще бъдат описани операциите и повърхнините, които се обработват, използваните металоурежащи инструменти, и режимите на рязане.

Изделието се базира и закрепва в специализирано приспособление, предварително установено, центровано и закрепено на машината.

В табл. 1 е показана технологията за механична обработка на колоната.

№	Операция, режещ инструмент, режим на рязане	Колона 6129589
1	Разстъргване на отворите на втулките $\varnothing 65^{+0,030}$ mm - Разстъргване грубо до размер $\varnothing 64$ mm; <i>инструмент:</i> Разстъргваща глава <i>режим на рязане:</i> Честота на въртене: 1000 min^{-1} Подаване: 70 mm/min - Разстъргване чисто до размер $\varnothing 65^{+0,030}$ mm. Първи преход до размер $\varnothing 64,5$ mm Втори преход до размер $\varnothing 65$ mm <i>инструмент:</i> Разстъргваща глава <i>режим на рязане:</i> Честота на въртене: 1000 min^{-1} Подаване: 15 mm/min	
2	Разстъргване на отворите на втулките $\varnothing 50^{+0,025}$ mm - Разстъргване грубо до размер $\varnothing 49$ mm; <i>инструмент:</i> Разстъргваща глава <i>режим на рязане:</i> Честота на въртене: 1000 min^{-1} Подаване: 70 mm/min - Разстъргване чисто до размер $\varnothing 50^{+0,025}$ mm. <i>инструмент:</i> Разстъргваща глава <i>режим на рязане:</i> Честота на въртене: 1000 min^{-1} Подаване: 15 mm/min	

3	Разстъргване на отвор $\varnothing 60^{+0,076}_{+0,030}$ mm - Разстъргване грубо до размер $\varnothing 59$ mm; <i>инструмент:</i> Разстъргваща глава <i>режим на рязане:</i> Честота на въртене: 800 min^{-1} Подаване: 15 mm/min - Разстъргване чисто до размер $\varnothing 60^{+0,076}_{+0,030}$ mm. <i>инструмент:</i> Разстъргваща глава <i>режим на рязане:</i> Честота на въртене: 800 min^{-1} Подаване: 15 mm/min	
4	Обработване на челните повърхнини на втулките до размер 218 ± 0.5 mm <i>инструмент:</i> Фреза <i>режим на рязане:</i> Честота на въртене: 1000 min^{-1} Подаване: 700 mm/min	
5	Обработване на челните повърхнини на втулките до размер 286 ± 0.5 mm <i>инструмент:</i> Фреза <i>режим на рязане:</i> Честота на въртене: 1000 min^{-1} Подаване: 700 mm/min	

6	Обработване на челните повърхнини на втулките до размер $178 \pm 0,5$ mm <i>инструмент:</i> Стругарски нож с интерполация <i>режим на рязане:</i> Честота на въртене: 400 min^{-1} Подаване: 200 mm/min	
7	Обработване на повърхнината на изковката до размер $167 \pm 0,3$ mm. (от центъра до обработената част) <i>инструмент:</i> Фреза <i>режим на рязане:</i> Честота на въртене: 600 min^{-1} Подаване: 100 mm/min	
8	Нарязване на резби 2xM8 - пробиване на проходен отвор с трърдосплавно свредло $\varnothing 6,8 \text{ mm}$; - нарязване на проходни резби M8 с прав метчик.	
9	Нарязване на резби 3xM12 - пробиване на глух отвор с твърдосплавно свредло $\varnothing 10,2 \text{ mm}$; - нарязване на резби M12 с дължина 25 mm с винтов метчик.	

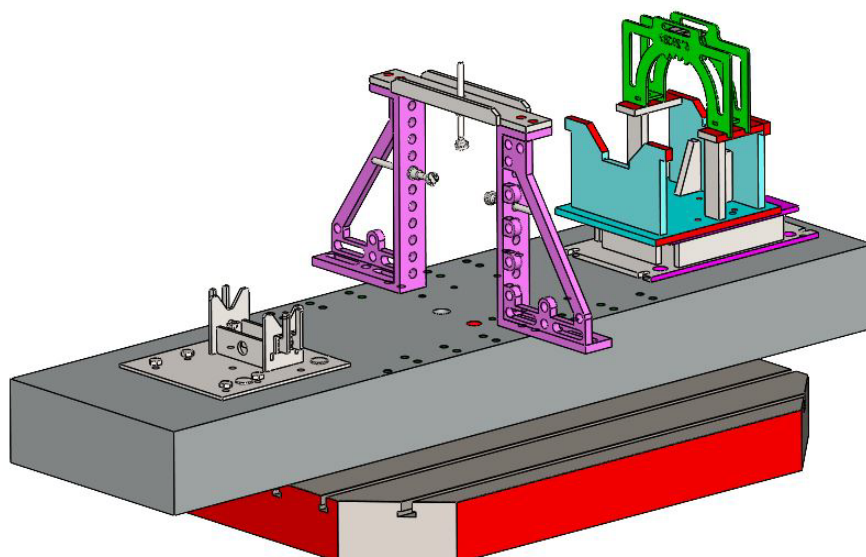
Приспособление за механична обработка на колоната

За реализиране на технологията за механична обработка на колоната и за да се намали времето за базиране, закрепване и центроване на колоната върху машината, се използва специализирано приспособление за установяването ѝ на машината с ЦПУ.

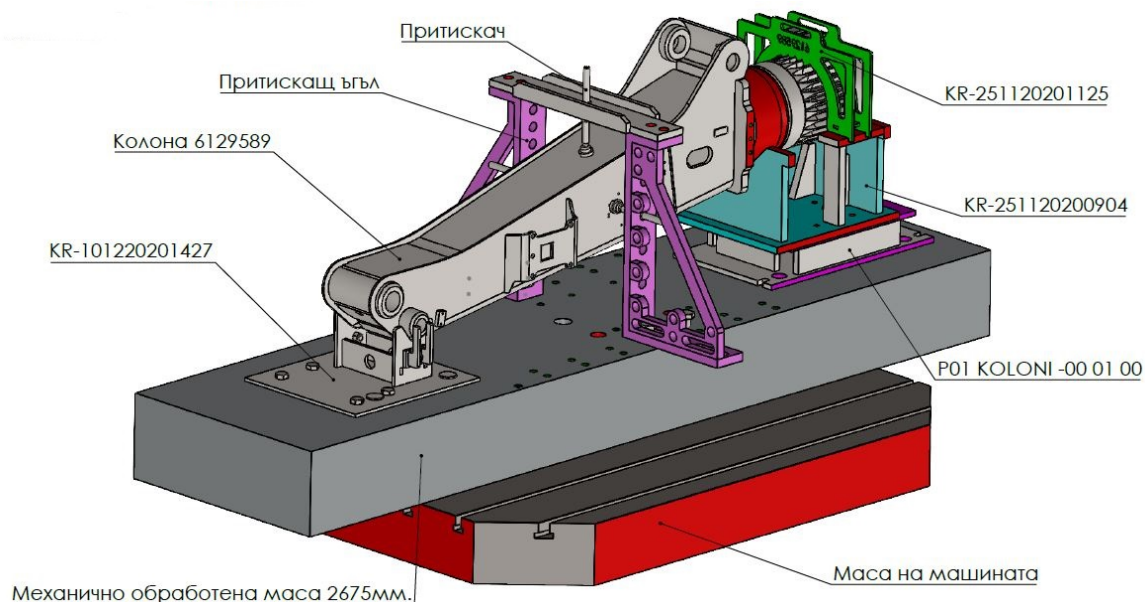
Приспособлението е разработено чрез CAD системата SolidWorks и на фиг. 8 е показан общият му вид.

На фиг. 9 е показано приспособлението с всичките му съставни елементи [8, 9, 12, 13, 14]. То осигурява позициониране на колоната в определено положение и с точно определена ориентация.

На приспособлението за механична обработка не се прави механична обработка, защото се използва основата и призмата от приспособлението за сглобяване (те са механично обработени). Предната стойка е изработена от детайли от ламарина с дебелина 8 мм. Детайлите се изрязват на лазер, който постига точност на реза до 0,1 mm.



Фиг. 8. Общ вид на приспособлението за механична обработка на колона 6129589.



Фиг. 9. Съставни елементи на приспособлението.

Механично обработена маса 2675 mm, Стойка предна KR-101220201427, Колона 6129589, Ъгъл притискащ (2 бр.), Притискач, Шаблон за ориентиране на зъбното колело KR-251120201125, Призми KR-251120200904, Основа P01 KOLONI – 00 01 00, Маса на машината

Възлите на приспособлението се установяват върху предварително обработена маса, като се центроват с щифтове $\varnothing 43$ mm. На масата са направени центрови отвори $\varnothing 43$ mm и проходни резбови отвори M20 за центроване и закрепване на възлите. Направен е центрови отвор по средата на масата на приспособлението $\varnothing 50$ mm за центроването ѝ към масата на машината. След поставяне на масата на приспособлението върху масата на машината, тя се центрова към нея с ос $\varnothing 50$ mm, но това не я ограничава напълно. Втората стъпка е масата да се центрова перпендикулярно на шпиндела. Центроването става с измервателен часовник, отклонението на масата трябва да е в рамките на 0,02 mm.

Върху стойката KR-101220201427 се базира втулката, която центрова колоната по ос X до 0,01 mm. Ограничението по ос Z става с 2 вертикални планки на страна. Ограничението варира до 0,20 mm. След като колоната е центрована тези вертикални планки се премахват, за да не пречат на обработването на втулката. Те са закрепени с имбусен болт M16.

Чрез използване на приспособлението се гарантира неизменност на положението на обработваните повърхнини.



Фиг. 10. Колоната след механичната обработка.

На фиг. 10 е показана колоната след механичната ѝ обработка. След приключване на механичната обработка се извършва контрол на изделието.

Контрол на колоната след механичната обработка

След като е уточнена технологията за сглобяване и за механична обработка, се разработва методика за контрол на колоната. След приключване на механичната обработка на колоната се извършва цялостен контрол на обработените повърхнини съгласно документацията на изделието.

Контролът се извършва от контролор по качеството (ОТКК), като за целта се попълва контролна карта 6129589-QC. На фиг. 11 е показана контролната карта на колоната.

Контролната карта е направена така, че размерите, които трябва да се изпълнят съгласно чертежа, се контролират на всички етапи от производството на изделието. Това са – етап сглобяване, след прихващане на детайлите, след заваряване, след механична обработка и окончателен контрол.

При констатиране на отклонения на контролираните размери извън допуска, се извършват корекции за отстраняването им, съгласно разработената ремонтна технология.

Разработване на управляваща програма

За механичната обработка на колоната е разработена управляваща програма. Използван е програмен език FANUC.

Обработката ще се извърши на машинен център с ЦПУ AWEA BL2018S, показан на фиг. 12.

 SL Industries Ltd Address: 71 Tutrakan Str. Town: Ruse 7003 Country: Bulgaria tel.: + 359 82 84 10 14		QUALITY CERTIFICATE № 8.2.4 ФК 03 / 01 Part № 6129589 / Order №					
№	Required dimension according drawing		Measured dimension				
	[inch]	[mm]	Tacking [mm]	Weld [mm]	Machining [mm]	Quality Control [mm]	
1		A=550					
2		B=1886					
3		80 ^{+0.5} _{-0.5}					
4		80 ^{+0.5} _{-0.5}					
5		412 ^{+0.5} _{-0.5}					
6		1317 ⁺¹ ₋₁					
7		Φ50H7 ^{+0.025} ₀					
8		Φ65H7 ^{+0.030} ₀					
9		218 ⁰ _{-0.5}					
10		286 ^{+0.5} _{-0.5}					
11		Φ60F8 ^{+0.076} _{+0.030}					
12		167 ^{+0.3} _{-0.3}					
13	Tooth exactly in the middle of the column	Зъб точно в средата на колоната					
14	YES NO	ДА НЕ					
15							
16							
17							
18							

NOTE:

COATING: GOOD ☐ SUFFICIENT ☐ POOR ☐ READINGS ☐ THICKS Avg Min Max Min Max

PAINTPRIME

Production Manager: _____

Welding inspecting coordinator: _____

Quality Controller: _____

Date: _____

/Conclusion: General rules for welding manufacturing are accomplished/

Фиг. 11. Контролна карта на колона 6129589.

Програмата е разработена чрез използване на специализиран софтуер CIMCO Edit V6 [18]. Програмата съдържа координатите на характерни точки от изделието, металорежещите инструменти, движенията им и режимите на рязане.

Създаването на управляващи програми чрез използване на софтуер води до избягване на грешките, допуснати в програмирането, които биха довели до разрушаване на инструментите или повреждане на обработваното изделие. Значително се намалява нужното време за създаване на програмите.

Софтуерът решава и обратната задача – от готова управляваща програма, се извеждат координатите на характерни точки от траекторията на движенията, които извършват инструментите, т.е. може да се симулира реалния процес на механична обработка.

Особености при моделирането на примерните модели в CAD системата SolidWorks

Всички тримерни модели на детайлите на колоната и на приспособленията са създадени чрез командите и функциите за твърдоделно проектиране на модула Features. Някои от примерните модели на детайлите на колоната са разработени с модула за листов материал Sheet Metal, по този начин се получава разгъвката им, необходима за разкроя на детайлите от листов материал.



Фиг. 12. Машинен център AWEA BL2018S.

Всички стандартизирани детайли, като болтове, шайби, гайки и други, са създадени чрез библиотеката Toolbox на SolidWorks.

При създаването на тримерните модели на детайлите и на сглобените единици са използвани шаблонни файлове за Part и Assembly документите. За всеки един тримерен модел на детайл или сглобена единица, от меню File Properties, в прозореца Summary Information, в секцията Custom се избират необходимите атрибути. При разработването на конструктивната документация са използвани шаблонни файлове за Drawing документите, които представляват стандартните чертожни формати – A4, A3, A2, A1 и A0 [4, 5, 6, 7, 10, 11].

В шаблона на всеки един тримерен модел на детайл или сглобена единица се задава необходимата информация чрез атрибути – потребителски и служебни. Тази информация е нужна при разработването на конструктивната документация, тъй като излиза автоматично в таблиците на чертежите. Информацията от атрибутите може да се използва за управление на документацията при налична PDM система, както и от другите отдели във фирмата при налична ERP система.

При създаването на тримерните модели на детайлите са използвани шаблонни файлове за Part документите, които съдържат следните атрибути – Description (Наименование), PartNo (Означение), AssemblyNo (Сглобена единица), Weight (Тегло), Material (Означение на материала), Assortment (Вид на материала), Type (Операции за изработване), DrawnBy (Разработил документа), CheckedBy (Проверил документа), ApprovedBy (Одобрил документа) и Revision (Ревизия на документа).

Попълненият шаблон за детайл „Основа 480x440x25“ е показан на фиг. 13.

Задава се вида и марката на материалите на детайлите, като по този начин се получава информация за специфичното тегло за всеки един от тях и като цяло за самата сглобена единица.

Информацията от потребителските атрибути е необходима при разработването на конструктивната документация, тъй като излиза автоматично в таблиците на чертежите (фиг. 14).

