



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ

маг. инж. Миглена Маринова Панева

ИНОВАТИВНИ МЕТОДИ ЗА ТЕХНОЛОГИЧНА ДИАГНОСТИКА НА АВТОМАТИЧНИ МАШИНИ И ЛИНИИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

НА ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователната и научната степен
„доктор“

Научна област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.2. „Електротехника, електроника и автоматика“

Научна специалност 02.21.07. “Автоматизирани системи за
обработка на информация и управление“

Научен ръководител: проф. д-р Димитър Карастоянов

София, 2022 г.

Дисертационният труд е обсъден и допуснат до защита на разширено заседание на секция „Разпределени информационни и управляващи системи “ на ИИКТ-БАН, състояло се на 18 януари 2022 г.

Дисертацията съдържа 153 стр., включващи фигури, таблици и библиография, съдържаща 163 заглавия. Добавено е приложение.

Защитата на дисертацията ще се състои на2022 г. от часа в зала на блок 2 на ИИКТ-БАН на открито заседание на научно жури в състав:

1. Проф. д-р Любомир Димитров
2. Проф. д-р Панчо Томов
3. Проф. д-р Станчо Петков
4. Проф. д-р Владимир Монов
5. Доц. д-р Николай Стоименов

Материалите за защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на ИИКТ-БАН, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 2.

Автор: *Миглена Маринова Панева*

Заглавие: ***ИНОВАТИВНИ МЕТОДИ ЗА ТЕХНОЛОГИЧНА ДИАГНОСТИКА
НА АВТОМАТИЧНИ МАШИНИ И ЛИНИИ***

Обща характеристика на дисертационния труд

Актуалност на проблема:

Основна задача на технологична диагностика е разпознаване на състоянието на техническите системи в условията на ограничена информация. Тази информация постъпва във вид на показания от различни измервателни, регулиращи, сигнални или управляващи устройства, най-често сензори (датчици) за вибрации, температура, налягане и др.

Друго направление на технологичната диагностика са въпросите за търсене и автоматизиран контрол на неизправности. То е свързано с разработване на иновативни методи и средства за наблюдение и контрол, създаване на диагностични тестове, активно тестване, вградени диагностични системи, оценка на способността на системата за контрол и диагностициране.

Обект и област на изследването:

Използваните иновативните методи за диагностига са компютаризирани машини за тестване на якост на опън, спектрален анализ и томограф. Изискването за качество на изходния продукт трябва да бъде във функция от изискванията по БДС и ISO стандартите.

Съдържание на дисертацията:

Дисертационният труд съдържа пет глави, списък на библиография със 163 заглавия. Обемът му е в размер на 153 страници текст, включващ таблици, фигури и формули. Номерацията, фигурите и формулите е запазена в настоящия автореферат.

В ГЛАВА 1 е представена необходимостта от създаване на завода; български и световни производители на метал и тръби; апаратни методи и средства за интелигентно измерване и анализ на поддръжката на производителността на машините.

В ГЛАВА 2 е представен иновативният подход за експлоатация на технологичното оборудване; представени са стандартите и марките стомани, както и произвежданите видове тръби и профили; анализирани са иновативните процедури по контрол на качеството при производство на тънкостенни електрозаварени тръби и профили, както и дефектите, които се получават в процеса на производството.

В ГЛАВА 3 са съставени методики, по които да се използват необходимите уреди; обърнато е внимание на основни функции, влияещи на измерванията. На база на съставените методики се осъществява подготовката на пробно тяло за тестване със спектрален анализ, якост на опън при нисковъглеродна стомана и производството на високоякостна стомана; измерване на грапавост и твърдост, както и измерването на геометрични характеристиките и измерването на геометрични характеристиките с 3D компютърен томограф.

В ГЛАВА 4 са изложени резултатите, постигнати от научни изследвания и изследвания в производството. Направен е анализ на химичните и механичните показатели на нисковъглероден метал при трансформацията му от горещо валцуван

метал в студено валцуван метал, резултати от производство на високоякостна стомана, както и анализ на измервани параметри, осъществени по време на технологичния процес.

В ГЛАВА 5 са представени бъдещите проекти за развитие на ЗПТП.

Цел и задачи на дисертационния труд:

В предоставения дисертационен труд се разглеждат проблеми, свързани с технологичната диагностика на автоматични машини и линии. Целта на дисертационния труд е да се изследва напредъка и интегрирането на нови технологии в съвременната диагностика на автоматични машини и линии и да се предложи иновативен подход за създаване на методики за изпитване.

За изпълнение на тази цел ще се решат следните задачи:

1. Да се направи детайлен обзор, анализ и систематизация на подходи и методи за интегриране на интелигентни технологии в техническите диагностични процедури.
2. Да се изследват съществуващи методи и средства за съвременна диагностика на автоматични машини и линии.
3. Да се изследва влиянието на ИКТ върху методите за техническа диагностика.
4. Да бъдат предложени и обосновани иновативни методики за диагностика на автоматични машини и линии.
5. Да се проведат експерименти и симулации на различни методики в индустриална среда.
6. Получените резултати да бъдат анализирани.

Апробация на резултатите

Резултати, включени в дисертацията, са докладвани на: международна конференция в чужбина: 8th, 10th Mechanical Technologies and Structural Materials, Split, Croatia, 2018, 2021, видима в SCOPUS; ISSN 1847-7917 и др.

Част от резултатите са представени на следните конференции: XXIX, XXX, XXXI МНТК Автоматизация на дискретното производство „АДП” Юни, Созопол 2019г., 2020г., 2021г.; в списание „Проблеми на техническата кибернетика и роботиката”; V, VI International Scientific Conference, winter session, Industry 4.0, 2020 г., 2021 г.

Списък с публикациите по дисертацията

1. **Paneva M.**, Research of Mechanical Characteristics in Tensile Tests of Low Carbon Steel Samples During Transformation from Hot Rolled to Cold Rolled Sheet Metal Method for testing the grinding media in mills, 8th International Conference on Mechanical Technologies and Structural Materials (MTSM 2018), Split, Croatia, September 27-28, 2018, Croatian Society for Mechanical Technologies, Croatia, ISSN: 1847-7917, pp. 153-158 [SCOPUS Visible](#)
2. **Панева М.**, Обзор и анализ на машини за тестване на якост опън, натиск и огъване, International Conference Robotics, Automation and Mechatronics'18 RAM 2018, Bankya, Bulgaria, 2018., ISSN 1314-4634, стр. 34-41.
3. **М. Paneva**, N. Stoimenov, Hardness Of Working Rolls For Cold Rolling Mill, 8th International Conference, ICAT'19 Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, August 26-30, E-ISBN: 978-605-68537-4-6, 2019 pp. 203-206
4. **Paneva M.**, Linear Plastic Deformation of Solid Body, Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 71, „Prof. Marin Drinov“ Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2019, Sofia, ISSN 0204-9848, pp.35-48
5. **Paneva M.**, Method for technological preparation of a sample /test tube, XXIX International Scientific and Technical Conference, XXIX International Scientific and Technical Conference, ADP - 2020., 29.06-02.07 2020, Sozopol, Bulgaria., Publishing house of TU-Sofia ISSN – 2682-9584, Publisher Department “Automation of Discrete Production Engineering“ Mechanical Engineering Faculty, Technical University – Sofia, pp. 52-55
6. **Paneva M.**, Panev P., Klochkov L. and Karastoyanov D., Analysis of defects obtained in the production of steel and steel products, VI International Scientific Conference Winter Session, 08-11 December 2021, Borovets, Bulgaria., Scientific Technical Union of Mechanical Engineering Industry – 4.0, ISSN: 2535-0153, стр. 230-232
7. **Paneva M.**, Panev P. and Klochkov L., Methodology for analysis of a metal test body using a spectrometer, VI International Scientific Conference Winter Session “Industry 4.0”, 08-11 December 2021, Borovets, Bulgaria., Scientific Technical Union of Mechanical Engineering Industry – 4.0, ISSN: 2535-0153, стр. 233-235

Полезен модел

8. Стоименов Н., **Панева М.**, Панев П., Държач за пробни тела, Полезен модел на Република България, рег. № 3892 U1/ 23.09.2020 г.

ОБЗОР, АНАЛИЗ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ НА МЕТОДИ И СРЕДСТВА ЗА ТЕХНОЛОГИЧНА ДИАГНОСТИКА НА АВТОМАТИЧНИ МАШИНИ И ЛИНИИ

1.1. Историческа справка

С развитието на науката и внедряването на иновациите се осигурява икономически растеж, висока производителност, опазване на околната среда, решаване на социални и управленчески проблеми. Осигурява се високо качество на произвеждания продукт.

Тези предпоставки дават възможност през 1995 г. за създаване на ЗПТМК (Завод за производство на тръбна мебел и компоненти), съвместно с компания „ИКЕА“ – Швеция. Договорено е съвместно реализиран производство на компоненти от детайли, възли и монтаж на съвременни и луксозни мебели от метал.

