

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 62, book 2.2.**

**Mechanical Engineering and Machine-Building  
Technologies**

**НАУЧНИ ТРУДОВЕ**

**Том 62, серия 2.2.**

**Механика и машиностроителни технологии**

**Ruse**  
**Русе**  
**2023**

Volume 62 of PROCEEDINGS includes the papers presented at the scientific conference RU & SU'23, 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
<b>Agrarian and Industrial Faculty</b>		
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
<b>Faculty of Mechanical and Manufacturing Engineering</b>		
2.1.	FRI-ONLINE-1-MEMBT	Mechanical Engineering and Machine-Building Technologies
2.2.	TUE-1.417-SSS-MEMBT	Mechanical Engineering and Machine-Building Technologies
<b>Faculty of Electrical Engineering Electronics and Automation</b>		
3.1.	FRI-ONLINE-1-EEEEA	Electrical Engineering, Electronics and Automation
3.2.	FRI-ONLINE-1-CCT	Communication and Computer Technologies
3.3.	THU-ONLINE-SSS-EEEEA	Electrical Engineering, Electronics and Automation
	THU-ONLINE-SSS-CCT	Communication and Computer Technologies
<b>Faculty of Transport</b>		
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
<b>Faculty of Business and Management</b>		
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
<b>Faculty of Natural Sciences and Education</b>		
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
<b>Faculty of Law</b>		
7.1.	FRI-ONLINE-1-LS	Law Studies
7.2.	FRI-ONLINE-1-NS	National Security
7.3.	MON-ONLINE-SSS-L	Law Studies
<b>Faculty of Public Health and Health Care</b>		
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
<b>Quality of Education Directorate</b>		
9.1.	FRI-ONLINE-QHE	Quality of Higher Education
<b>Razgrad Branch of the University of Ruse</b>		
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
<b>Silistra Branch of the University of Ruse</b>		
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. Artur Jutman, PhD**  
Tallinn University of Technology, Estonia
- **Prof. RNDr. Vladimír Tvarozek, PhD**  
Slovak University of Technology in Bratislava, Bratislava, Slovakia
- **Assoc. Prof. 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
- **Cătălin POPA, PhD**  
“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, Serbia
- **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
- **Prof. Ricardo Gobato, PhD**  
Secretariat of State of Parana Education and Sport (SEED/PR), Laboratory of Biophysics and Molecular Modeling Genesis
- **Prof. Fatima Rahim Abdul Hussein, PhD**  
University of Misan, College of Basic Education, English Department, Iraq

- **Prof. Liqaa Habeb Al-Obaydi, PhD**  
English Department, College of Education for Human Science, University of Diyala, Iraq
- **Dra. Clotilde Lechuga Jiménez, PhD**  
Social Science Education, Education Science Faculty (Teatinos Campus), University of Malaga, Spain
- **Prof. Dr. Mehmet Şahin, PhD**  
Mersin University, Faculty of Education, Department of Curriculum and Instruction, Turkey
- **Prof. Igor Kevorkovich Danilov, DSc**  
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia
- **Prof. Aleksander Valentinov Sladkowski, DSc**  
Silesian University of Technology, Poland
- **Prof. Vera Karadjova, PhD**  
“St. Kliment Ohridski” University – Bitola, Faculty of tourism and hospitality – Ohrid, Republic of North Macedonia
- **Prof. Aleksandar Trajkov, PhD**  
“St. Kliment Ohridski” University - Bitola, Faculty of tourism and hospitality – Ohrid, Republic of North Macedonia
- **Prof. Petar Pepur, PhD**  
University of Split, Croatia
- **Prof. Korhan Arun, PhD**  
Namik Kemal University, Tekirdağ, Turkey
- **Prof. Yuliya Yorgova, PhD**  
Burgas Free University, Bulgaria
- **Jelena Stankovic, PhD**  
University of Nis, Serbia
- **Prof. Dr. Diana E. Woolfolk Ruiz**  
CETYS University, Mexico
- **Prof. Gerhard Fiolka, PhD**  
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. Elena Torina**  
Tula State Pedagogical University "L. N. Tolstoy", Tula, Russia
- **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 Hydroaerodynamics 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
- **Prof. Olexandr Zaichuk, DSc**  
Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine
- **Prof. Eugene Stefanski, DSc**  
Samara University, Russia

- **Assoc. Prof. Tatiana Strokovskaya, PhD**  
International University of Nature “Dubna”, Dubna, Russia
- **Prof. DSc. Petar Sotirow**  
Maria Curie-Sklodowska University of Lublin, Poland
- **Prof. Papken Ehasar 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. Gabriel Negreanu, PhD**  
University Politehnica of Bucharest, Romania

## ORGANISING COMMITTEE

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

◆ **ORGANISING COMMITTEE:**

● **Chairperson:**

Prof. DTSc. Hristo Beloev, DHC mult., Academician of Bulgarian Academy of Sciences - Rector of UR, Chairperson of US - Ruse

● **Scientific Secretary:**

Prof. Diana Antonova, DSc  
dantonova@uni-ruse.bg, 082/888 249

● **THEMATIC FIELDS:**

- **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, PhD  
pmanev@uni-ruse.bg, +359 82 888 485
- **Pedagogy; Psychology and Methodology of training in...;** (27.10.23, Silistra)  
Assoc. Prof. Diana Zhelezova-Mindizova, PhD,  
dmindizova@uni-ruse.bg
- **Philology;** (27.10.23, Silistra)  
Assoc. Prof. Rumiana Lebedova, PhD  
rlebedova@uni-ruse.bg
- **Technical Sciences;** (27.10.23, Silistra)  
Assoc. Prof. Evgenia Goranova, PhD,  
egoranova@uni-ruse.bg
- **Chemical Technologies** (03-04.11., Razgrad)
- **Biotechnologies and Food Technologies** (03-04.11., Razgrad)  
Assoc. Prof. Tzvetan Dimitrov  
conf\_rz@abv.bg, +359 887 631 645
- **Mechanical Engineering and Machine-building Technologies**  
Prof. Ivelin Ivanov, PhD  
ivivanov@uni-ruse.bg, +359 82 888 472
- **Electrical Engineering, Electronics and Automation**  
Assoc. Prof. Boris Evstatiev, DSc  
bevstatiev@uni-ruse.bg, +359 82 888 371
- **Communication and Computer Systems**  
Assoc. Prof. Galina Ivanova, PhD, giivanova@uni-ruse.bg, +359 82 888 855  
Assoc. Prof. Adriana Borodzhieva, PhD, aborodzhieva@uni-ruse.bg, +359 82 888 734
- **Transport and Machine Science**  
Assoc. Prof. Simeon Iliev, PhD  
spi@uni-ruse.bg, +359 82 888 331

- **Sustainable and Intelligent Transport Systems, Technologies and Logistics**  
Prof. Velizara Pencheva, PhD  
vpencheva@uni-ruse.bg, +359 82 888 558, +359 82 888 608
- **Economics and Management**  
Pr. Assist. Miroslava Boneva, PhD, mboneva@uni-ruse.bg, +359 82 888 776  
Pr. Assist. Elizar Stanev, PhD, eastanev@uni-ruse.bg, +359 82 888 557
- **European studies and International Security**  
Prof. Vladimir Chukov, DSc, spi@uni-ruse.bg, +359 82 825 667
- **Mathematics, Informatics and Physics**  
Prof. Tsvetomir Vasilev, PhD  
tvasilev@uni-ruse.bg, +359 82 888 475
- **Education - Research and Innovations**  
Assoc. Prof. Emilia Velikova, PhD  
evelikova@uni-ruse.bg, +359 885 635 874
- **Pedagogy and Psychology**  
Assoc. Prof. Bagryana Ilieva, PhD  
bilieva@uni-ruse.bg, +359 82 888 219
- **History, Ethnology and Folklore**  
Pr. Assist. Reneta Zlateva, PhD  
rzlateva@uni-ruse.bg, +359 82 888 752
- **Linguistics, Literature and Art Science**  
Assoc. Prof. Velislava Doneva, PhD  
doneva\_v@uni-ruse.bg, +359 886 060 299
- **Health Promotion**  
Assoc. Prof. Stefka Mindova, PhD  
smindova@uni-ruse.bg, +359 882 895 149
- **Social Work**  
Pr. Assist. Ana Popova, PhD  
sipopova@uni-ruse.bg, +359 889 874 219
- **Medical and Clinical Diagnostic Activities**  
Pr. Assist. Deniza Trancheva, PhD  
dtrancheva@uni-ruse.bg, +359 82 888 410
- **Health care**  
Assist. Veselka Mihailova, PhD  
vmihaylova@uni-ruse.bg, +359 879586861
- **Law**  
Assoc. Prof. Elitsa Kumanova, PhD  
ekumanova@uni-ruse.bg, +359 884 980 050
- **National Security**  
Assoc. Prof. Milen Ivanov, DSc  
poligon@abv.bg, +359 82 888 736
- **Quality of Higher Education**  
Prof. Ivanichka Serbezova, PhD, iserbezova@uni-ruse.bg  
Daniela Todorova, dtodorova@uni-ruse.bg, +359 82 888 378



• **REVIEWERS:**

Assoc. Prof. Alexander Ivanov, PhD

Assoc. Prof. Danail Gospodinov, PhD

Assoc. Prof. Danko Tonev, PhD

Assoc. Prof. Dimitar Dimitrov, PhD

Assoc. Prof. Rosen Radev, PhD

Pr. Assist. Prof. Mariana Ilieva, PhD

Pr. Assist. Prof. Nikolay Ferdinandov, PhD

Pr. Assist. Prof. Svetlana Koleva, PhD

**MECHANICAL ENGINEERING AND MACHINE-BUILDING  
TECHNOLOGIES**

**Content**

1. TUE-1.417-SSS-MEMBT-01	11
<b>Fibers for Reinforcing Concrete – Types, Properties and Applications: a Review</b>	
<i>Georgi Ivanov, Danail Gospodinov</i>	
2. TUE-1.417-SSS-MEMBT-02	20
<b>Investigation of Part Preparation Influence on Mechanical Properties of High Strength Steel S960QL Weldments</b>	
<i>Petar Petrov, Danail Gospodinov, Nikolay Ferdinandov</i>	
3. TUE-1.417-SSS-MEMBT-03	27
<b>Development of a Technology and Fixtures for Assembling and Machining of a Front Frame</b>	
<i>Evgrnii Dimov, Nikolay Stankov</i>	
4. TUE-1.417-SSS-MEMBT-04	43
<b>Development of an Automated Module for Thread Cutting of Pipe Fittings</b>	
<i>Katrin Vladimirova, Ivanka Peeva</i>	
5. TUE-1.417-SSS-MEMBT-05	49
<b>A New Opportunity of Preform Design at Axisymmetric Hot Closed- Die Forging Using Simple Moving Average</b>	
<i>Redzheb Karasyuleymanov, Rosen Radev</i>	
6. TUE-1.417-SSS-MEMBT-06	54
<b>Structure of Friction Stir Welded Joints of AA5754 Aluminum Alloy</b>	
<i>Ludmila Velcheva, Mariana Ilieva</i>	
7. TUE-1.417-SSS-MEMBT-07	60
<b>Effect of Heat Treatment on the Structure of a Low Carbon Steel</b>	
<i>Elena Zheleva, Mariana Ilieva</i>	

TUE-1.417-SSS-MEMBT-01

## FIBERS FOR REINFORCING CONCRETE – TYPES, PROPERTIES AND APPLICATIONS: A REVIEW<sup>1</sup>

**Georgi Ivanov – Student**

Department of Technical and Natural Sciences,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
Tel.: 0885578404  
E-mail: georgi\_ivanov.2000@abv.bg

**Assoc. Prof. Danail Gospodinov, PhD**

Department of Material Science and Technology,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
Phone: 082 888 778  
E-mail: dgospodinov@uni-ruse.bg

**Abstract:** *The paper reviews the types, properties and applications of steel, polymer and glass fibers for concrete reinforcement. It is known that ordinary concrete is characterized by qualities such as high compressive strength and stiffness, but does not have good tensile properties to resist bending. In the case of using reinforcing steel, bending cracks will appear again on the surface of the elements. So, to prevent cracking of the concrete, for example in water retaining structures or water transportation structures, fibers are used to reinforce the concrete. Fiber concrete is a solution for designing structures without cracking of concrete elements. The use of dispersed fiber reinforcement in concrete improves the ability of the elements to withstand significant stresses. The use of fibers increases the strength of concrete under all loads. They also overcome drying cracks and plastic shrinkage during evaporation of the liquid phase. It has been established that with dispersed reinforcement of concrete with fibers, cracking is reduced to a minimum.*

**Keywords:** *Fibers, Concrete, Fiber Reinforce Concrete, FRC, Investigation*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Армирането с влакна не е нова практика. От далечни времена за армиране на строителни материали се използват влакна под формата на слама и конски косми, за да повишат якостта и жилавостта на тухлите от глина и кал. В началото на миналия век широко използван като армиращ материал е азбестът, докато през 1960 г. и 1970 г., употребата му намалява поради дълготрайното отлагане на тези влакна във въздуха и причиняване на здравословни проблеми (Virta, R. 2003). Оттогава се произвеждат фибри от различни материали, като стомана, различни полимерни материали (полипропилен), стъкло и други, които намират приложение най-вече в производството на фибробетон (FRC) (Daniel, J. et al. 2002).

Бетонът е най-често използваният строителен материал. Той се характеризира с качества като голяма якост на натиск и коравина, но две негови качества му пречат да бъде идеалния конструкционен материал. Това са неговата крехкост и малката му якост на опън (обикновено около 5-8% от якостта на натиск) (EN 1992-1-1:2004). Традиционният начин за преодоляване на тези недостатъци е използването на стоманена армировка за поемане на опъновите напрежения и увеличаване на пластичността. Но дори с прътова армировка бетонът не може да се предпази от образуване на пукнатини. Пукнатините могат да са следствие на напрежения от външно натоварване, на вътрешните напрежения, породени от структурните преобразувания, които протичат в бетонната смес при превръщането ѝ в твърд материал. Също могат да се появят от съсъхването и пластичното свиване при изпаряване на течната фаза. Установено е, че при дисперсно армиране на бетона с фибри пукнатинообразуването се свежда до минимум.

<sup>1</sup> Докладът е представен на студентската научна сесия на 30.05.2023 г. в секция МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОИТЕЛНИ ТЕХНОЛОГИИ с оригинално заглавие на български език: ФИБРИ ЗА АРМИРАНЕ НА БЕТОН – ВИДОВЕ, СВОЙСТВА И ПРИЛОЖЕНИЕ (ОБЗОРЕН ДОКЛАД)

## ИЗЛОЖЕНИЕ

### Видове фибри

По отношение на вида на материала фибрите могат да се разграничат метални и неметални. Първата група включва стоманени фибри, докато втората е много разнообразна. Състои се от синтетични (полипропиленови, полиетиленови), стъклени, въглеродни, базалтови и естествени фибри (Blazy, J., Blazy, R. 2021). Най-често срещаните фибри са направени от стомана, полипропилен или стъкло. Таблица 1 показва някои свойства на влакната, използвани за армиране на бетон.

Таблица 1. Свойства на фибрите (Bentur, A., & Mindess, S. 2007, Chung, D. 2010)

Фибри	Специфична плътност	Модул на еластичност	Якост на опън	Удължение при разрушение
	g/cm <sup>3</sup>	(GPa)	(MPa)	(%)
Стоманени	7.84	200	500-2000	0.5-3.5
Полипропиленови	0.90-0.95	3.5-10.0	450-760	15-25
Стъклени	2.5	86.9	4710	5.2

Стоманените фибри (Фиг. 1) се получават чрез студено изтегляне на нисковъглеродна стомана. Предлагат се в различни форми и размери, като праволинейни, вълнообразни, спираловидни и др. Най-разпространените им дължини са от 35 до 50mm, с различни диаметри и дебелини.

Дисперсно армирания бетон със стоманени фибри притежава завишена якост на срязване и огъване. Затова той се явява добро строително решение за изпълнение на тежко натоварени индустриални подове. Якостта му на умора при циклично натоварване също е много голяма, в сравнение с обикновения бетон. Стоманените фибри осигуряват добра възможност за поглъщане на енергия и работа при наличие на немалки пластични деформации, т.е. жилавост. А също така и устойчивост на динамични натоварвания.

Притежават специфична плътност около 7,8 g/cm<sup>3</sup>. Якостта им на опън е между 1000 и 3000 MPa, а модулът на еластичност е 200 GPa. Тези техни характеристики определят в голяма степен практическото им приложение ([https://stroiteli.elmedia.net/smt/bg/2018-6/construction/фибри-за-армиране-и-укрепване-на-бетон\\_05507.html](https://stroiteli.elmedia.net/smt/bg/2018-6/construction/фибри-за-армиране-и-укрепване-на-бетон_05507.html)).



Фиг. 1. Стоманени фибри

Много изследвания се отнасят до повишената якост, пластичност и якост на огъване на SFRC (Steel Fiber Reinforced Concrete), като последната достига стойности, вариращи от 30 до 125% в сравнение с обикновен бетон и в зависимост от якостта на бетона и дозировката на влакната (Thomas, J., & Ramaswamy, A. 2007, Olivito R., & Zuccarello F. 2010, Song, P., &

Hwang, S. 2004, Şahin Y., & Köksal, F. 2011, Banthia, N., & Sappakittipakorn, M. 2007, Buratti, N., Mazzotti, C., & Savoia, M. 2011). Въпреки това, дори за тези фибри все още има противоречиви резултати относно прогнозирането на свойствата на материала. Например, някои автори предполагат якостта на натиск на SFRC (Thomas, J., & Ramaswamy, A. 2007, Song, P., & Hwang, S. 2004) да се увеличи до 10% в сравнение с обикновен бетон, докато други проучвания твърдят, че тази промяна е незначителна (Olivito R., & Zuccarello F. 2010, Şahin Y., & Köksal, F. 2011).

Полимерните фибри могат да бъдат произведени от полипропилен или полиетилен, които не реагират с компонентите и добавките на бетона. Същите не задържат протичането на хидратацията на цимента и се характеризират с много добра устойчивост в алкална среда.

В зависимост от техните физически форми полимерните влакна се разделят на две основни категории: микрофибри и макрофибри (Фиг. 2). Микрофibrите са по-малки от 0,3mm в диаметър и с дължина по-малка от 24 mm, а макрофibrите - по-големи от 0,3 mm в диаметър и с дължина от 30 до 50 mm. По-важното е по функцията, която изпълняват в бетона.

Макрофibrите се наричат още структурни, тъй като са в състояние да заменят традиционната армировка от стоманени пръти и да пренасят натоварванията, действащи върху конструкцията. По този начин се спестява времето, необходимо за изработка на стоманена армировка, а оттам и инвестиционните разходи. Използват се за намаляване на пукнатинообразуването, за осигуряване на остатъчната носимоспособност, за поемане на работните натоварвания и придаване устойчивост на разрушаване на бетона.

Микрофibrите не изпълняват носещата функция. Тяхната основна роля е да преодолеят пластичното свиване в пластичния стадий на бетона и да ограничат образуването на пукнатини. Те също допринасят за повишаване на удароустойчивостта, за намаляване на разслояването на сместа, за повишаване на пожароустойчивостта и пожарната безопасност. В резултат на това повишават издръжливостта и удължават живота на елемента. Микровлакната не са структурни и не могат да бъдат използвани за замяна на прътовата армировка, металната мрежа, или всякакви други работни метални елементи от конструкцията (Blazy, J. Blazy, R. 2021).

Влагането на полипропиленови влакна в бетонния разтвор намалява образуването на пукнатини до 100% и подобрява хомогенността на бетона. Специфичната плътност на полипропиленовите фибри е около 0,9 g/cm<sup>3</sup>, якостта на опън около 500 МПа. Модулът на еластичност е 5GPa ([https://stroiteli.elmedia.net/smt/bg/2018-6/construction/фибри-за-армиране-и-укрепване-на-бетон\\_05507.html](https://stroiteli.elmedia.net/smt/bg/2018-6/construction/фибри-за-армиране-и-укрепване-на-бетон_05507.html)).

Малкото им собствено тегло, в сравнение със стоманата, прави строителната конструкцията по-лека, без да се намалява носещата ѝ способност. Това, в комбинация с по-големите възможности за поглъщане на енергия при динамично натоварване, прави полипропиленовите фибри незаменими при проектиране на конструкции в райони с повишена сеизмична опасност.

Армирането с полипропиленови фибри повишава устойчивостта на бетона срещу ударни, абразивни и динамични разрушаващи сили, увеличава неговата водонепропускливост и мразоустойчивост. Фibrите придават на армирания бетон "жилавост", което е уникално качество. Последното се проявява като остатъчна якост и запазване на целостта на конструкцията, дори и след поява на пукнатини. Предимство на полипропиленовите фибри е, че за разлика от стоманените мрежи, те не корозират.

Някои проучвания (Bei-xing, L., Ming-xiang, C., Fang, C., & Lu-ping, L. 2004, H. Mazaheripour, et. al. 2011) споменават, че якостта на натиск на PPFRC (Polypropylene Fiber Reinforced Concrete) почти не се променя с добавянето на фибри, докато други (Hsie M., Tu, C., & Song, P. 2008, Kakooei, S., et al. 2012). показват увеличение до 20%. По отношение на якостта на огъване, някои автори (Bei-xing, L., Ming-xiang, C., Fang, C., & Lu-ping, L. 2004, Alhozaimy, A., Soroushiad, P., & Mirza, F., 1996) не съобщават за влияние върху това свойство на материала, докато други (H. Mazaheripour, et. al. 2011, Hsie M., Tu, C., & Song, P. 2008, Cifuentes, H., et. al. 2013) посочват увеличаване от максимум 10% или дори намаляване (Wu, Y. 2002). Други автори (Bei-xing, L., Ming-xiang, C., Fang, C., & Lu-ping, L. 2004, Hsie M., Tu,

С., & Song, P. 2008, Cifuentes, H., et. al. 2013, Wu, Y. 2002) съобщават за повишена издръжливост на огъване и пластичност спрямо обикновен бетон, както за по-ниски, така и за по-високи дози, нарастващи с процента на армировка.



Фиг. 2. Микро и макро полимерни фибри

Стъклените фибри (Фиг. 3) са здрави, но са много крехки и може да не допринасят за здравината на бетона. Специфичната им плътност е около  $2,5 \text{ g/cm}^3$ , якостта на опън около  $4,7\text{GPa}$ . Модулът на еластичност е  $86,9\text{GPa}$ .

Състоят се от 200-400 отделни нишки, които са леко свързани, за да образуват сноп. Тези снопове могат да бъдат нарязани на различни дължини или комбинирани. Стъклените фибри не са достатъчни за постигане на пукнатиноустойчивост. При възникване на пукнатина в бетона стъклените фибри се счупват. Поради тази причина се налага комбинирането им с други видове фибри, за да се постигнат необходимите качества на бетона.

Добавянето на стъкленни влакна едва около 10% от обема на бетона увеличава якостта на опън приблизително два пъти и устойчивостта на удар с около 10 пъти. Тестовете за циклично натоварване, проведени върху циментови образци със стъкленни фибри, показват устойчивост на умора на бетона, подсилен със стъкленни влакна GFRC (Glass Fiber Reinforced Concrete), приблизително сравнима с тази на бетона, подсилен със стоманени влакна (SFRC) (<https://theconstructor.org/concrete/fiber-reinforced-concrete/150/>).