При създаването на тримерните модели на сглобени единици са използвани шаблонни файлове за Assembly документите, които съдържат следните атрибути – Description (Наименование), PartNo (Означение), AssemblyNo (Сглобена единица), Weight (Тегло), Type (Операции за изработване), DrawnBy (Разработил документа), CheckedBy (Проверил документа), ApprovedBy (Одобрил документа) и Revision (Ревизия на документа).

Попълненият шаблон на сглобена единица „Приспособление за сглобяване на колона 6129589“ е показан на фиг. 15.

	Property Name	Type	Value / Text Expression	Evaluated Value		
1	Description	Text	Основа 480x440x25	Основа 480x440x25	☐	☐
2	PartNo	Text	KR-251120200853	KR-251120200853	☐	☐
3	AssemblyNo	Text	KR-251120200904	KR-251120200904	☐	☐
4	Weight	Text	*SW-Mass@KR-251120200853_New.SLDPRТ	41.184	☐	☐
5	Material	Text	*SW-Material@KR-251120200853_New.SLDPRТ	1.0553 (S355J0)	☐	☐
6	Assortment	Text	Ламарина 25x1500x1500	Ламарина 25x1500x150	☐	☐
7	Type	Text	Газо-кислородно рязане/Плазмено рязане	Газо-кислородно рязане	☐	☐
8	DrawnBy	Text	К.Радковски	К.Радковски	☐	☐
9	CheckedBy	Text			☐	☐
10	ApprovedBy	Text	Д.Стефанов	Д.Стефанов	☐	☐
11	Revision	Text	A	A	☐	☐
12	<Type a new propert				☐	☐

Фиг. 13. Атрибути, които се задават в тримерния модел на детайл „Основа 480x440x25“.

 SL INDUSTRIES LTD Rouse, Bulgaria			Мащаб 1:5	Тегло, кг 41.184		Наименование Основа 480x440x25	
Разработил	К Радковски	30.11.2020	Означение на материала 1.0553 (S355J0)			Вид на материала	Лист
Проверил						Ламарина 25x1500x1500	1/1
Одобрил	Д Стефанов	30.11.2020	Сглобена единица KR-251120200904			Означение	Ревизия
Tolerance/Допуски: ISO 2768-1 cL - Forming ISO 2768-1 mK - Machining ISO 9013 332 - Thermally cut ISO 13920 CG - Welded constr. ISO 1302 APA - Surface						KR-251120200853	A

Фиг. 14. Таблица на чертежа, автоматично попълнена на база информацията, която се съдържа в атрибутите на тримерния модел на детайл „Основа 480x440x25“.

На фиг. 16 е показана таблицата на чертежа на сглобената единица.

Друг важен момент при създаването на чертеж на сглобена единица в случая на приспособлението за сглобяване на колоната, е създаването на спецификацията със съставните му елементи. За да се получи коректна спецификация е необходимо за всеки един детайл от приспособлението в тримерния му модел да се попълнят атрибутите, както е показано на фиг. 13.

Summary Information

Summary Custom Configuration Specific

Delete BOM quantity: None Edit List

	Property Name	Type	Value / Text Expression	Evaluated Value		
1	Description	Text	Приспособление за сглобяване на колона 61	Приспособление за сгл	☐	
2	PartNo	Text	KR-251120200847	KR-251120200847	☐	
3	AssemblyNo	Text	-	-	☐	
4	Weight	Text	"SW-Mass@KR-251120200847.SLDASM"	317.90	☐	
5	TYPE	Text	Прихващане/Заваряване/Механична обработ	Прихващане/Заваряван	☐	
6	DrawnBy	Text	К.Радковски	К.Радковски	☐	
7	CheckedBy	Text			☐	
8	ApprovedBy	Text	Д.Стефанов	Д.Стефанов	☐	
9	Revision	Text	A	A	☐	
10	<Type a new propert				☐	

OK Cancel Help

Фиг. 15. Атрибути, които се задават в тримерния модел на сглобената единица на „Приспособление за сглобяване на колона 6129589“.

 SL INDUSTRIES LTD Rouse, Bulgaria			Мащаб 1:10	Тегло, кг 314.94		Наименование Приспособление за сглобяване на колона 6129589	
Разработил	К.Радковски	15.03.2021	Означение на материала			Вид на материала	Лист
Проверил							1/1
Одобрил	Д.Стефанов	15.03.2021					Ревизия
Tolerance/Допуски: ISO 2768-1 cL - Forming ISO 2768-1 mK - Machining ISO 9013 332 - Thermally cut ISO 13920 CG - Welded constr. ISO 1302 APA - Surface			Сглобена единица		Означение KR-251120200847		A

Фиг. 16. Таблица на чертежа, автоматично попълнена на база информацията, която се съдържа в атрибутите на тримерния модел на сглобената единица „Приспособление за сглобяване на колона 6129589“.

От меню Insert / Tables / Bill of Materials чрез използване на шаблонен файл тип Template с разширение „sldbomtbt“ и съответно име се създава спецификацията към чертежа.

Награди, грамоти и сертификати спечелени с разработения проект.

Разработеният проект – „Разработване на технология и приспособления за сглобяване и механична обработка на кранова колона“, е представен с доклад на Студентската научна сесия СНС‘2021, на Машинно-технологичния факултет на Русенски университет „Ангел Кънчев“, проведена на 28.05.2021 г.

С разработеният проект – „Разработване на технология и приспособления за сглобяване и механична обработка на кранова колона“, е спечелено **ПЪРВО МЯСТО** в конкурса за най-добър студентски проект, разработен с CAD – системи “Проектирай с CAD/CAM...и с мен!”, на Машинно-технологичния факултет на Русенски университет „Ангел Кънчев“, проведен на 21.06.2021 г.



Фиг. 18. Грамоти за участие: а) в Студентска научна сесия СНС'2021; б) в конкурса за най-добър студентски проект, разработен с CAD системи – „Проектирай с CAD... и с мен!“.

ИЗВОДИ

Разработена е технология за сглобяване на колоната.

Разработено е приспособление за сглобяване на колоната.

Разработена е технология за механична обработка на колоната.

Разработено е приспособление за механична обработка на колоната.

Приспособлението за сглобяване осигурява точно позициониране на детайлите на колоната, не е сложно за манипулация, с цел да се избегнат всякакви грешки от субективен характер.

Чрез използване на приспособлението за механична обработка се намалява времето за базиране, закрепване и центроване на колоната върху машината.

Направена е пълна конструктивна документация на разработените приспособления.

Процесът на създаване на конструктивната документация е автоматизиран чрез използването на шаблонни файлове за Part, Assembly и Drawing документите.

Така създадената база данни може да се използва при решаване на сходни проблеми при подобни изделия.

REFERENCES

Angelov, P. CAD systems. Ruse, University of Ruse, 2015.

(Оригинално заглавие: Ангелов П. CAD системи. Русе, Печатна база на Русенски университет „А. Кънчев“, 2015.)

Angelov, P. CAD systems. Exercise guide. Ruse, University of Ruse, 2015.

(Оригинално заглавие: Ангелов П. CAD системи. Ръководство за упражнения. Русе, Печатна база на Русенски университет „А. Кънчев“, 2015.)

Ангелов П., Н. Станков. <http://e-learning.uni-ruse.bg> – Web базирани материали за обучение по дисциплината „CAD системи“. Русенски университет „А. Кънчев“.

Stankov, N. Lectures for the discipline "Products Lifecycle Management". Ruse, 2020.

(Оригинално заглавие: Станков Н. Лекции по дисциплината „Управление на жизнения цикъл на продуктите“. Русе, 2020.)

Станков Н. <http://e-learning.uni-ruse.bg> – Web базирани материали за обучение по дисциплината „Управление на жизнения цикъл на продуктите“. Русенски университет „А. Кънчев“.

SolidWorks – modeling and drawings. TehnoLogika EAD, Sofia, 2019.

(Оригинално заглавие: SolidWorks – моделиране и чертежи. ТехноЛогика ЕАД, София, 2019.)

SolidWorks: Basic modeling and drawings. TehnoLogika EAD, Sofia, 2012.

(Оригинално заглавие: SolidWorks: Базово моделиране и чертежи. ТехноЛогика ЕАД, София, 2012.)

Станков Н., Ал. Иванов, Н. Денев, Р. Милков. **Разработване на технология и приспособления за сглобяване на шест секционна кранова стрела.** XIII International Scientific Congress – Summer Session, “Machines. Technologies. Materials”, Section “Machines” and Section “Industrial Design Engineering & Ergonomics, Варна, 2016, стр. 14-17, 1310-3946.

Абрашева Д., Н. Станков, Ал. Иванов, Р. Милков. **Разработване на технология и приспособления за сглобяване на леви и десни тръби на кофи за грайфери MG1500 и MG1800.** Сборник доклади на студентска научна сесия – ЧНС‘16, Русе, 2016, стр. 90-101, ISSN 1311-3321.

Станков Н., Ал. Иванов. **Управление на конструкторска документация чрез SolidWorks Enterprise PDM.** Сборник научни трудове, том 54, серия 2, „Механика и машиностроителни технологии“, Русе, 2015, стр. 158-165, ISSN 1311-3321.

Трухчева Д., Н. Станков, Ал. Иванов. **Управление и организация на конструкторска документация чрез SolidWorks и SolidWorks Enterprise PDM.** Сборник доклади на студентска научна сесия – ЧНС‘15, Русе, 2015, стр. 20-30, ISSN 1311-3321.

Ахмед Е., Н. Станков, Ал. Иванов. **Разработване на технология и приспособление за сглобяване на „Долна част“ на грайфер MG300.** Сборник доклади на студентска научна сесия – ЧНС‘15, Русе, 2015, стр. 31-37, ISSN 1311-3321.

Цонева Д., Н. Станков, Ал. Иванов. **Разработване на технология и приспособление за сглобяване на грайфер SL500G на фирма ATLAS.** Сборник доклади на студентска научна сесия – ЧНС‘13, Русе, 2013, стр. 77-87, ISSN 1311-3321.

Мичев Т., Д. Цонева, Н. Станков, Ал. Иванов. **Разработване на технология и приспособления за сглобяване на хващач SL331H на фирма ATLAS.** Сборник доклади на студентска научна сесия – ЧНС‘13, Русе, 2013, стр. 88-93, ISSN 1311-3321.

www.sl-industries.com. 2021.

www.atlasgmbh.com. 2021.

www.solidworks.com. 3D Design Software. 2021.

www.cimco.com. CIMCO Software, Version 6. 2021.

WED-ONLINE-SSS-MEMBT-04

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND FIXTURE FOR ASSEMBLING OF FLANGES FOR CRANE COLUMNS⁴

Eng. Ilker Ali – Student

Department of Machine Tools & Manufacturing,

University of Ruse “Angel Kanchev”

Phone: +359 899 884689

E-mail: royaleblank@gmail.com

Assist. Prof. Eng. Nikolay Stankov, PhD

Department of Machine Tools & Manufacturing,

University of Ruse “Angel Kanchev”

Phone: +359 886 707366

E-mail: nstankov@uni-ruse.bg

Abstract: The paper presents the developing of a technology and the designing of fixture for assembling of flanges for crane columns. The whole process related to the production of certain flanges for crane columns is considered - from the 3D model to the real product. A technology and a fixture for assembling the flanges have been developed. The welding process is considered. Control cards to control the dimensions at each stage of the production of the flanges are made. Measures and actions to reduce the deformations during welding of the flanges are considered. Repair technology for the flanges has been developed. The 3D models are designed with the CAD system SolidWorks. Complete design documentation is created for the fixture and the process is automated by using SolidWorks template files.

Keywords: Flanges, Crane Column, Cranes, Development, Design, Control, Welding, 3D Models, CAD System, SolidWorks Template Files, Design Documentation

ВЪВЕДЕНИЕ

В доклада е разгледан процесът на изработване на един от основните компоненти на крановите колони, това е фланеца им. Върху фланците се установяват всички детайли на колоната. Крановата колона се монтира на различни видове кранове, автокранове, гондоли за скрап, лекотоварни автомобили и други специализирани машини. Колоната осигурява завъртането на телескопичната стрела по време на работа. Това позволява по-голям обхват на действие на стрелата и разширява възможностите на крана.

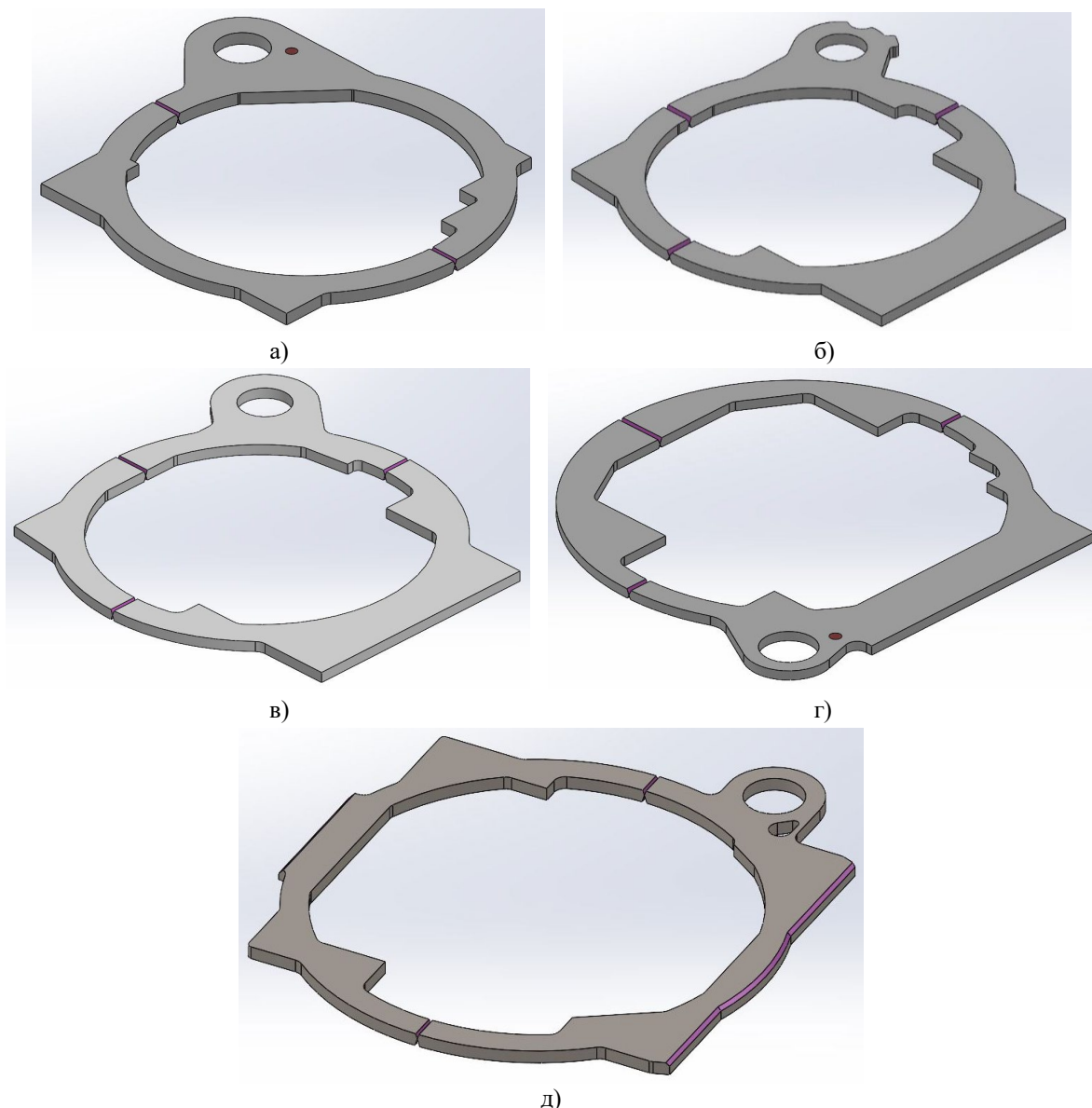


Фиг. 1. Мобилен кран AC 450.