С течение на времето, за подобряване условията на работа, възниква необходимостта от организиране на собствено производство на тънкостенни електрозаварени профили и тръби от студено валцувани стомани (СВС).

Подтиквани от затваряне на целия производствен цикъл и премахване влиянието на външните дистрибутори, доставчици на готови профили, съвместното ръководство взема решение да създаде и организира дъщерна фирма ЗПТП (Завод за производство на тръби и профили).

Създаването на новият завод е съобразено изцяло с тенденциите за дигитално развитие „Индустрия 4.0“ и внедряване на компонентите на кибер-физичните системи: интелигентни машини, вградени саморегулиращи се системи, хардуер, софтуер и др. уникално адресирани обекти и мрежи, които интелигентно взаимодействат помежду си за постигане на поставената цел (Фиг. 1.1), [162, 163].



Фиг. 1.1. Структура на Интернет на нещата

Произвеждани продукти:

- Горещо валцувани тесни ленти
- Горещо валцувани байцвани тесни ленти
- Горещо валцувани байцвани прецизни тръби и профили
- Студено валцувани ленти и рулони (Фиг. 1.5.)
- Студено валцувани електрозаварени тръби и профили (Фиг. 1.3. и Фиг. 1.4.)



Фиг.1.3. Стоманени тръби



Фиг.1.4. Стоманени профили



Фиг. 1.5. Стоманени рулони

1.2. Производители на тръби и профили

Всички разгледани компании- всетовни и български производители са дългогодишни производители на тръбни и профили по различни технологии, както и производство на разкроени шрипсове и листи. Обърнато е внимание на използваните входни суровини и технологията на преработка на метала. Всичката произведена продукция на фирмите е унифицирана и стандартифицирана съгласно ISO 9001. Разработваните продукти са с високо качество, със стремеж да се сведе до минимум риска за техните клиенти, намаляване на разходите, увеличаване на гъвкавостта и намаляване времето за пускане на пазара.

1.2.1. Компания (фирма, корпорация) „FERROPIPE” - Мумбай, Индия

1.2.2. „ОМЕГА“ ООД

1.2.3. Фирма Хъс ООД

1.2.4. Фирма „Меганпрофил“ (“MEGAPROFIL”)

1.2.5. Компанията „Стийлимпекс“

1.3. Производители на метал

1.3.1. Компанията „АрселорМитал“

1.3.2. Магнитогорски металургичен комбинат

1.3.3. Запорожстал

1.4. Апаратни методи и инструменти за интелигентно измерване

1.4.1. Видове операции и машини за щанцоване

Чрез щанцоването (Фиг.1.11; 1.12) се подготвят металните образци за тестване на якост на опън [22, 23, 24, 25].

Една от най-използваните машини за щанцоване се нарича преса и може да се състои от една или няколко сменяеми матрици. Щанцоването се извършва с различни преси (щанци), които имат сложна конструкция и се делят на следните категории:

- В зависимост от операцията: щанци за рязане, дълбоко изтегляне, огъване и други;



Фиг. 1.11. Хидравлична преса



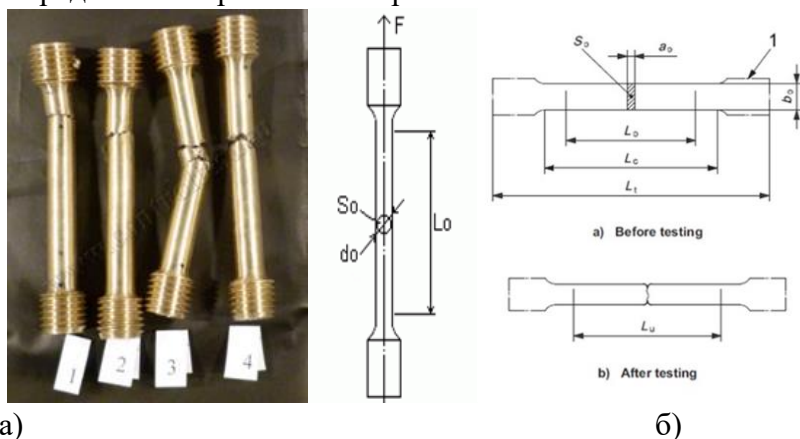
Фиг. 1.12. Щанца [26]

- В зависимост от заготовката, която произвеждат - единични или сдвоени щанци, за ивици, за ленти и други;
- В зависимост от принципа на действие - комбинирани или с просто действие;
- В зависимост от конструктивните принципи - еднопозиционни, многопозиционни и т. н.

1.4.2. *Машины за тестване на якост, опън, натиск и огъване*

1.4.2.1. Стандартни методи за изпитване

С изпитванията на якост се извлича информация за определени механични свойства на материалите, важни за по-нататъшното им използване при изработването на различни детайли, машини и съоръжения. Тъй като тестовите завършват най-често с разрушаване, нормално е при тях да се работи с пробни тела, а не с готовата продукция. На фиг. 1.13 са представени пробни тела при якост на опън.



Фиг. 1.13. Образци за якост на опън: а) тръба; б) плоско тяло с правоъгълно сечение

6. Универсална машина за якост на опън WDW-300, показана на фиг. 1.16.

Максималния капацитет на товара е 300 kN, като измерителният обхват е от 1.2 kN ~ 300 kN. Точността на товара е $\pm 0.5\%$; Обхвата на скоростта е от 0.005 mm/min ~ 500 mm/min безстепенно. Работа при околна температура от 10 ~ 35° C и относителна влажност $\leq 80\%$ [32]. Максималното движение на опън е 600 mm, максимално движение на натиск – 600 mm, широчина на тест област: 600 mm и максимално движение на плъзгача: 1350 mm;

➤ Приложение и обхват:

Конструирана е за изпитване на опън, прегъване, натиск и т.н. Използва се за анализиране на механични свойства на метал и неметал. Подходяща е за използване в научни и изследователски институти, колежи и университети, центрове за контролиране на качеството и контрол на стоките.



Фиг. 1.16. Универсална машина за якост на опън WDW-300

Операционният принцип на двигателя на машината работи с хидравлично задвижване с приспособления за опън за плоска челюст от $0 \div 21 \text{ mm}$ и с кръгла челюст от $9 \div 26 \text{ mm}$. Машината има и механично задвижване за приспособления за опън за плоска челюст от $21 \div 30 \text{ mm}$ и с кръгла челюст от $26 \div 40 \text{ mm}$.

1.4.3. Избор на спектрални апарати

Спектралният анализ позволява да се създаде разновидност на елементния анализ — атомният спектрален анализ, с който може количествено да се определя съдържанието на различни елементи в проба от веществото чрез разлагането им до атоми или йони в пламъка или в електрическата дъга. Спектралният анализ е съвкупност от физични методи за количествено и качествено определяне на състава на веществата чрез изследване на техните спектри. Съотношението между състава на дадено вещество и електромагнитния спектър, излъчен или погълнат от него, позволява спектралният анализ да се използва като чувствителен, относително лесен и бърз метод в научните изследвания, в промишлеността и други области

1.4.4. Механични средства за измерване

Механичните системи за измерване и контрол на физични величини са най-масово използвани системи в индустрията. Те обхващат механичният принцип на възприемане и преобразуване на измерваната величина, както на външни, така и на вътрешни повърхнини от шублерни уреди (фиг. 1.22), микрометрични измервателни уреди (Фиг. 1.23), измервателни глави и стойки и т.н. [37].



Фиг. 1.22. Електронен шублер INSIZE [38]

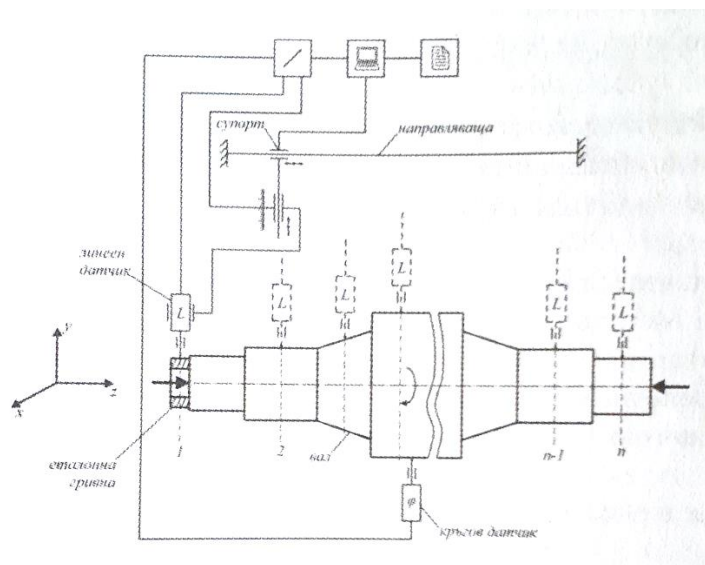


Фиг. 1.23. Микрометър

1.4.5. Измерване и контрол на физични величини

Проф. Хр. Радев с три различни колектива, предлагат и разглеждат три методики за измерване и контрол на физически величини [40, 41, 42].