Много проучвания сочат, че якостта на огъване на GFRC се увеличава с 15 до 20% в сравнение с обикновените бетонови смеси, подобрявайки и якостта (Pehlivanli, Z., Uzun, İ., & Demir, İ. 2015, Chandramoul, K. et al. 2010, Qureshi, L., & Ahmed, A., 2013, Ravikumar, C., & Thandavamoorthy T., 2023, Abdullah, M., & Jallo, E. 2012). Повечето от тези проучвания също съобщават за увеличение на якостта на натиск от 20 на 25%, въпреки че други публикации (Tassew, S., & Lubell, A. 2014) посочват намаляване на този параметър.



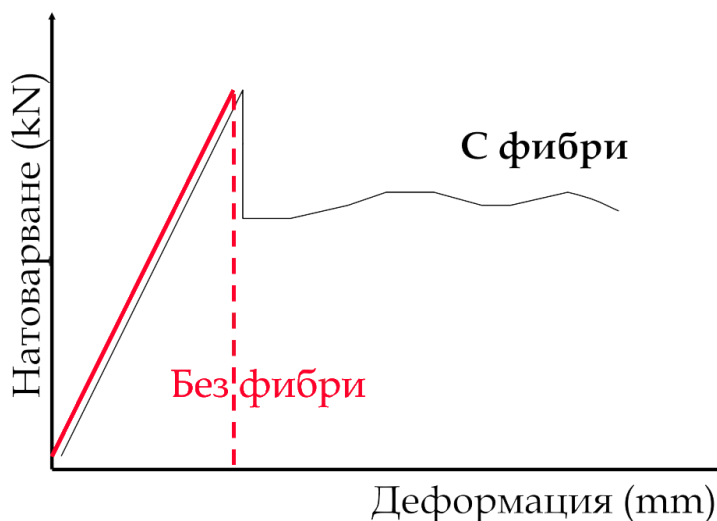
Фиг. 3. Стъкленни фибри

### Характеристики

Фибрите са леки, чисти и безопасни и удобни за работа, съвместими с всички видове цимент и добавъчни материали. Не изискват промяна в проектната рецептура на сместа. Фибрите са химически инертни, не взаимодействат с алкалната среда, в която се намират. Използването им заедно с познатите химически добавки е безпроблемно.

Наличието на фибри увеличава реалното вътрешно сцепление - кохезията в бетона. Леко намалява слягането на бетонната смес и подобрява нейната обработваемост.

Фибрите превръщат втвърдения бетон в една по-деформируема композитна система с еднакви характеристики по цялото сечение. Тя е способна да абсорбира енергия и да поема големи напрежения на опън, включително при знакопроменливо натоварване и след развитие на процеси на образуване на пукнатини. Армирането с фибри рязко повишава съпротивлението срещу крехко разрушаване, увеличава остатъчната якост след появата на първата пукнатина (Фиг. 4). Увеличава якостта на умора при дълготрайно натоварване и якостта на удар. Всичко това осигурява целостта на бетонната конструкция дори и при изчерпване на нейната способност да поема натоварване ([https://stroiteli.elmedia.net/smt/bg/2018-6/construction/фибри-за-армиране-и-укрепване-на-бетон\\_05507.html](https://stroiteli.elmedia.net/smt/bg/2018-6/construction/фибри-за-армиране-и-укрепване-на-бетон_05507.html)).

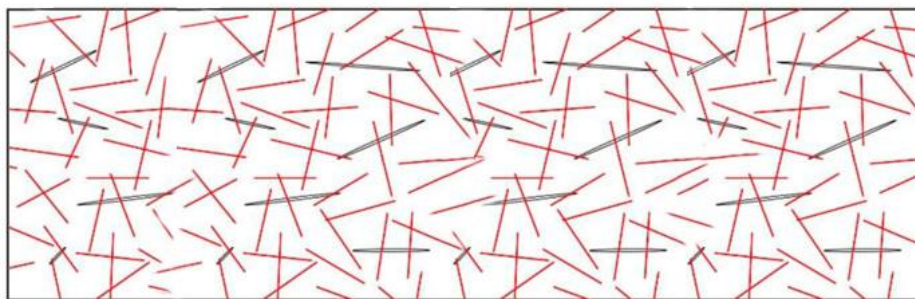


Фиг. 4. Остатъчна якост при бетон, армиран с фибри

Обработваемостта и уплътняването на сместа се подобрява чрез повишаване на водоциментното съотношение или чрез използването на добавки (пластификатори) за намаляване на водата.

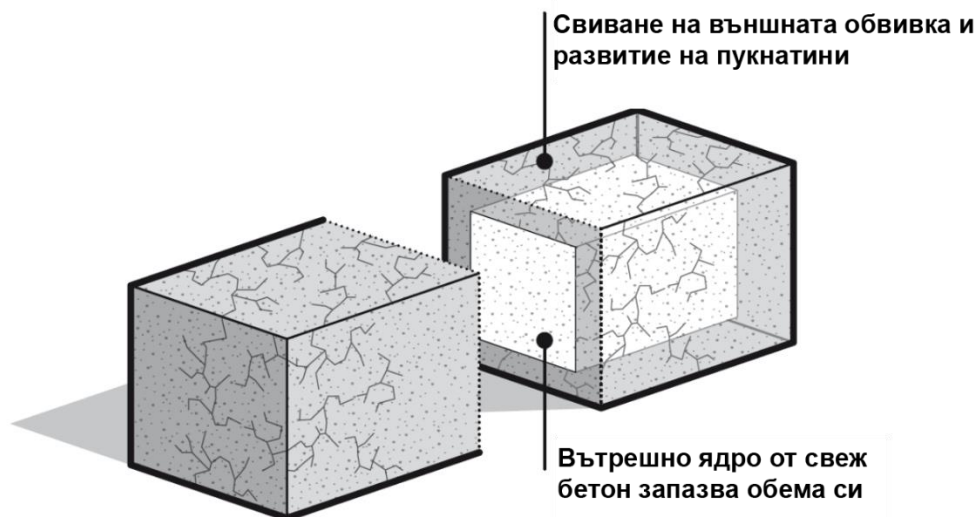
### Армиране с фибри

Дисперсното армиране представлява равномерно пространствено разпределение в целия обем на бетона на дадено количество влакна-фибри с различни дължини и форми. Този вид армиране има съществени предимства по отношение на традиционните средства за вторично армиране, като например заварените стоманени мрежи. Армировката с влакна е отличен заместител на класическата армираща стоманена мрежа. Една от разликите между конвенционалната армировка и фиброармировката е, че при конвенционалната армировка прътите са ориентирани в желана посока, докато фибрите са произволно ориентирани (Фиг. 5) (<https://theconstructor.org/concrete/fiber-reinforced-concrete/150/>).



Фиг. 5. Равномерно разпределение на фибрите в обема на бетона

Замяната на конвенционалната разпределителна стоманена армировка с дисперсното армиране с фибри осигурява по-голяма устойчивост срещу появяването на пукнатини при съсъхване на бетона (Фиг. 6). Причината е равномерното разпределение на влакната в целия обем на бетонния елемент. Фибрите облекчават работата на носещата армировка в зоната, където се получават опънови експлоатационни напрежения. Приносът на фибрите е очевиден в пластичния, до структурния и втвърден стадий на бетона, което означава по-висока дълготрайност и по-високо качество ([https://stroiteli.elmedia.net/smt/bg/2018-6/construction/фибри-за-армиране-и-укрепване-на-бетон\\_05507.html](https://stroiteli.elmedia.net/smt/bg/2018-6/construction/фибри-за-армиране-и-укрепване-на-бетон_05507.html)).



Фигура 6. Поява на пукнатини в следствие на съсъхване и пластично свиване

Така, с по-малкия брой и размер на пукнатините в бетона, значително се повишава неговата водонепропускливост, удароустойчивост, мразоустойчивост, пожароустойчивост, а също и устойчивостта му срещу раздробяване и изтриване. Бетоните армирани с фибри имат по-малки деформации от пълзене при дълготрайно постоянно натоварване. Всичко това гарантира една по-голяма дълготрайност на строителните конструкции, изпълнени от фибробетони.

#### Стандарти

Към момента има два основни стандарта за армиране на бетон с фибри – EN 14889 и ASTM C 116-03. Европейският стандарт EN 14889 е хармонизиран по БДС EN 14889:2006

Американският стандарт ASTM C 116-03 Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete описва армирането на бетоните с фибри, като определя три армитовъчни класове на бетона. Те са съответно армиране на бетон със стоманени влакна, армиране на бетон със стъклено влакно и армиране на бетон с полимерно влакно.

Стандартът БДС EN 14889 е от две части, като БДС EN 14889-1 „Влакна за армиране на бетон. Част 1: Стоманени влакна. Определения, изисквания и съответствие“ се отнася за метални фибри, а БДС EN 14889-2 “Влакна за армиране на бетон. Част 2: Полимерни влакна.



Определения, изисквания и съответствие“ – за полимерните фибри. БДС EN 14889-2 определя полимерните влакна, като "полимерни материали, например: полипропилен или полиетилен, полиестер, найлон, поливинилацетат, полиакрил, арамид, и смеси от тях".

### **Приложения**

Използването на фибробетон в съвременното строителство е от голям интерес, особено в конструкции с високи изисквания за производителност и издръжливост. Поведението на тези бетони се обуславя главно от свойствата на свързващата матрица и нейното взаимодействие с усиливащите влакна.

Полипропиленовите и стъклените фибри се използват при бетонни настилки върху земна основа, замазки, мазилки, торкрети, бетонни елементи, сухи смеси, леки бетони. Армирани бетони с полипропиленови фибри, намират приложение за изработване на бетонни тръби, керемиди, плочки, бордюри, решетки, пилотни фундаменти, стълбове, вълноломи, фасадни панели. Използват се също и като заместител на разпределителна армировка. Благодарение на добрите си качества при динамично и ударно натоварване, и разбира се на дълготрайността си, армираният бетон с полипропиленови влакна се прилага с успех и при възстановяването на износени асфалтови пътни настилки. От друга страна, изключителната простота при работа, относително ниската цена и ефективността на полипропиленовите фибри против съсъхване, ги правят предпочитани за армиране на цименто-пясъчни замазки. Полипропиленовите влакна се използват при тънките подови замазки и настилки, когато е необходимо контролиране на пукнатините при свиване на бетон ([https://stroiteli.elmedia.net/smt/bg/2018-6/construction/фибри-за-армиране-и-укрепване-на-бетон\\_05507.html](https://stroiteli.elmedia.net/smt/bg/2018-6/construction/фибри-за-армиране-и-укрепване-на-бетон_05507.html), Bentur, A., & Mindess, S. 2007).

Стоманените фибри се използват за изпълнение на предварително напрегнати стоманобетонни елементи, на подове на производствени и обществени сгради (Sorelli, L., Meda, & A., Plizzari, G. 2006), изложени на тежки условия и въздействия. В строителството на тунели и подземни пътища (Bernard, E. 2001), за горен слой на пътни настилки, при изпълнението на летищни писти и мостове. Възможно е и приложението им в етажни плочи (Ferrara, L., & Meda, A. 2006) на жилищни сгради за поемане на вътрешните напрежения. Най-широко е приложението на стоманените фибри в силно натоварени строителни елементи, като фундаменти под машини, хидродинамични конструкции.

### **ИЗВОДИ**

Армирането с фибри е съвременен начин за подобряване на механичните свойства на втвърден бетон. Най-често използваните материали за изработване на фибри са стомани и различни видове полимери.

Най-важните фактори, оказващи влияние върху механичните свойства на бетони армирани с фибри са пряко свързани, както с механичните свойства на използваните фибри, така и с тяхното количество, форма, размери, разпределение и др.

В специализираната литература има противоречиви данни за влиянието на фибрите върху механичното поведение на армираните с тях бетони.

Армирането със стоманени и стъклени фибри води до повишаване на якостта на огъване (опън). При армиране с полимерни фибри тази характеристика обикновено не се променя.

При подлагане на огъващи натоварвания пластичността на бетона нараства при армиране с фибри изработени от пластични материали – стомана, полимер. При армиране със стъклени фибри се наблюдава крехко разрушаване.

Полипропиленовите макрофибри са в състояние да пренасят натоварванията, действащи върху конструкцията. Използват се за поемане на работните натоварвания, за намаляване на пукнатинообразуването, както и за осигуряване на остатъчната носимоспособност на бетона. Полипропиленовите микрофибри не изпълняват носещата функция. Те преодоляват свиването от съсъхване в пластичния стадий на бетона, ограничават и свеждат до нула вероятността от образуването на пукнатини, допринасят за повишаване на удароустойчивостта и повишават пожароустойчивостта.

Армирането със структурни фибри не може да замени напълно използването на армировка, но спомага за значителното намаляване на нейното количество. Това води до намаляване на себестойността на бетонните изделия.

За оценяване на ефекта от армирането с фибри са разработени редица стандарти. Основната характеристика при изследване на механичното поведение на бетони армирани със структурни фибри е определянето на границата на остатъчна якост на огъване  $f_{R,j}$  (limit of proportionality, residual). При армиране с микрофибри се определя склонността към образуване на пукнатини от съсъхване.

## ЛИТЕРАТУРА

- Virta, R. (2003). *Asbestos: Geology, Mineralogy, Mining, and Uses*. U.S. Geological Survey.
- Daniel, J. et al. (2002). *State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete*. Reported by ACI Committee 544.1R-96.
- EN 1992-1-1:2004. *Design of concrete structures. General rules and rules for buildings*.
- Blazy, J. Blazy, R. (2021) *Polypropylene fiber reinforced concrete and its application in creating architectural forms of public spaces*. Case Studies in Construction Materials, Volume 14, e00549.
- BUILDERS - construction equipment, materials, technologies, tools (СТРОИТЕЛИ - строителна техника, материали, технологии, инструменти. XV (6), 2018. [https://stroiteli.elmedia.net/smt/bg/2018-6/construction/фибри-за-армиране-и-укрепване-на-бетон\\_05507.html](https://stroiteli.elmedia.net/smt/bg/2018-6/construction/фибри-за-армиране-и-укрепване-на-бетон_05507.html) (Accessed on 26.05.2023).
- Fiber Reinforced Concrete – Types, Properties and Advantages of Fiber Reinforced Concrete <https://theconstructor.org/concrete/fiber-reinforced-concrete/150/> (Accessed on 26.05.2023).
- Bentur, A., & Mindess, S. (2007). *Fibre Reinforced Cementitious Composites – second edition*. Taylor & Francis.
- Chung, D. (2010). *Composite Materials: Science and Applications*. Springer Science & Business Media.
- Pehlivanlı, Z., Uzun, İ., & Demir, İ. (2015). *Mechanical and microstructural features of autoclaved aerated concrete reinforced with autoclaved polypropylene, carbon, basalt and glass fiber*. Constr. Build. Mater. 96, 428– 433.
- Chandramoul, K. et al. (2010). *Strength Properties Of Glass Fibre Concrete*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, (5) 4.
- Qureshi, L., & Ahmed, A., (2013). *An Investigation On Strength Properties Of Glass Fiber Reinforced Concrete*. International Journal Of Engineering Research & Technology (IJERT), (02) 04.
- Ravikumar, C., & Thandavamoorthy T., (2023). *Glass Fibre Concrete: Investigation on Strength and Fire Resistant Properties*. J. Mech. Civ. Eng. 9, 21-25.
- Abdullah, M., & Jallo, E. (2012). *Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Concrete*. Al Rafdain Eng. J., 20, 128-135.
- Tassew, S., & Lubell, A. (2014). *Mechanical properties of glass fiber reinforced ceramic concrete*. Constr. Build. Mater., 51, 215–224.
- Bei-xing, L., Ming-xiang, C., Fang, C., & Lu-ping, L. (2004). *The mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete*. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.,19, 68-71
- Alhozaimy, A., Soroushiad, P., & Mirza, F., (1996). *Mechanical Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete and the Effects of Pozzolanic Materials*, Cem. Concr. Compos. 18 (2), 85-92.
- H. Mazaheripour, et. al. (2011). *The effect of polypropylene fibers on the properties of fresh and hardened lightweight self-compacting concrete*. Constr. Build. Mater. 25 (1), 351– 358.
- Hsie M., Tu, C., & Song, P. (2008). *Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber-reinforced concrete*, Mater. Sci. Eng. A., 494 (1-2), 153–157.
- Kakooei, S., et al. (2012). *The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures*. Constr. Build. Mater. 27 (1), 73–77.

- Cifuentes, H., et. al. (2013). *Influence of the properties of polypropylene fibres on the fracture behaviour of low-, normal- and high-strength FRC*. Constr. Build. Mater., 45, 130–137.
- Wu, Y. (2002). *Flexural strength and behavior of polypropylene fiber reinforced concrete beams*. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed., 17, 54–57.
- Sorelli, L., Meda, & A., Plizzari, G. (2006). *Steel Fiber Concrete Slabs on Ground: A Structural Matter*, Aci Mater. J., 103, 551–558.
- Ferrara, L., & Meda, A. (2006). *Relationships between fibre distribution, workability and the mechanical properties of SFRC applied to precast roof elements*. Mater. Struct., 39, 411–420.
- Bernard, E. (2001). *Correlations in the behaviour of fibre reinforced shotcrete beam and panel specimens*. Mater. Struct., 35, 156–164.
- Thomas, J., & Ramaswamy, A. (2007). *Mechanical Properties of Steel Fiber-Reinforced Concrete*. J. Mater. Civ. Eng., 19, 385–392.
- Olivito R., & Zuccarello F. (2010). *An experimental study on the tensile strength of steel fiber reinforced concrete*. Compos. Part B Eng., 41, 246–255.
- Song, P., & Hwang, S. (2004). *Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete*. Constr. Build. Mater., 18, 669–673.
- Şahin Y., & Köksal, F. (2011). *The influences of matrix and steel fibre tensile strengths on the fracture energy of high strength concrete*. Constr. Build. Mater., 25, 1801–1806.
- Banthia, N., & Sappakittipakorn, M. (2007). *Toughness enhancement in steel fiber reinforced concrete through fiber hybridization*. Cem. Concr. Res., 37, 1366–1372.
- Buratti, N., Mazzotti, C., & Savoia, M. (2011). *Post-cracking behaviour of steel and macro-synthetic fibre-reinforced concretes*, Constr. Build. Mater. 25 2713–2722.
- ASTM C 116-03 Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete
- БДС EN 14889-1:2006 Fibres for concrete - Part 1: Steel fibres - Definitions, specifications and conformity (Влакна за армиране на бетон. Част 1: Стоманени влакна. Определения, изисквания и съответствие)
- БДС EN 14889-2:2006 Fibres for concrete - Part 2: Polymer fibres - Definitions, specifications and conformity (Влакна за армиране на бетон. Част 2: Полимерни влакна. Определения, изисквания и съответствие)

TUE-1.417-SSS-MEMBT-02

## INVESTIGATION OF PART PREPARATION INFLUENCE ON MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH STRENGTH STEEL S960QL WELDMENTS<sup>2</sup>

### **Petar Petrov – Student**

Department of Material Science and Technology,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
E-mail: petarparvi1@gmail.com

### **Assoc. Prof. Danail Gospodinov, PhD**

Department of Material Science and Technology,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
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:** High-strength steels (HS) are mainly used as material for heavy-duty structures such as bridges, cranes and excavators, various types of vehicles, drilling structures, etc., operating at room temperature or below. Since the requirements for the above structures are specific, the use of high-strength steels requires a study of the factors affecting their weldability. The S960QL steel studied in this paper falls into the group of high strength quenched and tempered fine grain steels. This work presents results showing the influence of the weld gap on some mechanical properties of flux-cored welded joints of S960QL high-strength steel.

**Keywords:** High strength steel, S960QL, Mechanical properties, Submerged arc weldments

## **ВЪВЕДЕНИЕ**

Високите изисквания на промишлеността по отношение на икономическата ефективност при производството, експлоатацията и обслужването на различни конструкции налага разработване на нови видове метални материали. Една от възможностите за постигане на тези изисквания е използването на високояки стомани. Това създава предпоставки за използване на профили с по-малко напречно сечение или дебелина, за сметка на по-високите им якостни свойства. Положителният финансов ефект се изразява в по-ниски производствени разходи и разходите за метал, подобряване на експлоатационните характеристики като: полезен товар, товароподемност и енергийна ефективност (Mician, M. et al., 2020; Jambor, M. et al., 2018).

През последните 70 години границата на провлачане на използваните конструкционни стомани се е увеличила с повече от шест пъти (от  $Re \approx 200\text{MPa}$  до  $Re \approx 1300\text{MPa}$ ) (Krzysztof, M. et al., 2017). Стоманите с най-високи механични характеристики спадат към групата на подобряемите (закалени и отвърнати) стомани (например S960QL). Структурата им е ултра финозърнеста, състояща се от мартензит и бейнит. Тези стомани са нисковъглеродни ( $C \leq 0,2\%$ ) и като цяло имат сравнително добра заваропригодност (Tomasz, S., 2020; Gorka, J., Kotarska, A., 2019).

Заваръчно техническите проблеми обаче при подобряемите стомани са значително по-големи, отколкото при другите дребнозърнести стомани. Основно изискване към технологията на заваряване е температурният режим да възпроизведе високотемпературно отвърнатата

<sup>2</sup> Докладът е представен на студентската научна сесия на 30.05.2023 г. 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 S960QL

закалена структура в ЗТВ на заварените съединения. Това означава използване на многослойна ивична техника, както и прилагане на такива режими на заваряване, които да гарантират пълна прекристализация на образуваният едрозърнест мартензит.

Времето на охлаждане  $t_{8/5}$  трябва да бъде в определени граници и както сочат повечето данни от практиката, то трябва да е между 5 и 20 s (Gaspar, M., 2019). Прекалено големите времена на охлаждане водят до нежелани структури като крехък мартензит или байнит. Прекалено високите скорости на охлаждане пък могат да предизвикат образуването на студени пукнатини (Garasic, I. et al., 2010). За изключване на вероятността от образуването им е необходимо предварително нагряване (между 120 и 200°C), което трябва да се определи в зависимост от въглеродния еквивалент. Допустимата твърдост в ЗТВ е от порядъка 350 HV10, но за някои стомани с по-добра пластичност се допуска и 400 HV10.

В литературата има информация по отношение на влиянието на тези фактори върху механичните характеристики на заварени съединения от такива стомани. Липсва обаче информация за влиянието на размера на заваръчната междина в случай, че тя не отговаря на изискванията на стандарта БДС EN ISO 9692.

Настоящата работа има за цел да определи влиянието на заваръчната междина върху структурата и характеристиките на механичните свойства на заварени съединения от стомана S960QL. Изследването е във връзка с производствената необходимост на фирма СЛ Индъстрис, произвеждаща заварени изделия (телескопични стрели) от тази стомана.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

### Методика на експерименталното изследване

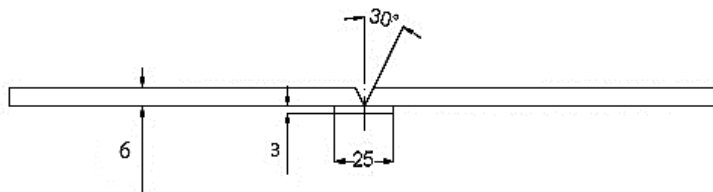
Използваната в изследването стомана е високояка дребнозърнеста (марка S960QL), чиито механични характеристики са получени чрез подобряване (закаляване и високотемпературно отвярщане). Информация за химичният ѝ състав и механични характеристики според сертификата от фирмата производител са поместени в таблица 1.