⁴ Докладът е представен на студентската научна сесия на 28.05.2021 г. в секция Механика и машиностроителни технологии с оригинално заглавие на български език: РАЗРАБОТВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЯ И ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ЗА СГЛОБЯВАНЕ НА ФЛАНЦИ ЗА КРАНОВИ КОЛОНИ.

Характерно за различните видове фланци са големите габарити, които имат. Те се изработват от листов материал със съответната дебелина, най-често съставни от няколко части, за да се оползотвори максимално листа ламарина и да се намали отпадъка, който се получава. Това води до други проблеми, основно свързани с изработването им, при спазване на изискванията на чертежите.

На фиг. 1 е показан един от мобилните кранове, чиито фланци са разгледани и чиито процес на изработване е описан в доклада. Те са разработка на фирма DEMAG [16].



Фиг. 2. Общ вид на фланците.

а) AC100 – 62089612, б) AC130 – 62117312,
в) AC160 – 62110112, г) AC220 – 61070912 и д) AC450 – 65692812

Основен проблем при изработването на фланци за кранови колони е сложната форма и големите габарити, които имат. Тъй като най-често се изработват съставни, от две или три части, е необходимо постигането на точното разположение на детайлите им, за да се получат

зададените в конструкторската документация форма и размери. Това е нужно, за да може изделието да изпълнява функционалното си предназначение.

Това налага за сглобяването на фланците да се разработи и използва при производството им специализирано приспособление или т. нар. нестандартна технологична екипировка.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Общи сведения за фланците

Различните видове фланци се различават по техните габаритни размери, тяхната ориентация спрямо централната ос на колоната, тяхната конструкция и натоварването, което могат да понесат. На фиг. 2 е показан общият вид на фланците, които ще бъдат разгледани. Изделията са част от производствена програма на фирма „СЛ Индъстрис“ ЕООД, град Русе [15].

Съгласно разработената технология, за сглобяване на фланците се използва специализирано приспособление. Чрез приспособлението се извършва установяване на детайлите на фланците в определено положение.

Технологична подготовка на детайлите на фланците

Съгласно документацията на изделията, предоставена от фирма DEMAG, се налага предварително да се подготвят технологично детайлите им, за да бъдат изработени в условията на фирмата.

Етапите от технологичната подготовка на изделията са следните:

- създаване на тримерни модели на детайлите и на изделията;
- разработване технологията за изработване на детайлите и на изделията;
- създаване на нови чертежи на детайлите и на изделията;
- подготовка на файловете за разкрой на детайлите от листов материал;
- създаване на възли в изделията;
- разработване на технология за сглобяване на изделията;
- разработване на технологична екипировка за сглобяване;
- разработване на технология за заваряване на изделията;
- разработване на методика за контрол на изделията;
- разработване на ремонтна технология на изделията.

Създаването на тримерни модели е важна стъпка от процеса на разработване на дадено изделие. Тримерните модели могат да се използват за създаване на нова конструкторска документация за нуждите на фирмата. В тримерните модели се задава необходимата информация чрез атрибути, която може да се използва за управление на документацията при налична PDM система, както и от другите отдели във фирмата при налична ERP система [4, 5, 10, 11].

На база моделите се определя и технологията за изработване на детайлите – добавяне на отвори, прибавки за механична обработка, предварителна обработка на определени повърхнини и други. Това налага създаването на нова конструкторска документация, която да се използва в производството. След уточняване на всички особености, тримерните модели могат да се използват за създаване на файловете за разкрой на детайлите от листов материал.

За да се намали времето за изработване, много често се прилага метода на разделяне на изделието на възли, които предварително да се изработят, след което да се използва приспособление за сглобяването им в крайното изделие.

Последен етап е създаването на необходимата екипировка за сглобяване на изделията и заваряването им.

В случая за фланците са разработени тримерните модели на детайлите, направени са технологични промени свързани с производството им и са създадени нови възли от изделието.

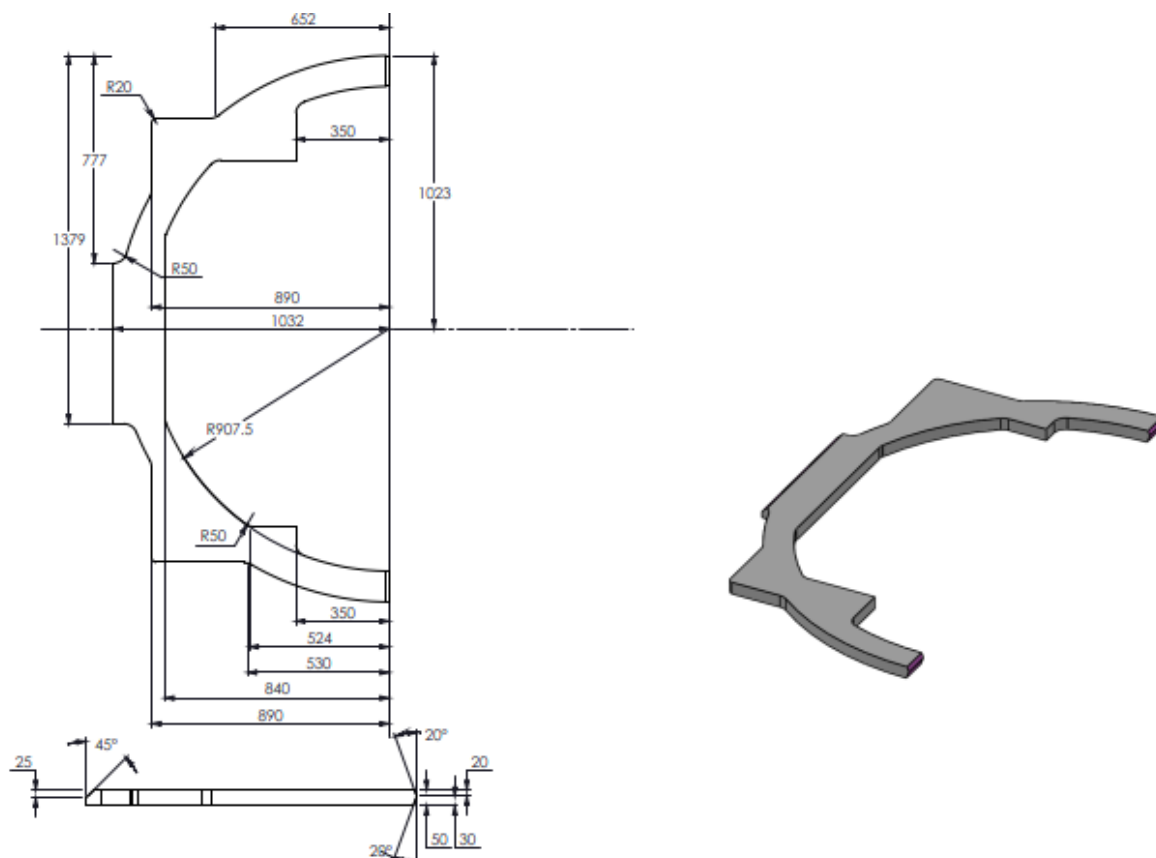
Тримерните модели са разработени с CAD системата SolidWorks [1, 2, 3, 6, 7, 17].

Съответно Фланец AC100 - 62089612 е съставен от две части, Фланец AC130 – 62117312 е съставен от три части, Фланец AC160 – 62110112 е съставен от три части, Фланец AC220 – 61070912 е съставен от три части и Фланец AC450 – 65692812 е съставен от две части. Това къде и на колко части са разделени фланците е съгласувано с фирма DEMAG.

Всяка част се изрязва от листов материал, почиства се, изправя се, изработват се фаски за заваряване, съгласно изискванията на чертежите.

На фиг. 3 и фиг. 4 са показани чертежите, по които се изработват съставните части на фланец AC450 – 65692812. Той се състои от два детайла.

Фланците се изработват чрез заваряване на отделните части. Технологиата на заваряване на фланците също е съгласувана с фирма DEMAG.



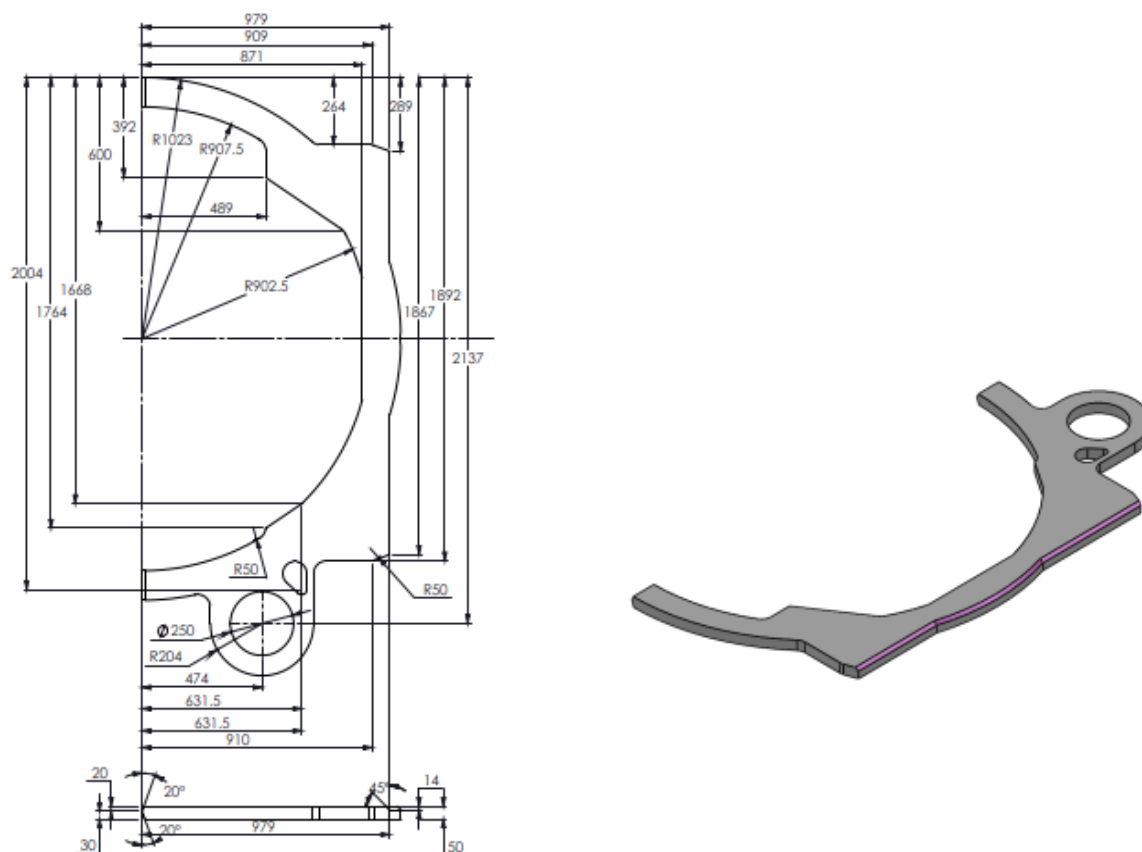
Фиг. 3. AC450-65692812 - 01.

Приспособление за сглобяване на фланците

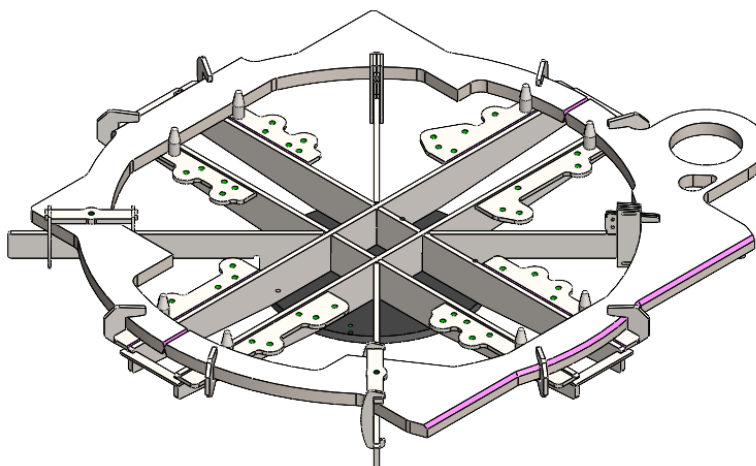
След като е уточнена технологиата за изработването на детайлите, се разработва технологиата за сглобяване на фланците и необходимата екипировка за реализиране на тази технология.

Приспособлението е разработено чрез CAD системата SolidWorks и на фиг. 5 е показан общият му вид с установени детайли на фланец AC450 – 65692812.

На фиг. 6 е показано приспособлението с всичките му съставни елементи. То осигурява позициониране на детайлите в определено положение и с точно определени разстояния между тях [8, 9, 12, 13, 14].



Фиг. 4. AC450-65692812 - 02.



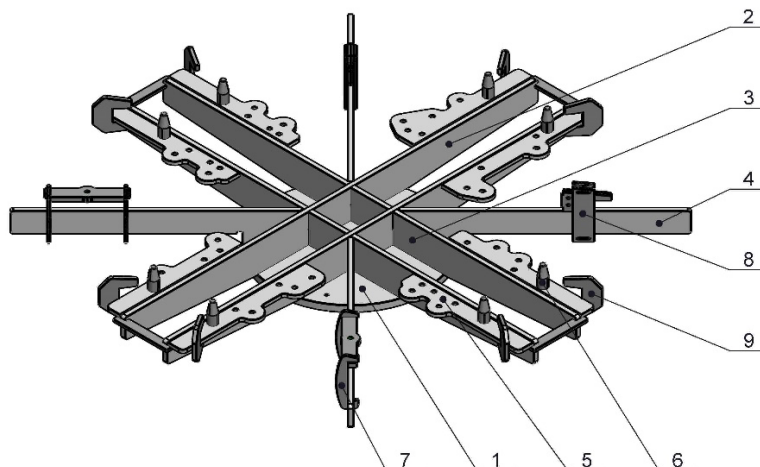
Фиг. 5. Общ вид на приспособлението за сглобяване.