В първата [40] публикация колективът разработва оригинален метод за измерване диаметрите на отговорни ротационни повърхнини на голямо габаритни валове. В описанието на метода се предлага принципна схема на измерването (Фиг. 1.26) [41], [42].



Фиг. 1.26. Схема на измерване на диаметри при базиране на вала на центрите на металоорежеща машина

1.4.6. 3D компютърна томография

3D скенерът (компютърната томография) е неинвазивна процедура, при която се използва специален рентгенов апарат, свързан с компютър, който създава множество изображения на част от тялото, която е необходимо да бъде изследвана. На базата на тези изображения компютърът синтезира триизмерен модел на заснетите структури.

3Д компютърната томография намира голямо приложение и в анализа на различни материали. За анализа на линейните величини ширина и дебелина се използва 3D индустриален компютърен томограф Nikon XT H 225 (фиг. 1.29) [43, 44].



Фиг. 1.29. 3D индустриален компютърен томограф Nikon XT H 225

Компютърната томография (СТ) осигурява висока точност и има способността да изследва вътрешни и външни размери на предоставените образци (проби, заготовки). Освен това осигурява допълнителен поглед на вътрешната микроструктурата на изследвания обект, като го изследва за нехомогенност.

1.4.7. Видове принтери за 3D печатане на елементи

3D печатането е метод за създаване на прототипи и е един от най-бързите и най-достъпни начин за създаване на потребителски стоки по поръчка [45, 46, 47].

Има няколко различни метода за 3D печат, но най-широко използваните са два процеса: единият е известен като моделиране на степенно отлагане (FDM), а другият е стереолитография (SLA).

Кога да се използва FDM принтер:

1. Бързо прототипиране
2. Изграждане на евтини модели
3. Страхотно за любители и производители
4. Когато прецизността и покритието на повърхността не са от решаващо значение
5. обикновените FDM принтери могат да печатат само с височина на слоя от 100 до 300 микрона.

Кога да се използва SLA принтер:

1. Когато сложните детайли и/или много гладката повърхност са от решаващо значение
2. Когато здравината и издръжливостта на модела не са от решаващо значение (моделите, направени от смола, могат да пострадат, когато са изложени на слънце за продължителни периоди)
3. За създаване на форми за леене за улесняване на масовото производство (например от производители на бижута или играчки)
4. SLA принтерът може да печата с височина на слоя от 25 до 100 микрона.

1.5. Анализ на поддръжката и повишаване на производителността на машините

1.5.1. Опити на Япония- Корпорации Тошиба и Сайко

Тошиба провежда 3 кампании [48]:

1. Подобряване
 - Маркетинг
 - Продажби
 - Развитие на технологичната производителност
 - Производствени възможности, поддръжка
 - Иновативна продукция
 - Кадрите- обучение
- 1.1. Кампания, софтуерна технология и отлични продукти

Технология за създаване на високо рентабилна организация на работа (стратегия програми, управление на производството, Усъвършенстване на средствата за производство (иновация).

1.2. Кампания- повишаване на производителността. Да се създаде високо-чувствителна продукто-ориентирана общност със светкавично бързи реакции. Изграждане на система за планиране, разработка на продукти, реагиране на пазарите, доставки и разпределение, бърза реакция. Да се поддържа диалог с пазарите. Минимизиране времето за внедряване.

1.3. Иновация в продажбите и маркетинга

Цялостна система за поддържане производителността на машините- (ППМ, ТРМ) (корпорация „INAX”- завод „Цикуба“)

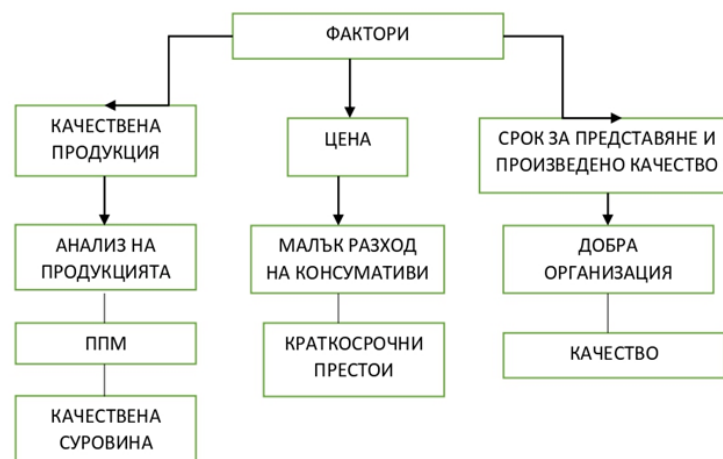
- Постигане на максимална ефективност на машините в резултат на пълно разгръщане на човешките ценности и активно участие на всички членове на работния колектив. Поддръжката се извършва от операторите. Внедряването на ППМ трябва да се промени начина, по които работниците са мислели и действали досега.
- Ежедневно технологично обслужване на машините (смазване, почистване, притягане и проверка). Машините имат явни признаци на бързо износване в т.ч. празни ходове, луфтове, замърсеност, изтичане на масло и др. Ръководството трябва твърдо да приложи ППМ

1.5.2. Оптимална производителност на автоматичната техника

Стремежа на всяка фирма е да постигне оптималната производителност на машините с цел да се постигне по-голяма производителност и по-малко разходи. Но тук вече се наместват: Да се произвежда по-добро качество, повишаване безопасността на работа, опазване на околната среда, необходимост от по-висок морал.

Състоянието на оборудването (АМ и АЛ, А на целия технологичен процес и операции) определя производството, качеството, доставките, безопасността и морала. Целта е да се стремим към оптимални стойности.

Не може да се говори за ефективно използване на машините ако те внезапно и непрекъснато се повреждат. Това нарушаване на производствения процес води до ниска производителност, влошаване на качеството на произвежданата продукция и увеличаване на брака. Следователно целта е да се осигуряват иновативни методи за технологична диагностика на автоматични машини и линии като се спазват факторите, предствени във Фиг. 1.32 .



Фиг. 1.32. Модел на факторите, влияещи на качественото производството

Задължението на фирмата е да създава иновативни методи за технологичната диагностика на АМ и Л, осигуряваща възможно най-доброто състояние и оптимална производителност, придружена с качество на произвежданата продукция.

1.6. Заключение:

В настоящата глава е направен обзор и анализ на различни производители на ГВ и СВ метал и български и чуждестранни производители на тръби. Представени са различни типове машини за щанцоване на детайли (пробни тела), за тестване за якост на опън, натиск и огъване, спектралния анализ на материали, механични измервателни средства и как се измерват физични величини. Основното предназначение на машините за якост на опън е анализирането на различни типове материали. Те се използват за анализ на метала през различните етапи на производството при преработката на горещо валцуван в студено валцуван нисковъглероден метал. Разделят се на три типа: тестване при висока температура, при ниска температура и при стайна температура. Разгледан е иновативният метод за анализ чрез компютърна томография и видовете принтиращи устройства чрез SLA и FDM. Разгледани са модели на управление на фирмите Цикуба и INAX за анализ на поддръжката и повишаване на производителността на машините, връзката между ППМ, поддържането на висока производителност и профилактичната поддръжка, както и оптималната производителност на автоматичната техника.

Глава 2

ИНОВАТИВЕН ПОДХОД НА ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНОЛОГИЧНО ОБОРУДВАНЕ

За проследяване на иновативният подход за използване, внедряване и експлоатация на технологии и технологично оборудване се създава регламент, проследяващ производството на тънкостенни електро-заварени затворени профили от студено валцувани стомани (СВС) [57, 58] в Завод за производство на тръби и профили (ЗПТП) дъщерно предприятие на Завод за производство на тръбни мебели и компоненти (ЗПТМК), съвместно с компания ИКЕА.

Използваният подход има за цел да проследи последователно стъпка по стъпка внедрените иновативни технологии и техническо оборудване, реализиращи особено трудното съчетаване при автоматизирането на непрекъснатите и дискретни, основни и спомагателни процеси и операции, осигуряващи и постигащи високи технико-икономически показатели с осигурен цялостен контрол на материали, оборудване, работна сила, риск, запазване на околната среда и т.н.