Таблица 1. Химичен състав и механични характеристики на стомана S960QL

Химичен състав, [wt%]															
C	Si	Mn	P	S	Al	B	Cr	Cu	Mo	N	Nb	Ni	Ti	V	Zr
0.18	0.25	1.08	0.01	0.001	0.08	0.002	0.62	0.02	0.61	0.004	0.03	0.04	0.003	0.002	0.001
Механични свойства															
Rm [MPa]				ReH [MPa]				A5 [%]				KV-40 (10x6) [J]			
1028				1006				13				59			

Съединенията са получени чрез подфлюсово заваряване, като е използван постоянен ток и обратна полярност на свързване. Използваните заготовки са с размери 500x150x6 mm, като са съобразени с изискванията на стандарт БДС EN ISO 15614-1:2017.

Подготовката на частите за заваряване включва скосяване на 30° (общо 60°) без притъпяване съгласно БДС EN ISO 9692-2:2001 (фиг.1).



Фиг. 1. Подготовка на частите за заваряване

Използваните заваръчни междини са 0, 4, 6 и 8 mm. Изборът е направен въз основа на това, че междината се явява затварящо звено при изработване на телескопичните стрели и като такава варира в границите на:  $0 \leq b \leq 8 \text{ mm}$ .

Като добавъчни материали са използвани телове с диаметър 1,2mm. За стомана S960QL телът е с означение: G 89 5 M Mn4Ni2,5CrMo съгласно БДС EN ISO 16834:2012, а флюсът е S A AB 1 56 AC H5 съгласно БДС EN ISO 14174:2019.

Заготовките се установяват неподвижно и се заваряват в позиция РА съгласно БДС EN ISO 6947:2019. За всяка заваръчна междина са изработени по две плочи – общо 8.

Получените след заваряване съединения са разкромени механично на лентоотрезна машина с цел подготовка на пробни тела за изпитване на опън, ударно огъване, твърдост и изследване на макроструктурата.

Използваните режими на работа са дадени в таблица 2.

Таблица 2. Използвани режими на работа

Режим/междина	Проход	Ток, I	Напрежение, U	Скорост, V
	№	[A]	[V]	[mm/min]
Режим 1, междина = 0	1	240	31	280
	2	270	31	150
Режим 2, междина = 4	1	240	31	250
	2	240	31	180
	3	270	32	140
Режим 3, междина = 6	1	240	31	250
	2	240	31	180
	3	270	32.5	120
Режим 4, междина = 8	1	240	31	250
	2	240	31	180
	3	240	31	180
	4	270	32.5	100

Подготовката на пробните тела за макроструктурно изследване включва шлифоване с водни шкурки 200, 400, 600, 800, полиране и проявяване с 5% нитал. Макроструктурата е наблюдавана с увеличение от 1 до 10 пъти с помощта на цифров микроскоп.

Твърдостта е измерена по метода на Викерс с натоварване 1 kg.

Изпитването на опън е осъществено с помощта на изпитвателна машина Instron 3382, 150 kN, със скорост 2 mm/min като са използвани петкратни пробни тела.

Изпитването на ударно огъване е извършено по метода на Шарпи. Определянето на ударната жилавост е извършено при разрушаване на пробни тела с широчина 10 mm и височина равна на дебелината на заваряваната ламарина. Използваният надрез е с V – образна форма и е разположен в шева и в прехода между ЗТВ и ОМ. Температурата, при която е реализирано изпитването е -40°C. За целта е проектирана и изработена вана за охлаждане до избраната температура. Охлаждането се реализира посредством спирт и сух лед (CO<sub>2</sub>).

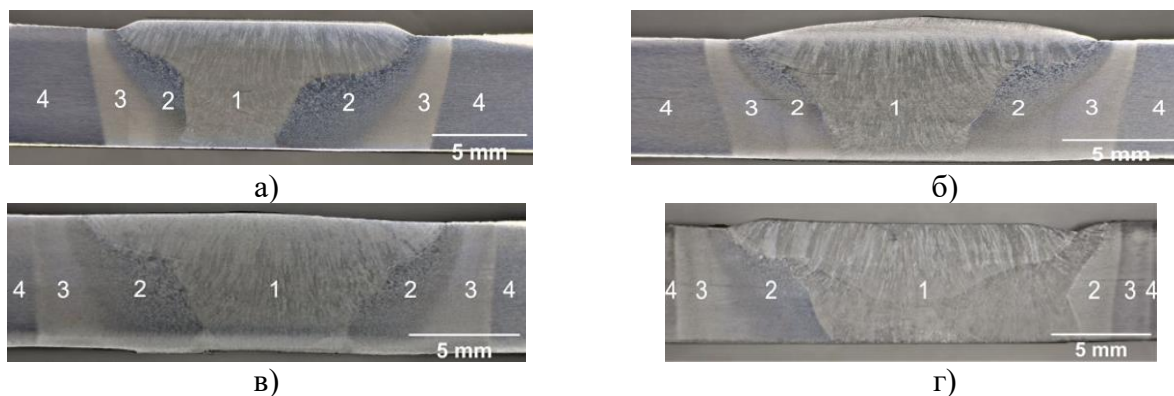
### Резултати от експерименталното изследване

На фигура 2 са показани резултатите от макроструктурния анализ на заварените съединения. Както се вижда отделните зони на заваръчния шев могат да бъдат ясно разграничени. Зоната на термично влияние (ЗТВ) изглежда по различен начин при различните режими, като в нея се наблюдават отделни подзони. Субкритичната зона на термично влияние (СКЗТВ) се проявява като по-светла част и на фиг. 2а, б, в, г – е отбелязана с 3. Следващата зона е тази получаваща се в обема на материала нагрят до температури между АЗ и солидус линията. Зоната се проявява в по-тъмно, като е отбелязана с 2. Тя от своя страна може да бъде разделена на две подзони: 1- дребнозърнеста зона на термично влияние (ДЗЗТВ), граничеща със СКЗТВ и 2- едрозърнеста зона (ЕЗЗТВ) граничеща с полуразтопената зона.

Едрозърнестата зона е най-ясно изразена при режимите с малка междина и малък брой проходи. Зоната е трудно забележима при режим 3 (фиг. 2в, заваръчна междина 6 mm) и напълно липсва при режим 4 (фиг.2 г, заваръчна междина 8 mm). Наличието на такава зона е

предопределено от високите стойности на линейната енергия използвана за заваряване при изследваните режими и малкият брой преходи за режими 1 и 2.

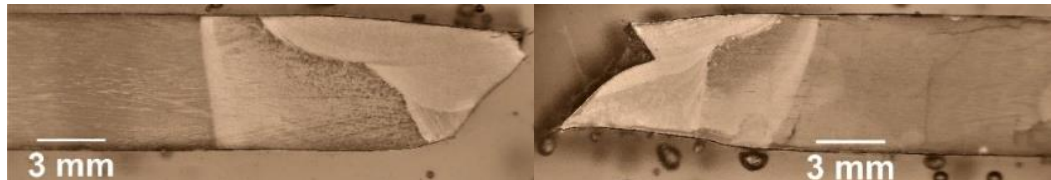
Режимите със заваръчна междина 6 и 8 mm се характеризират с по-голям брой проходи, което е свързано с последващо нагряване на уедрената зона до температури над критичните за марката, водещо до няколкократно фазова прекристализация. Поради това размерите на зърната намаляват и формираната се първоначално едрозърнеста структура се трансформира в дребнозърнеста (фиг. 2 в, г).



Фиг. 2. Макроструктура на заварените съединения

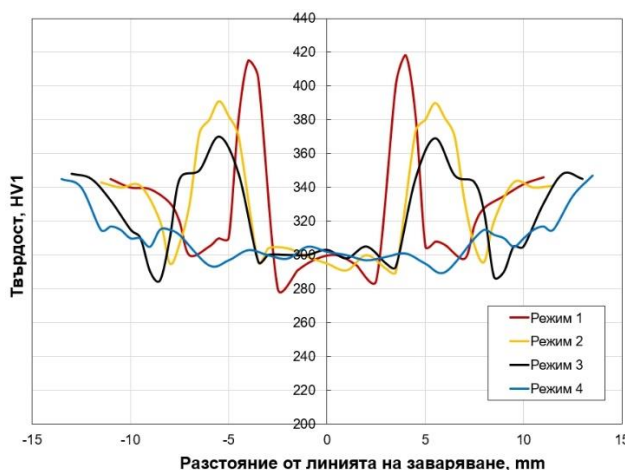
а- заваръчна междина – 0 mm; б- заваръчна междина – 4 mm; в- заваръчна междина – 6 mm; г- заваръчна междина – 8 mm.

Фигура 3 показва зоната на разрушаване след изпитване на опън на пробни тела от режими 1. За всички изследвани режими разрушаването е в заваръчния шев, което е логично предвид профила на изменение на твърдостта.



Фиг. 3. Макроструктура на заварено съединение след изпитване на опън за режим 1

Използваните режими на заваряване оказват влияние на разпределението на твърдостта в ЗТВ, както е показано на фиг. 4. Най-високи стойности за твърдостта са измерени в зоната на термично влияние на режим 1, а най-ниски за режим 4. Това показва, че колкото е по-голям броят на проходите, толкова по-ниска е регистрираната твърдост в ЗТВ.

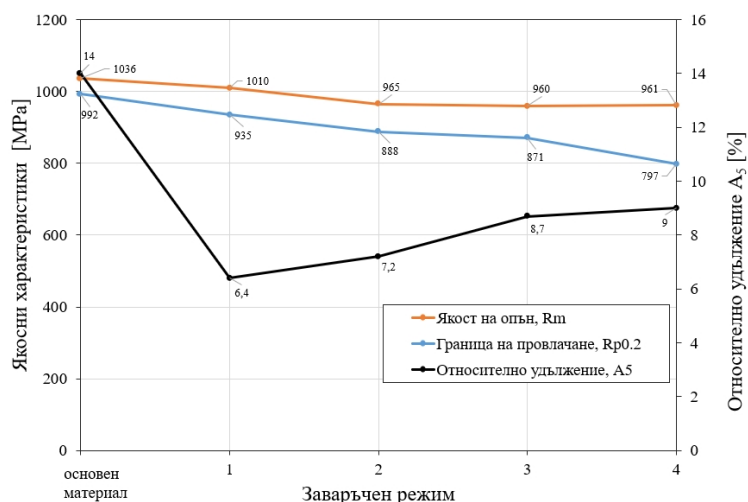


Фиг. 4. Разпределение на твърдостта в заварените съединения при различните заваръчни междини

Преходът от субкритичната зона на термично влияние към дребнозърнестата ЗТВ води до намаляване на твърдостта, като най-ниски стойности се регистрират на границата между тях за режим 3. Следващото придвижване по посока към заваръчния шев е свързано с нарастване на твърдостта, като измерените стойности в подзоната с уедрена структура значително надвишават тези на основния материал. Твърдостта в разтопената зона е най-ниска, в сравнение с твърдостта на останалите зони и основния материал и не зависи от режима. Тук основно влияние за получаваната твърдост оказва вида на добавачния материал. Регистрираните високи стойности на твърдостта за режими 1, 2 и 3 са предпоставка за образуване на студени пукнатини. При режим 1 опасността от образуването им е най-голяма поради регистрираните максимални пикови стойности на твърдостта (420 HV1).

Обикновено допустимите максимални стойности за твърдостта се ограничават до  $\approx 350$  HV. Въпреки регистрирането на стойности на твърдостта над препоръчаните при нито един от изследваните режими не се констатира наличие на студени пукнатини.

На фигура 5 са показани резултатите, получени след изпитване на опън. Анализа на резултатите показва намаляване на якостните характеристики след заваряване при всички изследвани режими. Този резултат е очакван предвид резултатите от макроструктурния анализ и профила на изменение на твърдостта. Предвид тези резултати „слабо звено“ в завареното съединение се явява заваръчния шев, както и зоната на преход от дребнозърнеста зона на термично влияние, към субкритична такава. При всички режими, с изключение на режим 3, твърдостта в заваръчния шев е най-ниска, което е предпоставка за инициране на разрушаване в нея. При режим 3 най-ниска твърдост се констатира в дребнозърнестата зона на термично влияние, но предвид по-дисперсната структура и уякчаването вследствие на студената пластична деформация при изпитване на опън разрушаването отново е в шева. От фигурата се вижда ясно очертаната тенденция за намаляване на якостните характеристики и нарастване на пластичността с увеличаване на заваръчната междина. Прави впечатление по-стръмното намаляване на границата на провлачане отколкото якостта на опън. Подобно изменение на якостните свойства обикновено се свързва с протичане на процеси на рекристализация.



Фиг. 5. Якостни и деформационни характеристики на заварените съединения

В табл.3 са показани резултатите за ударната жилавост получени след изпитване по метода на Шарпи. Вижда се, че най-ниски стойности за жилавостта се отчитат в зоната на преход от заваръчния шев към ЗТВ, за всички режими и условия на изпитване.

Подобни резултати са очаквани предвид наличието на уедрена зона в прехода от заваръчния шев към ЗТВ. Най-високи стойности на ударната жилавост се наблюдават при режим 4, където вследствие на няколкократното нагриване за реализиране на по-големия брой преходи уедрена зона не се наблюдава. Тук трябва да се отбележи, че получените за тази характеристика стойности намаляват в пъти спрямо стойностите ѝ в състояние на доставка. При стайна температура в зоната на шева намаляването на характеристиката е средно около 3



пъти, а в ЗТВ около 4 пъти. Понижаването на температурата до  $-40^{\circ}\text{C}$  води до допълнително намаляване на регистрираните стойности.

Таблица 3. Резултати от изпитването на ударна жилавост на заварените съединения

Режим	Ударна жилавост $KV_2$ , $\text{J/cm}^2$			
	Стайна температура ( $20^{\circ}\text{C}$ )		$-40^{\circ}\text{C}$	
	ЗШ	Граница ЗШ/ЗТВ	ЗШ	Граница ЗШ/ЗТВ
ОМ	200	200	187	187
Режим 1	91	69	54	35
Режим 2	65	55.3	49	32
Режим 3	56.5	51	37	32
Режим 4	70	60	42	42

Въпреки драстичното намаляване на стойностите на тази характеристика получените резултати показват, че заварените съединения отговарят на изискванията на стандарт EN 10025-6:2019 за минимална ударна жилавост от 30 J при температура  $-40^{\circ}\text{C}$ .

## ИЗВОДИ

1. Повишените изисквания предявявани към високоякостните стоманени заварени конструкции определят необходимостта от по-задълбочено изследване на факторите, които влияят върху поведението на тези стомани по време на заваряване.

2. Увеличаването на заваръчната междина от 0 до 8 мм е свързано с увеличаване на необходимия брой проходи, съответно от 2 на 4. Това от своя страна води до образуването на по-ясно изразена дребнозърнеста структура в зоната на термично влияние и намаляването или дори изчезването на едрозърнестата структура в нея.

3. Резултатите от настоящото изследване показват, че едрозърнестата зона на термично влияние притежава най-висока твърдост, а зоната на шева най-ниска. Увеличаването на броя на проходите е свързан с намаляване на твърдостта на едрозърнестата зона на термично влияние от 420 HV1 на 315 HV1, докато твърдостта на заваръчния шев не зависи от броя на проходите.

4. Резултатите от изпитването на опън показват намаляване на якостните  $R_{p0.2}$  и  $R_m$  характеристики с увеличаване на междината респективно броя на проходите. Това е свързано с протичане на процеси на отвърщане при всеки следващ проход. При най-голямата междина намаляването на якостта е с 7%, на границата на провлачане с 20%. При всички режими разрушаването е в заваръчния шев, което е логично предвид разпределението на твърдостта.

5. Резултатите от ударната жилавост показват, че при всички режими стойността ѝ е над 30 J при  $-40^{\circ}\text{C}$  което отговаря на изискванията за минимална ударна жилавост заложен в EN 10025-6:2019.5.

6. Експерименталните резултати показват, че увеличаването на заваръчната междина води до получаване на по хомогенна структура по отношение на размерите на зърната и по хомогенно разпределение на твърдостта в зоната на термично влияние. По този начин експлоатационните свойства на заварените конструкции могат да бъдат благоприятно повлияни от увеличаването на заваръчната междина.

## REFERENCES

Jambor, M., Ulewicz, R., Novy, F., Bokuvka, O., Trsko, L., Mician, M., Harmaniak, D. (2018). *Evolution of Microstructure in the Heat Affected Zone of S960MC GMAW Weld*. Materials Research Proceedings 5, 78-83.

Mician, M., Maronek, M., Konar, R., Harmaniak, D., Jambor, M., Trsko, L., Wincek, J. (2020). *Changes of microstructure and mechanical properties of the HAZ of the S960MC steel sheet weld joint*. Zavarivanje i Zavarene Konstrukcije, vol. 3, 113-123.

Krzysztof, M., Jachym, R. (2017). *Welding of High Strength Toughened Structural Steel S960QL*. Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, vol. 2, 6-16.

Garasic, I., Coric, A., Kozuh Z., Samardzic, I. (2010). *Occurrence of cold cracks in welding of high-strength S960 QL steel*. Technical Gazette, vol. 3, 327-335.

Tomasz, S., (2020). *Fatigue examination of HSLA steel with yield strength of 960 MPa and its welded joints under strain mode*. Metals, 10 (228), 14.

Gorka, J., Kotarska, A. (2019). *MAG welding of 960QL quenched and tempered steel*. Materials Science and Engineering, vol. 591, 8.

Gaspar, M. (2019). *Effect of Welding Heat Input on Simulated HAZ Areas in S960QL High Strength Steel*. Metals, 9 (1226), 14.

TUE-1.417-SSS-MEMBT-03

## DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY AND FIXTURES FOR ASSEMBLING AND MACHINING OF A FRONT FRAME<sup>3</sup>

### Evgenii Dimov – Student

Department of Machine Tools & Manufacturing,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
Tel.: +359 887 792690  
E-mail: dymov\_99@inbox.ru

### 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 Front Frame. The presented frame is one of the main structural elements of lifting machines. Such specialized machines are, for example, Front Loaders, which are designed for working with bulk materials. The whole process related to the production of the frame is considered - from the 3D model to the real product. A technology and a fixture for assembling of the frame have been developed. A technology and a fixture for machining the frame have been developed. A control card to control the dimensions at each stage of the production of the frame was made. The 3D models are designed using 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:** Frames, Lifting Machines, Front Loaders, Development, Design, Control, 3D Models, CAD System, SolidWorks Template Files, Design Documentation

### ВЪВЕДЕНИЕ

В доклада е разгледан процеса на изработване на един от основните конструктивни елементи на повдигателните машини – т. нар. рами. Рама предна се монтира на различни специализирани машини. Такива са например челните товарачи, които са предназначени за работа с насипни материали. С тях се изпълняват различни товарно-разтоварни дейности.



Фиг. 1. Челен товарач AR 520,  
фирма WEYCOR.

Разнообразието на рамите е голямо и основно зависи от предназначението им и товарносимостта на конструкцията. Рамите представляват специализирана конструкция, устойчива на голямо натоварване. Монтирането ѝ към машините става чрез закрепване с болтове. На тялото на рамата се монтират хидравлични цилиндри.

На фиг. 1 е показан челен товарач AR 520, на който предната рама и процеса ѝ на изработване се разглежда в доклада. Машината е разработка на фирма WEYCOR [19].

Основен проблем при изработване на подобен тип изделия е сложната форма и конструкция, която имат. Необходимо е постигането на точното разположение на

<sup>3</sup> Докладът е представен на студентската научна сесия на 30.05.2023 г. в секция МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОИТЕЛНИ ТЕХНОЛОГИИ с оригинално заглавие на български език: РАЗРАБОТВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЯ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ЗА СГЛОБЯВАНЕ И МЕХАНИЧНО ОБРАБОТВАНЕ НА РАМА ПРЕДНА.

детайлите, за да се получат зададените в конструкторската документация форма и размери на рамата.

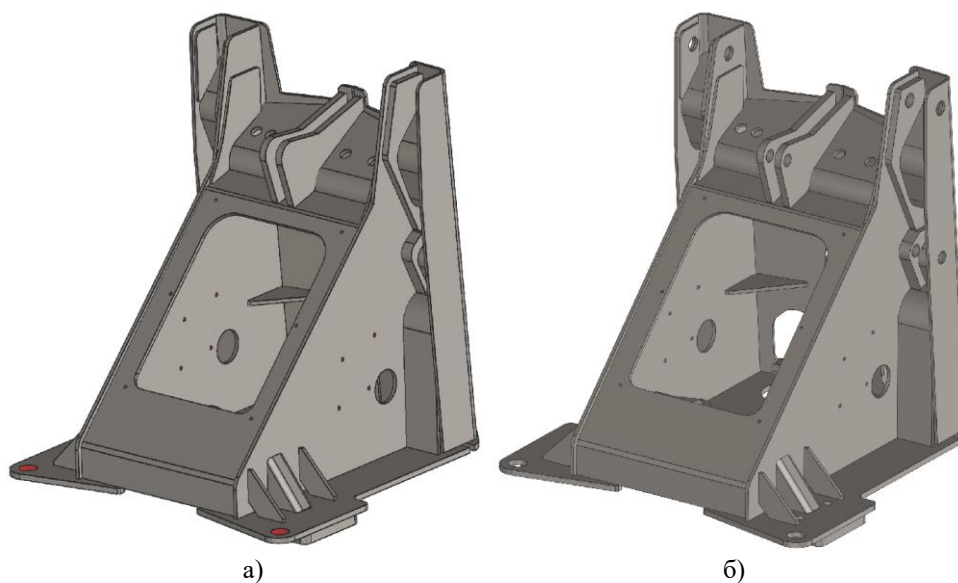
Съгласно изискванията в чертежите се прави механично обработване на функционалните повърхнини, за да може да се извърши монтаж на изделието и то да изпълнява предназначението си.

Това налага за сглобяването и механичното обработване на рамата да се разработят и използват при производството ѝ специализирани приспособления или т. нар. нестандартна технологична екипировка.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

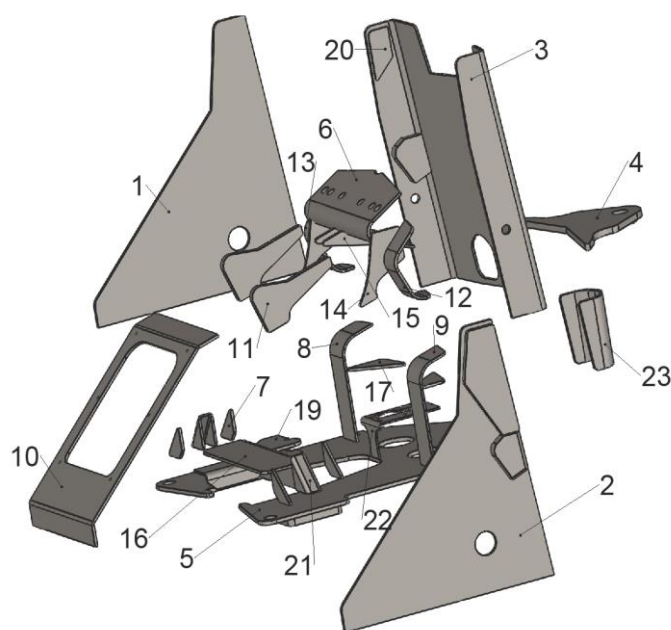
### 1. Общи сведения за Рама предна.

На фиг. 2 е показан общият вид на рамата. Изделието е част от производствена програма на фирма „Спарки Русе 2020“ ЕАД, град Русе [18].