Приспособлението се състои от две вертикални ребра с дължина от 2155 mm (поз. 2), две хоризонтални ребра с дължина от 2155 mm (поз. 3) и четири ребра позиционирани на 45° с дължина от 1077 mm (поз. 4). Предвидена е механична обработка на базовите им повърхнини.

Към двете вертикални и двете хоризонтални ребра се заваряват 8 броя планки (поз. 5), върху които са направени отвори с диаметър Ø20 mm. На всяка една от планките е направена фаска 5x45° за заваряване, като фаската е съобразена с тяхното разположение в приспособлението.

За основа е използвана кръгла плоча с диаметър Ø800 mm и дебелина 30 mm (поз. 1). На нея са направени 4 броя резбови отвора M16 и четири отвора с диаметър Ø26 mm. Тези отвори

са съобразени с плочата на робота, където ще се постави приспособлението. Приспособлението е предвидено да се установява на заваръчен робот.



Фиг. 6. Съставни елементи на приспособлението.

1 – Основа, 2 – Ребро вертикално, 3 – Ребро хоризонтално, 4 – Ребро ъглово,
5 – Планка, 6 – Щифт базиращ, 7 – Скоба I, 8 – Клин, 9 – Скоба II

За базиране на отделните части на фланците се използват 8 броя щифта с диаметър Ø40 mm (поз. 6). В зависимост от вида на фланеца, който ще се изработва, щифтовете се поставят в съответните отвори Ø20 mm на планките.

За фиксиране на фланците към приспособлението се използват скоби I (поз. 7), клинове (поз. 8) и скоби II (поз. 9).



Фиг. 7. Приспособление за сглобяване на фланци и фланец AC450 – 65692812.

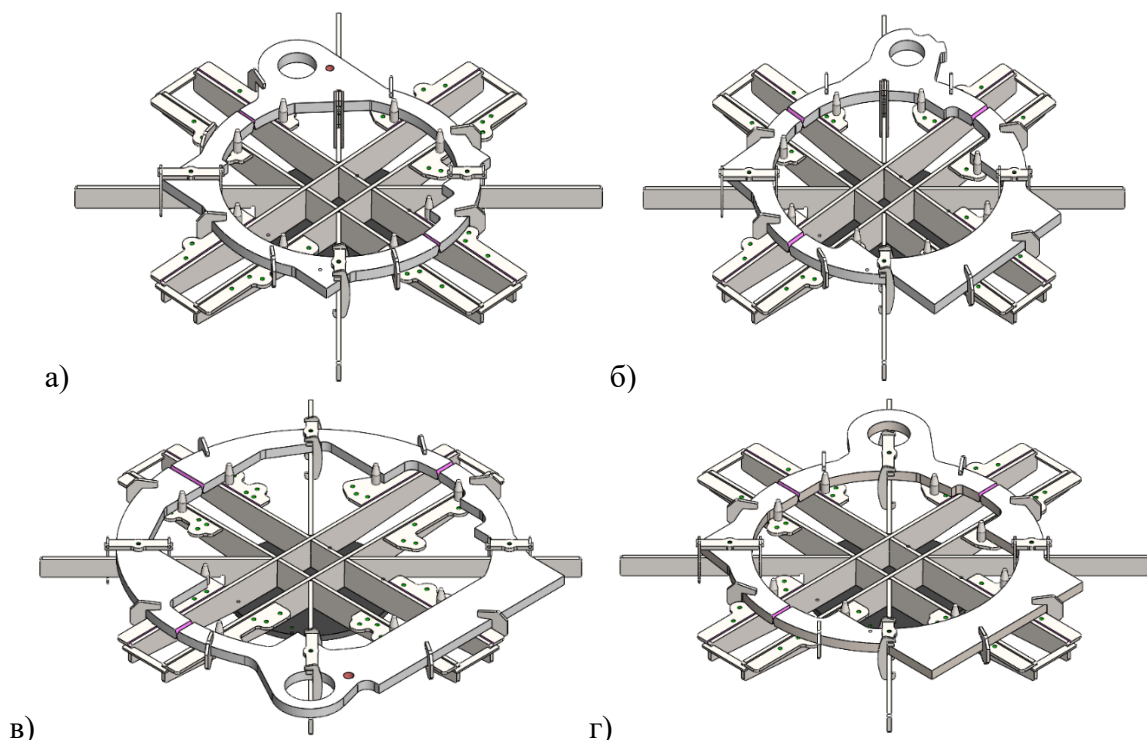
Приспособлението осигурява висока производителност, не е сложно за манипулация, с цел да се избегнат всякакви грешки от субективен характер.

На фиг. 7 е показано изработеното приспособление и фланец AC450 – 65692812 сглобен с приспособлението.

Технологията на сглобяване на фланците е следната:

- щифтовете се поставят в съответните отвори на планките;
- детайлите на фланеца се базират върху планките и ребрата до упор в щифтовете;
- детайлите се закрепват към приспособлението със скоби и клинове;
- прихващане на детайлите и заваряване на фланеца;

- след изстиване на фланеца, той се изважда от приспособлението.
- контрол на фланеца.



Фиг. 8. Сглобяване на фланците с приспособлението.

а) AC100 – 62089612, б) AC130 – 62117312, в) AC160 – 62110112 и г) AC220 – 61070912

Сглобяването на фланец AC450 – 65692812 с приспособлението е показано по-горе на фиг. 5. На фиг. 8 са показани различните видове фланци, установени на приспособлението.

Заваряване на фланците

След като е уточнена технологията за сглобяване, се разработва технологията за заваряване на фланците.

Заваряването на фланците е сложен процес и се изпълнява съгласно разработените за всеки един фланец заваръчни планове. Заваряването може да бъде ръчно или роботизирано.

Първата стъпка от подготовката за заваряване е измерването на газоподаването на шланга, което трябва да е от 15 до 18 l/min. Заваръчният апарат трябва да се настрои на заваряване МИГ-МАГ. За ръчното заваряване се използва заваръчен апарат, подобен на показания на фиг. 9.

Защитният газ, който може да бъде използван при МИГ-МАГ заваряване е аргон (2%), въглероден диоксид (98%) или друга газова смес. Допълнителният материал, който се използва при този метод на заваряване може да бъде с различен химичен състав, в зависимост от метала, който ще бъде заваряван.

Втората стъпка от процеса е да се почисти зоната на заваряване, след което тя се подгрива до 100 °C с горелка.

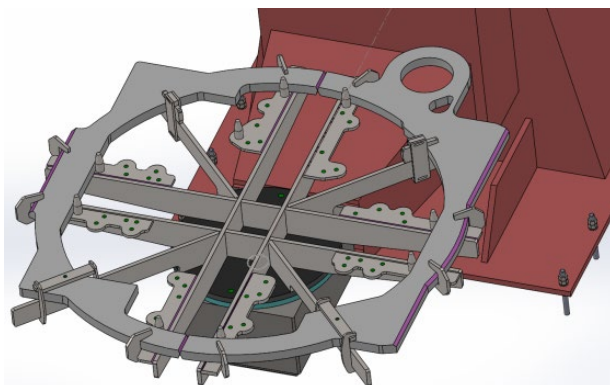
След като детайлите са достигнали нужната температура, заварчикът започва да прави равномерни шевове от двете страни до запълване на фаските. Заварява се двустранно, за да се намали възможността от възникване на деформации. След всеки преход заварчикът измерва зоната на заваряване с безконтактен дигитален термометър. Трябва да се изчака да изстине до 250-300 °C след, което може да се продължи със следващия заваръчен шев.



Фиг. 9. Заваръчен апарат Lincoln, МИГ-МАГ заваряване [18].

След заваряване на детайлите на фланеца, се прави контрол на качеството на заваръчния шев с ултразвук, като се проверява за наличието на дефекти от типа на пукнатини и шупли.

Разработеното приспособление е предвидено да се установява на заваръчен робот. На фиг. 10 е показано приспособлението, установено на заваръчен робот ABB.



Фиг. 10. Заваряване на фланец AC450 – 65692812.

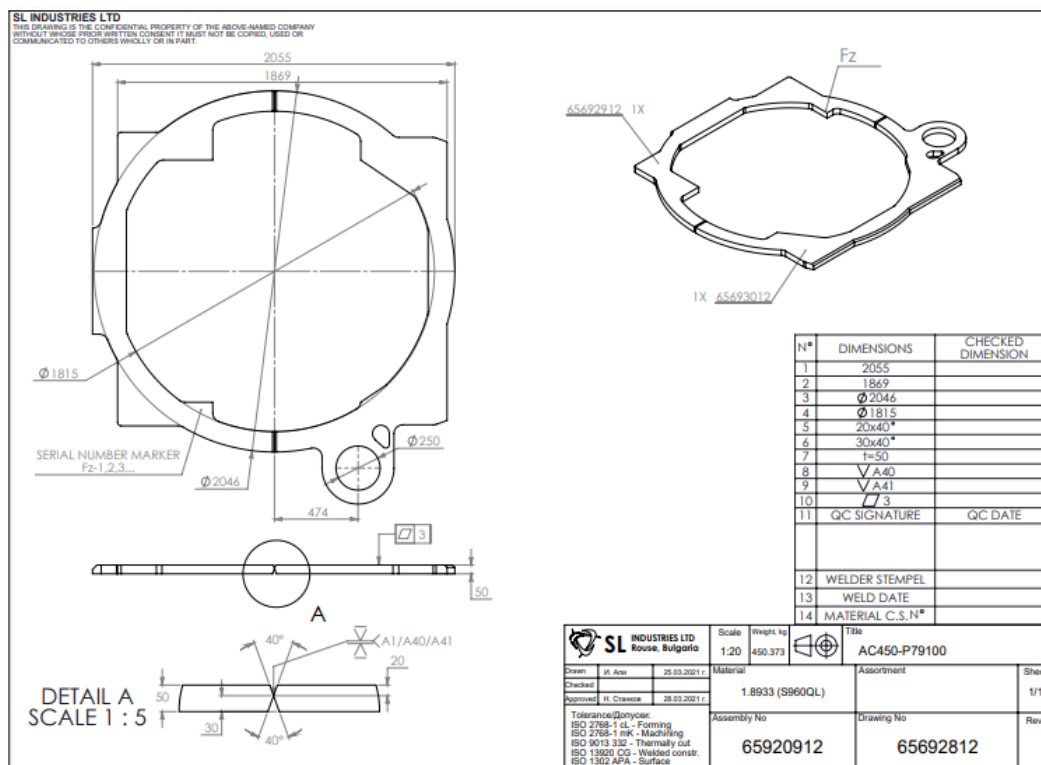
Контрол на фланците

След като е уточнена технологията за сглобяване и заваряване, се разработва методика за контрол на фланците.

След приключване на заваръчния процес на фланеца се извършва цялостен контрол на изделието. Контролът се извършва от контролор по качеството (ОТКК), като за целта се попълва контролна карта за всеки един фланец. На фиг. 11 е показана контролната карта за фланец AC450 – 65692812.

Контролната карта е направена така, че размерите, които трябва да се изпълнят съгласно чертежа се контролират на всички етапи от производството на изделието. Това са – етап сглобяване, след прихващане на детайлите, след заваряване и окончателен контрол.

Задължителен при производството на фланците е контролът на качеството на изпълнение на заваръчните шевове. С ултразвук се проверява за възникнали дефекти като пукнатини и шупли в зоната на заваряване.



Фиг. 11. Контролна карта на фланец AC450 – 65692812.

При констатиране на отклонения на контролираните размери извън допуска или възникнали дефекти в заваръчния шев, се извършват корекции за отстраняването им, съгласно разработената ремонтна технология.

Мерки и действия за намаляване на деформациите при заваряване на фланците

Основната причина за възникване на деформации на фланците при заваряване са температурните разлики между температурата на метала и температурата на околната среда, при която те се заваряват. Деформациите са нежелателни, тъй като водят до възникване на напрежения и пукнатини в заваръчния шев. На фиг. 12 е показан пример за възникнала деформация след заваряване.



Фиг. 12. Деформации на метала при заваряване.

Температурата на околната среда не трябва да пада под 15 °C. Голямо влияние оказва и влажността на въздуха. Затова помещенията, в които се заваряват фланците, задължително трябва се отопляват. Това е особено характерно за зимния сезон.

Зоната на заваряване се подгрява до определена температура, съгласно спецификациите като за целта се използва горелка.

Зоната на заваряване трябва да се почиства преди всеки един заваръчен шев. Това води до намаляване възможността за възникване на шупли в заваръчния шев.

При заваряването на фланците непрекъснато се следи температурата в зоната на заваряване.

Ремонтна технология за фланците

След като е уточнена технологията за сглобяване и заваряване, се разработва ремонтна технология. Ремонтната технология се прилага при констатиране на отклонения на контролираните размери извън допуска или възникнали дефекти в заваръчния шев, като пукнатини и шупли.

Ремонтните технологии на фланците са следните:

РИХТОВАНЕ НА ФЛАНЕЦА:

Тази ремонтна технология се прилага при изкривяване на фланеца, в резултат деформациите, възникнали при заваряването му.

Рихтоването се прави, като се награвя мястото около заваръчния шев с горелка и след това се охлажда. Най-често охлаждането е с вода.

За нагряването се използва газ пропан-бутан.

РЕМОНТ НА ЗАВАРЪЧНИЯ ШЕВ:

Тази ремонтна технология се прилага при установяване на пукнатини и шупли в заваръчния шев след проверката му с ултразвук.

В мястото, където е открит проблема, заваръчният шев се зачиства до достигане на пукнатината или шуплата и се заварява отново.

След заваряване, заваръчният шев се проверява с ултразвук.

Особености при моделирането на тримерните модели в CAD системата SolidWorks

Всички тримерни модели на детайлите на фланците и на приспособлението са създадени чрез командите и функциите за твърдоделно проектиране на модула Features. Някои от тримерните модели на детайлите са разработени с модула за листов материал Sheet Metal, по този начин се получава разгъвката им, необходима за разкроя на детайлите от листов материал.

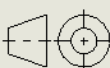
Всички стандартизирани детайли, като болтове, шайби, гайки и други, са създадени чрез библиотеката Toolbox на SolidWorks.

При създаването на тримерните модели на детайлите и на сглобените единици са използвани шаблонни файлове за Part и Assembly документите. За всеки един тримерен модел на детайл или сглобена единица, от меню File Properties, в прозореца Summary Information, в секцията Custom се избират необходимите атрибути. При разработването на конструктивната документация са използвани шаблонни файлове за Drawing документите, които представляват стандартните чертожни формати – A4, A3, A2, A1 и A0 [4, 5, 6, 7, 10, 11].

В шаблона на всеки един тримерен модел на детайл или сглобена единица се задава необходимата информация чрез атрибути – потребителски и служебни. Тази информация е нужна при разработването на конструктивната документация, тъй като излиза автоматично в таблиците на чертежите. Информацията от атрибутите може да се използва за управление на документацията при налична PDM система, както и от другите отдели във фирмата при налична ERP система.