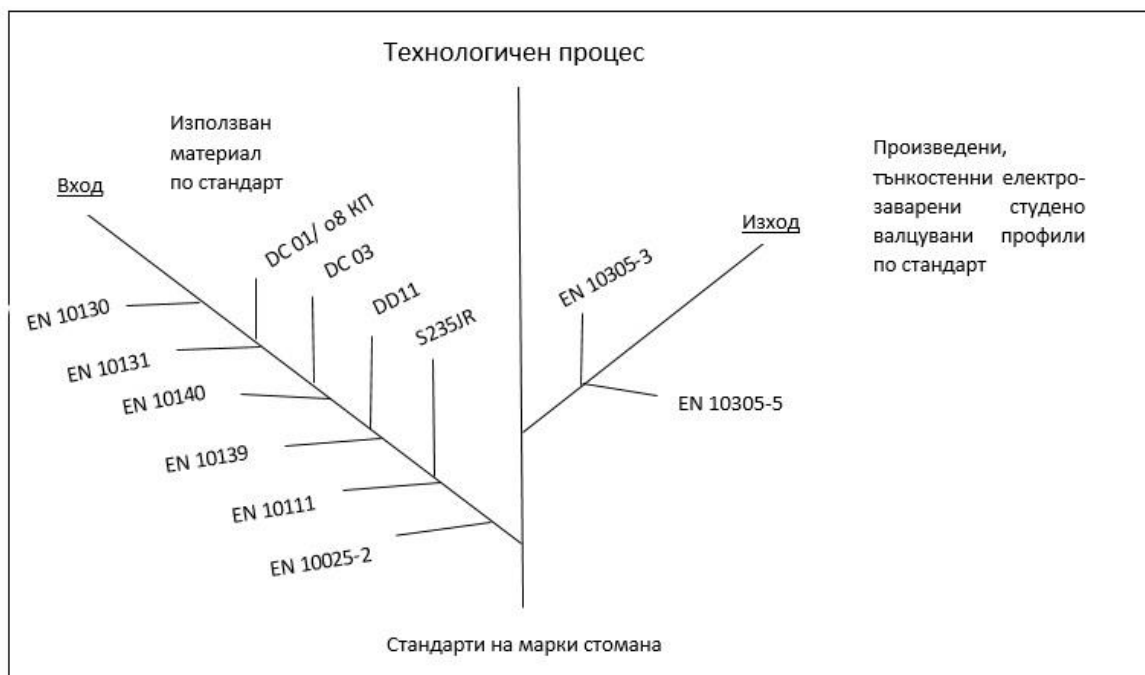
2.1.2. Използвани марки стомана

Суровината, която се обработва в завода са горещо валцувани рулони (ГВР) [61-65] и студено валцувани рулони (СВР). Теглото на рулоните варират между 7-14 тона и ширини 1010, 1105 и 1135 mm. Доставят се с товарни камиони, разтоварват се с мотокар (16 Т) или с кран (20Т). ГВР в повечето случаи се разкрояват на две половини надлъжно и тогава се насочват за изпълнение на технологичния процес травление (байцване) на непрекъснат травилен агрегат (НТА). Но понякога, когато рулоните са твърде големи, те

се разкрояват на 4 части- надлъжно и напречно до достигане на подходящите параметри за ширина до 600 mm и тегло до 6,2 МТ на последващото технологично оборудване. СВР се разкрояват (разфасоват) директно на щрипсове по поръчката за съответният размер профили тръби.

На Фиг. 2.1. са показани необходимите използвани стомани, осигуряващи производството на профили от тънкостенни студено валцувани електро-заварени стомани, отговарящи на стандартите по БДС, DIN, ЕО, EN, IKEA.

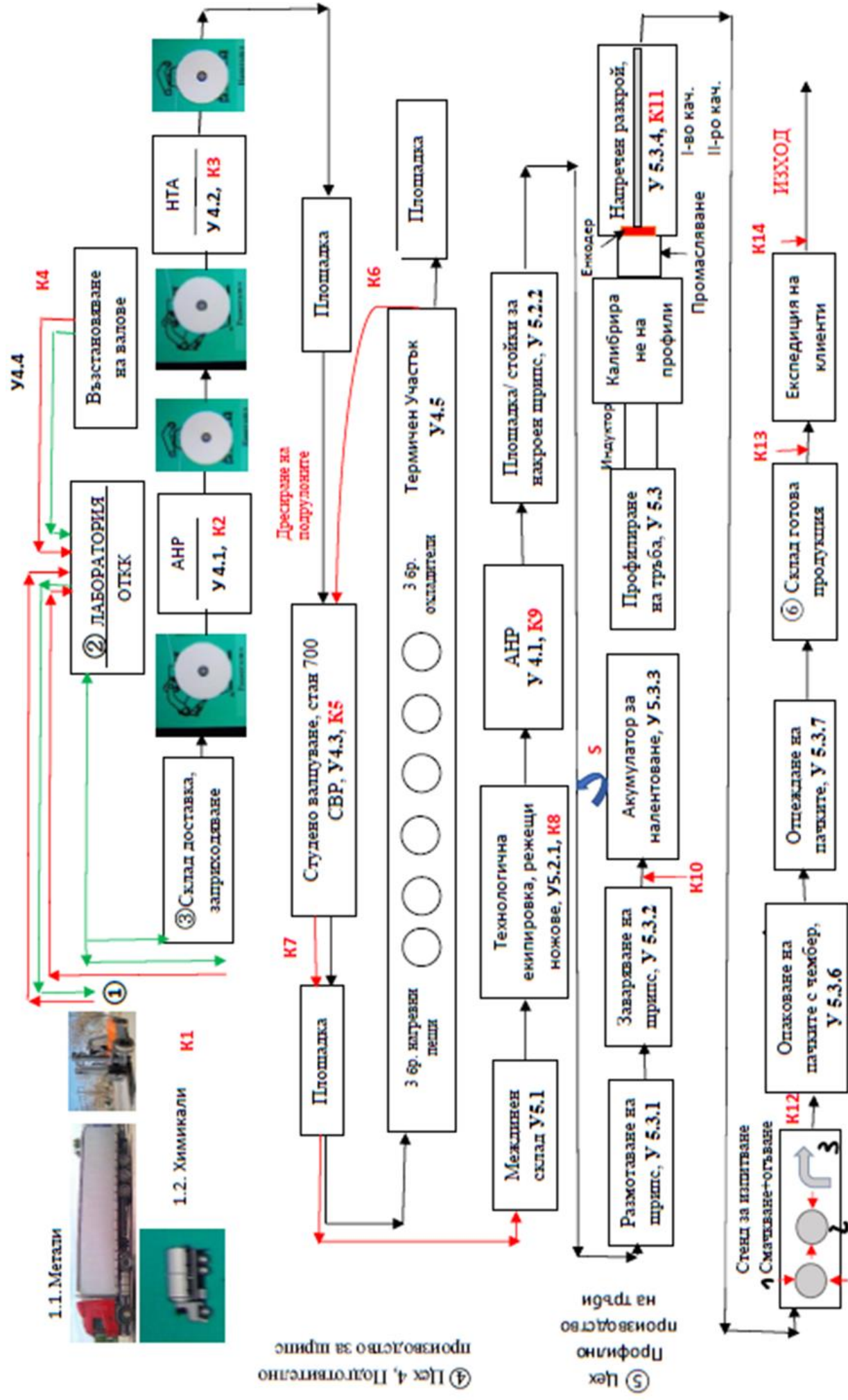
Всички ГВР, СВР, подрулони и щрипсове се връзват (опаковат) с чембер лента, осигуряващи ги против развързване (саморазмотаване). Логистиката в завода от цех в цех, от агрегат до агрегат се извършва от мотокар или от кран.



Фиг. 2.1. Използвани марки стомана и съответстващи стандарти

2.2. Експлоатация на иновативни технологии и технологично оборудване

На Фиг. 2.2. е показана схема на внедрени иновативни технологии, осигуряващи иновативното оборудване за производство на тънкостенни електро-заварени затворени профили от СВС, осигуряващи преди всичко собственото производство на тръбна мебел и за външни клиенти. Едновременно с проследяване на управлението, производството, контрола по качеството стъпка по стъпка се внедрява и цифровизацията на „стегнатото производство“.



Фиг. 2.2 Схема на иновативни технологии и технологично оборудване

2.4.Подход за контрол на качеството на шрипс

Подходът последователно проследява и анализира операционният контрол при технологичната реализация при производството на шрипс от СВР или ГВР. Този разкроен по стандарт лентов шрипс е основа за профилиране и калиброване на тръби и профили в пренастройваеми автоматични тръбни линии на продукта тънкостенни електрозаварени затворени профили.

Данните се въвеждат в ИТ компютърната система на сървъра, от където всеки ръководител и заинтересован може да следи състоянието на дадена поръчка-времетраенето и операциите, през които е преминал метала. Създадена е система за управление на качеството (СУК), която предстои да се сертифицира по ISO 9001. Прилагането на тази процедура има за цел да осигури постоянната актуалност, адекватност и ефикасност на СУК, включително на политиката и целите по качеството, да гарантира непрекъснатото и подобряване. С цел обсъждане на текущи задачи, проблеми, проекти и разработки могат да се провеждат събрания ежедневно, ежеседмично или ежемесечно под формата на оперативки между отделните звена в Организацията.