Фиг. 2. Общ вид на рамата.  
а) След сглобяване, б) След механично обработване

На фиг. 3 е показан разглобен вид на рамата.



Фиг. 3. Съставни елементи на рамата.

Съставните ѝ елементи са: 1. Страница лява комплект (1572519), 2. Страница дясна комплект (1572520), 3. Страница задна (1572521), 4. Плоча комплект (1572522), 5. Плоча

основна комплект (1572523), 6. Детайл огънат комплект (1572524), 7. Ребро I (1572449 - 4 бр.), 8. Шина подсилваща лява (1572451), 9. Шина подсилваща дясна (1572462), 10. Капак (1572452), 11. Ухо (1572457 - 2 бр.), 12. Детайл огънат I (1572460 - 2 бр.), 13. Детайл огънат II (1572461), 14. Планка I (1572465 - 2 бр.), 15. Планка вътрешна (1572466 - 2 бр.), 16. Детайл огънат III (1572467), 17. Ребро II (1572468 - 2 бр.), 18. Планка II (1572471), 19. Ребро III (1572473 - 2 бр.), 20. Плоча (1572474 - 2 бр.), 21. Ребро IV (1572477 - 2 бр.), 22. Конзола (1572478), 23. Детайл огънат IV (1572480).

Съгласно разработената технология, за сглобяване на рамата се използва специализирано приспособление. Чрез приспособлението се извършва установяване на детайлите на рамата. За позициониране на някои от детайлите се използва шаблон.

## **2. Технологична подготовка на изделието.**

Съгласно документацията на изделието, предоставена от фирма WEYCOR, 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 примерни модели на детайлите, възлите и изделието;
- разработване на технология за изработване на детайлите, възлите и изделието;
- създаване на нови възли в изделието;
- създаване на чертежи на детайлите, възлите и изделието;
- разработване на технология и технологична екипировка за сглобяване на изделието;
- разработване на технология и технологична екипировка за заваряване на изделието;
- разработване на технология и технологична екипировка за механично обработване на изделието;
- разработване на методика за контрол на изделието;
- разработване на ремонтна технология на изделието.

Създаването на примерни модели е важна стъпка от процеса на разработване на дадено изделие. Примерните модели могат да се използват за създаване на нова конструкторска документация за нуждите на фирмата. В примерните 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, 13, 14].

На база моделите се определя и технологията за изработване на детайлите – добавяне на отвори, прибавки за механично обработване, предварителна обработка на определени повърхнини. Това налага създаването на нова конструкторска документация, която да се използва в производството. След уточняване на всички особености, примерните 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 механично обработване на изделието.

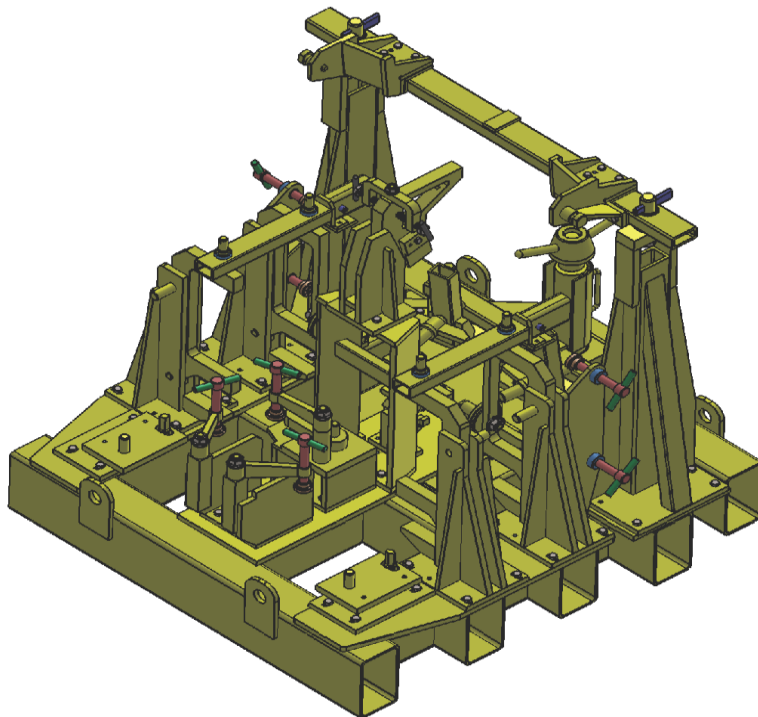
В случая за Рама предна са разработени примерните модели на детайлите, направени са технологични промени свързани с производството им и са създадени нови възли от изделието. Примерните модели са разработени с CAD системата SolidWorks [1, 2, 3, 6, 7, 20].

## **3. Технология и приспособление за сглобяване на Рама предна.**

След като е уточнена технологията за изработването на детайлите, се разработва технологията за сглобяване на рамата и необходимата за това екипировка.

Приспособлението е разработено, чрез CAD системата SolidWorks и на фиг. 4 е показан общият му вид с всичките му съставни елементи. То осигурява позициониране на детайлите

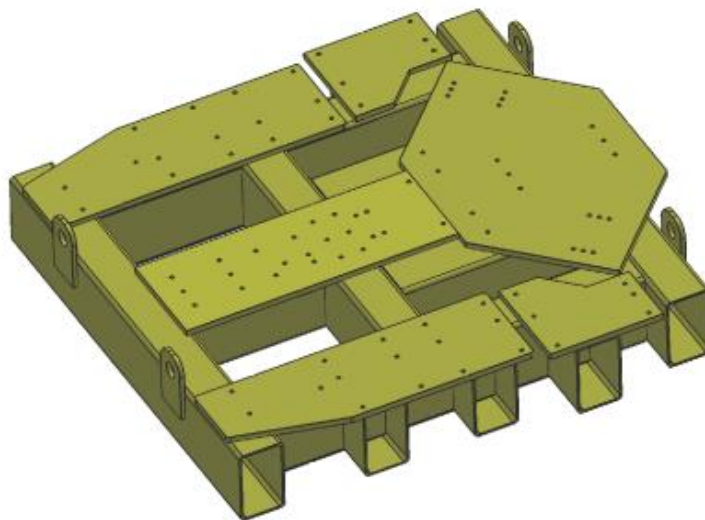
на рамата в определено положение и с точно определени разстояния между тях [8, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17].



Фиг. 4. Общ вид на приспособлението за сглобяване на рамата.

За реализиране на технологията за сглобяване на Рама предна, е разработено приспособление, състоящо се от няколко възли. Те се установяват на механично обработена основа фиг. 5 с размери 1290x1407 mm, върху която са направени центрови отвори  $\varnothing 10$  mm и проходни резбови отвори M12.

Основата е основен носещ елемент от конструкцията на приспособлението, осигуряваща достатъчна якост и сигурност при работата. Върху основата се монтират всички останали елементи на приспособлението, а по време на неговата експлоатация се позиционират и част от детайлите на изделието.



Фиг. 5. Основа на приспособлението за сглобяване на рамата.

На всеки един възел от приспособлението се извършва механично обработване на повърхнините. С механичното обработване се постига точност на размерите и на взаимното разположение на функционалните повърхнини на приспособлението.

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

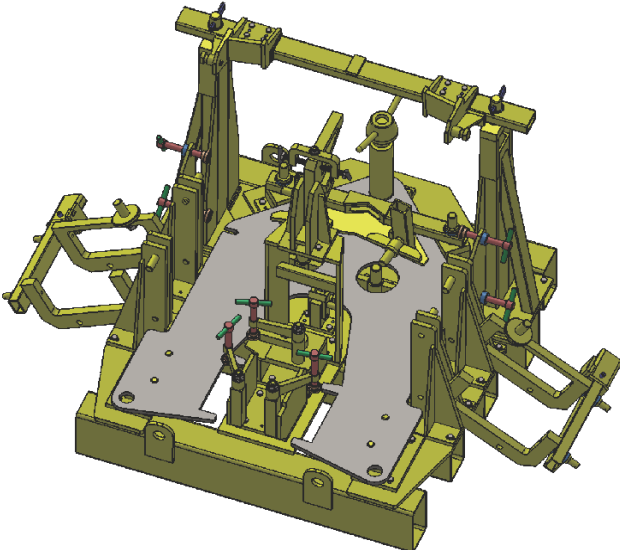
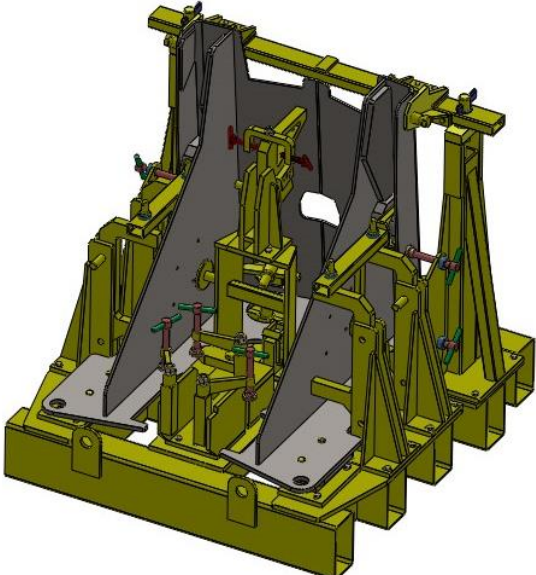


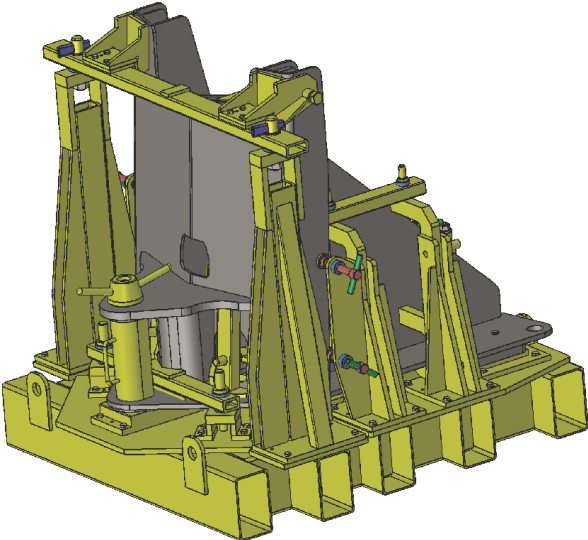
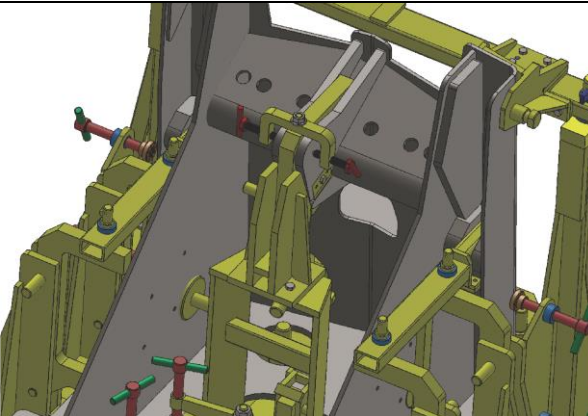
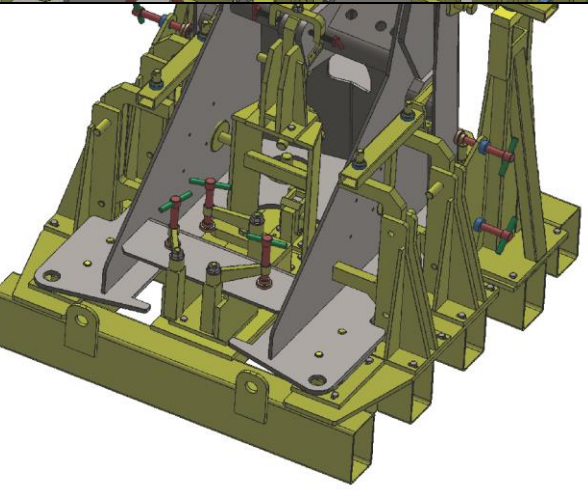
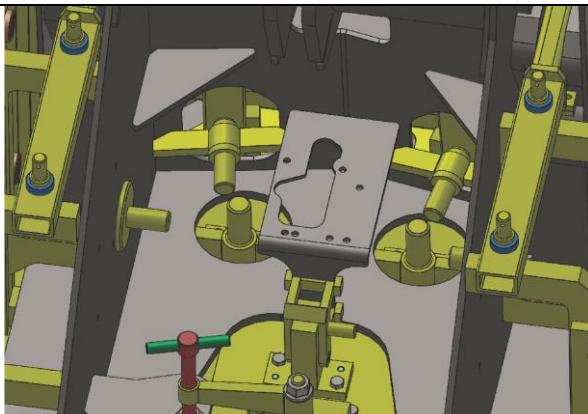
**Технология на сглобяване на рама предна е следната:**

Първоначално на основата на приспособлението се базира и фиксира Плоча основна комплект (1572523). С помощта на страничните стойки се фиксират основните елементи на конструкцията на рамата – Страница лява комплект (1572519), Страница дясна комплект (1572520) и Страница задна (1572521). С централните стойки се фиксират останалите детайли на рамата – Детайл огънат комплект (1572524), Ребро I (1572449), Шина подсилваща лява (1572451), Шина подсилваща дясна (1572462), Ухо (1572457), Детайл огънат I (1572460), Детайл огънат II (1572461), Планка I (1572465), Планка вътрешна (1572466), Детайл огънат III (1572467), Ребро II (1572468), Планка II (1572471), Ребро III (1572473), Плоча (1572474), Ребро IV (1572477), Конзола (1572478) и Детайл огънат IV (1572480). Последния елемент от рамата Капак (1572452) се поставя с шаблон.

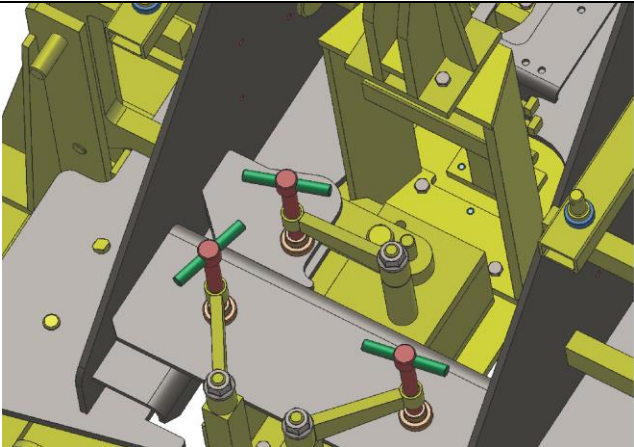
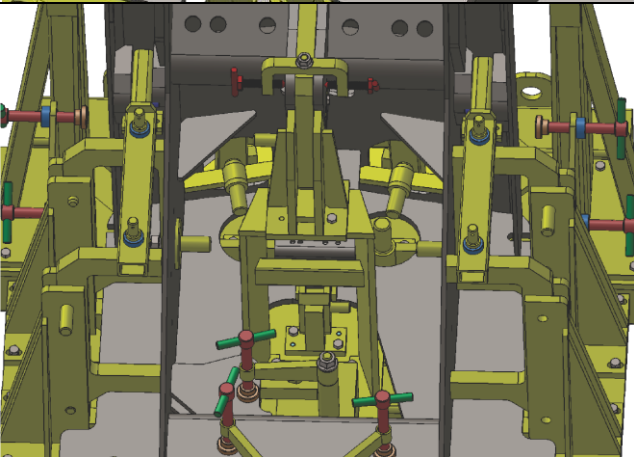
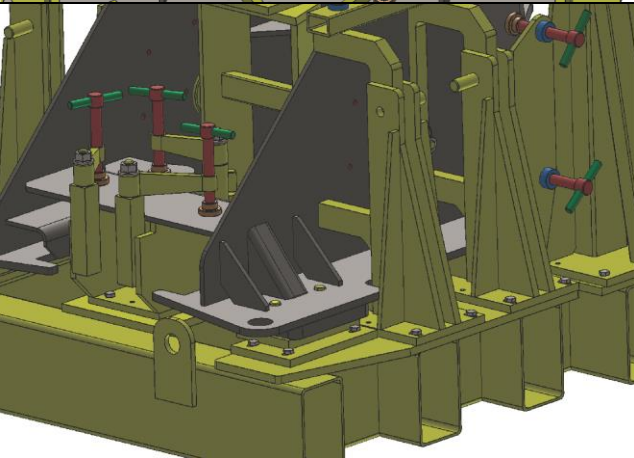
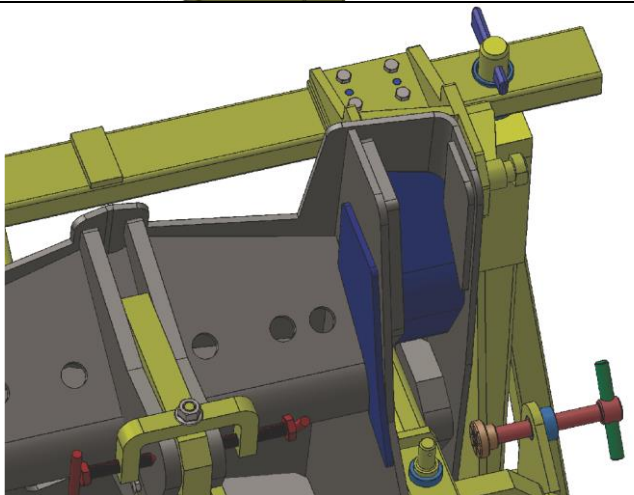
Всички детайли на рамата се закрепват в съответното им положение чрез прихващане. Последователността на сглобяване на детайлите е показано в табл. 1.

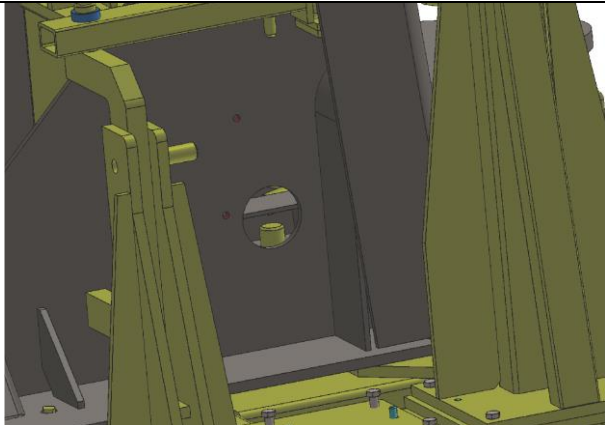
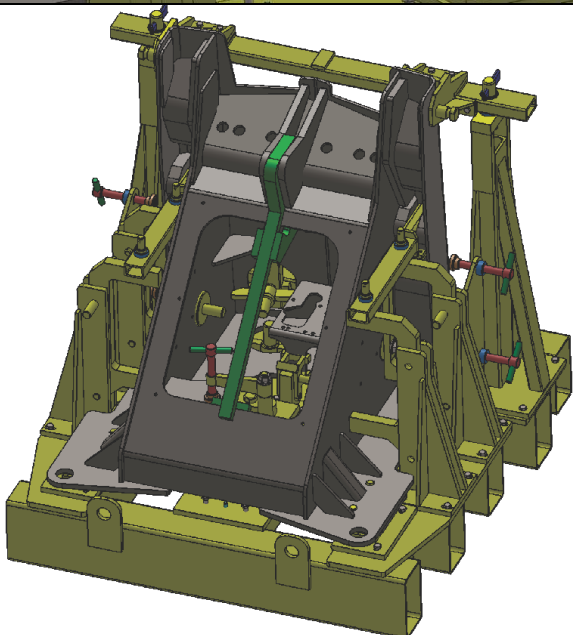
Табл. 1. Технология на сглобяване на Рама предна.

№	Операция	Рама предна
1.	<p><b>Операция I</b></p> <p>Базиране и фиксиране на Плоча основна комплект (1572523) върху приспособлението. Центрова се с шифтове и се фиксира със стойки.</p>	
2.	<p><b>Операция II</b></p> <p>Базиране и фиксиране на Страница лява комплект (1572519), Страница дясна комплект (1572520) и Страница задна (1572521) със стойки.</p>	

<p>3.</p>	<p><b>Операция III</b>          Базиране и фиксиране на Плоча комплект (1572522) и Детайл огънат IV (1572480) със стойка фиксираща и ограничител.</p>	
<p>4.</p>	<p><b>Операция IV</b>          Базиране и фиксиране на Детайл огънат комплект (1572524), Ухо (1572457 - 2 бр.) със стойка фиксираща и страниците на рамата.</p>	
<p>5.</p>	<p><b>Операция V</b>          Базиране на Детайл огънат III (1572467) върху опора.</p>	
<p>6.</p>	<p><b>Операция VI</b>          Базиране на Конзола (1572478) с ограничител и Страница задна.</p>	



<p>7.</p>	<p><b>Операция VII</b>          Базиране и фиксиране на Ребро III (1572473 - 2 бр.).</p>	
<p>8.</p>	<p><b>Операция VIII</b>          Базиране и прихващане на Ребро II (1572468 - 2 бр.) за усиление на рамата.</p>	
<p>9.</p>	<p><b>Операция IX</b>          Базиране и прихващане на Ребро IV (1572477 - 2 бр.) и Ребро I (1572449 - 4 бр.).</p>	
<p>10.</p>	<p><b>Операция X</b>          Базиране и прихващане на Планка I (1572465 - 2 бр.) и Детайл огънат I (1572460 - 2 бр.) за усиление на рамата.</p>	

<p>11.</p>	<p><b>Операция XI</b>                  Базиране и прихващане на Шина подсилваща лява (1572451) и Шина подсилваща дясна (1572462).</p>	
<p>12.</p>	<p><b>Операция XII</b>                  Базиране на капак (1572452) с шаблон. Предварително се демонтират двете централни стойки.</p>	

За представеното приспособление е разработена Инструкция за експлоатация, която дава на потребителя нужната информация за начина на използване, обслужване и консервация на приспособлението. Инструкцията включва и изискванията за безопасна и правилна експлоатация на приспособлението.

След като са прихванати всички детайли на рамата, тя се освобождава от приспособлението и следва цялостното ѝ заваряване съгласно изискванията на заваръчния чертеж. След заваряване, рамата 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 изпълняват действия за коригирането им. Извършва се също контрол на качеството на изпълнение на заваръчните шевове и ако има някакви отклонения и дефекти, те се отстраняват.

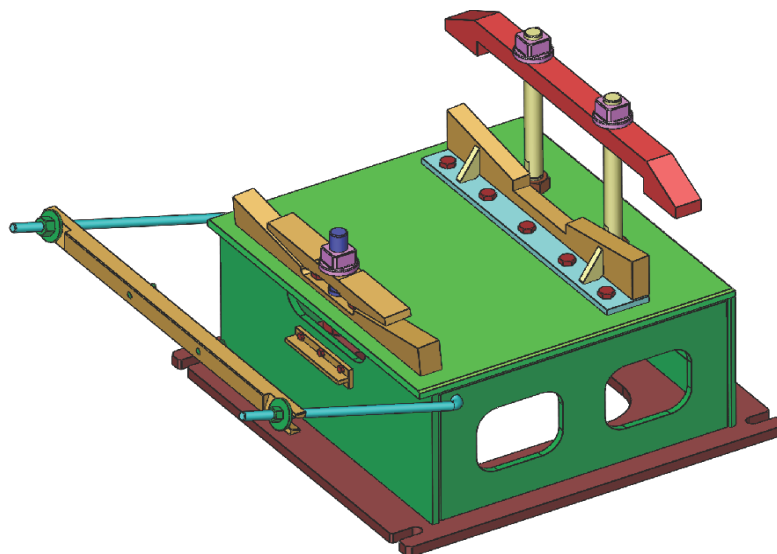
След като рамата е заварена, може да се пристъпи към следващия етап от технологията за изработването ѝ – механичното ѝ обработване. За установяването на рамата на машината с ЦПУ също се използва специализирано приспособление.