При създаването на тримерните модели на детайлите са използвани шаблонни файлове за Part документите, които съдържат следните атрибути – Description (Наименование), PartNo (Означение), AssemblyNo (Сглобена единица), Weight (Тегло), Material (Означение на материала), Assortment (Вид на материала), Type (Операции за изработване), DrawnBy (Разработил документа), CheckedBy (Проверил документа), ApprovedBy (Одобрил документа) и Revision (Ревизия на документа).

Фиг. 13. Атрибути, които се задават в примерния модел на детайл „Планка 360 мм“.

 SL INDUSTRIES LTD Rouse, Bulgaria			Мащаб 1:5	Тегло, кг 3.334		Наименование Планка 360 мм	
Разработил	И.Али	26.2.2020 г.	Означение на материала 1.0570 (S355J2G3)			Вид на материала Ламарина 20x1500x1500	Лист
Проверил							1/1
Одобрил	Д.Стефанов	26.2.2021 г.	Сглобена единица SSTRFLG-00-00-V2			Означение Part1-17	Ревизия
Tolerance/Допуски: ISO 2768-1 cL - Forming ISO 2768-1 mK - Machining ISO 9013 332 - Thermally cut ISO 13920 CG - Welded constr. ISO 1302 APA - Surface							A

Фиг. 14. Таблица на чертежа, автоматично попълнена на база информацията, която се съдържа в атрибутите на примерния модел на детайл „Планка 360 мм“.

Попълненият шаблон за детайл „Планка 360 мм“ е показан на фиг. 13.

Задава се вида и марката на материалите на детайлите, като по този начин се получава информация за специфичното тегло за всеки един от тях и като цяло за самата сглобена единица.

Информацията от атрибутите е необходима при разработването на конструктивната документация, тъй като излиза автоматично в таблиците на чертежите (фиг. 14).

При създаването на примерните модели на сглобени единици са използвани шаблонни файлове за Assembly документите, които съдържат следните атрибути – Description (Наименование), PartNo (Означение), AssemblyNo (Сглобена единица), Weight (Тегло), Type (Операции за изработване), DrawnBy (Разработил документа), CheckedBy (Проверил документа), ApprovedBy (Одобрил документа) и Revision (Ревизия на документа).

Попълненият шаблон на сглобена единица „Приспособление за заваряване на фланци“ е показан на фиг. 15.

	Property Name	Type	Value / Text Expression	Evaluated Value	
1	Description	Text	Приспособление за заваряване на фланци	Приспособление за зава	☐
2	PartNo	Text	SSTRFLG-00-01-V2	SSTRFLG-00-01-V2	☐
3	AssemblyNo	Text	ABB WELDING	ABB WELDING	☐
4	Weight	Text	"SW-Mass@SSTRFLG-00-01-V2.SLDASM"	426.718	☐
5	TYPE	Text	Прихващане/Заваряване/Механична обработка/	Прихващане/Заваряване/	☐
6	DrawnBy	Text	И.Али	И.Али	☐
7	CheckedBy	Text			☐
8	ApprovedBy	Text	Д.Стефанов	Д.Стефанов	☐
9	Revision	Text	A	A	☐
10	<Type a new property>				☐

Фиг. 15. Атрибути, които се задават в примерния модел на сглобената единица на „Приспособление за заваряване на фланци“.

			Мащаб 1:15	Тегло, кг 426.718	Наименование Приспособление за заваряване на фланци		
Разработил	И.Али	27.5.2021 г.	Означение на материала		Вид на материала		Лист 1/1
Проверил							
Одобрил	Д.Стефанов	27.5.2021 г.					
Допуските на размерите, съгласно: EN 22768-1 m			Сглобена единица ABB WELDING		Означение SSTRFLG-00-00-V2		Ревизия A

Фиг. 16. Таблица на чертежа, автоматично попълнена на база информацията, която се съдържа в атрибутите на примерния модел на сглобената единица „Приспособление за заваряване на фланци“.

На фиг. 16 е показана таблицата на чертежа на сглобената единица.

Друг важен момент при създаването на чертеж на сглобена единица в случая на приспособлението за сглобяване на фланците, е създаването на спецификацията със съставните му елементи. За да се получи коректна спецификация е необходимо за всеки един детайл от приспособлението в примерния му модел да се попълнят атрибутите, както е показано на фиг. 13.

От меню Insert / Tables / Bill of Materials чрез използване на шаблонен файл тип Template с разширение „sldbomtbt“ и съответно име се създава спецификацията към чертежа.

Награди, грамоти и сертификати спечелени с разработения проект.

Разработеният проект – „Разработване на технология и приспособление за сглобяване на фланци за кранови колони“, е представен с доклад на Студентската научна

сесия СНС'2021, на Машинно-технологичния факултет на Русенски университет „Ангел Кънчев“, проведена на 28.05.2021 г.



Фиг. 17. Сертификат за участие в Студентска научна сесия СНС'2021.

ИЗВОДИ

Разработена е технология за сглобяване на фланците.

Разработено е приспособление за сглобяване на фланците.

Приспособлението за сглобяване осигурява точно позициониране на детайлите на фланеца, не е сложно за манипулация, с цел да се избегнат всякакви грешки от субективен характер.

Направена е пълна конструктивна документация на разработеното приспособление.

Процесът на създаване на конструктивната документация е автоматизиран чрез използването на шаблонни файлове за Part, Assembly и Drawing документите.

Така създадената база данни може да се използва при решаване на сходни проблеми при подобни изделия.

REFERENCES

Angelov, P. CAD systems. Ruse, University of Ruse, 2015.

(*Оригинално заглавие:* Ангелов П. CAD системи. Русе, Печатна база на Русенски университет „А. Кънчев“, 2015.)

Angelov, P. CAD systems. Exercise guide. Ruse, University of Ruse, 2015.

(*Оригинално заглавие:* Ангелов П. CAD системи. Ръководство за упражнения. Русе, Печатна база на Русенски университет „А. Кънчев“, 2015.)

Ангелов П., Н. Станков. <http://e-learning.uni-ruse.bg> – Web базирани материали за обучение по дисциплината „CAD системи“. Русенски университет „А. Кънчев“.

Stankov, N. Lectures for the discipline "Products Lifecycle Management". Ruse, 2020.

(Оригинално заглавие: Станков Н. Лекции по дисциплината „Управление на жизнения цикъл на продуктите“. Русе, 2020.

Станков Н. <http://e-learning.uni-ruse.bg> – Web базирани материали за обучение по дисциплината „Управление на жизнения цикъл на продуктите“. Русенски университет „А. Кънчев“.

SolidWorks – modeling and drawings. TehnoLogika EAD, Sofia, 2019.

(Оригинално заглавие: SolidWorks – моделиране и чертежи. ТехноЛогика ЕАД, София, 2019.)

SolidWorks: Basic modeling and drawings. TehnoLogika EAD, Sofia, 2012.

(Оригинално заглавие: SolidWorks: Базово моделиране и чертежи. ТехноЛогика ЕАД, София, 2012.)

Станков Н., Ал. Иванов, Н. Денев, Р. Милков. **Разработване на технология и приспособления за сглобяване на шест секционна кранова стрела.** XIII International Scientific Congress – Summer Session, “Machines. Technologies. Materials”, Section “Machines” and Section “Industrial Design Engineering & Ergonomics, Варна, 2016, стр. 14-17, 1310-3946.

Абрашева Д., Н. Станков, Ал. Иванов, Р. Милков. **Разработване на технология и приспособления за сглобяване на леви и десни тръби на кофи за грайфери MG1500 и MG1800.** Сборник доклади на студентска научна сесия – ЧНС‘16, Русе, 2016, стр. 90-101, ISSN 1311-3321.

Станков Н., Ал. Иванов. **Управление на конструкторска документация чрез SolidWorks Enterprise PDM.** Сборник научни трудове, том 54, серия 2, „Механика и машиностроителни технологии“, Русе, 2015, стр. 158-165, ISSN 1311-3321.

Трухчева Д., Н. Станков, Ал. Иванов. **Управление и организация на конструкторска документация чрез SolidWorks и SolidWorks Enterprise PDM.** Сборник доклади на студентска научна сесия – ЧНС‘15, Русе, 2015, стр. 20-30, ISSN 1311-3321.

Ахмед Е., Н. Станков, Ал. Иванов. **Разработване на технология и приспособление за сглобяване на „Долна част“ на грайфер MG300.** Сборник доклади на студентска научна сесия – ЧНС‘15, Русе, 2015, стр. 31-37, ISSN 1311-3321.

Цонева Д., Н. Станков, Ал. Иванов. **Разработване на технология и приспособление за сглобяване на грайфер SL500G на фирма ATLAS.** Сборник доклади на студентска научна сесия – ЧНС‘13, Русе, 2013, стр. 77-87, ISSN 1311-3321.

Мичев Т., Д. Цонева, Н. Станков, Ал. Иванов. **Разработване на технология и приспособления за сглобяване на хващач SL331H на фирма ATLAS.** Сборник доклади на студентска научна сесия – ЧНС‘13, Русе, 2013, стр. 88-93, ISSN 1311-3321.

www.sl-industries.com. 2021.

www.demag.com. 2021.

www.solidworks.com. 3D Design Software. 2021.

www.lincolnelectric.com. 2021.

WED-ONLINE-SSS-MEMBT-05

INVESTIGATION OF A TECHNOLOGICAL CHAIN FOR RAPID PROTOTYPING OF CASTINGS PRODUCED IN CERAMIC BLOCK FORMS ⁵

Daniela Nenova – Student

Department of Material Science and Technology,
University of Ruse “Angel Kanchev”
E-mail: danke027@abv.bg

Trifon Gospodinov – Student

Department of Material Science and Technology,
University of Ruse “Angel Kanchev”

Darinka Krasteva – Student

Department of Material Science and Technology,
University of Ruse “Angel Kanchev”

Abstract: This paper aims to define the operations in the technological chain for the production of small batches of parts by the method of vacuum precision casting with molten/evaporating patterns (made by 3D printing) in ceramic block molds. Technical standardization (determination of total and auxiliary time) of the operations has been made. The layout (number of parts in the box) of the foundry clusters was determined in terms of reducing the time for delivery of products and minimizing the risk of nonconformity (defective castings).

Keywords: Ceramic Block Model, Metal Casting

ВЪВЕДЕНИЕ

Една от основните задачи на специалните методи за леење е да се постигне висока точност и гладкост на отливката, което в много от случаите е трудно осъществимо поради геометричната сложност на детайлите.

С развитието на леењството през вековите са се разработили и усъвършенствали различни методи на леење, които удовлетворяват изискванията на съвременното производство. Прецизното леење в древността е свързано с художественото леење и преди всичко с отливането на статуи и украшения като в специално изработена метална форма, наречена пресформа се отлива разтопен восък или друг лесно топим материал (най-често полимер) за получаването на модел. Използването на топими модели в леењското производство на машинни части се осъществи едва в последните 50-60 години. Леењето по стопяеми модели е един от най-прогресивните методи който получава все по-широко приложение в машиностроенето и уредостроенето. Практиката показва неоспоримите предимства на метода особено при леење на изделия, които трудно се обработват механично. Достиганата точност на отливките е най-висока в сравнение с всички останали методи на леење. Поради това те са познати под името прецизно леење.

1. Съставяне на технологичната верига

В настоящата работа е поставено условие да се проследи технологичната верига и да се дефинират операциите при изработване на дребни серии от детайли, произведени по метода

⁵ Докладът е представен на студентската научна сесия на 28.05.2021 в секция Механика и машиностроителни технологии с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНА ВЕРИГА ЗА БЪРЗО ПРОТОТИПИРАНЕ НА ДЕТАЙЛИ, ОТЛЯТИ В КЕРАМИЧНИ БЛОК ФОРМИ.

вакуумно-прецизно леење със стопяеми/изпаряеми модели в керамични блок форми, като моделите са изготвени чрез 3D принтиране.

Същността на метода се състои в това, че след изработване на формата моделът не се изважда, а се стопява и източва от нея (или се изпарява/изгаря). [1-2] Основните преимущества произтичат от това, че има възможност да се отливат детайли с много сложна форма и с много малки размери и дебелини (0,5mm), като няма ограничения по отношения на вида на сплавите. Липсата на разделителна повърхност способства за повишаване на точността и гладкостта на отливките [3].

Както всеки един метод и при този съществуват някои недостатъци. Основния от тях е удълженият и усложнен технологичен процес, състоящ се от няколко операции, изискващи прецизна подготовка и време. Този недостатък, обаче, определя областта на приложение на метода. Когато е необходимо да се получат отливки със сложна конфигурация, малки размери, малки дебелини и такива при които се изисква последваща механична обработка, а това е невъзможно, недостатъкът на метода се превръща в преимущество.

Процеса на производство на отливки чрез 3D принтиране се състои в следното: Проектирането на модела се извършва със съответната CAD/CAM система, като се предвиждат и нужните добавки, съобразени със свиването на метала на пресформата (ако ще се използва такава), на полимера или восъчната смес, и на метала, от който ще се отливат детайлите.

Пресформата, в която ще се отливат моделите се изработва с помощта на еталона, получен чрез 3D принтиране, като е задължително да се направи така, че да позволява лесно изваждане на моделите. За единично и дребно серийно производство (особено за малки детайли) изработването на пресформа може да се окаже излишна операция. В такива случаи моделите могат да бъдат произведени само чрез 3D принтиране или чрез 3D SLA (Стереолитография, *англ. Stereo Lithography Apparatus*). В настоящата задача принтирането се извършва с 3D принтер с полимерни нишки за изработването на един модел. Ако детайла е с достатъчно малки размери на един принтер може да се заложи изработването на повече от един модел. Готовите и почистени модели се редят по предварително подготвени наливъци от същия или друг топим материал, като се образува моделен блок (леярски кластер). Завършения кластер се поставя в предварително подготвени каси и се залива със специална гипсова каша с подходяща консистенция, която след втвърдяване и изпичане образува леярската кухня. По време на изпичането полимерните (восъчните) модели изтичат или изгарят. Така получената кухня се запълва с течен метал чрез вакуумна машина за леење. След изстиване и отстраняване (най-често водоструйно) на гипсовата смес следва отделяне на детайлите от кластера с помощта на режещи инструменти или ръчно отчупване. Довършителните операции като полиране, шлифование и т.н. зависят от приложението на детайлите.

В Таблица 1 са представени дванадесетте операции за производството на дребни детайли (с примерни габаритни размери 200x80x60mm) и съответните приблизителни основни и спомагателни времена в часове за всяка една от тях, които са определени чрез хронометрично засичане или чрез набиране на статистически данни.