Таблица 2.11. Процедури по контрол на качеството

Изпълнители	№ п о р е д	Вход на ЗПТП Процедури по контрол на качеството	Придружаващи документи, дейности и анализи на входящи с вътрешен контрол на качеството
1	2	3	4
Доставчик/ фирма, началник склад, мениджър ТО, мениджър МТС	1	Ниско въглеродна стомана: СВР или ГВР	Товарителница, приемо- предавателен протокол, Сертификат за качество
Лаборатория/ лаборант +менидж ър ОТКК, началник склад	2	Обезпечаване на входящият контрол, измерване на механичните параметри Rm, Re, A ₈₀	Органолептична оценка на повърхнината, проверка на теглото и размерите, вписване в „Дневник на входящия контрол“ .
Н-к склад, лаборант , мениджър ОТКК	3	Съставяне на протоколи предавателно-приемателни, анализ на резултатите, получени от входящият контрол	Завеждане на входящите документи, записване на резултатите от обезпеченият входящ контролДоказване на качество на СВР и ГВР.
Н-к склад	4	Заприходяване на доставените <u>рулони</u> ①	Данните се вкарват в ИТ системата на завода, цифровизация със сървъра на ЗПТП

Отдел поръчки, мениджър поръчки	5	① Заявка на поръчки: - За собствено производство - За външни поръчки График за изпълнение	Мениджъра по поръчките да разпредели ГВР и СВР за кои поръчки са: Мениджърът поръчки съставя графил за изпълнение.
Зам. Управител, началник цехове, р-л лаборатория	6	Заповед за нареждане на вътрешни и външни поръчки	Създаване на заповед за нареждане за изпълнение на поръчките по цехове, технологични и конструктивни отдели, счетоводство
Ръководител ТО, Ръководител КО, н-к цех, старши оператор	7	Технологичен отдел Конструктивен отдел	1.Мениджър ТО разработва технологичния процес 2.Мениджър КО подготвя технологичната екипировка 3.Съставяне на схеми за преработка с минимален брак 4.Попълване на технологичен картон
Н-к цех ППТ, Н-к участък 5.2, старши оператор, оператори	8	Агрегат за надлъжно и напречно разкрояване на ГВР и СВР на подрулони за щрипс. ⑤Цех ППТ, Участък 5.2	Получаване нареждане с всички заявки и заповеди, режими на работа, попълване на карти за използван % материал от рулоните и %брак
Лаборатория-лаборант, ОТТК мениджър	9	Оценяване качеството от разкрояване на подрулоните от ГВР ②	Лаборанта и мениджъра оценяват подрулоните от ГВР или СВР

Н-к ④ ЦППЩ, Н-к У4.2, старши оператор, химик, лаборант	10	<pre> graph TD Start((2)) --> A[Непрекъснат тръвилен процес Травилен агрегат/ НТА Почистване на окалината от горещо валцуван рулон] A --> B[Окачествяване качеството на почистване на подрулона] B --> C{Качество на отработената повърхност. Съответства ли на стандарта или клиентската поръчка?} C -- не --> Start C -- да --> D[Студено валцуване на подрулона на едноклетков реверсивен стан] D -- У4.4 --> E[Оценка на постигнатите дебелина и грапавост] E --> F{Измерените с-ти съответстват ли на стандарта и покриват ли поръчката} F -- не --> G[Процедура по несъответствие] F -- да --> H[Избор на температурен режим на отгревните пещи и охладителни кули, зареждане, настройване, под-настройване] G --> F H --> I[Термична обработка на подрулона] I --> J[Оценка на качеството, измерване на мех. параметри Rm, Re, A30] J --> K{Измерените с-ти съответстват ли на стандарта и покриват ли поръчката} K -- не --> I K -- да --> End((3)) </pre>
Лаборант , химик, мениджър ОТКК, н-к цех 4, н-к У 4.2, старши оператор	11	
Н-к ④ ЦППЩ, Н-к У4.3, старши оператор, лаборант , менижър ОТКК	12	
Н-к ④ ЦППЩ, Н-к У4.3, У4.4 старши оператор, менижър ОТКК, лаборант	13	
Ръководител л-рия , мениджер ТО, н-к цех 4, н-к У4.5, старши оператор	14	
	15	
	16	

Н-к У4.2 организира и определя избора на техн. режим и поставя срок за изпълнение. Попълва се технологичен картон и КК

Химика непрекъснато следи химичния процес, а лаборанта прави анализи на киселината и промивните вани.

Качествен контрол, органолептична оценка.

Определя се технологичен режим от н-к ЦППЩ, Попълват се ТК и КК от старши оператора

Началник цех измерва стойностите на Ra и T и прави оценка дали двата параметъра съответстват на стандартите и на клиентската поръчка. При несъответствия се предприемат действия по пренасочване или коригиране ако е възможно

Определяне на техн. процес, съгласно химичния състав, приложената деформация, изискванията на клиента и стандарта, попълване на ТК и КК

Р-л лаб. изготвя по минимум 3 бр. проби от началото и края на подрулона. Измерване на параметрите и попълване на резултати в КК. При несъответствие се повтаря терм. обраб.

Ръководител линия, мениджер ОТКК, н-к цех 4, н-к У4.3, старши оператор	17		Н-к отдел 4 и страши технолог изготвят програма за дресине. Попълва се ТК и КК на дресираните подрулони. Измерват се механичните показатели и се попълват в Дневник. Анализират се данните дали отговарят на зададеният стандарт.
Ръководител линия, мениджер ОТКК, н-к цех 4, н-к У4.3, У-к 5.1, старши оператор	18		Попълване на карта за контрол на качеството
Н-к цех 5, н-к У-к 5.2, У-к 5.2.1, ст. Оператор	19		Избор на настройка, според заданието и поставяне на срок в зависимост от производствения план. Опис на накрояния шрипс в ТК и КК
	20		
Контрольор ОТКК Н-к цех 5, н-к У-к 5.2, ст. Оператор,	21		Контрольор ОТКК измерва ширините на шрипсовете и дава оценка за качеството на краищата
Зам. Управител, Цех 5 ЦПП, н-к У-к 5.1, н-к У-к 5.3, контрольор ОТКК,	22		Измерват се теглото на получените шрипси и се етикетират с размер, тегло, дата, смяна.
Зам. Управител, Цех 5 ЦПП, н-к У-к 5.1, н-к У-к 5.3, контрольор ОТКК	23		Шрипсът за всяка линия се доставя, посредством мотокар от У-к 5.1 и се прави настройка в зависимост от клиентската поръчка за вида тръба или профил

Цех 5 ЦПП, н-к У-к 5.3.1, У-к 5.3.2, У-к 5.3.3, контролър ОТКК, старши оператор, оператори, технолог, настройчик	24	④ Настройка на Автоматични тръбни линии: 1. Смако 2. Елмаксан 3. Олимпия 80 4. Даниели	Прави се настройка на диаметъра на тръбата, профила, профилиране и калибриране, праволинейност, дължина,
Н-к У-к 5.3.2, У-к 5.3.3, старши оператор, заварчик, контролър,	25	Налентоване на шрипса в АТЛ Челно заваряване на отделните шрипси	Описват се номерата и теглото на вложените ленти шрипс, за проследяване качеството на произведените тръби.
Н-к У-к 5.3.2, У-к 5.3.3, старши оператор, заварчик, контролър, лаборант, Н-к склад готова продукция, експедитор	26	Окачествяване на произведените тръби Опаковане с чембер в пачки Складиране на готовата продукция Експедиция	Прави се органолептична оценка на качеството на тръбите, измерват се с микрометър, шублер, ъгломер, рулетка геометричните характеристики на продукта, смачкване, огъване, механични характеристики; следи се температурата на оглаждащата течност и нехната концентрация на всеки 2 часа. Повторен оглед за качество при окончателната експедиция. Попълва се ТК и КК на изработената продукция и отделните 2-ро качество и брак.

Съотношението на доставения ГВ към СВ метал е 95% към 5%, като ГВ се разделя на 2 групи: за производство на тръби и за щанцоване в съотношение 77% към 18%, Фиг. 2.8.

Произведената продукция от тръби и профили е предназначена за експедиция към основната фирма ЗПТМ и външни клиенти- износ в съотношение 70% на 30%, Фиг.2.9.

2.5.Анализ на дефектите

- 2.5.1. Дефекти, получени при производството/ леенето на стомана
- 2.5.2. Дефекти, причинени при производството на полуфабрикатите горещо валцувани рулони
- 2.5.3. Дефекти, причинени при производството на полуфабрикатите студено валцувани рулони
- 2.5.4. Дефекти, възникващи по време на производството на тръби и контрол на качеството
- 2.5.5.

2.6.Заклучение:

В Глава 2 са представени произвежданите тръби и профили, използваните марки стомана и съответстващите стандарти. Представена е схематично и чрез описание експлоатацията на иновативни технологии и технологично оборудване, като са описани всички звена в завода, както и какво се следи за контрола на качеството: нетрекъснат травилен агрегат, едноклетков валцов стан 700, термичен участък, агрегат за надлъжен и напречен разкрой, автоматични тръбни линии, промасляваща станция, отдел конструктор и производство на инструменти. Предложен е подход за технологична реализация, който обхваща стъпки на производствени и спомагателни процеси, операции и контрол за количествено и качествено установяване, документиране и представяне на готовата продукция на склада. Описани са факторите за контрол на качеството. Внедрява се система по управление на качеството чрез цифровизация на оперативните документи. Описани са дефектите, които възникват от производството на стомана до производството на тръби и профили.