#### **4. Технология и приспособление за механично обработване на Рама предна.**

След като е уточнена технологията за сглобяване, се разработва технологията за механично обработване на рамата, включваща и конструиране на необходимата екипировка.

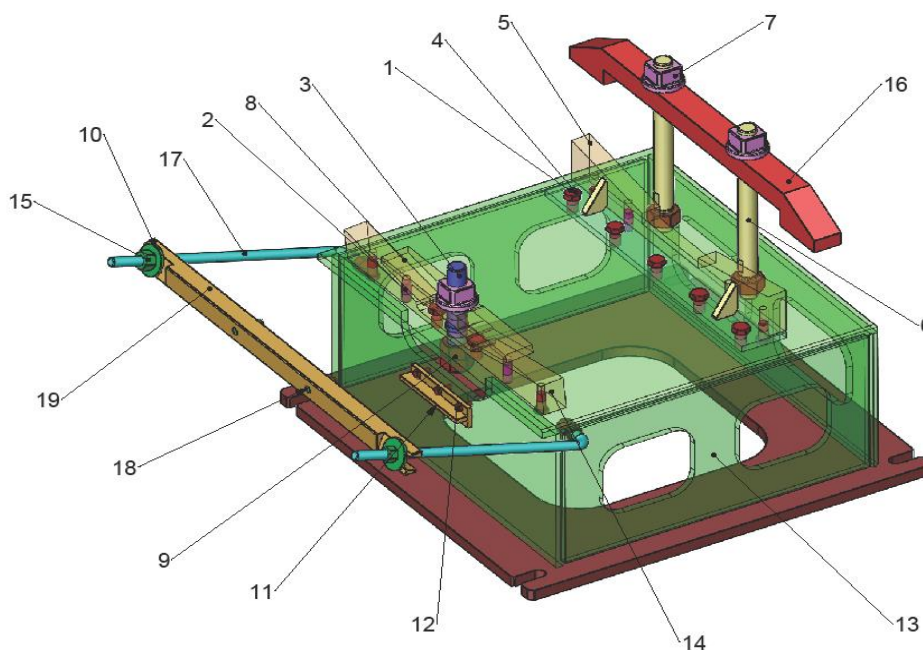
За да се намали времето за базиране, закрепване и центроване на рамата върху машината, се използва специализирано приспособление. За реализиране на технологията за механично обработване на рамата, е разработено приспособление за установяването ѝ на машинен център.

Приспособлението е разработено, чрез CAD системата SolidWorks и на фиг. 6 е показан общият му вид. То осигурява позициониране на рамата в определено положение и с точно определена ориентация [8, 9].



Фиг. 6. Общ вид на приспособлението за механично обработване на Рама предна.

На фиг. 7 е показано приспособлението с всичките му съставни елементи.



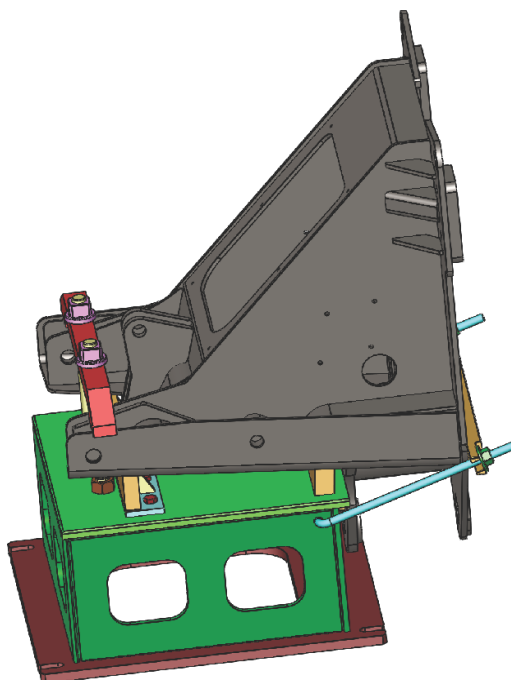
Фиг. 7. Съставни елементи на приспособлението.

- 1 - Болт M16x40, 2 - Щифт 16x50, 3 - Шпилка предна, 4 - Болт M20x40, 5 - Призма задна,  
 6 - Шпилка задна, 7 - Гайка M36-1, 8 - Претискач преден, 9 - Гайка M36, 10 - Шайба M20,  
 11 - Упор член, 12 - Болт M10x25, 13 - Рама, 14 - Призма предна, 15 - Гайка M20,  
 16 - Претискач заден, 17 - Рамо, 18 - Щифт 16x60, 19 - Кобилица.

На приспособлението се извършва механично обработване на функционалните повърхнини. С механичното обработване се постига точност на размерите и на взаимното разположение на функционалните повърхнини на приспособлението.

Чрез използване на приспособлението се гарантира неизменност на положението на обработваните повърхнини на рамата спрямо базовите.

На фиг. 8 е показана рамата, установена на приспособлението за механично обработване.



Фиг. 8. Рама предна установена върху приспособлението за механично обработване.

Разработена е технология за механично обработване на Рама предна, като обработката се извършва на една установка. Ще бъдат описани операциите и повърхнините, които се обработват, използваните металорежещи инструменти и режимите на рязане [8, 9].

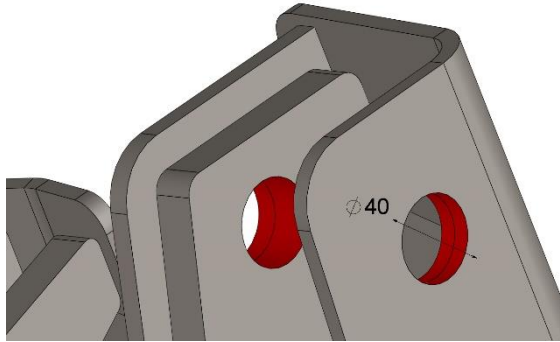
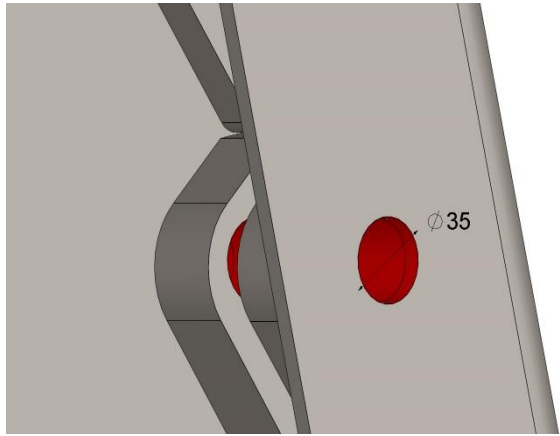
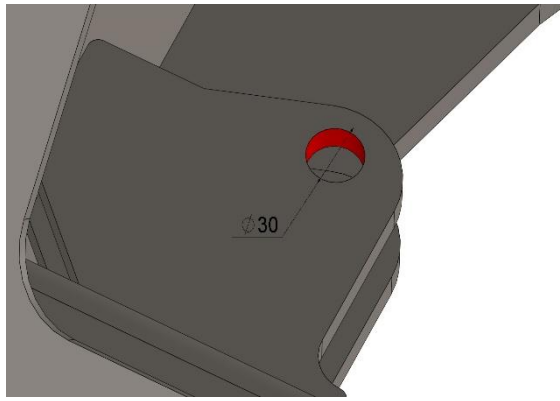
Изделието се установява в специализирано приспособление, предварително установено и центровано на машината.

В табл. 2 е показана технологията за механично обработване на рамата. Установяването е по черни технологични бази. Закрепването е чрез фиксиращите елементи, показани на фиг.8.

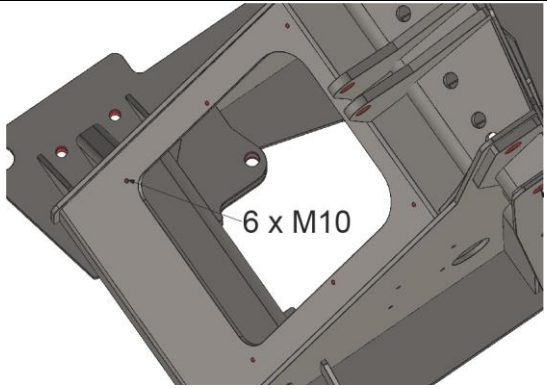
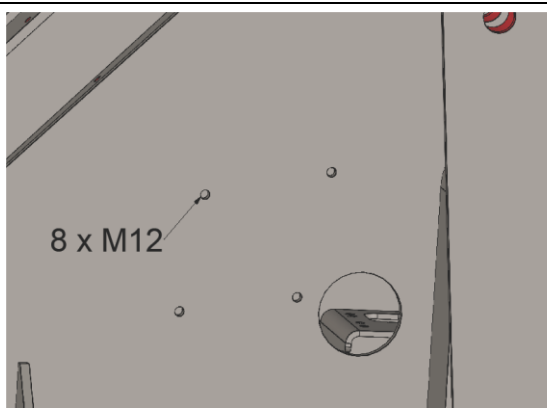
Отворите, които се разстъргват предварително се свредловат, като се оставя диаметрална прибавка 4÷6 mm за следващо обработване.

Табл. 2. Технология за механично обработване на Рама предна.

№	Операция, режещ инструмент, режим на рязане	Рама предна
1.	<p><b>Разстъргване на отворите <math>\text{Ø}35^{+0,020}</math> mm</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Разстъргване грубо до размер <math>\text{Ø}34</math> mm;</li> </ul> <p><i>Инструмент:</i> Разстъргваща глава с две режещи пластини</p> <p><i>Режим на рязане:</i>                      Обороти <math>800 \text{ min}^{-1}</math>                      Подаване <math>0,30 \text{ mm/rev}</math> (<math>240 \text{ mm/min}</math>)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Разстъргване чисто до размер <math>\text{Ø}35^{+0,020}</math> mm.</li> </ul> <p><i>Инструмент:</i> Разстъргваща глава с една режеща пластина</p> <p><i>Режим на рязане:</i>                      Обороти <math>1000 \text{ min}^{-1}</math>                      Подаване <math>0,12 \text{ mm/rev}</math> (<math>120 \text{ mm/min}</math>)</p>	

<p>2.</p>	<p><b>Разстъргване на отворите <math>\text{Ø}40^{+0,025} \text{ mm}</math></b>          - Разстъргване грубо до размер <math>\text{Ø}39 \text{ mm}</math>;  <i>Инструмент:</i> Разстъргваща глава с две режещи пластини  <i>Режим на рязане:</i>          Обороти <math>800 \text{ min}^{-1}</math>          Подаване <math>0,30 \text{ mm/rev}</math> (<math>240 \text{ mm/min}</math>)          - Разстъргване чисто до размер <math>\text{Ø}40^{+0,025} \text{ mm}</math>.  <i>Инструмент:</i> Разстъргваща глава с една режеща пластина  <i>Режим на рязане:</i>          Обороти <math>1000 \text{ min}^{-1}</math>          Подаване <math>0,12 \text{ mm/rev}</math> (<math>120 \text{ mm/min}</math>)</p>	
<p>3.</p>	<p><b>Разстъргване на отворите <math>\text{Ø}35^{+0,020} \text{ mm}</math></b>          - Разстъргване грубо до размер <math>\text{Ø}34 \text{ mm}</math>;  <i>Инструмент:</i> Разстъргваща глава с две режещи пластини  <i>Режим на рязане:</i>          Обороти <math>800 \text{ min}^{-1}</math>          Подаване <math>0,30 \text{ mm/rev}</math> (<math>240 \text{ mm/min}</math>)          - Разстъргване чисто до размер <math>\text{Ø}35^{+0,020} \text{ mm}</math>.  <i>Инструмент:</i> Разстъргваща глава с една режеща пластина  <i>Режим на рязане:</i>          Обороти <math>1000 \text{ min}^{-1}</math>          Подаване <math>0,12 \text{ mm/rev}</math> (<math>120 \text{ mm/min}</math>)</p>	
<p>4.</p>	<p><b>Разстъргване на отворите <math>\text{Ø}30^{+0,020} \text{ mm}</math></b>          - Разстъргване грубо до размер <math>\text{Ø}29 \text{ mm}</math>;  <i>Инструмент:</i> Разстъргваща глава с две режещи пластини  <i>Режим на рязане:</i>          Обороти <math>950 \text{ min}^{-1}</math>          Подаване <math>0,24 \text{ mm/rev}</math> (<math>228 \text{ mm/min}</math>)          - Разстъргване чисто до размер <math>\text{Ø}30^{+0,020} \text{ mm}</math>.  <i>Инструмент:</i> Разстъргваща глава с една режеща пластина  <i>Режим на рязане:</i>          Обороти <math>1200 \text{ min}^{-1}</math>          Подаване <math>0,10 \text{ mm/rev}</math> (<math>120 \text{ mm/min}</math>)</p>	



<p>5.</p>	<p><b>Нарязване на резби 6xM10</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пробиване на отвор Ø8,5 mm с твърдосплавно свредло HSS;</li> <li>- нарязване на резби M10 с винтов метчик.</li> </ul>	
<p>6.</p>	<p><b>Нарязване на резби 8xM12 от двете страни</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пробиване на отвор Ø10,2 mm с твърдосплавно свредло HSS;</li> <li>- нарязване на резби M12 с винтов метчик.</li> </ul>	

След приключване на механичното обработване на Рама предна, се извършва контрол на обработените повърхнини съгласно документацията на изделието.

### 5. Контрол на Рама предна след механичното обработване.

След като е уточнена технологията за сглобяване и за механичното обработване, се разработва методика за контрол на рамата.

След приключване на механичното обработване на рамата се извършва цялостен контрол на обработените повърхнини и на изделието като цяло съгласно документацията на му. Контролът се извършва от контрольор по качеството (ОТКК), като за целта се попълва контролна карта.

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 механично обработване и окончателен контрол.

При констатиране на отклонения на контролираните размери извън допусκα, се извършват коригиращи действия за отстраняването им, съгласно разработената ремонтна технология.

### 6. Особенности при моделирането на тримерните модели в CAD системата SolidWorks.

Всички тримерни модели на детайлите на Рама предна и на приспособленията са създадени чрез командите и функциите за твърдоделно проектиране на модула Features. Някои от тримерните модели на детайлите на рамата 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.

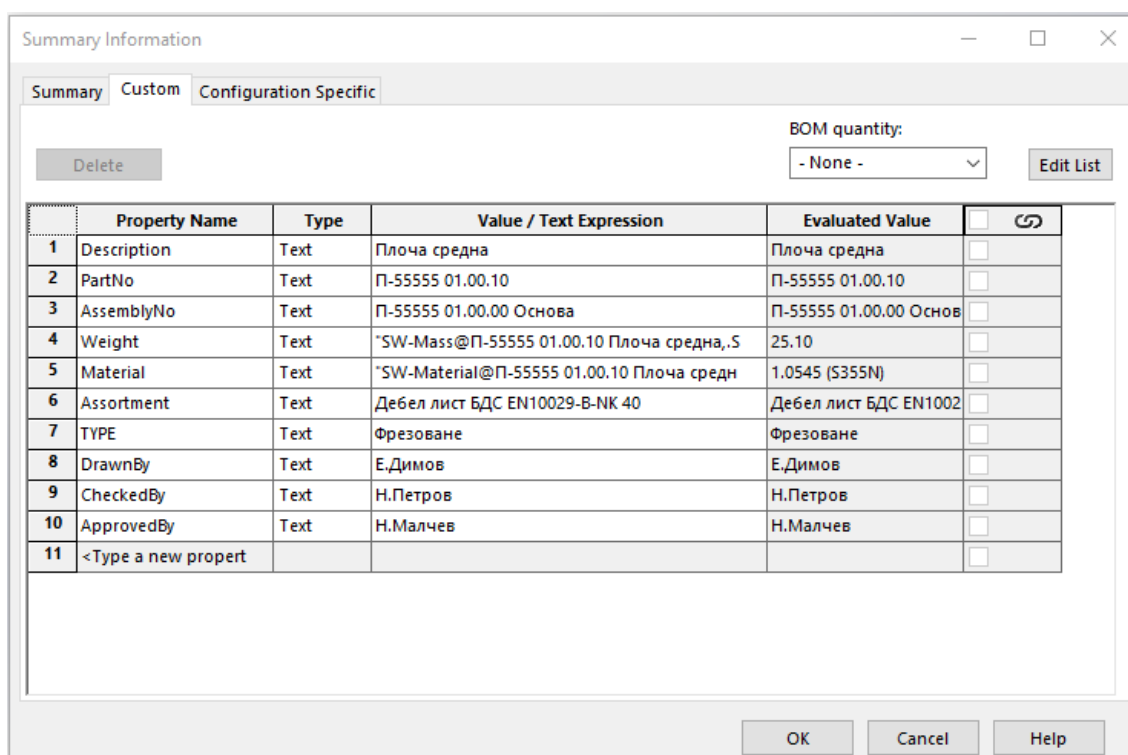
При създаването на тримерните модели на детайлите и на сглобените единици са използвани шаблонни файлове за Part и Assembly документите. За всеки един тримерен модел на детайл или сглобена единица, от меню File Properties, в прозореца Summary Information, в

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, 13, 14].

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 [4, 5, 13, 14].

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).

Попълнения шаблон за детайл „Плоча средна“ е показан на фиг. 9.



Фиг. 9. Потребителски атрибути, които се задават в тримерния модел на детайл „Плоча средна“.

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 детайлните чертежи. На фиг. 10 е показана таблицата на чертежа на детайл „Плоча средна“.

				Мащаб 1:1	Маса 25.10 кг		Дебел лист БДС EN10029-B-NK 16 Стомана БДС EN 10025-2 S355J2
				Лист № вс.л. 1   1	Плоча средна		
Озн.	№ на док.	Подпис	Дата			П-55555 01.00.10	
Разраб.	Е. Димов		15.3.2023 г.				
Провер.	Н. Петров		15.3.2023 г.				
Утвърд.	Н. Малчев		15.3.2023 г.				

Фиг. 10. Таблица на чертежа, автоматично попълнена на база информацията, която се съдържа в потребителските атрибути на тримерния модел на детайл „Плоча средна“.

При създаването на тримерните модели на сглобени единици са използвани шаблонни файлове за Assembly документите, които съдържат следните потребителски 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).

Попълнения шаблон на сглобена единица „Приспособление за сглобяване на Рама предна“ е показан на фиг. 11.

Property Name	Type	Value / Text Expression	Evaluated Value
1 Description	Text	Приспособление за сглобяване	Приспособление за сгл
2 PartNo	Text	П-55555 00.00.00	П-55555 00.00.00
3 AssemblyNo	Text	Сглобена единица	Сглобена единица
4 Weight	Text	*SW-Mass@П-55555 00.00.00 Приспособлени	766.38
5 Material	Text	*SW-Material@П-55555 00.00.00 Приспособле	Material <not specified
6 TYPE	Text	Сглобяваяне	Сглобяваяне
7 DrawnBy	Text	Е. Димов	Е. Димов
8 CheckedBy	Text	Н. Петров	Н. Петров
9 ApprovedBy	Text	Н. Малчев	Н. Малчев
10 <Type a new propert			

Фиг. 11. Потребителски атрибути, които се задават в тримерния модел на сглобената единица на „Приспособление за сглобяване на Рама предна“

Информацията от потребителските атрибути е необходима при разработването на конструктивната документация, тъй като излиза автоматично в таблиците на чертежите на сглобените единици. На фиг. 12 е показана таблицата на чертежа на приспособлението.

Друг важен момент при създаването на чертежа на сглобената единица в случая на приспособлението за сглобяване на рамата, е създаването на спецификацията със съставните ѝ 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. 9.



				Мащаб 1:1	Маса 769 кг.		
				Лист № вс.л. 1   1	Приспособление за сглобяване на рама предна		
Озн.	№ на док.	Подпис	Дата			П-55555 00.00.00	
Разраб.	Е. Димов		22.2.2023г.				
Провер.	Н. Петров		22.2.2023г.				
УТВ врд	Н. Малчев		22.2.2023г.				

Фиг. 12. Таблица на чертежа, автоматично попълнена на база информацията, която се съдържа в потребителските атрибути на тримерния модел на сглобената единица „Приспособление за сглобяване на Рама предна“.

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.

### ИЗВОДИ

В резултат на направеното може да се обобщи:

1. Разработена е технология и приспособление за сглобяване на Рама предна.
2. Приспособлението за сглобяване осигурява точно позициониране на детайлите на рамата. При работа с него се постига висока производителност и не е сложно за манипулация, с цел да се избегнат всякакви грешки от субективен характер.
3. Разработена е инструкция за работа с приспособлението за сглобяване на рамата.
4. Разработена е технология и приспособление за механично обработване на Рама предна.
5. Чрез използване на приспособлението за механично обработване се намалява времето за базиране, закрепване и центроване на рамата върху машината.
6. Направена е пълна конструктивна документация на разработените приспособления.
7. Процеса на създаване на конструктивната документация е автоматизиран чрез използването на шаблонни файлове за Part, Assembly и Drawing документите.
8. Така създадената база данни може да се използва при решаване на сходни проблеми при подобни изделия.

### REFERENCES

1. Angelov, P. CAD systems. Ruse, University of Ruse, 2015.  
(*Оригинално заглавие:* Ангелов П. CAD системи. Русе, Печатна база на Русенски университет „А. Кънчев“, 2015.)
2. 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.)
3. Ангелов П., Н. Станков. <http://e-learning.uni-ruse.bg> – Web базирани материали за обучение по дисциплината „CAD системи“. Русенски университет „А. Кънчев“.
4. 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.)
5. 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“.
6. SolidWorks – modeling and drawings. TehnoLogika EAD, Sofia, 2019.  
(*Оригинално заглавие:* SolidWorks – моделиране и чертежи. ТехноЛогика ЕАД, София, 2019.)

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

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

8. Коновски Р., Н. Станков. **Разработване на технология и приспособления за механично обработване на ножове за плътни кофи (Development of a technology and fixtures for machining of parts for high volume clamshell buckets)**. Сборник доклади на 61-та студентска научна конференция – СНС‘22, Том 61, серия 2.2. Механика и машиностроителни технологии, стр. 10-23, Русе, 2022, ISSN 1311-3321.

9. Радковски К., Н. Станков. **Разработване на технология и приспособления за сглобяване и механична обработка на кранова колона (Development of technology and fixtures for assembling and mechining of a crane column)**. Сборник доклади на 60-та студентска научна конференция – СНС‘21, Том 60, серия 2.2. Механика и машиностроителни технологии, стр. 23-38, Русе, 2021, ISSN 1311-3321.

10. Али И., Н. Станков. **Разработване на технология и приспособление за сглобяване на фланци за кранови колони (Development of technology and fixtures for assembling flanges for crane columns)**. Сборник доклади на 60-та студентска научна конференция – СНС‘21, Том 60, серия 2.2. Механика и машиностроителни технологии, стр. 39-52, Русе, 2021, ISSN 1311-3321.

11. 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, стр. 14-17, Варна, 2016, 1310-3946.

12. 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 – СНС‘16, стр. 90-101, Русе, 2016, ISSN 1311-3321.

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

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

15. 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 – СНС‘15, стр. 31-37, Русе, 2015, ISSN 1311-3321.