Таблица 1 Технологична верига и нормиране на времето

Операции	Основно време, часове	Спомагателно време, ч
1. Подготовка на CAD/CAM файл на моделите	8	1
2. Принтиране на моделите	10.(n) n=20....	2

3. Почистване и довършителни операции	0,5.(n)	0,5
4. Подготовка на леярски кластери	1,0.(n/k) k=1..10	0,5.(n/k) k=1..10
5. Подготовка на касите	0,5.(n/k)	0,1.(n/k)
6. Опаковане на моделите	0,5.(n/k)	0,5.(n/k)
7. Изгаряне на моделите и изпичане на касите	12.(n/k)	0,5.(n/k)
8. Отливане на детайлите	1.(n/k)	0,5.(n/k)
9. Разбиване и водоструйно почистване	1.(n/k)	0,2.(n/k)
10. Изрязване на детайлите от кластера	0,5.(n/k)	0,1.(n/k)
11. Финишинг (шлифване, бластиране и др.)	0,2.(n)	0,1.(n)
12. Пакетиране и изпращане	0,1.(n)	0,5

n – брой детайли

k - брой детайли в един кластер

n/k - брой кластери

2. Дефиниране на операциите в технологичната верига [4-8]

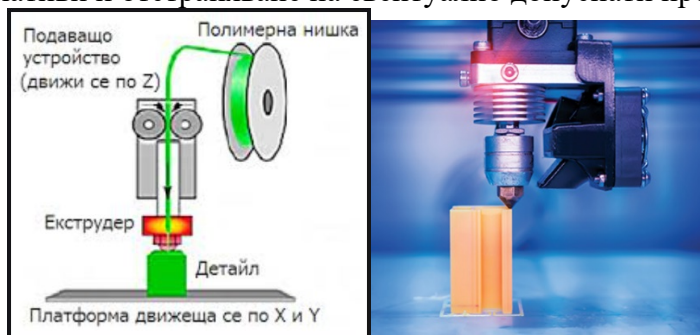
1. Подготовка на CAD/CAM файл на моделите

Времето за подготовка на моделите чрез CAD/CAM системи зависи от сложността на детайла, който трябва да се отлее. Основното време от 8 часа за проектиране на модела и 1 час спомагателно време за подготовка на съответните програми е осреднено и разбира се може да варира. Има случаи, при които в реални условия на производство клиентът предоставя готов файл на модела и така общото време по първата операция да се ограничи в рамките на спомагателното.

2. Принтиране на моделите

Принтирането се извършва на 3D принтери, съобразени с производството на прецизни леярски модели, за които се използват специални полимери, които имат достатъчно ниска температура на топене, удобна както за изработването на модела от принтера, така и за източването му от формата при изпичане. Технологиата на принтирането се основава на изграждането на модела слой по слой със зададена предварително стъпка по направленията *x*, *y* и *z* (Фиг. 1). В зависимост от сложността и размерите на модела, основното време за принтиране може да бъде различно, като в таблица 1 за дадените размери на детайлите в задачата времето е 10 часа. Спомагателното време от 2 часа е предназначено за включване

оборудване и подгряване на принтера, задаване на съответните команди, зареждане с необходимите консумативи и отстраняване на евентуално допуснати преди това грешки.



Фиг. 1 Получаване на модел чрез 3D принтиране

3. Почистване и довършителни операции

След завършване на операцията принтиране е необходимо готовите модели да бъдат почистени от излишните части, най-често подпорките, които служат за стабилизиране на модела при неговото изграждане. За основно и спомагателно време са определени средно по 30 мин. като отново това време може да варира според сложността и прилаганата механична обработка.

4. Подготовка на леярския кластер (моделен блок)

Леярския кластер (Фиг. 2) най-често се оформя като грозд (дърво), като модела на наливъка обикновено се изготвя отделно, а след това към него се прикрепват радиално в няколко реда моделите. Прикрепването става чрез нагряване на съответната равнина (до разтапяне/размекване) и притискането ѝ към наливъка. Това колко модела ще образуват леярския кластер зависи от габаритните им размери, формата, възможностите на оборудването и разбира се опасността от получаването на дефектни изделия заради претрупване или дефекти в керамичната смес след изпичане и отливане. Основното време за тази операция е приблизително 1 час, като броя на моделите в един кластер е от 1 до 10. Изготвянето на кластерите е ръчна операция, която изисква точност и прецизност за да може в следващите звена на технологичната верига да се получават качествени продукти. В спомагателното време се извършва подгряване на уредите, подреждане и подготовка на частите за сглобяване, подреждане и дооформяне на готовите кластери.



Фиг. 2 Оформяне на леярския кластер

5. Подготовка на касите

Най-често касите имат цилиндрична форма с отвори по стените, които служат за преминаването на газовете през керамиката по време на изпичане, като така се предотвратява напукването в следствие на напреженията. Размерите на касите са съобразени с размерите на кластерите. Подготовката се състои в това всяка каса да бъде „облечена“ с материал, който да предотврати изтичането на керамичната каша при наливането ѝ преди тя да се втвърди. Най-често се използва стреч фолио, но за по-малки каси може да се използва хартия, тиксо и други удобни за целта материали. Тази операция не е сложна и не изисква влагане на много време за това в задачата е определено общо време около 30 минути.

6. Опаковане на моделите

Опаковането на моделите представлява поставянето на готовия кластер във вече подготвената каса и заливането му със специална гипсова каша или кварцово брашно (маршалит) с определен състав, които могат да съдържат и много фини армиращи нишки (стъклени или полимерни), които подсилват здравината на керамиката и възпрепятстват образуването и разпространението на пукнатини. В спомагателното време се извършва разбъркването на гипсовата смес в специален вакуумен миксер, като спазването на точните пропорции на съставките гипс – вода е задължително. Добавянето на вода се съобразява с конкретни рецептурници за съответния вид сух материал. Получената каша трябва да има добра консистенция (вискозитет). Това означава, че няма да се получат незапълнени пространства в касите около моделите, ако кашата е по-гъста, и няма да се получат дефекти (пори) ако кашата е по-рядка. Това от своя страна забавя последващите операции. След затвърдяване на гипсовата смес и премахване на стреч фолиото се преминава към следващата операция.

7. Изгаряне на моделите и изпичане на касите

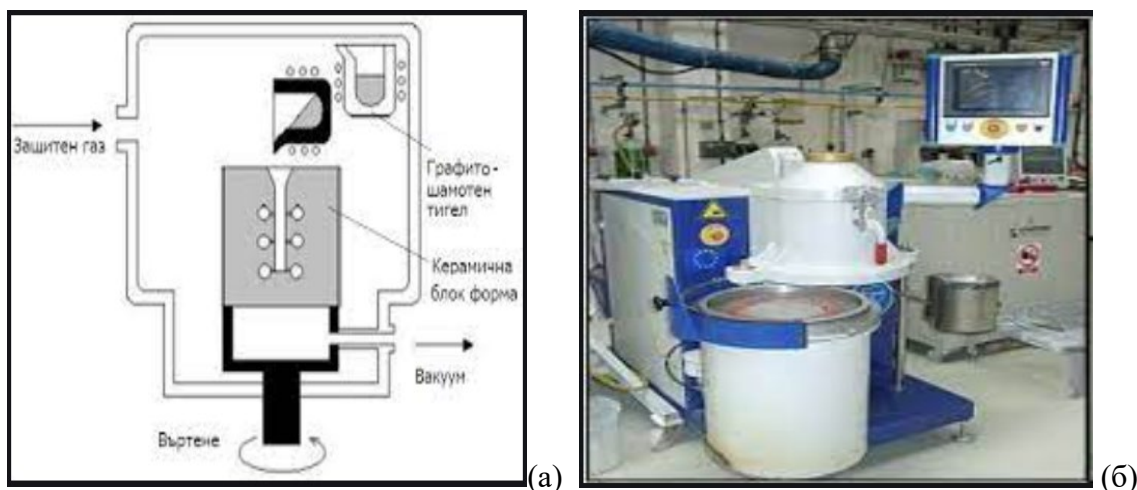
Звеното от технологичната верига, което изисква най-много време е изгарянето на моделите и изпичането на касите. В спомагателното време се подготвя пещта (подгриване), позиционират се готовите каси, правят се съответните настройки на температурата и др. В основното време се извършва изпичането на гипсовата смес (750-800°C), като по време на процеса изтича (Фиг. 3) или се изпарява (изгаря) моделния комплект (кластер). Изпичането и изстиването на касите в дадената задача е около 12 ч.



Фиг. 3 Изтичане на моделния комплект при изпичане

8. Отливане на детайлите

За отливането на детайлите в конкретната задача е определено приблизително общо време 1 час и 30 мин. Тази операция се извършва машинно чрез вакуумна машина за леене, като самото заливане трае няколко секунди, но подготовката на машината, дозирането и разтапянето на метала, затварянето, вакуумирането и т.н. изискват повече време и повишено внимание за да бъде безопасно получаването на качествено изделие.



Фиг. 4 (а) Схема на вакуум машина за леење; (б) Вакуум машина за леење на метал
9. *Разбиване и водоструйно почистване*

След отливане готовите детайли трябва да бъдат извадени от касите и освободени от гипсовата форма. Гипсът е крехък материал, който при потапяне във вода след отливането лесно се разрушава. За цялостното му премахване, дори и от най-труднодостъпните места се използва водоструйно почистване. Общото определено време е около 1 час.

10. *Изрязване на детайлите от кластера*

Отделянето на детайлите от кластера е чисто механична операция, която се извършва с различни режещи инструменти (циркуляри, ножовки, ъглошлайфи, режещи машини, ръчно отчупване за дребни детайли и т.н.). Процеса на рязане изисква прецизност и внимание, за да се избегне деформиране на детайлите и опасност от нараняване на оператора. Общото определено време е около 30 мин.

11. *Финишнг*

Довършителните работи зависят от приложението на изделията. Ако има изискване за гладкост и блясък се подбира съответния метод – бластиране, шлифование, полиране и т.н. Тези процеси изискват време, не повече от 20 минути за детайл.

12. *Пакетиране и изпращане*

Времето за пакетиране и изпращане основно зависи от броя на детайлите. В спомагателното време освен подготовката на опаковъчните материали се извършва и последен контрол на качеството.

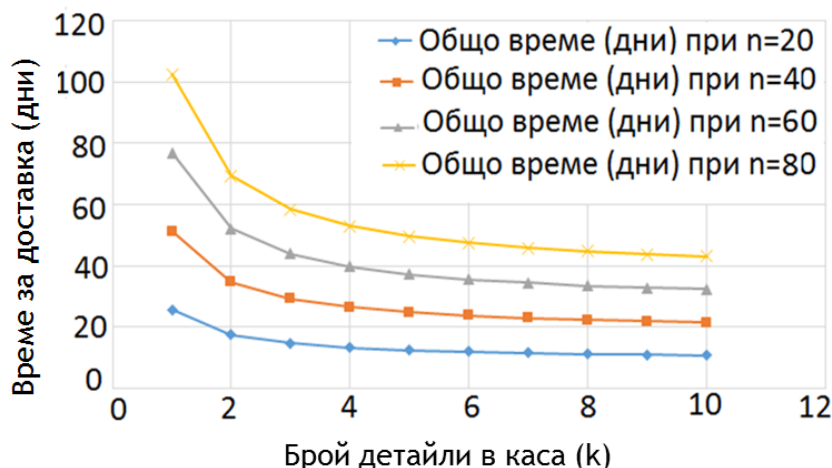
При всяка една от операциите се извършва контрол и проверка на качеството. Във всички случаи проверката е визуална, а при готовите изделия се използват съответните измервателни уреди и шаблони.

3. **Техническо нормиране**

В приложената Таблица 1 са представени операциите за производството на детайлите от задачата, като са използвани данни от литературата [3-6], съставени са формули за изчисление на времената в зависимост от големината на серията и броя на моделите в кластер. Чрез тях може да се определи времето, за което ще се изработят необходимия брой детайли ($n=20 \div 80$), като първата операция участва еднократно в изчисленията (само за един детайл). Така с получените резултати (в часове) може да се определи времето, за което ще бъде изпълнена поръчка даден брой детайли. За удобство в диаграмите часовете са преобразувани в дни.

За определяне на дните за изработване на детайли в количества от 20 до 80 (от условието на задачата) и за определяне на оптималния брой модели в един кластер, където би имало най-малко брак при евентуални дефекти след изпичане и отливане е съставена

номограма (Фиг. 5). От нея става ясно, че след $b = k$ (6 броя модели на кластер), тенденцията на линиите е почти успоредна на абсисната ос.



Фиг. 5 Номограма за определяне на дните за изработване на детайли 20÷80 бр. с габаритни размери 200x80x60мм

4. Изводи

Тъй като разликата във времената за доставка след брой модели (детайли) в един кластер $k < 6$ за различен брой детайли е незначителна, оптималния им брой би бил от 6 до 8 бр. Вариантът за построяване на кластер с по-голям брой (k) не е препоръчителен, тъй като времето за постигане на крайния резултат е близко до това на $k = 6 \div 8$, но вероятността за брак на касата след изпичане и отливане при случайно допуснати грешки, повреда, дефекти и т.н. е по-голяма.

С помощта на получените резултати, при реални условия, производителя ще може да прецени възможностите за изпълнението на дадена пръчка, както и нуждите за инвестиране в технологично оборудване (например принтери) или работна сила.

Литература

1. Minev R.M., Rapid Prototyping with Vacuum Investment Casting, 'Development in Rapid Casting – Case Studies', Professional Engineering Publishing Ltd. (IMechE) (2003) ISBN: 978-1-86058-390-2, pp 92-104
2. Минев Р., и др., XXII International Scientific and Technical Conference, Foundry (2015) Плевен, България, p.p. 33-36, ISSN: 1310 – 3946
3. Minev R., Rapid Investment Casting of Metals: some advantages and limitations of vacuum investment casting, <http://www.allbusiness.com>, D&B Small Business Solutions, April (2002)
4. J-F.Charmeux, R.Minev, S.Dimov, E.Minev, U.Harrysson, Benchmarking of Three Technologies for Producing Castings with Micro/Meso-scale Features, IMechE, v.221, No4 (2007) pp. 577-588
5. Steve Upcraft and Richard Fletcher, The Rapid Prototyping Technologies, Assembly and Automation, v.23 Iss: 4, (2003) DOI:10.1108/01445150310698634, pp.318-330
6. <http://www.fabbaloo.com/blog/2014/10/12/refining-the-lost-pla-burnout-process-for-3d-printed-metal-casting>
7. http://en.wikipedia.org/wiki/RepRap_Project
8. <http://open3dp.me.washington.edu/2014/10/rapid-manufacturing-iteration-and-industry/>

TECHNOLOGICAL LASERS – PRINCIPALS AND APPLICATIONS⁶

Veselin Hristov – Student

Department of Material Science and Technology,

University of Ruse “Angel Kanchev”

E-mail: vhristov@uni-ruse.bg

Abstract: *The physical process that creates the laser beam is called laser pumping. It consists of supplying energy to the active medium converting it into a state of "population inversion". This is a process of amplification, which occurs when the photons are repeatedly reflected between the mirrors, providing the generation of the laser beam. Electrical discharge in different media such as gas, semiconductors, as well as chemical processes and high-intensity optical radiation can be used as sources of laser pumping. The last one allows to reduce the size of the cooling systems of the laser. Lasers are classified according to their spectral range, power and radiation mode. Their applications are diverse and include areas such as communications, medicine, industry, military, research and measurement.*

Keywords: *Lasers, Laser Technology*

ВЪВЕДЕНИЕ

В началото лазерната технология е била използвана само в сферата на научноизследователските и военните приложения и е развивана до практическо приложение от хора, които се смятат и за нейни изобретатели [1-3]. В наши дни лазерът фактически се среща навсякъде, в производствените технологии и в бита. Лазерните лъчи обикновено се определят като състоящи се от единични или от малък брой отделни дължини на вълната. Емисията им има слабо отклонение, като по този начин поддържа мощността или енергията приблизително в постоянни граници на значителни разстояния. Лазерният лъч е кохерентен, т.е. налице е постоянството на фазовата разлика в различни точки на вълновото поле, излъчено от даден източник. Освен това лазерното петно обикновено може да бъде фокусирано върху малък участък.