Глава 3

СЪЗДАВАНЕ НА МЕТОДИКИ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ИНТЕЛИГЕНТНО ИЗСЛЕДВАНЕ

Съставянето на методика е изключително важно за провеждане на изследвания. Повторяемостта при методиките и последователността на действията и процесите се гарантира унифицираност в получените резултати. Необходимо е да бъде обърнато внимание на редица фактори за различните изследвания.

За производството на тънкостенни тръби от студено валцувана стомана за тръбна мебел и други изделия се използват редица технологични процеси и операции, реализирани на иновативни автоматични машини, автоматични линии и агрегати, съоръжени с необходимата технологична екипировка и съвременното им цифрово управление. Това налага да се състави методология за интелигентно измерване на производството им, която включва 13 методики:

1. Метод за технологична подготовка на образец/ епруветка
2. Съставяне на методика за тестване на образец (пробно тяло) за изпитване на якост на опън
3. Съставяне на методика за тестване на линейна пластична деформация на твърдо тяло
4. Създаване на методика и експериментално изследване на въглеродна стомана при опън

5. Методика за подготовка и провеждане на спектрален анализ на метално пробно тяло
6. Съставяне на методика за проследяване механичните характеристики при изпитване на опън на пробни тела на нисковъглеродна стомана при трансформацията ѝ от горещо валцувана в студено валцувана ламарина
7. Съставяне на методика за иновативно производство на високоякостна студено валцувана стомана за прецизни електрозаварени тръби
8. Съставяне на методика за иновативно измерване на геометричните характеристики на метално пробно тяло чрез 3D компютърен томограф
9. Проектиране на нов тип иновативен държач на пробно тяло/ образец с правоъгълно сечение за 3D компютърният томограф
10. Съставяне методика за анализиране характеристиките на пробно тяло преди заточване на щанца
11. Съставяне на методика за изследване твърдостта на работни валове на стан за студено валцуване
12. Съставяне на методика за механична обработка и грапавост на работните валове за реверсивен стан за студено валцуване
13. Съставяне на методика за тестване грапавостта на нисковъглеродна стомана след студено валцуване на реверсивен стан 700

Заключение:

Съставени са 13 броя методики, които са в помощ на проведените експерименти в Глава 4. Стриктното спазване на методиките може да допринесе за по-точни резултати и интелигентно изследване. Извършването на експерименти по методиките водят до намаляване на брака при производство на тръби и профили.

ГЛАВА 4

ОПИТНИ РЕЗУЛТАТИ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧНА ДИАГНОСТИКА НА АВТОМАТИЧНИ МАШИНИ И ЛИНИИ

4.1.ТЕХНОЛОГИЧНА ПОДГОТОВКА НА ОБРАЗЕЦ/ ПРОБНО ТЯЛО

Пробните тела, наричани още епруветки се подготвят по стандарт, Част 1: Метод за изпитване при стайна температура BDS EN ISO 6892-1.

4.1.1. Форма

Обикновено тестваните образци трябва да имат уширения в двата си края на паралелната дължина, които се захващат за челюстите на машината за якост на опън. Другата причина на тези уширения е да се избегне скъсването на пробата в участъка на захващане с челюстите на машината за изпитване. Паралелната дължина L_c трябва да бъде свързана с краищата на пробното тяло с помощта на криви на преход с радиус от най-малко 20 mm. Ширината на тези краища трябва да бъде $\geq 1,2 b_0$, където b_0 е оригиналната ширина.

4.1.2. Размери на пробно тяло

Размерите на пробното тяло се определят от Таблица 4.1, а допуските се съобразяват според Таблица 4.2. В нашият случай ние сме избрали тип на пробно тяло № 2 с ширина 20 ± 1 mm.

Полученото пробно тяло е със следните размери:

b0- 20 mm, ширина на уширенията 30 mm;

Lc- 120 mm;

L0- 80 mm;

Lt- 180 mm.

4.2. ИЗБОР НА ТЕХНИЧЕСКО ОБОРУДВАНЕ

4.2.1. Машина за тестване на якост на опън

Всички механични тестове на металните образци по време на различните етапи на обработката се извършват с универсална електромеханична тестова машина WDW-300 (представена в глава 1). Серията WDW от контролирана с микрочип електронна универсална машина за тестване е предназначена главно за опън, компресия, огъване, срязване, обелване, разкъсване, абразия върху метал, гума, пластмаса, влакна, кожа, плитка, тел, кабел, строителни материали, дърво за проверка техните механични характеристики.

Максималното натоварване на опън е 300kN, точността на натоварване е 0,5%. Оборудването може да тества плоски образци от 0 до 20 mm и кръгли образци от 6 до 60 mm. Челюстните глави с обхват до 20 mm работят с хидравлика, а челюстните глави по-големи от 20 mm се затварят ръчно. Скоростта може да бъде от 0,005 mm/min до 500 mm/min.

4.2.2. Машина за спектрален анализ

Другото използвано устройство за контрол на качеството е BRUKER Q2 ION OES метален анализатор [128, 129]. Спектрометърът Q2 ION извършва металния анализ за 30 секунди. Работи с аргон. Това е универсална многоматрична система за цялостна проверка и качество на входящия материал на метални сплави. Основните му приложения и металните матрици включват мед, алуминий и желязо при по-малки лелярни, инспекционни фирми, рециклиране на метали и производители на метали.

4.3. ПОДГОТОВКА НА ПРОБНО ТЯЛО/ ОБРАЗЕЦ ЗА ЩАНЦОВАНЕ

Пресата, която се използва за щанцоване е хидравлична с единична шанца за рязане с просто действие със заготовка. Отворът на шанцата за поставяне на заготовка е с размери ВхШ- 300х40 mm. Щанцата е с гилотинни ножове и след дълга употреба по повърхността на пробното тяло има ръбче, което трябва да се зачисти или ножовете на матрицата да се заточат. Второто е препоръчително. За да се направи коректна проба за якост на опън - листа ламарина, който се използва трябва да е по посока на валцуване.

4.4. ПОДГОТОВКА ПРИ ОРАЗМЕРЯВАНЕ И ЛИНЕЙНА ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦИЯ НА МЕТАЛНО ПРОБНО ТЯЛО

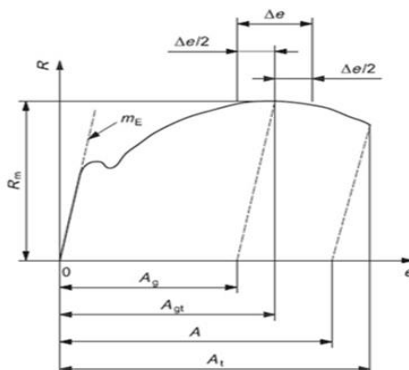
С помощта на микрометър се измерва на три места диаметърът d_0 или дебелината на пробните тела по дължината на работния участък с точност до 0,01 mm. По измерения най-малък диаметър/дебелина се определя площта на напречното сечение S_0 . След това върху работния участък се нанася изпитвателната дължина l_0 . Тя зависи от сечението и от вида на пробния образец. За получените метални епруветки се разчертават на $l_0 = 80$ mm. При кръгло напречно сечение има стойности $l_0 = 10 \cdot d_0$ за дългите и $l_0 = 5 \cdot d_0$ за късите

пробни образци. При правоъгълно напречно сечение с площ S_0 , те са съответно $l_0 = 11,3\sqrt{S_0}$ за дългите и $l_0 = 5,65\sqrt{S_0}$ за късите образци. За предпочитане е използването на къси пробни образци. Това разчертаване се прави, за да може след тестването ѝ да се изчисли удължението $A_{80}\%$, mm [130-136].

След обозначаването на изпитвателната дължина l_0 главите на пробния образец се поставят центрирано в челюстите на изпитвателната машина и се натоварват плавно (постепенно) на опън.

На фигура 4.6 е показана графика, която е типична за тестване на якост на опън. Показани са определения за удължение, необходими за анализа на пробно тяло, където:

- A е процентно удължение след скъсване (изчилено от екстензометъра или директно от пробното тяло)- $A\% = \frac{Lu - L_0}{L_0} \times 100$;
- A_g е пластично удължение при максимална сила- $A_g\% = \left(\frac{\Delta L_m}{L_e} - \frac{R_m}{m_E} \right) \times 100$;
- A_{gt} е тотално процентно удължение при максимална сила- $A_{gt}\% = \frac{\Delta L_m}{L_e} \times 100$;
- A_t е тотално процентно удължение след тоталното скъсване;
- „ e “ е процентно удължение; $A_t\% = \frac{\Delta L_f}{L_e} \times 100$;
- m_E е наклона на еластичната част от графиката напрежение-процентно удължение;
- R е напрежение;
- R_m е якост на опън- $R_m\% = \frac{F_{max}}{S_0} \times 100$;
- Δe е зона на удължаване;
- L_e е обхвата на измерване (екстензометъра)



Фиг.4.6. Графика, типична за тестване на якост на опън

За да сме сигурни в резултата е необходимо да се направят минимум по 3 измервания. Крайният резултат е осреднената стойност от всички измервания.