16. 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 – СНС‘13, стр. 77-87, Русе, 2013, ISSN 1311-3321.

17. 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 – СНС‘13, стр. 88-93, Русе, 2013, ISSN 1311-3321.

18. [www.sparkygroup.com](http://www.sparkygroup.com). 2023.

19. [www.weycor.de](http://www.weycor.de). 2023.

20. [www.solidworks.com](http://www.solidworks.com). 3D Design Software. 2023.

TUE-1.417-SSS-MEMBT-04

## DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED MODULE FOR THREAD CUTTING OF PIPE FITTINGS<sup>4</sup>

### **Katrin Vladimirova - Student**

Department of Machine Tools & Manufacturing,  
University of Ruse "Angel Kanchev"  
Phone: +359 877 301 314  
E-mail: katherine.emilova@abv.bg

### **Assoc. Prof. Ivanka Peeva, PhD**

Department of Machine Tools & Manufacturing,  
University of Ruse "Angel Kanchev"  
Phone: +359 82 888 712  
E-mail: ipeeva@uni-ruse.bg

**Abstract:** *The paper addresses issues related to the automated threading process of pipe fittings. In the conditions of serial production of fittings and requirements for high productivity, it is expedient to structure an automated technological module consisting of a specialized threading machine, a manipulator and the necessary peripheral devices. Based on an analysis of the existing situation, an option for the organization of work in the threading section is proposed. The necessary auxiliary equipment is selected and the structural scheme is presented. An analytical model of system operation based on the theory of mass service is proposed, allowing to predict the performance and load of the equipment in the production of various fittings and certain operating conditions.*

**Keywords:** *automated module, thread cutting, analytical model of production system, productivity, equipment load.*

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Характерна особеност на съвременното материално производство е серийният характер на произвежданите изделия. Това налага използване на гъвкаво автоматизирано оборудване, позволяващо бързо пренастройване при минимални разходи на време и средства, осигуряващо необходимо качество на готовата продукция (Kostadinov, Ch., 2018, Koleva, S., 2020, Mladenov, Y., Dimitrov, D., Karachorova, V., 2016, Todorov, T., Chakar, D., 2018). Изработването на различни видове тръбни фитинги е типичен пример за многономенклатурно машиностроително производство. Нарязването на резби е една от основните операции, за реализиране на която е подходящо използване на автоматизирани технологични модули (АТМ), състоящи се от основни технологични машини, манипулационни единици и необходими периферни устройства.

### **ИЗЛОЖЕНИЕ**

„Берг Монтана Фитинги“ ЕАД е водещ производител на фитинги и отливки от ковък и сив чугун. Производствената листа на фирмата включва над 400 размера черни и цинковани фитинги, а основната част от производството е за износ и е познато в редица европейски страни, като Германия, Италия, Франция и др. Във фирмата се произвеждат фитинги (фиг.1) с присъединителни размери от 1/8“ до 2 1/2“. Механичното обработване на изделията включва нарязване на резби в съответствие с ISO 7/1 за цилиндрични вътрешни резби (Rp) и конусни външни резби (R). Резбонарязването се извършва на различни стругове и полуавтоматични винтонарезни машини WARKA EBE-2MP (Полша).

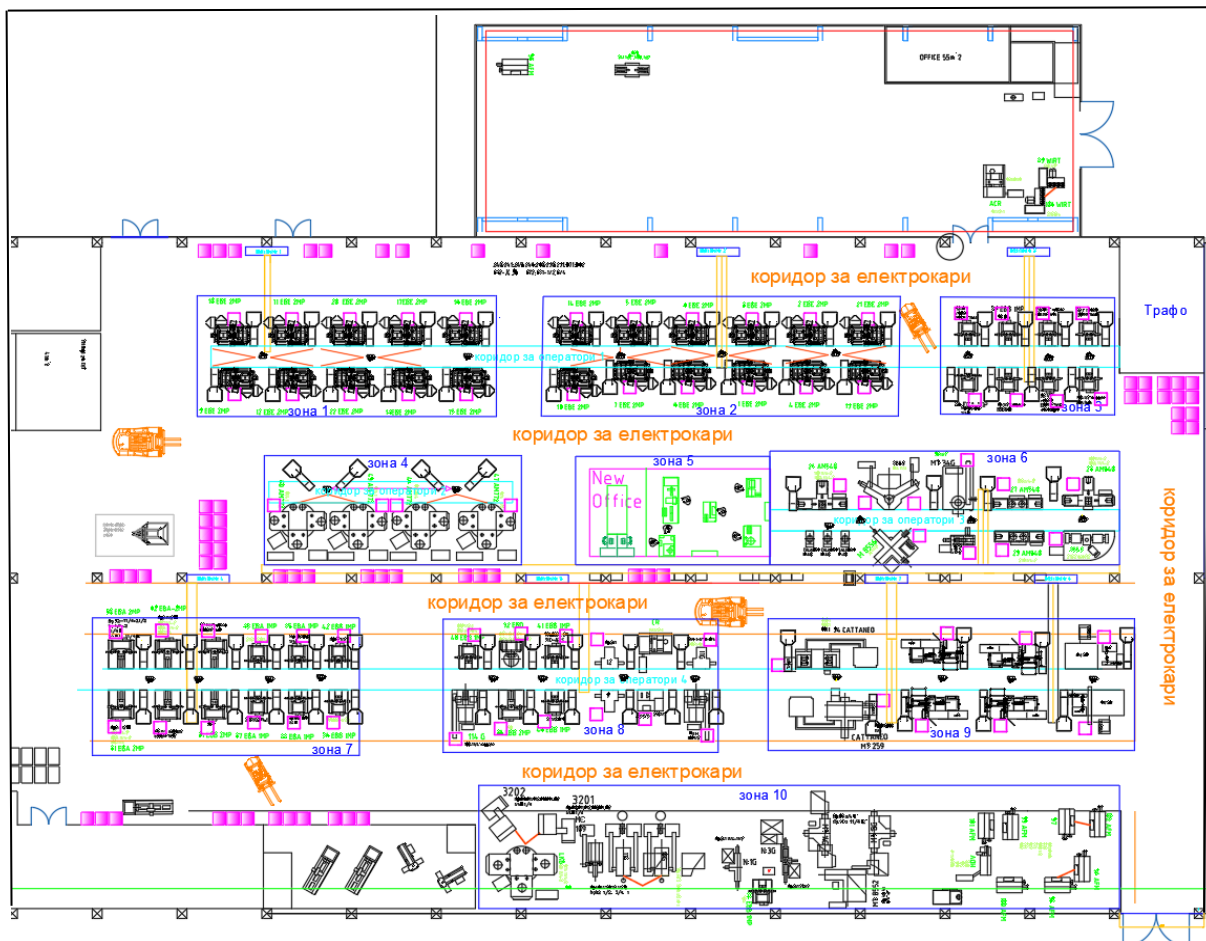
Предвид многономенклатурното производство, различните заявки от клиенти, необходимостта от поддържане на постоянно складово наличие и с цел съкращаване на времето

<sup>4</sup> Докладът е представен на студентската научна сесия на 30.05.2023 г. в секция МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОИТЕЛНИ ТЕХНОЛОГИИ с оригинално заглавие на български език: РАЗРАБОТВАНЕ НА АВТОМАТИЗИРАН МОДУЛ ЗА РЕЗБОНАРЯЗВАНЕ НА ТРЪБНИ ФИТИНГИ.

за производство се налага реструктуриране на Механичен цех, осигуряващо по-малки времена за транспорт и обслужване на машините, както и по-висока производителност.

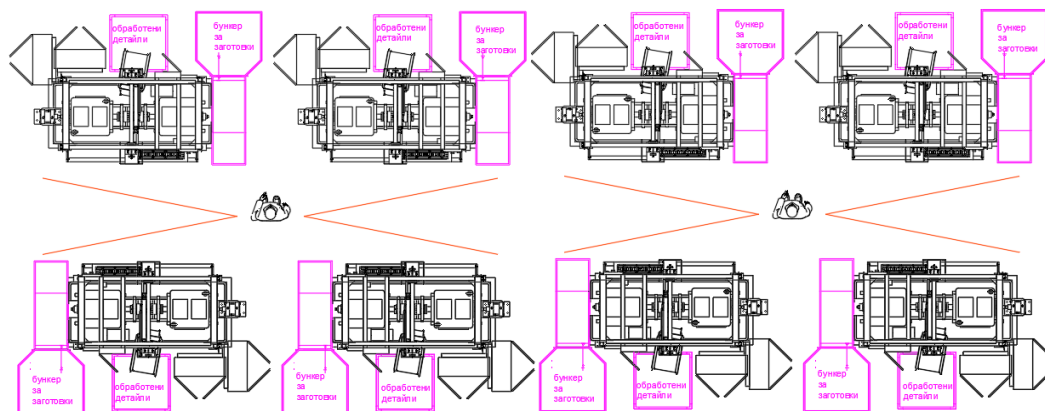


Фиг. 1 Видове произведени фитинги



Фиг. 2 Структура на Механичен цех

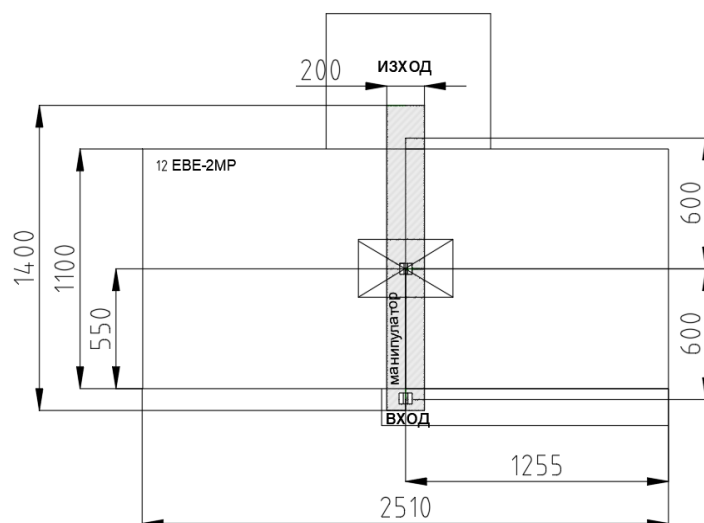
В резултат на реструктурирането (фиг.2) е получено близко разположение на машините, обособяване на коридори за оператори и коридори за електрокари, транспортиращи палети със заготовки, като към машините са предвидени приемни бункери с гравитационно извеждане на заготовките. С линейната подредба на група машини (фиг.3) отпада ограничението за работа на оператор с определени две или три машини. Ако за една машина няма продукция, операторът я пропуска и зарежда следваща. За реализиране на новата организация на работа е необходима замяна на съществуващите палети за заготовки с нови, позволяващи механизирано зареждане на хранящите бункери към машините от електрокар.



Фиг. 3 Участък с винтонарезни машини

### Структуриране на автоматизиран модул за винтонарязване

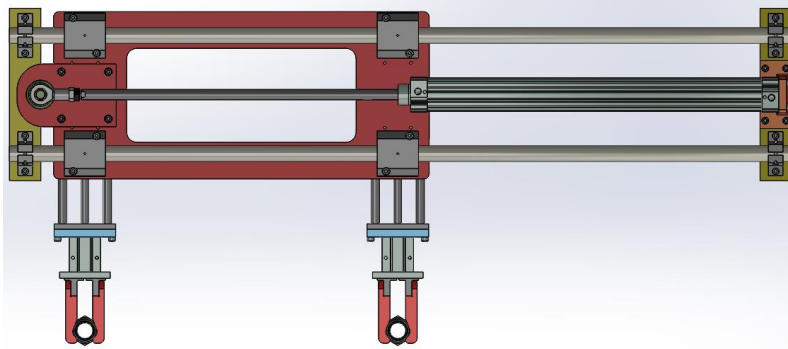
Полуавтоматичните специализирани двушпинделни машини WARKA EBE-2MP може да извършват винтонарезни операции на повечето произведени във фирмата детайли. С цел автоматизиране цикъла на работа на машината, намаляване на времето за спомагателни операции и увеличаване на производителността е подходящо структуриране на АТМ, състоящ се от една машина, обслужващ манипулатор и необходими периферни устройства (фиг.4). За входно устройство е избран линеен вибротранспортър TAD VL-70, запълван по цялата си дължина със заготовки от оператор на определен период от време, постъпващи от самотечен бункер, разположен непосредствено до машината.



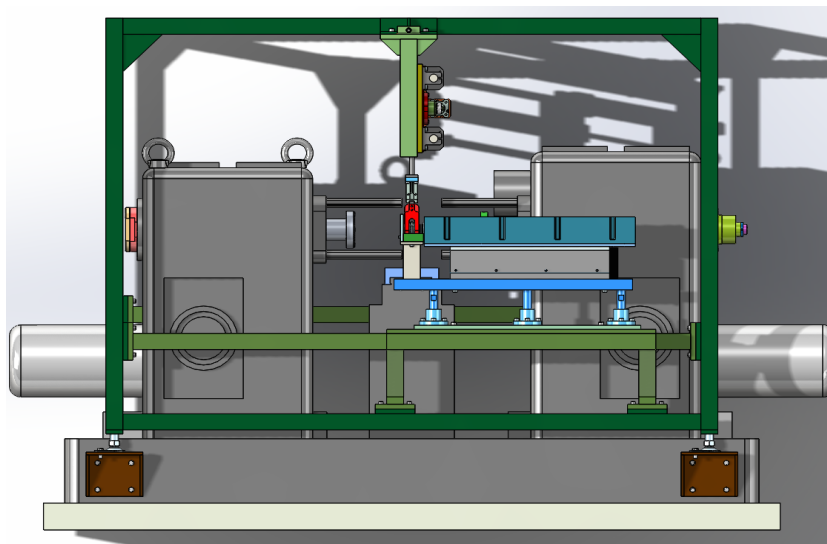
Фиг. 4. Компоновъчна схема на АТМ

За обслужване на машината е избран двурък пневматичен манипулатор (портален тип) (фиг.5) с две степени на подвижност. Неговите характеристики са: вертикален ход 150 мм, хоризонтален ход 600 мм и точност при позициониране 0,2 мм. Манипулаторът е окачен на метална рамка, която е монтирана към машината 12 EBE-2MP. Двата хващача извършват еднакви движения и работят паралелно. Единият е центриран спрямо осовата линия на вибротранспортъра, а другият спрямо централната ос на работната зона на машината. В началото на цикъла на обслужване двете ръце извършват вертикален ход надолу и едновременно захващат заготовка и обработен детайл. Следва повдигане и хоризонтално преместване, с което се извършва позициониране спрямо работната зона на машината за хващача с новата заготовка и спрямо изходящия палет за готовия детайл. След вертикална

транслация надолу, отваряне на двата хващача и следващо повдигане в горно положение, започва обработване на поставената заготовка и връщане на манипулатора в изходно положение.



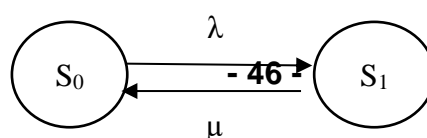
Фиг. 5 Манипулатор



Фиг. 6 Структуриране на АТМ за винтонарязване

### Аналитичен модел на АТМ за винтонарязване

Обработващата машина WARKA EBE-2MP може да извършва винтонарязване на различни видове и типоразмери фитинги при необходимо пренастройване. Предвид широката номенклатура, серийния характер на произвежданите изделия и необходимостта от кратки срокове за изпълнение на поръчките е целесъобразно аналитичното моделиране работата на модула, позволяващо прогнозиране стойностите на негови основни хакаактеристики, като производителност и натоварване на оборудването, които може да се използват като критерии за ефективност на системата при определени условия на работа (Kostadinov, Ch., 2018, Kostadinov, Ch., Peeva, I., 2017). За целта е избран модел на АТМ, разглеждан като система за масово обслужване, състоящ се от една машина, манипулатор и периферни устройства. Графичното представяне на модела е показано на фиг.7. Приети са следните възможни състояния на системата:  $S_0$ - машината работи, манипулаторът очаква заявка,  $S_1$ - машината чака обслужване, манипулаторът работи, като е изключена възможността за липса на заготовки на входа. Вероятностите на състоянията са  $P_i$ , а интензивностите на постъпване на заявки –  $\lambda$  и на обслужвания -  $\mu$ .





Фиг. 7 Граф на състоянията на АТМ

Работата на разглежданата техническа система се описва със система от уравнения:

$$\begin{aligned} P_0 \cdot \lambda &= \mu \cdot P_1; & P_1 &= \frac{\lambda}{\mu} \cdot P_0 \\ \lambda \cdot P_0 &= \mu \cdot P_1; & P_0 + \frac{\lambda}{\mu} \cdot P_0 &= 1 & P_0 &= \left(1 + \frac{\lambda}{\mu}\right)^{-1} \\ P_0 + P_1 &= 1 \end{aligned}$$

След решаване са получени:

$$\begin{aligned} P_0 &= \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{\mu}} \\ P_1 &= \frac{1}{\left(1 + \frac{\lambda}{\mu}\right)} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) \end{aligned}$$

След съставяне на циклограма и определяне времето за обслужване 0,112 мин, при време за работа на машината 0,23 мин („Детайл № 280 - нипел 1 ½“) е получена относителна интензивност  $\rho$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{t_{обсл}}{t_p} = \frac{0,112}{0,23} = 0,49 \text{ и стойности за вероятностите } P_0 = 0,67 \text{ и } P_1 = 0,33.$$

Това определя натоварване на машината  $H_M = P_0 = 0,67 = 67\%$ , натоварване на манипулатора  $P_1 = 0,33 = 33\%$  и прогнозна производителност на АТМ:

$$P_{АТМ} = \lambda \cdot H_M = 4,35 \cdot 0,67 = 2,92 \text{ бр/мин} = 175,2 \text{ бр/час.}$$



Фиг. 7 АТМ за винтонарязване

При анализ на съществуващото положение за обработване на „Детайл № 280-нипел 1 ½“ и ръчно изпълнение на спомагателните операции е определено време за обслужване  $t_{обс} = 8,82 \text{ с} = 0,147 \text{ мин}$ , време за един цикъл  $T = 22,62 \text{ с} = 0,38 \text{ мин}$ , а установената средна производителност на машината е  $P = 159 \text{ бр/час}$ . Тази стойност се потвърждава при аналитично моделиране с предложения модел, което определя неговата достоверност. В резултат автоматизиране работния цикъл на винтонарезната машина при производството на този детайл се постига увеличение на производителността с 10%. Аналитичният модел може да се допълни и развие, с цел отчитане работата и обема на входното устройство, възможността за работа на един

оператор в зона с няколко модула и др., което е важно за ефективното използване на разработения АТМ (фиг. 7) в реални производствени условия.

### ИЗВОДИ

Преструктурирането на участъка за винтонарязване от Механичен цех на фирма „Берг Монтана Фитинги“ ЕАД и включването на разработения АТМ позволява ефективно използване на производствената площ, намаляване времето за транспортиране на заготовки към машините и се подпомага тяхното обслужването. Представен е аналитичен модел на разработения винтонарезен модул, позволяващ прогнозиране производителността и натоварването на използваното оборудване при конкретни производствени условия, което може да се използва при анализ и оптимизиране работата на производствения участък.

### REFERENCES

Kostadinov, Ch. (2018). Modeling robotic manufacturing systems. University of Ruse, 234 p, ISBN 978-619-188-193-2 (*Оригинално заглавие*: Костадинов, Ч. (2018). Моделиране на роботизирани производствени системи. РУ „А. Къмчев“, Русе, 234 с., ISBN 978-619-188-193-2

Kostadinov, Ch., Peeva, I. (2017). Adapted method for RTM with parallel working machines. Proceedings of University of Ruse, 2017, vol. 56, book 2, 99-103, ISSN 2603-4123.

Koleva, S. (2020). Current problems and trends relating to ensuring the accuracy on turning. University of Ruse, Proceedings, Mechanical Engineering and Machine-Building Technologies, Ruse, 2020, 43-48, ISSN 2603-4123.

Mladenov, Y., Dimitrov, D., Karachorova, V. (2016). Strategy of product. International Journal - Institute of Knowledge Management, № 13.1, 215-220, ISSN 1857-92.

Todorov, T., Chakar, D. (2018). Problems during highly productive complex quality assessment of objects. University of Ruse, Proceedings, Mechanical Engineering and MachineBuilding Technologies, Ruse, 2018, 51-54, ISSN 2603-4123.



TUE-1.417-SSS-MEMBT-05

---

## A NEW OPPORTUNITY OF PREFORM DESIGN AT AXISYMMETRIC HOT CLOSED-DIE FORGING USING SIMPLE MOVING AVERAGE <sup>5</sup>

---

**Redzheb Karasyuleymanov, BEng.**

Department of Materials Science and Technology,  
“Angel Kanchev” University of Ruse  
Tel.: 0899398845  
E-mail: redji002808@gmail.com

**Assoc. Prof. Rossen Radev, PhD**

Department of Materials Science & Technology,  
“Angel Kanchev” University of Ruse, Bulgaria  
E-mail: rradev@uni-ruse.bg

### **Abstract:**

*This paper described an investigation of a new opportunity to preform design of axisymmetric forgings in hot closed-die forging by the simple moving average method, which is associated with design contour smoothing's technique. Results and analysis of the research were made, which show at what obtained values of the constraints used, the contours of the preforms for the upper and bottom parts of the given forging can be designed through a certain number of points. In the research, computer simulations were performed that show the temperature and stress distributions and also compare the results obtained in the work done and the force required to make the preform and final impressions of the given forging by simple moving average and the traditional method.*

**Keywords:** hot closed-die forging, preform design, simple moving average method

## **ВЪВЕДЕНИЕ**

В областта на обработването на материалите чрез пластична деформация определящите параметри са формата и скоростта на движение на деформиращите инструменти, температурата на заготовката, условията на контактното взаимодействие и др. Отговарящи параметри са възникващите напрежения, деформации, скорости на деформация, качество на повърхнините, геометрични размери на изделието и др. Приложението на компютърните симулации в наши дни намира все по-широко приложение. Те предлагат достатъчно преимущества, ценени в ситуация на конкурентна среда и стремеж за съкращаване на времето, необходимо за проектиране и производство на дадено изделие. Реализираното по подходящ начин симулиране може да доведе до едно по-добро разбиране и осмисляне на различните процеси на деформиране. Това е възможно поради гъвкавостта на метода и възможността за лесна и бърза промяна на геометрията на изследвания инструмент. В случаите, когато е вече налице опит в работата с дадена симулационна система, проблеми с прилагането ѝ могат да възникнат при промяна на обработваните материали, мажещите вещества, качеството на повърхнините на инструментите, термичното оборудване и др. В такива случаи също е необходимо да се направят предварителни тестове с цел уточняване на входните данни и максималното им приближаване до реалния вид. (Tomov et al., 2011)

## **ИЗЛОЖЕНИЕ**

### **Същност на пълзящата средна стойност**

Пълзящата средна стойност (Simple Moving Average) се състои в изчисляване на средни стойности на различни подгрупи (подмножества) от множество от стойности. Пълзящата

---

<sup>5</sup> Докладът е представен на студентската научна сесия на 30.05.2023 г. в секция МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОИТЕЛНИ ТЕХНОЛОГИИ с оригинално заглавие на български език: НОВ ПОДХОД ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА ПРЕД-ВАРИТЕЛНИ ПРЕХОДИ ПРИ ГОРЕЩО ОТВО-РЕНО ЩАМПОВАНЕ.