Съвременните лазери създават лазерни лъчи в широк диапазон дължини на вълната. Създадени са устройства, които могат да отклоняват лъчите на големи разстояния. Емисиите на лазерния лъч могат да бъдат непрекъснати, наричани не затихваща вълна (НВ), или импулсни. Най-често лазерите се категоризират на базата на „активната среда“, която се използва за създаване на лазерния лъч.

1. Класификация на лазерите

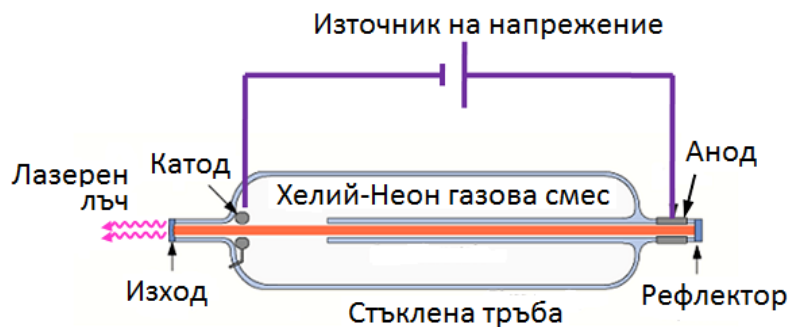
Лазерната система може да съдържа газообразно, течно, твърдо или плазмено ядро. Има пет основни вида лазери в зависимост от тяхната активна среда на работа [4-9].

1) Газови лазери (Фиг. 1)

Тяхното работно вещество се състои от различни газове, като:

- Въглероден диоксид (CO_2)
- Въглероден окис (CO)
- Хелий-неон (HeNe)
- Азот (N_2)

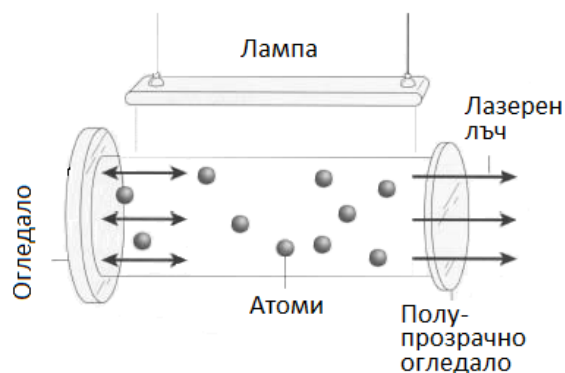
⁶ Докладът е представен на студентската научна сесия на 28.05.2021 в секция Механика и машиностроителни технологии с оригинално заглавие на български език: ТЕХНОЛОГИЧНИ ЛАЗЕРИ, ПРИНЦИПИ И ПРИЛОЖЕНИЯ.



Фиг.1 Схема на Хе-Не лазерна глава.

Съществуват още т.н. ТЕА (Transversely Excited Atmospheric - Напречно възбудена атмосфера) лазери при които атмосферните газове са затворени в така наречен резонатор. Налягането в резонатора е в пъти по-ниско от атмосферното. В зависимост от вида на газа, лазера дава различен цвят.

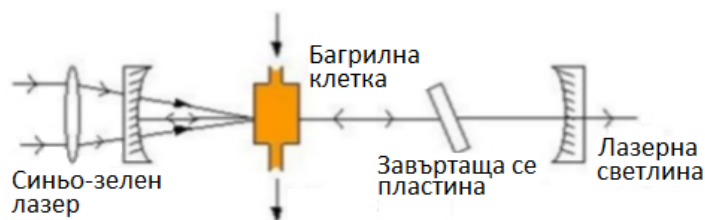
2) Твърдотелни лазери (Фиг.2)



Фиг. 2 Схема на твърдо телен лазер

Подходяща активна среда за тези лазери са прозрачни монокристали, обикновено легиращите примеси са: Неодим; Хром; Ербий; Итербий.

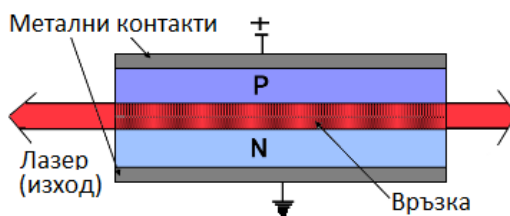
3) Лазери с течни багрила



Фиг. 3 Схема на багрилен лазер

Багрилата разтворени в спиртна течност проявяват флуоресценция, с това си свойство са подходящи като усилваща среда за регулируеми лазери. Rhodamine 6G и Rhodamine са багрилата най-често използвани за тези лазери.

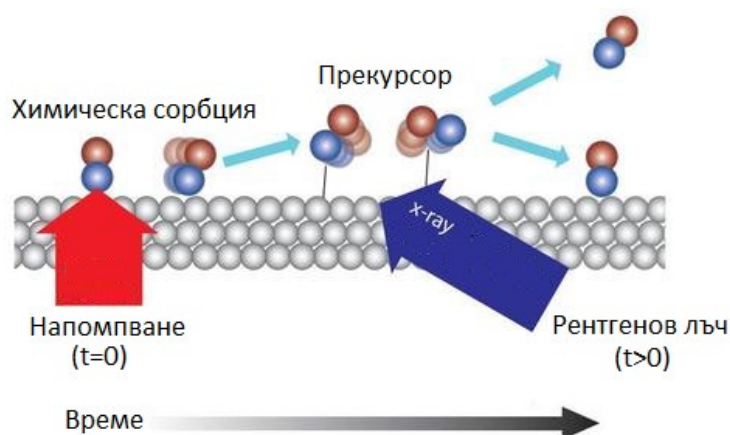
4) Полупроводникови лазери (Фиг.4)



Фиг. 4 Полупроводников лазер

Наречени още диодни лазери са такива които имат усилваща среда на базата на полупроводници. Повечето произвеждани елементи са от силиций и галиев арсенид, могат да бъдат легирани с определени материали, за да се държат като материали с излишни електрони (N-тип) или излишни дупки (P-тип) елементарни положителни заряди, който се образуват при свободното движение и напускане на електроните от кристалната решетка на веществата.

5) Химически и лазери (Фиг.5)



Фиг. 5 Химична реакция в лазер

Получават енергията си от химическа реакция, позволяваща бързо освобождаване на голямо количество енергия. Често срещани примери за такива лазери са химически кислороден йоден лазер, изцяло газофазен йоден лазер, водороден и деутериев флуорид лазери работещи в средата на инфрачервения регион.

Също така разделяме лазерите според някои техни характеристики като:

- Спектралния диапазон на генерираното лъчение: IR- инфрачервени, UV- ултравиолетови, Visible- видими.

- Мощността:

$P < 10\text{mW}$ – лазери с малка мощност,

$10\text{mW} < P < 1\text{ W}$ – лазери с средна мощност и

$P > 10\text{ W}$ – лазери с висока мощност.

- Режима на работа: CW - Режим на непрекъснато излъчване, Pulsed mode -

Импулсно честотен режим и Giant Pulse mode - Режим на гигантски импулс.

2. Приложение на лазерите [10-18]

- Комуникации, лазерите се използват за оптична комуникация в свободното пространство и космоса [10].

- Медицина: козметични лечения на кожата, лазерни операции, те са по-точни от традиционните хирургични методи и причиняват по малко болка, кръвене и белези [17,18].
- Индустрия: за рязане на метали, заваряване, закаляване, маркиране [15]. Прибори за измерване на разстояние, скорост, наклон и др.
- Военно приложение: маркиране на цели, насочване на боеприпаси, противоракетна отбрана, ослепителни войски и др. [6, 10].
- Изследвания: лазерна аблация, лазерно отгряване, лазерно разсейване, лазерна микродисекция, метрология и др. [17].
- Търговски продукти: принтери, скенери, термометри, холограми и др [19].

Литература

1. Rami Arieli, The Laser Adventure (2018) <https://perg.phys.ksu.edu/vqm/laserweb/Ch-7/F7s0p1.htm>
2. Laser Safety Manual (2011) Western Canadian Universities, Marine Sciences Society, Bamfield Marine Sciences Centre, pp. 49.
3. Crafer R. C., Oakley P. J., "Laser Processing in manufacturing" (1993) Chapman & Hall, ISBN 0-412-41520-8
4. CO2 Lasers - Lasers for Industry, <http://www.rofin-sinar.com/index-e.htm>, referenced 20/11/2005
5. Diode-pumped solid-state lasers, <http://www.trumpf-laser.com/208.index.html>, referenced 25/04/2006, referenced 2/05/2006
6. The universal CO2 - Laser for cutting and welding, http://www.trumpf-laser.com/208.img-cust/TLF_700_7000_E.pdf, referenced 2/05/2006
7. Solid-State Lasers, <http://www.rofin-sinar.com/index-e.htm>, referenced 3/05/2006
8. Introduction to Industrial Laser Materials Processing, Hamburg (2003) RoFin Group
9. N.V. Sabotinov (1996) Pulsed Metal Vapour Lasers, NATO ASI Series 1/5, Kluwer Academic Press
10. H.W. Bergmann, C.Korner, M.Hartmann, R.Mayerhofer (1996) Pulsed Metal Vapour Lasers, NATO ASI Series 1/5, Kluwer Academic Press
11. L. Li, M. Sobih, P.L. Crouse, CIRP Ann., Manuf. Technol. (2007) 56, 193–196
12. A. Tsunemi, K. Hagiwara, N. Saito, K. Nagasaka, Y. Miyamoto, O. Suto, H. Tashiro, Appl. Phys. A, Mater. Sci. Process.
13. J.D. Head, J.P. Niedzielski, Final Report for Laser Paint Stripping. Laser Technologies, Inc., 1991
14. <https://www.slideshare.net/8121743624/lasers-ppt>

15. J.F. Ready, Industrial Applications of Lasers (1997) Academic Press, San Diego,
16. J.F. Coutouly, P. Deprez, F. Breaban, J.P. Longuemard (2009) J. Mater. Process. Technol., 209, pp. 5730–5735
17. Jianming Zhang, M. Chaker, D. Ma (2017) Pulsed laser ablation based synthesis of colloidal metal nanoparticles for catalytic applications, DOI:10.1016/j.jcis.2016.07.050
18. About Kamal Al-Eryani, (2020) Oral Laser Ablation Surgery: Step-by-Step Guide for Dentists, December 2, Herman Ostrow School of Dentistry USC, <https://ostrowon.usc.edu>
19. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11082-019-1902-0>

CONTEMPORARY MATERIALS AND TECHNOLOGIES IN ORTHODONTICS⁷

Veselina Dukova – Student

Department of Material Science and Technology,

University of Ruse “Angel Kanchev”

E-mail: vdukova@uni-ruse.bg

***Abstract:** In this report an attempt is made to systematize the materials and technologies for diagnosis and treatment of occlusion in dentistry. This is an area that deals with the way the upper and lower teeth make contact. The application of perspective digital technologies providing precise and expert diagnostics is considered. An important development in this field of dentistry and general medicine is the understanding that any medical action affects the whole body i.e. any dysfunction, such as temporomandibular joint (TMJ) issues can cause a problem in another part of the body. The multidisciplinary (engineering and medical) approach in this field of science is very important for preventing and stopping relapses.*

Keywords: Orthodontics, Material Technology

INTRODUCTION

Orthodontics is a young but a fast growing medical specialty which expertise includes occlusal anomalies and problems in the muscular-skeletal system, which may have occurred due to pathological dental contacts [1-4]. The multidisciplinary medical discipline that researches these problems is called Posturology. It involves specialists such as orthodontists, ophthalmologists, neurologists and physical therapists.

The goal of the orthodontic treatment is more than fixing deformities. It is a possibility for prophylaxis and change in the pathological maxilla-facial growth processes.

Posturology studies human posture (the neuro-muscular-skeletal system keeping our bodies upright.) Specialists in this field recently proved that solving occlusal, temporomandibular joint (TMJ) and jaw issues we can prevent skeletal deformities, periodontal pathological processes, esthetic and phonetic problems.

1. Measuring occlusion digitally

The term “occlusion” refer as upper and lower teeth making contact. In other words - the bite. Dentists use T-scan (Fig. 1) to analyze the bite on the first appointment. The apparatus could visualizes the destructive forces before they become a problem causing dental fractures and joint pain. T-scan simultaneously shows the real measured forces in every contact point, as well as the first contact (normally in the posterior region). The real time in mm/sec of full dental contact (irregular contact needs more muscle force, which adds to unwanted muscle volume) could also be determined. With T-scan the need of proper treatment could be provided more easily, compared with the use of articulating paper.

⁷ Докладът е представен на студентската научна сесия на 28.05.2021 в секция Механика и машиностроителни технологии с оригинално заглавие на български език: СЪВРЕМЕННИ МАТЕРИАЛИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗПОЛЗВАНИ В СТОМАТОЛОГИЧНАТА ОРТОДОНТИЯ.

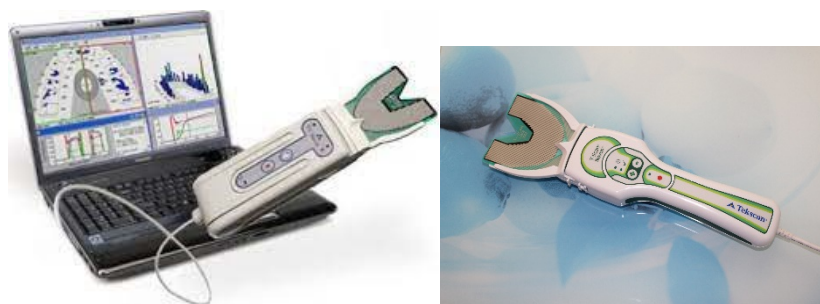


Fig. 1 T-scan equipment

Depending on the degree of severity and reasons for occlusal problems, the treatment could be limited to changing fillings or to full rehabilitation. Orthodontic treatment can be either conducted independently or alternatively combined with prosthodontics.

Another reason for malocclusion are malposition of teeth and jaws. Tooth rotation is an orthodontic anomaly which causes malocclusion and overload of other tooth/teeth which may also rotate or consequently change the position in order to avoid the load.

Thus the new digital analysis technology takes us to a higher level in prosthodontic and dental treatment which provides security and confidence during meals.

The modern digital apparatus used in dentistry for studying the occlusion represent the process of “bite” in “time-force” diagrams (Fig. 2). In this diagrams we obtain information regarding the level of forces induced on the teeth and the time they occur. The information is represented in color graphs: (i) Black line - changes in the general force during process of scanning; (ii) Red line - changes in the force on the right side during the overall scanning; Green line - changes in the force on the left side during scanning.