В таблица 4.3 е представен пример за изчисляване на удължението на пробно тяло при якост на опън на метално пробно тяло от нисковъглеродна стомана.

Таблица.4.3 Начални, крайни и изчислени параметри за удължение на пробно тяло

Начални параметри		Параметри след скъсване		Изчислени параметри	
a, mm	20	F _m , kN	8.28	R _m , MPa	360
b, mm	1.15			A, %	32
L ₀ , mm	80	L _u , mm	106	A _t , %	31.5
S ₀ , mm	23			A _{gt} , %	22.5
L _e , mm	120	m _E , MPa	240	A _g , %	21

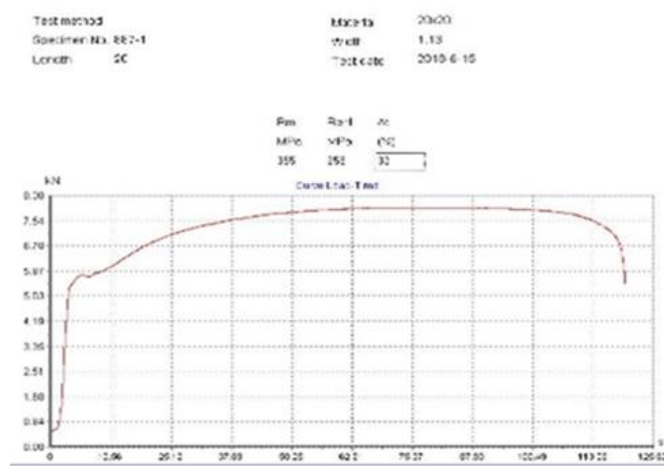
4.5. Експериментално изследване на образци от въглеродна стомана при якост на опън

4.5.1. Инициализиране на входни параметри при тестване на якост на опън

След подготовката на пробното тяло, геометричните параметри се въвеждат в софтуерна програма за обработка на данни WinWDW Electronic Universal Testing Machine. Тестваният материал, от който са изработени образците/епруветките е с марка стомана DC01(1,0330)= 08kp от ГВ стомана.

4.5.2. АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

С цел по-лесната обработка на резултатите се експортират във файл на Excel (фиг. 4.10), където могат да се систематизират според необходимите параметри. Също така директно от програмата може да се изготви тест репорт с графика и желаните параметри, които е необходимо да фигурират в отчета.



Фиг. 4.11 Графика на ГВ метал

След провеждане на изпитанието софтуерната програма за обработка на данните изчислява параметрите, описани в Таблица 4.4. Единствено относителното удължение A80,% се изчислява ръчно като се измерва от епруветката, посредством шублер.

4.6. Изследване на химичните показатели на въглеродна стомана

За да е сигурно, че доставената суровина отговаря на параметрите по сертификат се правят контролни измервания на всички характеристики. Целта е да се сведе до минимум грешка в изготвянето на режимите на работа и получаването на удовлетворяващи стойности на метала след неговата преработка.

След заприходяването на рулоните данните на всеки рулон се вписват в дневник. Прави се анализ на проби от всеки рулон и се сравнява с данните от сертификата. Освен това се прави и сравнение с данните, на които трябва да отговарят по стандарт за съответната марка стомана, Таблица 4.5.

Таблица 4.4 Изчислени параметри при якост на опън

Параметри след скъсване, изчислени от програмата/ графиката		Изчислени параметри от компютъра				Ръчно изчислени параметри	
F _m , kN	5,124	R _m , MPa	325	E, GPa	27,35	A ₈₀ ,%	34
F _{eH} , kN	3,672	A _{gt} , %	21	Re _H , MPa	230		
F _{eL} , kN	3,582	A _t ,%	30	Re _L , MPa	220		
δ, mm	36,14	R _p , MPa	230	Z, %	62		
		R _t , MPa	147				

Таблица 4.5 Данни от хим. анализ на ГВ Рулон, марка стомана S235JR

	C	Mn	Si	Al	Cu	Забележка
	%	%	%	%	%	
Данни по сертификат	0,17	0,87	0,018	0,055	0,012	отговаря на стандарта
Контролна проба	0,17	0,92	0,02	0,05	0,016	
Данни за стандарт S235JR, max ст-ти	0,17	1,4			0,55	

В повечето случаи стойностите на химичният състав отговарят на посочените в сертификата стойности, но има случаи в които се получава голямо разминаване както е представено в Таблица 4.6. Това води до разминаване в стойностите на механичните показатели в по-високи граници, което ако не е съобразено ще има проблем при технологичния процес.

Таблица 4.6 Сравнение на химични и механични показатели по сертификат и след тест

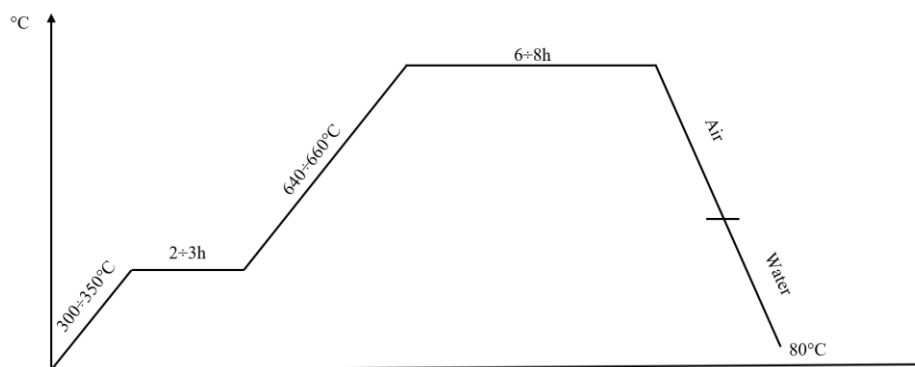
Вид	Марка	№ плавка	Химичен състав				R _m (Mpa)	Re (Mpa)	A, %
			C	Mn	Si	Al			
Данни по сертификат	DD11	915921	0,06	0,24	0,008	0,320	386	285	33
Контролна проба			0,08	0,26	0,012	0,033	410	335	29

4.7. Технологична постановка и опитни резултати от трансформация на механичните характеристики от ГВР към СВР

За изследването е използван едноклетков стан (Rolling Mill with one roll), като използваният метал е с входна дебелина 2 mm и ширина 550 mm, тегло на рулона 6 t, произведен в Румъния от ArcelorMittal Galati S.A. Изходната дебелина след валцуване е 1,13 mm, след 3 пъти преминаване през реверсивните ролки.

4.7.1. Термообработка на метала

➤ Диаграма на състоянието Fe-C



Фиг. 4.13. Диаграма на състоянието на желязо-въглерод.

➤ Методологията от диаграмата на фиг. 4.13 е описана чрез процеса на термообработка, който протича на 5 етапа:

- 1) Продувка;
- 2) Нагряване на метала до 350°C за период от 3 часа;
- 3) Последващо нагряване на метала от 300°C до ~650°C за период от 6 часа;
- 4) Въздушно охлаждане, докато металът достигне до 300°C;
- 5) Водно охлаждане от 300°C до 80°C.

По време на цикъла на отгряване протича защитна газ, която е смес от 96% азот и 4% Водород. Първият етап (продувка) е изключително важен процес и неизменна част от цикъла, защото целта на преминаването на тази защитна газ е да изгони кислорода, който се намира в пространството между рулоните. В противен случай ще се получи окисление на метала.

4.7.2. Опитни резултати

Показан е химичният състав на изследваната стомана в Таблица 4.7. Механичните свойства по време на различните етапи на обработка на метала са показани в Таблица 4.8.