средна стойност се използва най-често за анализ на тенденции, което позволява краткосрочните колебания да бъдат изгладени и да се появят по-дългосрочни тенденции. От математическа гледна точка пълзящата средна стойност е пример за нискочестотен филтър и може да се използва при обработка на сигнали. По този начин пълзящата средна стойност изглажда данните. (Radev et al., 2023)

Пълзящата средна стойност се явява непретеглена средна стойност на  $k$  точки от данни, т.е. сумата от всички стойности, разделена на броя на стойностите. Тя се изразява чрез тази зависимост:

$$SMA_k = \frac{1}{k} \sum_{i=n-k+1}^n A_i \quad , \quad (1)$$

където:  $n$  - общия брой стойности  
 $k$  – брой стойности в подмножеството  
 $A_1, A_2, A_n$  - стойности на данните.

**Метод на пълзящата средна стойност**



Фиг. 1

Примерен метод на прилагане на пълзящата средна стойност

На фиг. 1 е показан един пример, който илюстрира прилагането на метода на пълзящата средна стойност. Изчисляването ѝ се осъществява по следния начин: първо се взимат първите три стойности 2, 5 и 2 и се изчислява средноаритметичната стойност, която се явява пълзящата средна стойност. След това се взимат 5, 2 и 2 и се изчислява втората пълзяща средна стойност. После се взимат 2, 2 и 7 и се изчислява третата пълзяща средна стойност. И след това се взимат 2, 7 и 6 и се изчислява четвъртата пълзяща средна стойност. След това се построява и самата графика, която показва точките на стойностите и пълзящата средна стойност, чиято цел е да се автоматизира процеса и да се получи по-добро заглаждане на контурите за проектирането на предварителните преходи при горещото отворено шамповане.

**Прилагане на ограниченията според зададените размери на изковката и изследване на предварителни преходи на горната и долната полуформа на изковката, проектирани чрез пълзяща средна стойност**

В настоящето изследване изковката е избрана да бъде зъбно колело.

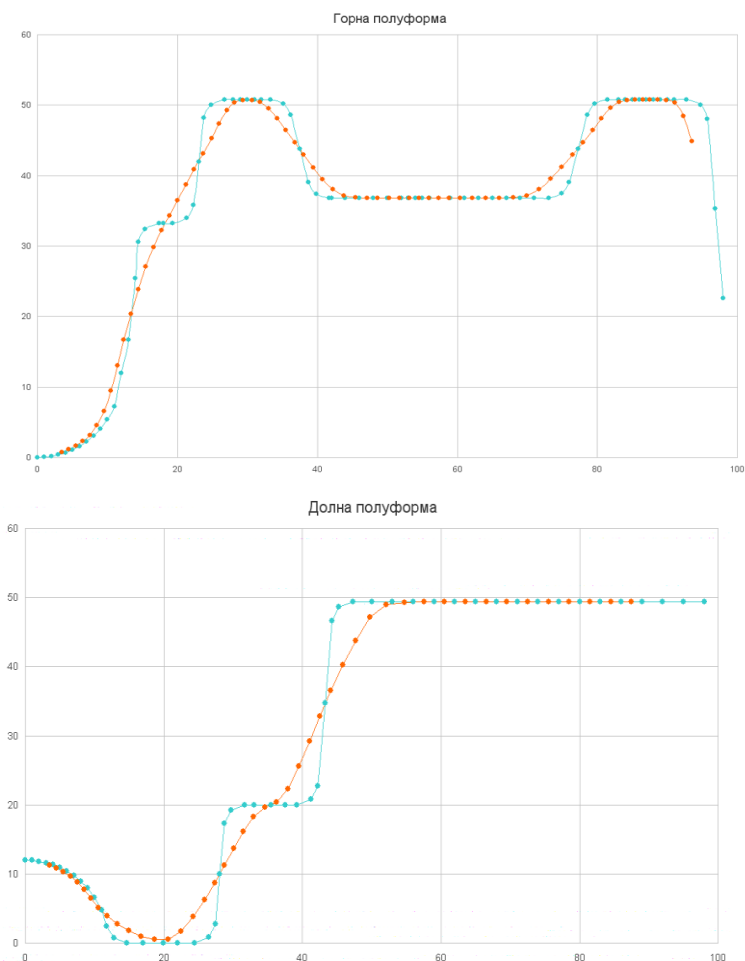
В настоящия доклад се изследват изковки с максимален диаметър  $D_F$  между 100 и 520 mm. Данните за получаване на загладения контур се определят от зависимостта  $f(r,z)$ :

$$\Delta r = \left( \frac{r_{min}}{2} \div r_{min} \right) \quad , \quad (2)$$

където:  $r_{min}$  - минимален радиус на закръгление по контура на изковката, mm.  
 В настоящето изследване  $D_F = 191 \text{ mm}$  за зъбното колело.

$$k = \left( \frac{D_F}{20} \div \frac{D_F}{30} \right) = \left( \frac{191}{20} \div \frac{191}{30} \right) = (9,6 \div 6,4) \quad , \quad (3)$$

където:  $D_F$  – максимален диаметър на изковката, mm.  
 В настоящето изследване, при получените стойности,  $k = 8$  за зъбното колело.

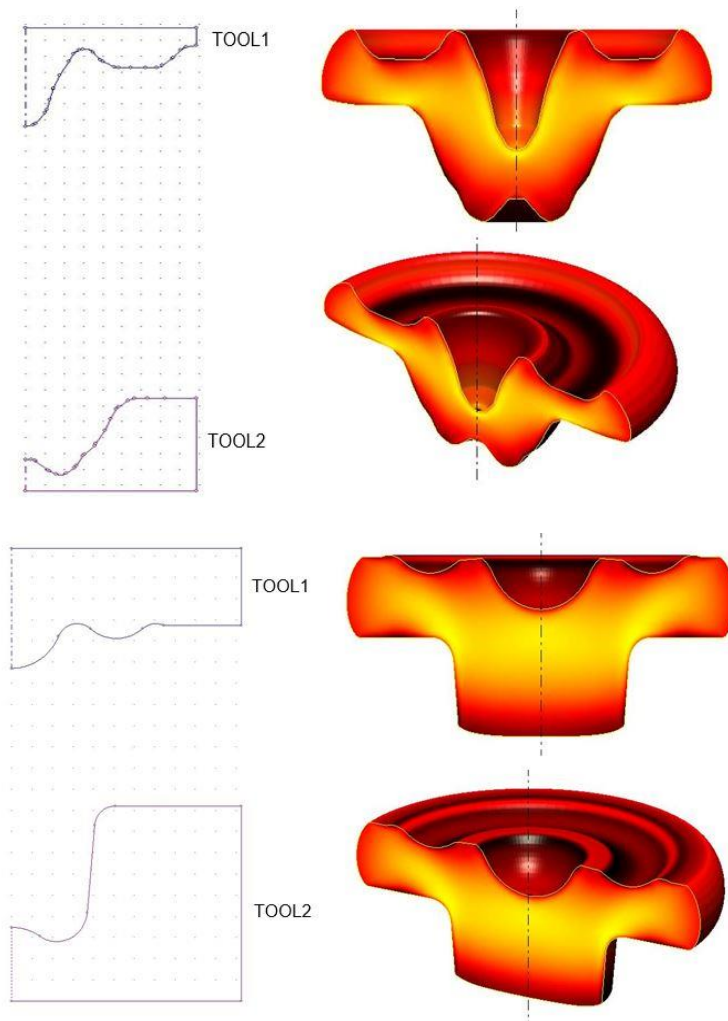


Фиг. 2 Получени предварителни преходи на горната и долната полуформа на зъбното колело чрез пълзяща средна стойност

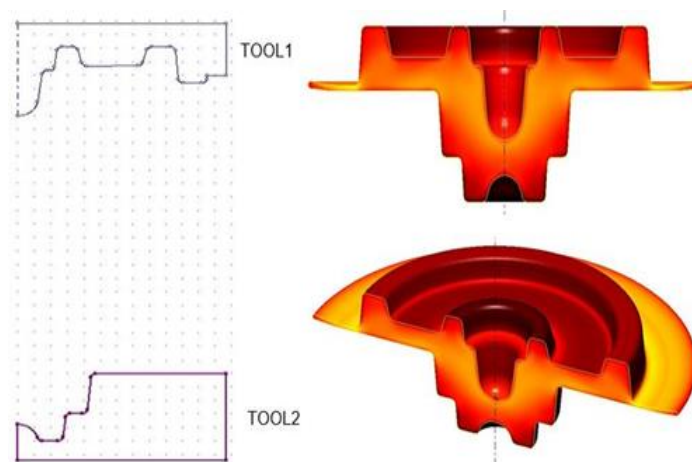
### Условия за осъществяване на симулацията на предварителния и окончателния преходи на зъбното колело

Първо се избира деформираща машина, в настоящето изследване е избрана да бъде механична преса с номинална сила от 80 MN. Околната температура е приета да бъде 20°C. Материалът на заготовката е нисковъглеродна стомана 20, с начална температура  $T_F = 1100^\circ\text{C}$  и температура на инструментите, която е приета да бъде  $T_D = 300^\circ\text{C}$ . Мазилното вещество е избрано да бъде графитно-водна емулсия, която представлява смес от графитен прах и вода и е най-често използвана в производствения процес.

**Изследване на осъществените симулации на предварителните преходи при разпределение на температурата**



Фиг. 3 Разпределение на температурата при предварителния преход на зъбното колело, извършен чрез пълзяща средна стойност и традиционен метод



Фиг. 4 Разпределение на температурата при окончателния преход на зъбното колело

Таблица 1. Максимални стойности на извършената работа и необходимата сила за осъществяването на щамповането на предварителния преход, проектиран и по двата метода

		Зъбно колело	
		Подвижна (пълзяща) средна стойност	Традиционен метод
Извършена работа [кЈ]	предварителен преход	81,8	59,5
	окончателен преход	48,7	66,4
Необходима сила [МN]	предварителен преход	3,01	1,92
	окончателен преход	15,3	20,45

В табл. 1 са показани резултати от извършената работа и необходимата сила за осъществяване на предварителния преход, проектиран и по двата метода при щамповането. Сравнявайки двата метода на проектиране на предварителния преход на зъбното колело, от дадената таблица се вижда, че при традиционния метод, в окончателния преход, извършената работа ще бъде по-голяма, което е предпоставка за по-бързо износване и дефектиране на инструментите в окончателната гравюра. В окончателния преход, разликата между двата метода при извършената работа е 27%, а при силите е 25%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Този метод работи и е подходящ за проектиране на предварителни преходи за горещо щамповане. Този начин осигурява равномерно запълване на матрицата и относително равномерно разпределение на напреженията и деформациите в изковката. Предложеният метод, използващ пълзяща средна стойност, позволява бързо и лесно формализиране на задачата за проектиране на предварителни преходи и компютърна автоматизация при горещо щамповане. Използването на метода може да доведе до намаляване на износването на матрицата и производствените разходи.

## REFERENCES

- Tomov, B., Radev, R., Yankov, E., 2011. Hot forging and hot die forging. Ruse (Томов, Б., Радев, Р., Янков, Е., 2011. Коване и щамповане на горещо. Русе)
- Radev, R., Gospodinov, D., Fredinandov, N., Piieva, M., Preform Design at Axisymmetric Hot Closed-Die Forging Using Simple Moving Average Smoothing Technique, (in print)

TUE-1.417-SSS-MEMBT-06

## STRUCTURE OF FRICTION STIR WELDED JOINTS OF AA5754 ALUMINUM ALLOY <sup>6</sup>

### Ludmila Velcheva – Student

Department of Materials Science and Technology,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
Tel.: +359 82 888307  
E-mail: s211315@stud.uni-ruse.bg

### Assistant Prof. Mariana Ilieva, PhD

Department of Materials Science and Technology,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
Tel.: +359 82 888307  
E-mail: mdilieva@uni-ruse.bg

**Abstract:** Macrostructural and microstructural analysis of friction stir welded joints of AA5754 aluminum alloy were performed. The influence of the type of tool and the welding speed on the formation of defects and the degree of penetration, and on the microstructural features in the different zones of the welded joints, was investigated. Tunnel defects and lack of penetration were observed after welding with a metric threaded cylindrical pin. As a result of dynamic recrystallization and plastic deformation, as well as the increased temperatures in the welding zone, microstructural changes occurred - the distribution of the precipitates and the shape and orientation of the crystal grains changed depending on the zone in which they were located.

**Keywords:** Friction stir welding, aluminium alloy AA5754, welding parameters, macrostructure, microstructure.

### 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). Той открива напълно нови насоки в заваръчната технология и позволява да се решат редица проблеми, характерни за методите на заваряване с разтопяване. Осъществява в твърдо състояние (без разтопяване), като завареното съединение е с високо качество, получено за по-кратко време с по-малко енергия и вредни за околната среда странични продукти (Cavaliere P, 2013). Използва основно за съединяване на материали със сравнително ниски температури на топене, и преди всичко на алуминий и алуминиеви сплави, но е възможно и използването му за полимери, разнородни цветни метали, стомани и други сплави и метали с висока температура на топене (Kumbhar N.T., G. K. Dey, K. Bhanumurthy, 2011).

### ИЗЛОЖЕНИЕ

#### Методика на експеримента

Материалът, използван в изследването, е алуминиева сплав EN AW-5754 H22 (EN AW-Al Mg3). Алуминиевите сплави от серия 5XXX, в които основен легиращ елемент е Mg, спадат към деформируемите сплави на алуминия. Твърдият разтвор на Mg в Al е известен като  $\alpha$ -фаза, или още (Al), от която при охлаждане се отделят вторични включения на химичното съединение  $Al_3Mg_2$ , означавано като  $\beta$ -фаза. Тя от своя страна има кристална решетка тип диамант [Baker H S. D, 1992]. При бавно охлаждане  $\beta$ -фазата се отделя както между зърната, така и по границите им, при което приграничните области от зърната обедняват на Mg.

<sup>6</sup> Докладът е представен на студентската научна сесия на 30.05.2023 г. в секция МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОИТЕЛНИ ТЕХНОЛОГИИ с оригинално заглавие на български език: СТРУКТУРА НА ЗАВАРЕНИ ЧРЕЗ ТРИЕНЕ С РАЗБЪРКВАНЕ СЪЕДИНЕНИЯ ОТ АЛУМИНИЕВА СПЛАВ AA5754.

Магнезият се разтваря в значителни количества в решетката на алуминия, при което твърдият разтвор се уякчава чрез легиране. Сплавите от серия 5, които съдържат под 6% Al, не се уякчават чрез термично обработване. В тези сплави се отделя вторична фаза, но тя няма уякчаващо действие, а напротив – отделянето ѝ води до обедняване на твърдия разтвор на магнезиеви атоми, при което якостта намалява [Baker H S. D, 1992]. Заваряваните листи от сплавта са с дебелина 4 mm. В таблица 1 е даден химичният състав на използваната сплав, който е бил определен посредством спектрален анализ.

Табл. 1 Химичен състав на сплав EN AW-5754 [Господинов Д., 2022]

Материал	Химичен състав, [wt%]							
	Si max.	Fe max.	Cu max.	Mn max.	Mg	Zn max.	Ti max.	Al min.
EN AW-5754 използвана в изследването	0.106	0.126	0.05	0.111	2.91	<0.001	0.014	96.5

Предоставените ни за изследване образци са части от заварените съединения, получени чрез заваряване чрез триене с разбъркване. Режимите, по които са били заварени образците са посочени в таблица 2. Първият инструмент е с цилиндричен щифт с метрична резба М6х1 (Р1). Щифтът е изработен от стомана С45, закалена и отвърната при температура 500 °С. Вторият щифт е отново с резба М6х1, но формата му е квадратна, без канали със закръгление на четирите върха 1 mm. Третият щифт е с квадратна форма на напречното сечение, по което е нарязана резба М6х1. Резбата е прекъсната от четири канала по надлъжната му ос. Щифт 2 и 3 завършват с пресечен конус с височина 1.5 mm. Вторият и третият щифт са изработени от стомана HS18-0-1. Върху тях са нанесени различни покрития. Щифт две е с оксидно покритие, целящо увеличаване на силите на триене, а щифт три с титан-нитридно покритие, намаляващо силите на триене при контакт с други материали и относително движение спрямо тях [Господинов Д., 2022].

Таблица 2 [Господинов Д., 2022]

Вид на инструмента	Честота на въртене на инструмента (rpm)	Скорост на заваряване WM (mm/min)				Наклон на инструмента (°)
		WM1	WM2	WM3	WM4	
P1	800	100	200	315	400	1,5
P2	800	100	200	315	400	1,5
P3	800	100	200	315	400	1,5

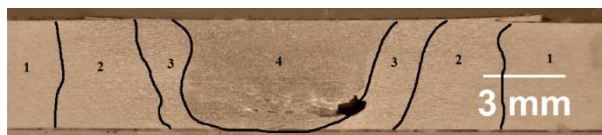
За наблюдение на макроструктурата са изготвени макрошлифове чрез шлифование с комплект шкурки (от No240 до No1000) и следващо полиране, които са проявени с разтвор с 2% воден разтвор на HF в продължение на 8 минути.

Извършен е и микроструктурен анализ на различни участъци от заварените съединения. Наблюдението на микроструктурите е извършено с металографски микроскоп Neophot 21, към който е прикачена цифрова камера. Размерът на характерната за ЗТР зона на разбъркване е определен върху макрофотографии на образците с помощта на софтуерния продукт ImageJ.

### Резултати и анализ

На фигура 1 е показана макроструктурата на заварените съединения.





Фиг.1 Макроструктура на заварено съединение чрез триене с разбъркване, на образец 1.1

Виждат се характерните за ЗТР зони – 4 - зона на разбъркване (ЗР), 3 - зона на термомеханично влияние (ЗТМВ), 2 - зона на термично влияние (ЗТВ), както и 1 - основният метал (ОМ). Върху макрошлифовете ОМ не се характеризира с никакви особености, а изглежда по-светъл от зоните с променена структура.



Фиг.2 Микроструктура на ОМ

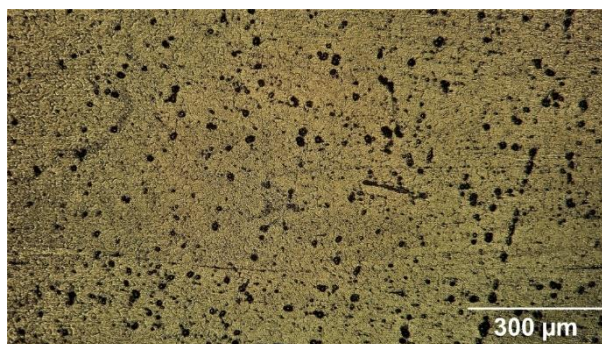
Фигура 2 показва микроструктурата на ОМ. Успоредните линии на снимката са ивици на приплъзване (линии на Людерс), появили се по време на студеното пластично деформиране при изработване на листовия материал. Тъмните включения, които се наблюдават са на  $\beta$ -фазата ( $Al_3Mg_2$ ).

Зоната на разбъркване (ЗР), показана на фигура 3, се характеризира с купообразна форма, разширяваща се близо до горната повърхност на шева, несиметрична спрямо линията на шева.



Фиг.3 Макроструктура на зоната на разбъркване, образец 1.1

Такава форма на ЗР се получава, защото горната повърхност е претърпяла големи степени на деформация и нагряване от триенето с рамото на инструмента [Mishra R.S., Ma Z.Y., 2005]. В резултат на това е протекла динамична рекристализация, която е определила микроструктурата на ЗР, показана на фигура 4.



Фиг.4 Микроструктура на зоната на разбъркване, образец 3.4

Установено е, че по време на заваряване на изследваните тук образци, температурата в зоната на разбъркване е била  $480^{\circ}\div 500^{\circ}C$  [Господинов Д., 2022]. Тази температура е по-висока от температурата на рекристализация на сплавта. За AA5754 солидус точката е  $600^{\circ}C$ , и



температурата на рекристализация ( $T_p$ ) е  $\sim 360^\circ$  (при пренебрегване не степента на деформация и допускане, че  $T_p = 0.6T_T$ ). Това потвърждава факта, че по време на заваряване чрез триене с разбъркване е протекла динамична рекристализация. В резултат, ивиците на плъзгане са изчезнали, формирали са се окръглени  $\alpha$ -зърна, а включенията на  $Al_3Mg_2$  са по-малки и по-малко на брой. В ОМ  $\beta$ -фазата е разположена в успоредни линии, и е във вид както на дребни, така и на по-едри включения.

В зоната на разбъркване включенията на  $Al_3Mg_2$  са по-малко, като ивичността им е изчезнала, и не са равномерно разпределени.

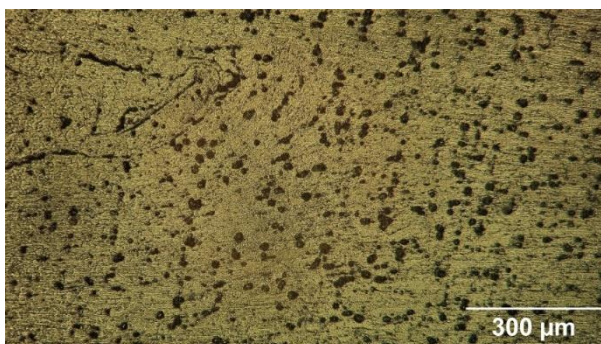
Наблюдаваните от нас микроструктури на зоната на разбъркване показват, че малка част от дребните включения на  $\beta$  са изчезнали, т.е те са успели да се разтворят по време на заваряването, а при следващо охлаждане под солвус линията на  $\alpha$ -фазата излишният Mg се е присъединил към неразтворените по-големи включения на  $Al_3Mg_2$ . Поради това наблюдаваме по-малко дребни  $\beta$ -зърна в зоната на разбъркване за сметка на по-едри. Образец 3.1 прави изключение, като се отличава с най-малко и най-дисперсни вторични включения.

На изследваните от нас образци е проследено изменението на ширината на зоната на разбъркване, показана в таблица 3. В зависимост от вида на инструмента, ширината на зоната на разбъркване се променя по различен начин с нарастване на скоростта на заваряване. При използването на инструмент P1 тази скорост не оказва влияние, докато при инструмент P3 първоначално се наблюдава намаляване, а след това нарастване на ширината на зоната на разбъркване.

Таблица 3 Изменение ширината на зоната на разбъркване

№ образец	Ширина на зоната на разбъркване, mm		
	Горна част	Среда	Долна част
1.1	8,5	6,39	6,24
1.2	8,75	6,2	6,13
1.3	8,61	5,4	5
2.1	10,69	7,35	4,26
3.1	10,72	6,85	5,06
3.3	7,84	5,8	2,91
3.4	9,16	4,47	4,58

До зоната на разбъркване непосредствено се намира зоната на термомеханично влияние (ЗТМВ). ЗТМВ е преходна зона, в която температурата намалява бързо с приближаване към ЗТВ. На наблюдаваните от нас макрофотографии не се разграничават ясно зоната на термомеханично влияние и зоната на термично влияние.