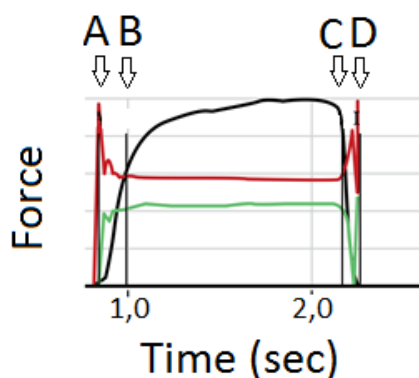


Fig. 2 “Time-force” diagram of an occlusion with specific time points: A - first occlusal contact; B - static inter-cuspatation; C - excursion beginning ; D - full bilateral disocclusion, incl. first premolar.

The diagram on Fig. 3 represents an example of a diagram representing four human “bites” during a real patient examination used to balance the occlusion during correction. The distance between the red and green line shows the quality of the occlusal balance.

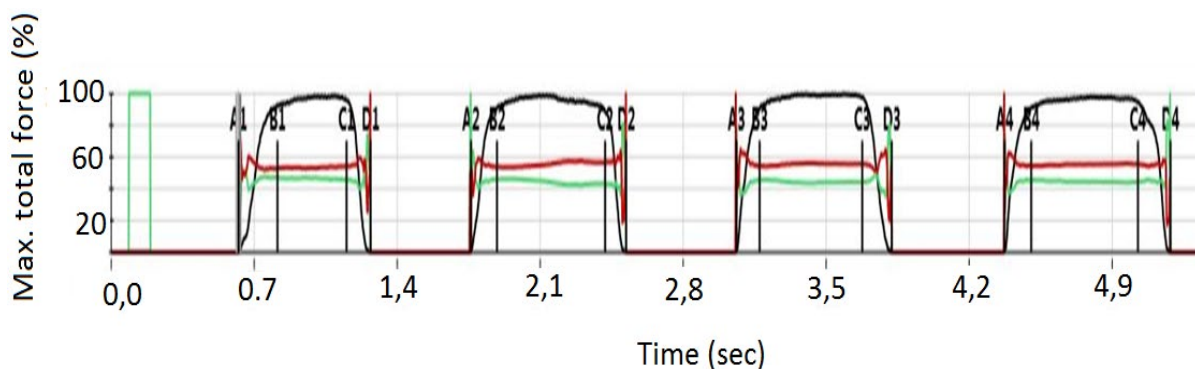


Fig. 3 A real example of “time-force” diagram representing human occlusion.

4. The digital scanners could give a 3D representation of the force distribution as shown on Fig.

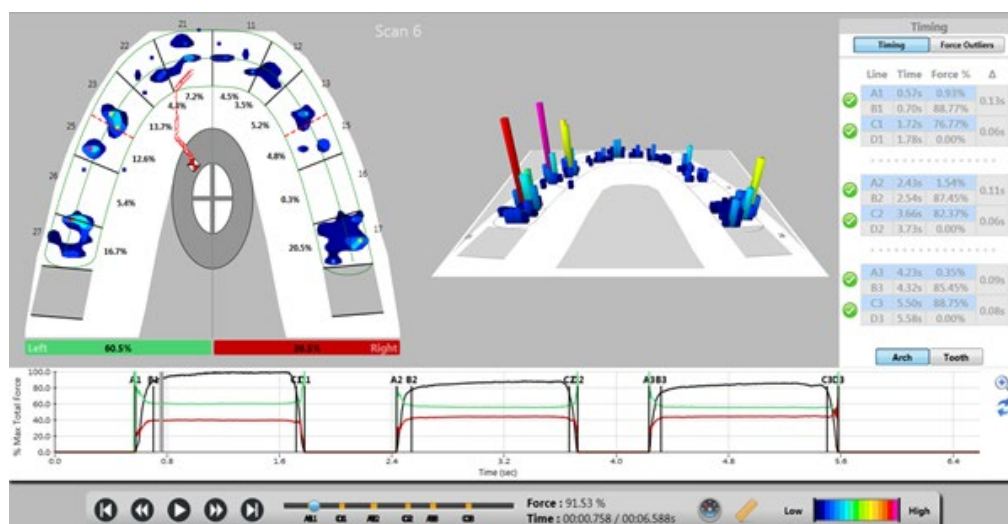


Fig. 4 A 3D force distribution diagram taken from 3 “bites” showing a good force of occlusion

Another important aspect of more precise study of the occlusion [5-9] is the correlation between TMJ and jaw issues and some skeletal deformities illustrated in Fig. 5, a. Solving the above dentistry issues, prevents skeletal deformities, periodontal pathological processes, esthetic and phonetic problems. Evaluating a scanned image helps to find the best bite and identifying the strongest potentially dangerous teeth contacts (Fig. 5, b).

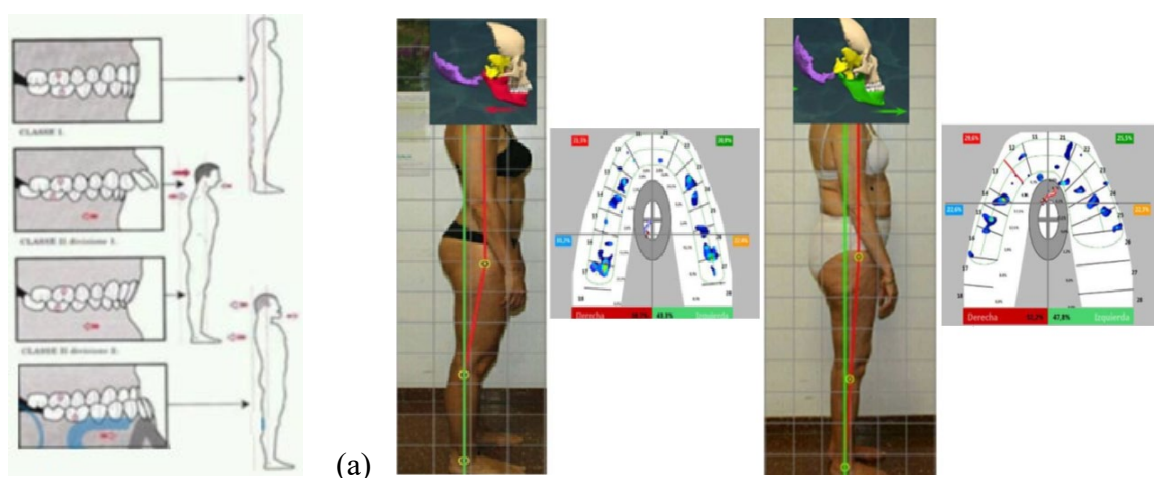


Fig. 5 The link between the posture and the TMJ dysfunction (a) and a real scan for analyzing this issues (b).

2. Classification of dental appliances and accessories [10-17]

Basic orthodontic appliances can be classified based on different criteria: purpose, mouth position, type of forces needed, retention etc.

Classification according to the purpose.

A. Curative appliances:

- (i) Mechanically acting;
- (ii) Functionally acting (through the muscle forces).

B. Prophylactic appliances:

- (i) Passive (bad habit);
- (ii) Active (creating new reflex);
- (iii) Placeholders.

C. Retention appliances: (i) removable (aligners); (ii) non-removable.

Classification according to mouth position:

- (i) Single-jawed (active on one jaw);
- (ii) Double-jawed (active on both jaws simultaneously);
- (iii) Single-jawed acting on both jaws; appliances placed in the oral vestibule.

Classification according to retention position:

- (i) Removable (attached, free);
- (ii) Non-removable (patient cannot remove them during treatment)

We also have fixed mechanically active orthodontic appliances - fixating elements and techniques. Fixed mechanically active orthodontic appliances are attached to the teeth. The teeth are moved by the elastic force of the orthodontic wire which has different properties. Steel, NiTi, CuNi, titanium and TMA wires are used the most. The common advantage is that they act constantly, independently of the patient's cooperation. The most used contemporary appliance is the multi lock technique [2]. Basic elements of fixed orthodontic techniques are:

1). Braces – made of metal alloys, they are positioned on the inner or outer tooth surface. They can be ceramic (esthetic) and steel.

Contemporary multi lock appliances are derived from the Angel's universal appliance. In 1925, he introduced the Edgewise technique which gives 3 dimensional control over all teeth, tooth segments and the entire arch. Additional devices can help correct interjaw relations. Tweed further developed and perfected this technique. Half a century later, Andrews created the Straight wire technique which became a new revolutionary possibility for the development of fixating techniques. With the Straight wire method, the information for the 3 dimensional position of every tooth is set in the bracket itself, the slot is specifically angulated for every tooth and the arches are straight.

2). Cannulas – for greater arch stability, it is a praxis to distally limit teeth using cannulas.

They are welded on the base of the bracket. The cannula lumen can have a round or angulated cut, analog to slot size. Cannulas are often double, with bracket-like wings or gingivally attached hooks.

3). Angulated appliances, arches.

According to the basic principal of orthodontic treatment the original arch shape should be kept because it gives the teeth maximal stability. Choosing the right wire arch is based on treatment stage, current goal, brackets type and slot size.

4). Other elements - orthodontic accessories such as hooks, stops, lingual buttons, loops that either help move single teeth or are hooks for elastic chains and slings.

The fixating technique goes through different stages, whilst teeth contacts change.

- Leveling stage (thin elastic NiTi arches are applied);
- Primary stage (the largest steel or TMA arches are needed);
- Contracting stage (angulated steel or TMA arches);

- Retention stage (with retention appliances. Passive fixed or removable aligners).

3. Materials and techniques used for accessories production.

Basic and most used materials are metals, ceramic and plastic. Table 1 shows the materials and their wanted properties.

Table 1 Materials for dental accessories

Appliances/ accessories	Materials/ technology	Dissemination in practice	Price	Properties/ requirements
Braces	Metal	+++	low	High corrosion resistance, high elasticity, good compatibility in mechanical characteristics with biological tissue.
	Ceramic	++	high	
	Polymer	+	medium	
Orthodontic appliances	Polymer + metal	+++	low	Toughness, low elasticity, moderate corrosion resistance, biocompatibility.
Aligners (MTM)	Polymer	+++	medium	Moderate corrosion resistance, good biocompatibility, low elasticity.
Ligatures	Metal	+++	high	Different elasticity
	Silicon	++	high	
Rings	Metal Soldering	++	medium	Different elasticity

4. Conclusions

1. Metal usage comes down to steels and titanium alloys, but plastic products are increasingly sought after, especially because of their price, speed and flexibility considering patient's needs.
2. Studying occlusion with digital technology is a perspective method that ensures a precise and expert diagnostics.
3. Important: every medical action reflects on the entire body. Every dysfunction or clinically manifested TMJ can be caused by a problem elsewhere in the organism.
4. Manual pretreatment may reduce clinical manifestations and make way for less invasive medical treatment.
5. Multidisciplinary work is very important in preventing stopping and evading recidives.

Literature

1. V. Mutaftchiev, Orthodontics for the general practicing dentist, Sofia (2003) publishing house Nemizdat
2. V. Krumova, Orthodontics Guide for Students, Sofia (2012), publishing house Medicine and physical education
3. <https://www.tekscan.com/applications>
4. <https://www.aacom.org/ome/council/aacomcouncils/aacomcouncils/ecop/motion-animations>, AACOM (2016) American association of osteopathic medicine, Washinton DC USA, Recuperado de...

5. Chaves T.C., Turci A.M., Pinheiro C.F., Sousa L.M., Grossi D.B., Static body postural misalignment in individuals with temporomandibular disorders: a sistematic review, *Braz J Phys Ther.* (2014) Nov-Dec,18(6): pp. 481-501
6. Rocha C.P., Croci C.S., Caria P.H., Is there relationship between temporomandibular disorders and head and cervical posture? A systematic review, *J Oral Rehabil.* (2013) Nov;40 11): pp. 875-81
7. Valentino B, Melito F, Aldi B, Valentino T. Correlation between interdental occlusal plane and plantar arches. An EMG study. *Bu9ll Group Int Rech Sci Stomatol Odontol* (2002) Jan-Apr., 44 (1): pp. 10-30
8. Attilio M., Filippi M.R., Femminella B., Festa F., Tecco S., The influence of an experimentally-induced malocclusion on vertebral alignment in rats: a controlled pilot study. *Cranio* (2005) Apr, 23 (2), pp. 119-129
9. Parson J., Marsons N., *Osteopatía Modelos, tratamiento y práctica*, Madrid (2007). pp. 179-18
10. Donald E.I., Tensegrity I., Cell structure and hierarchical systems biology. *Journal of Cell Science* (2003) 116, The Company of Biologists Ltd doi:10.1242/jcs.00359, pp. 157-1173
11. Donald E.I., Tensegrity I., Tensegrity I., How structural networks influence cellular information processing networks, *Journal of Cell Science* (2003) The Company of Biologists Ltd.doi:10.1242/jcs.00360 116, pp. 1397-1408
12. Frauziols F, Molimard I, Navarro L, Badel P, Viallon M, Testa R, Avril S. Prediction of the biomechanical effects of compresion therapy by finite element modelling and ultrasound elastography. *IEEE Trans Biomed Eng* 2015 Apr; 62(4):1011-9.
13. Schleip R., Facial plasticity, a new neurobiological explanation. Part 1. *Journal of Bodywork and movement Therapies* (2003) 7(1): pp.11-19
14. Giulio Gabbianni, Arteial Smooth Muscle Cell Heterogeneity implication for artherosclerosis and Restenosis development American Heart Association, Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology (2003) 23: pp. 1510-1520
15. Introduction to the knowledge of subcutaneous sliding sistem in humans. *Anales de chirurgie plastique esthétique*, Elsevier, 50 (2005) 19–34.
16. Sutherland W.G., *Teachings in the science of osteopathy*. Sutherland Cranial Teaching Foundation, Inc. 1990
17. Ricard F., *Tratado de osteopatía craneal. Articulación temporomandibulares*. 2ª edición. Panamericana. Madrid, 2005.

UNIVERSITY OF RUSE „ANGEL KANCHEV“

UNION OF SCIENTISTS - RUSE



**61-TH ANNUAL SCIENTIFIC CONFERENCE
OF UNIVERSITY OF RUSE „ANGEL KANCHEV“
AND UNION OF SCIENTISTS – RUSE**

OCTOBER 2022

I N V I T A T I O N

**Ruse, 8 Studentska str.
University of Ruse
Bulgaria**

PROCEEDINGS
Volume 60, Series 2.2

Mechanical Engineering and Machine-Building Technologies

Under the general editing of:
Prof. Ivelin V. Ivanov, PhD

Editor of Volume 60:
Prof. Diana Antonova, PhD

Bulgarian Nationality
First Edition

Printing format: A5
Number of copies: on-line

ISSN 1311-3321 (print)
ISSN 2535-1028 (CD-ROM)
ISSN 2603-4123 (on-line)

The issue was included in the international ISSN database, available at <https://portal.issn.org/>.
The online edition is registered in the portal ROAD scientific resources online open access



PUBLISHING HOUSE
University of Ruse "Angel Kanchev"