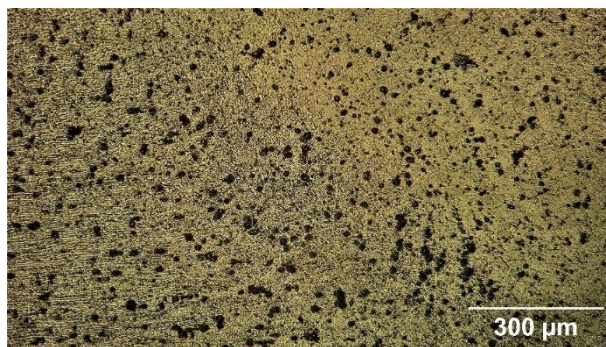


Фиг.5 Микроструктура на заваръчен шев, страна на влизане на инструмента, образец 3.4

На фиг.5 се вижда преходът от зоната на разбъркване към зоната на термомеханично влияние. В последната материалът също е бил деформиран и нагрят, но в по-малка степен отколкото, в зоната на разбъркване. ЗТМВ се характеризира с деформирана структура, в която зърната са завъртени и удължени в посока към горната повърхност на шева около ЗР от

страната на влизане на инструмента – фигура 5. От страната на излизане на инструмента се наблюдават смачкани кристални зърна – фигура 6. В същото време, вторичните включения са по-малко и са уедрени както в ЗР.

След зоната на термомеханично влияние е зоната на термично влияние (ЗТВ). ЗТВ е претъпяла нагряване, но не и пластично деформиране. При това, зърната в ЗТВ запазват формата на тези от ОМ, но температурата повлиява върху разпределението на вторичните включения – за режим 3 те са по-малко и уедрени, отколкото в ОМ - фигури 5 и 6.



Фиг.6 Микроструктура на заваръчен шев, страна на излизане на инструмента, образец 3.4

На фигура 7а, 7б, 7в са показани микроструктурите на зоната на разбъркване на образците, получени при заваряване с инструмент 3. За всички е характерно наличието на „lazy S“, който се дължи на наличието на  $Al_2O_3$  върху повърхността на заваряваните листи.



а) Микроструктура на зоната на разбъркване, образец 3.1



б) Микроструктура на зоната на разбъркване, образец 3.3



в) Микроструктура на зоната на разбъркване, образец 3.4



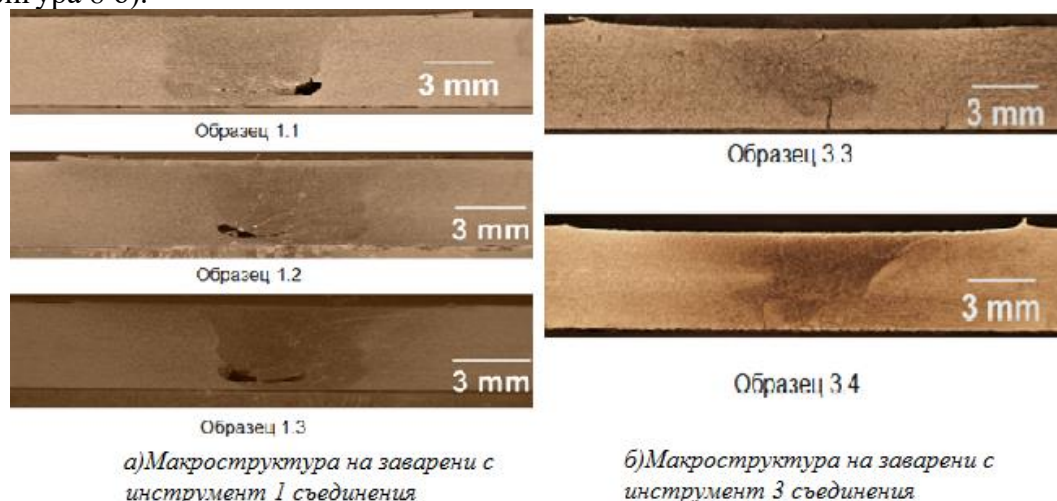
г) Микроструктура на зоната на разбъркване, образец 2.1

Фиг.7 Микроструктура на зоната на разбъркване на изследваните образци

От сравнението на микроструктурите на зоните на разбъркване на образци, заварени с инструмент 3, се вижда, че най-ниската скорост на заваряване (режим 3.1, скорост 100 mm/min), е довела до най-малко количество на вторична фаза в зоната на разбъркване. За образец 3.1 е характерно също така, че той е единственият без непровар.

На фигура 7 г) е показана и микроструктурата на образец 2.1. Тя демонстрира влиянието върху микроструктурата и на триещата се двойка „инструмент-заваряван материал“, в която коефициентът на триене и свързаното с него генериране на топлина, въздействаща върху микроструктурата, зависи и от вида на покритието върху инструмента. От фигура 8 а) се вижда, че заваряването с инструмент 1 има за резултат заварени съединения с тунелни

дефекти, заваряването с инструмент 3 при режим 3 и 4 има за резултат заварени съединения с непровар фигура 8 б).



Фиг.8 Макроструктура на заварени с инструмент 1(а) и 3(б) съединения

## ИЗВОДИ

Наличието на дефекти с тунелен вид говори, че е имало неподходящо разбъркване на материала при използването на инструмент P1, който е с цилиндричен щифт с метрична резба.

При заваряване чрез триене с разбъркване настъпват структурни промени в зоната на разбъркване вследствие на динамичната рекристализация и пластично деформиране.

В зависимост от вида на инструмента, ширината на зоната на разбъркване се променя по различен начин с нарастване на скоростта на заваряване. При използването на инструмент P1 (с цилиндричен щифт с метрична резба) тази скорост не оказва влияние, докато при инструмент P3 - квадратна форма на напречното сечение, по което е нарязана резба M6x1, прекъсната от четири канала по надлъжната му ос) първоначално се наблюдава намаляване, а след това нарастване на ширината на зоната на разбъркване.

## Благодарности

Докладът отразява резултати от работата по проект No 2023 - МТФ - 01, финансиран от фонд „Научни изследвания“ на Русенския университет.“

## REFERENCES

Baker H S. D. (and others) (eds) Henry Hiroaki Okamoto and ASM International Materials Park OH Alloy Phase Diagram and Handbook Committees. 1992. Asm Handbook. Vol. 3 : Alloy Phase Diagrams. Materials Park OH: ASM International.

Cavaliere P. 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.

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

Mishra R.S. , Ma Z.Y. , Friction stir welding and processing, Materials Science and Engineering: R: Reports, Volume 50, Issues 1–2, 2005, Pages 1-78, ISSN 0927-796X, <https://doi.org/10.1016/j.mser.2005.07.001>.

Господинов Д., “Изследване на технологичните параметри при заваряване чрез триене с разбъркване на алуминиеви сплави”, научноизследователски проект 2022 – МТФ – 01, финансиран от фонд “НАУЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ” на Русенски университет "Ангел Кънчев" с ръководител доц. д-р Данаил Господинов.

TUE-1.417-SSS-MEMBT-07

## EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURE OF A LOW CARBON STEEL <sup>7</sup>

**Elena Zheleva – Student / Young Scientist**

Department of Materials Science and Technology,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
Tel.: +359894456299  
E-mail: elena.vzheleva@gmail.com

**Assist. Prof. Mariana Ilieva, PhD**

Department of Materials Science and Technology,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
Phone: +359 82 888 307  
E-mail: mdilieva@uni-ruse.bg

**Abstract:** Microstructural analysis was performed on low carbon steel specimens subjected to heat treatment at temperatures of 920°C and 1100°C and cooled in furnace, air, oil and water. The Vickers hardness of the heat treated specimens was measured. The average crystal grain size after the different heat treatment regimes was determined. It was found that, depending on the heat treatment temperature, the structure of the steel may contain fine pearlite, affecting the measured hardness values. It has been confirmed that a decrease in grain size leads to an increase in hardness.

**Keywords:** Heat treatment, Low carbon steel, Microstructure, Grain size, Hardness,

### ВЪВЕДЕНИЕ

Въглеродните стомани са желязо-въглеродни сплави със съдържание на въглерод до 2,14 масови %, в чиято структура присъства евтектоидна структурна съставка. Нисковъглеродните стомани са подевтектоидни, със съдържание на въглерод до 0,3% и различни примеси. Структурата им е ферит и перлит, но е възможно наличието и на третичен цементит. Естествените примеси в стоманите, освен въглерода С, са силиций Si, манган Mn, сяра S, фосфор P. Съдържанието им във въглеродните стомани е приблизително: Si < 0,5%, S < 0,05%, P < 0,05%, Mn < 0,8%. Нисковъглеродните стомани по предназначение се ползват като конструкционни, поради тяхната добра якост на удар при обикновена температура. Обикновено не се закаляват, но могат да се подлагат на цементация [3, 5, 10].

### ИЗЛОЖЕНИЕ

#### Материали

Изследваните образци са изработени от нисковъглеродна стомана във вид на прът с диаметър 50 мм. Съставът ѝ е определен чрез спектрален анализ с квантометър Spectromax и е показан в таблица 1.

По съдържание на С, използваният материал отговаря на нисковъглеродна стомана за изработване на тръби за тръбопроводи. Такива стомани са EN1A [4], U1004 [2], X80 [11].

Таблица 1. Химичен състав

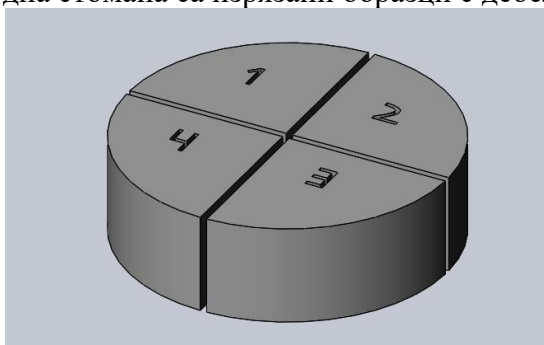
C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %
0,044	0,124	0,1605	0,0065	0,00885	0,0575	0,0925	0,160

<sup>7</sup> Докладът е представен на студентската научна сесия на 30.05.2023 г. в секция МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОИТЕЛНИ ТЕХНОЛОГИИ с оригинално заглавие на български език: ВЛИЯНИЕ НА ТЕРМИЧНОТО ОБРАБОТВАНЕ ВЪРХУ СТРУКТУРАТА НА НИСКОВЪГЛЕРОДНА СТОМАНА.



## Методика

От пръта нисковъглеродна стомана са изрязани образци с дебелина 15 мм.



Фиг. 1. Схема на изрязване на образците

Тези образци са подложени на посочените в таблица 2 режими на термично обработване (ТО). След ТО, пробите са почистени от окалината, шлифовани, полирани и проявени с 3% алкохолен разтвор на  $\text{HNO}_3$  (азотна киселина), за да бъдат наблюдавани на микроскоп Neophot 21.

Към микроскопа е прикачена цифрова камера и с нейна помощ са направени фотографии на микроструктурата. В последствие върху тези изображения с помощта на софтуера ImageJ [8] е определен средният размер на зърната на образците, според стандарт ASTM E112-13 по линейния метод на пресечните точки. Първата стъпка е да се изчертае тестова линия върху снимката на скалата. На тази линия се задава, че нейният брой пиксели е равен на 1000  $\mu\text{m}$ , при снимка от обектив 12,5 (фиг. 2 а).

Таблица 2. Режими на термично обработване

Образец №	T, °C	t, min	Забележка
1	-	-	Състояние на доставка
2	920	20	Охлаждане във вода
3	920	20	Охлаждане в масло
4	920	20	Охлаждане на въздух
5	920	2 x 10	Охлаждане във вода
6	1100	90	Охлаждане в пещ
7	1100	90	Охлаждане на въздух
8	1100	90	Охлаждане във вода

След това, върху снимка на микроструктурата, последователно се изчертават линии в 4 направления- хоризонтално, вертикално и двата диагонала (фиг. 2 б-д). При всяка от тях се преброява броят на пресечните точки на тестовата линия с границите на зърната. Накрая се извежда дължината на тестовата линия (фиг. 2 е) и заедно с броя на пресечните точки се записват в таблица (табл. 3). За всяко направление се смята среден размер на зърната по следната формула:

$$\bar{d} = \frac{L}{p} \quad (1) [1],$$

където

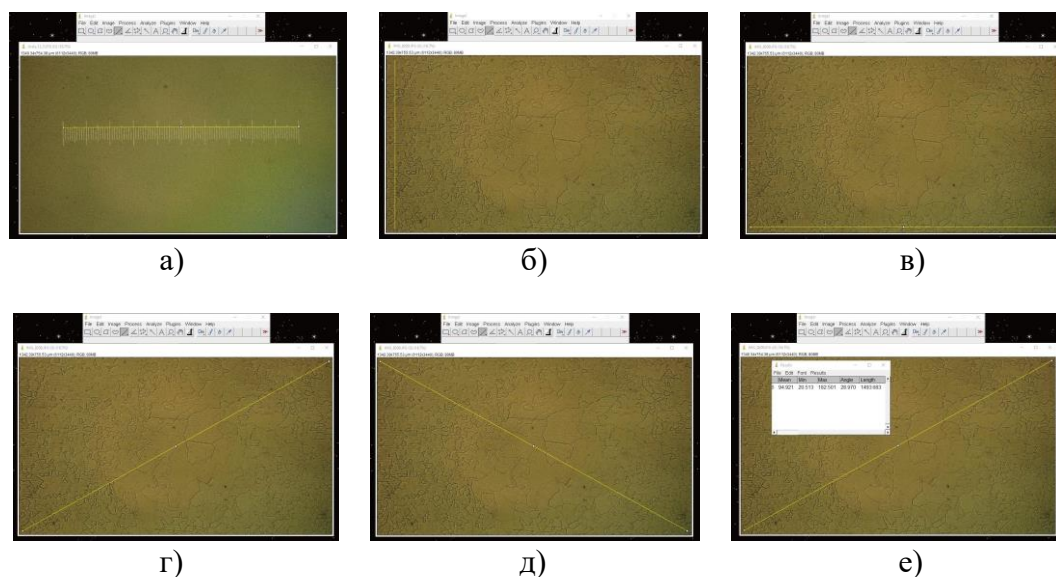
$\bar{d}$ - среден размер на зърната;

L- дължина на тестовата линия в  $\mu\text{m}$ ;

p- брой на пресечните точки на тестовата линия с границите на зърната.

За стойност на средния размер на зърната се взема средноаритметичното от стойностите на четирите направления.

От показаните по-горе проби са изрязани по-малки, които са шлифовани и полирани. Върху тях е определена твърдостта по Викерс с натоварване 5 кг с помощта на твърдомер Wilson Hardness 432 SVD.



Фиг. 2. а)-е) Последователност за определяне средният размер на зърната

Таблица 3. Пресмятане на среден размер на зърната

об.8x12,5 IMG 0209	90 min 1100°C вода				
L, $\mu\text{m}$	1309	725	1499	1494	
p	55	31	47,5	57	
$\bar{d}$ , $\mu\text{m}$	23,80000	23,38710	31,55789	26,21053	26

### Резултати

В таблица 4 са показани резултатите от измерването на средния размер на зърната и стойностите от изпитването на твърдост.

Таблица 4. Среден размер на зърната и твърдост

Образец №	Среден размер на зърната, $\mu\text{m}$	Твърдост, HV5
1, фиг. 3	29	108
2, фиг. 4	31	179
3, фиг. 5	33	164
4, фиг. 6	35	108
5, фиг. 7	33	168
6, фиг. 8	60	82
7, фиг. 9	55	101
8, фиг. 10	26	168

На фиг. 3 е показана микроструктурата на стоманата в състояние на доставка (образец 1). При използваните от нас увеличения се виждат основно феритни зърна и малко третичен цементит, разположен по границите на ферита. Въпреки че според въглеродното съдържание

на сплавта в структурата ѝ трябва да присъства перлит, такъв не се наблюдава. Подобна липса на перлит в стомана с 0.05%С и 0.2 %Mn е докладвана и в работата на други изследователи [9].



Фиг. 3. Образец 1

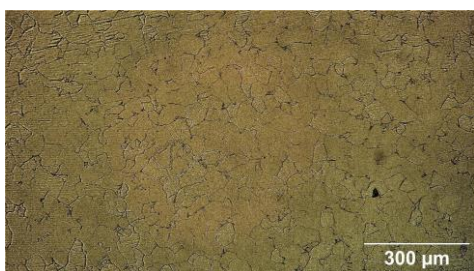


Фиг. 4. Образец 2

След нагряване до 920°C, двадесетминутно задържане при тази температура и охлаждане във вода (образец 2, фиг. 4), в структурата се появява и тъмна структурна съставляваща, разположена между феритните зърна, която е дисперсна ферито-цементитна смес – сорбит. Тя се е получила в най-голямо количество в пробата, охладена във вода (образец 2), тъй като тази проба е била за най-кратко време в температурния интервал на полиморфно превръщане на аустенита, а вместо това е била преохладена под  $A_{r1}$ , при което от нестабилния аустенит едновременно са се образували ферит и цементит във вид на сорбит. Двукратното нагряване до 920°C и охлаждане във вода има подобен резултат (образец 5, фиг. 7), но със слабо понижено количество сорбит. Както се вижда от таблица 4, размерът на зърната и твърдостите на образците, нагreti до 920°C и охладени във вода, имат близки стойности.

Фигури 5 и 6 показват микроструктурата на пробите, нагreti до 920°C, задържани за 20 min. при тази температура, и охладени в масло (образец 3, фиг. 5) и на въздух (образец 4, фиг. 6). В тяхната структура също присъства тъмната структурна съставка, но в намаляващи с намаляване на скоростта на охлаждане количества. Така върху микрошлифа на пробата, охладена на въздух (образец 4), тази структурна съставка почти отсъства.

За трите образеца, термообработвани от 1100°C за час и половина, след охлаждане и в трите използвани среди, структурата е изградена основно от ферит и разположен по малка част от границите на зърната третичен цементит, който под микроскопа изглежда като блестящи включения (които трудно се забелязват на микрофотографиите).



Фиг. 5. Образец 3



Фиг. 6. Образец 4



Фиг. 7. Образец 5

Характерно за термообработените от 1100°C образци е, че те показват бимодална структура – разнозърнестост [7], и продължителното задържане при тази температура има за резултат пълно отсъствие на сорбит в структурата образците след охлаждане, независимо от използваната охлаждаща среда. За да се обяснят и двете явления, трябва, освен параметрите на режимите на термично обработване, да се отчете и химичният състав на сплавта. Както се



вижда от таблица 1, в изследваната стомана има значителни количества примеси, които се разтварят както във ферита, така и в цементита [5]. От специализираната литература е известно, че присъствието на много примеси в стоманите забавя дифузията на въглерода във ферита и в аустенита, както и че те самите дифундират с по-ниска скорост. При нагряване на стоманата до 1100°C и задържане при тази висока температура от час и половина, химичните съединения успяват да се разтворят и заедно с въглерода да изравнят химичния си състав. Това води до получаване на хомогенен аустенит и улеснява нарастването на кристалните зърна.



Фиг. 8. Образец 6



Фиг. 9. Образец 7



Фиг. 10. Образец 8

Тъй като в стоманата в състояние на доставка не се наблюдават следи от пластично деформиране, то може да се допусне, че в състояние на доставка сплавта е била подложена на рекристализационно отгряване, което е приключило до първична рекристализация, в резултат на което са се образували сравнително дребни равноосни феритни зърна. Приложеното от нас нагряване до 1100°C обаче е предизвикало вторична рекристализация, при която част от зърната на аустенита са нараснали за сметка на обграждащите ги дребни. Получаването на такава разноразмерност е възможно при големи степени на деформация и при високи температури на отгряване [6].

За образците, нагreti до 1100°C, се наблюдава намаляване в средния размер на зърната с увеличаване на скоростта на охлаждане. То е очаквано предвид по-малкото време за нарастване на феритните зърна при по-високите скорости на охлаждане. Изменението на твърдостта за тези проби е в пряка връзка с размера на зърната, и потвърждава отдавна известния факт, че с намаляване на размера на зърната твърдостта на сплавите се повишава.

## ИЗВОДИ

След нагряване до 920°C и задържане за 20 минути, в структурата на стоманата се образува ферито-цементитната смес сорбит. При пробите, нагreti до 1100°C и задържани за 90 минути, сорбит не се наблюдава, но се получава бимодална структура. При по-високата температура дисоциацията на различните химични съединения е позволила на зърната да нараснат повече, а нееднородността на размерите им се дължи на процеси на вторична рекристализация. В структурата на нагretите до 920°C проби, наличието на концентрационни флукуации улеснява разпадането на аустенита и образуването на сорбит при охлаждане, докато при 1100°C тези флукуации липсват и разпадането на аустенита до ферит и цементит става по-бавно, затова независимо от охлаждащата среда, аустенитът се превръща полиморфно във ферит, а въглеродът образува малко количество третичен цементит с понижаване на температурата. Влиянието на охлаждащата среда върху размера на зърната показва, че при по-бавно охлаждане (в пещта) феритните зърна имат време да нараснат, а при



по-висока скорост на охлаждане (във вода) времето е по-малко и зърната на ферита са с по-малък среден размер. При образците, нагreti до 920°C, твърдостта зависи от структурата им - с увеличаване на дела на наблюдавания върху шлифовете сорбит, твърдостта се увеличава. При образците, нагreti до 1100°C, твърдостта зависи от размера на зърната - твърдостта се повишава с намаляването на средния размер на зърната.

### **Благодарности**

**Докладът отразява резултати от работата по проект No 2023 - МТФ - 01, финансиран от фонд „Научни изследвания“ на Русенския университет.“**

### **REFERENCES**

- ASTM 112-13, Standard Test Methods for Determining Average Grain Size
- Australia Steel Grades, Structure Steel, <https://www.steel-grades.com/Steel-Grades/Structure-Steel/1004.html>
- Balevski, A., 1972. Metal Science. Sofia: Technica Publishing House. (*Оригинално заглавие: Балеvски, А., 1972. Металознание. София: Издателство „Техника“.*)
- BS970 Specifications, <http://www.jbsteelindia.com/bs970-specifications-india.html>
- Buchkov, D., Kanev, M., 2002. Materials Science. Sofia: Technica Publishing House. (*Оригинално заглавие: Бучков, Д., Кънев, М., 2002. Материалознание. София: Издателство „Техника“.*)
- Gogachev, I., and co., 1989. Laboratory Manual for Metal Science and Heat Treatment of Metals. Sofia: Technica Publishing House. (*Оригинално заглавие: Гогачев, И. и др., 1989. Ръководство за лабораторни упражнения по металознание и термична обработка на металите. София: Издателство „Техника“.*)
- Gorelik, S., 1978. Recrystallisation of Metals and Alloys. Moscow: Metallurgiya Press (*Оригинално заглавие: Горелик, С., 1978. Рекристаллизация Металлов и Сплавов. Москва: Издательство „Металлургия“.*)
- ImageJ, Image Processing and Analysis in Java, <https://imagej.net/ij/index.html>
- Mostafaei, M. A., Kazeminezhad, M., 2022. Bimodal grain size and mechanical properties enhancement in low carbon steel by ultra-rapid annealing. Journal of materials research and technology, 18:2363-2367.
- Nikolova, M., 2020. Materials Science. Ruse: Academic Publishing House of the University of Rouse, Dema Press. (*Оригинално заглавие: Николова, М., 2020. Материалознание. Русе: Академично издателство на Русенски университет, Дема Прес.*)
- Wang, J.M., Liu, Y., Wang, K., Liu, Y.g., 2015. Research of Micro-alloyed Microstructure and Composition in X80 Pipeline Steel for High Heat Input Welding. ICMSA.

**UNIVERSITY OF RUSE „ANGEL KANCHEV“**

**UNION OF SCIENTISTS - RUSE**



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

**OCTOBER 2024**

**INVITATION**

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

**PROCEEDINGS**  
**Volume 62, Series 2.2**

**Mechanical Engineering and Machine-Building Technologies**

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

**Editor of Volume 62:**  
**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"**