Таблица 4.7 Химичен състав на изследваната стомана

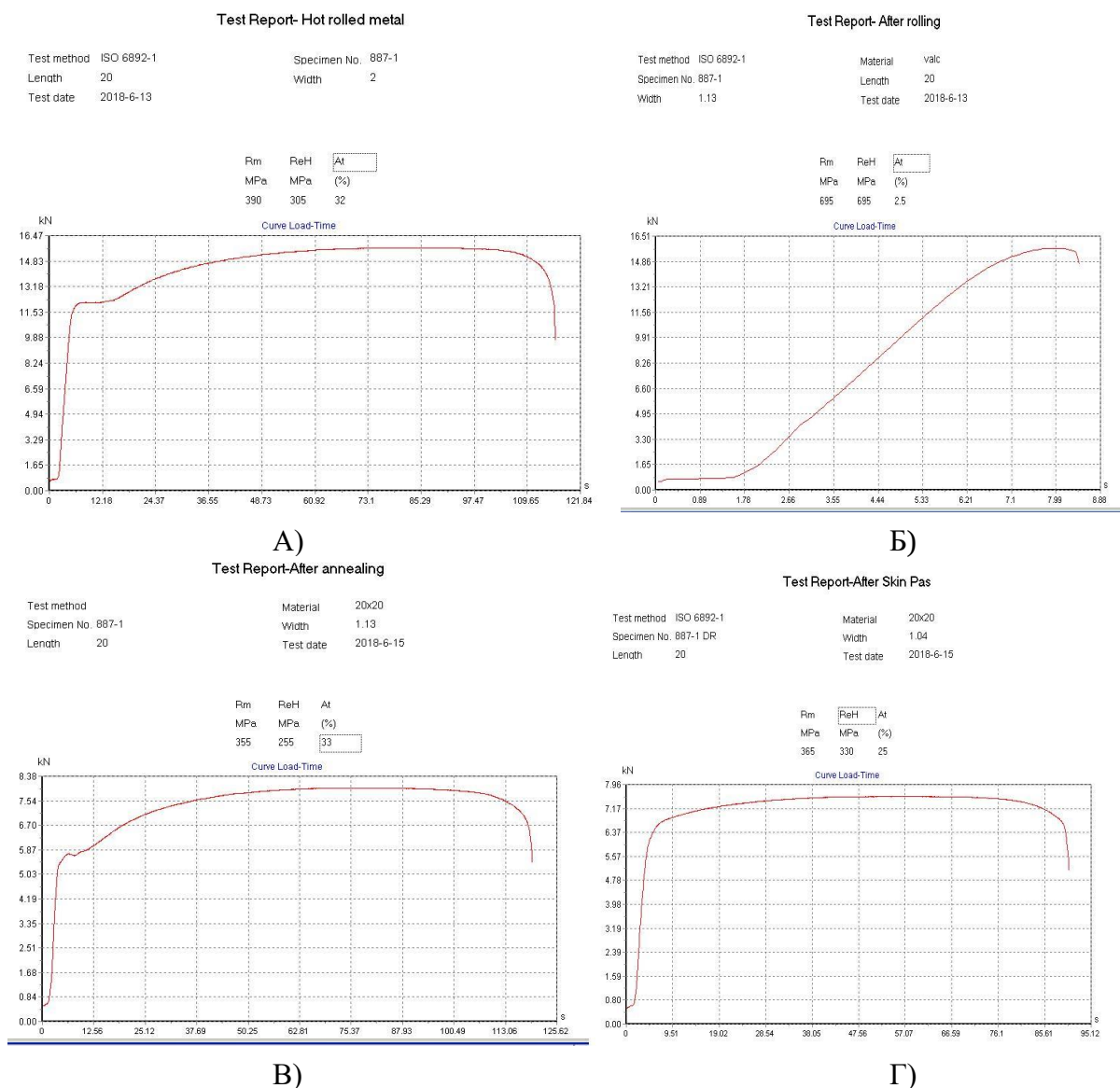
C	Mn	Si	P	S
%	%	%	%	%
0.06	0.19	0.01	0.008	0.007

Таблица 4.8 Механични характеристики повреме на различни етапи от технологичния процес

	Rm	Re	A
	Mpa	Mpa	%
ГВР	390	305	32
СВР	695	695	2.5
След отгряване	355	255	33
След дресиране	365	330	25

За изпитваните образци е зададена скорост от 20 mm/min.

4.7.3. Диаграми от тестване на якост на опън



Фиг. 4.14 Диаграми от тестване на якост на опън:

А) ГВР, Б) СВР, В) след отгряване, Г) след дресиране

4.8. Иновативно производство на високоякостна стомана

От направеният анализ на характеристиките на марка стомана S235JR (EN 1.0038 Steel), Стандарт EN 10025-2 се установи, че тя се доближава до изискванията на E320 и E370.

На база на осъществени експериментални данни и анализи е изработен технологичен режим за производство на тръби с марка E320 и E370, стандарт EN 10305-3 и EN 10305-5 в зависимост от входните данни на материала, химичният състав и механичните показатели.

Стандарта на марка стомана S235JR регламентира максимална стойност на въглеродният еквивалент:

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \leq 0.35 \quad (4.1)$$

За производството на стандарт E320 най-добрите стойности на CEV са $0,23 \div 0,30$

4.8.2. Технологичен режим и опитни резултати

След анализиране на входните параметри на ГВ суровината, които показват, че материалът е подходящ за производството на стомана E320, металът се разкроява на необходимата ширина, байцва се (повърхностно почистване от окалина, корозия и мръсотия) и се изготвя задание за валцуване според желаната дебелина. В нашият случай желаната дебелина е 1,0 mm.

При валцуването от 2,0 mm на 1,0 mm броят на пасовете са 3:

- 1- 2,0 mm → 1,55 mm 22,5%
- 2- 1,55 mm → 1,25 mm 19,4%
- 3- 1,25 mm → 1,0 mm 20%

След режима на валцуване се определя режима на отгряване и % деформация при дресиране (скин пас). Процеса на отгряване се състои от няколко етапа:

- 1) Продувка- 1 час (с цел изгонване на кислорода, посредством защитна газ от азот и въглерод)
- 2) 1-ва задръжка- 350°C/3ч: Нагряване на метала до 350°C в продължение на 3 часа
- 3) 2-ра задръжка- 620°C/ 20 мин. на всеки тон (полигонизация): Повишаване на температурата до 620°C, а времето се определя според количеството метал в тонове за всеки час. Например при стенд с тонаж 24 т, се получават 8 часа.
- 4) Охлаждане с въздух до 300°C
- 5) Охлаждане с вода от 300°C ÷ 100°C
- 6) Разопаковане на рулоните и естествено охлаждане до 40°C

За правилното отчитане на резултатите след отгряване е необходимо да се поставят три проби на различни места, симулирайки вземането на проба от началото, средата и края на рулона. Резултатите от 3-те проби се осредняват.

След термообработката, рулоните преминават през още един етап- дресиране/ скин пас. Чрез него метала става по-лъскав и повърхностно уякчен. В зависимост от това коя марка стомана искаме да постигнем, процента на деформация при дресиране след отгряване е различен. Табл. 4.11.

Таблица 4.11. Процент на деформация при различни марки стомана

Марка стомана	% Деформация	Марка стомана	% Деформация
E320	3	E275	10
E370	4,5	E355	15
E420	6		

4.9. Заточване на щанца

За правилното тестване на механичните показатели, линейните му размери (ширина и дебелина) трябва да се следят и дали ножовете на щанцата да не изхабят. При изхабени ножове се наблюдава загуба на равномерност по цялата площ [144, 145].

4.9.1. Анализ на геометричните характеристики с микрометър и шублер и чрез 3D компютърен томограф преди заточване на щанца за отсичане на метални образци

При привеждане на средноаритметичната стойност на измерените ширини и дебелини на тестовото тяло се получават следните параметри:

- Стойностите на пробите, измерени с микрометър и шублер
 $a = 0,96 \text{ mm}$; $b = 20,01 \text{ mm}$
- Стойностите на пробите, измерени с 3D компютърна томография
 $a = 0,99 \text{ mm}$; $b = 20,07 \text{ mm}$

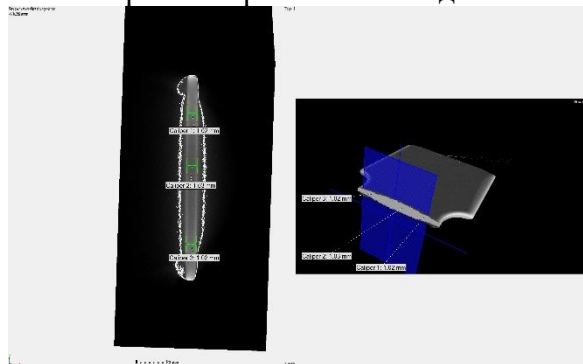
Ако направим симулация на изпитване на якост на опън, Таблица 4.14 при сила $F = 6,5 \text{ kN}$, тя ще бъде изчислена по формула $R_m\% = \frac{F}{S} \times 100$ и площ на напречното сечение $S = a \cdot b$, ще получим следните стойности:

Таблица 4.14: Симулация на изчисление на якостта на опън

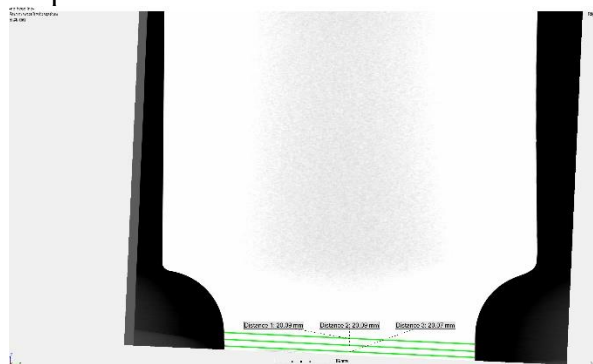
Измерени с:	S, mm	Rm, Мра
микрометър и шублер	19.2096	338
3D CT	19.8693	327

Резултатите показват, че стойностите на пробите, измерени с микрометър и шублер, се различават от тези, измерени с 3D компютърна томография.

На фигури 4.16 и 4.17 са представени изображения от 3D компютърния томограф от сканираните пробни тела на дебелината и ширината им.



Фиг. 4.16 Измерена дебелина с 3D томограф



Фиг.4.17 Измерена ширина с 3D

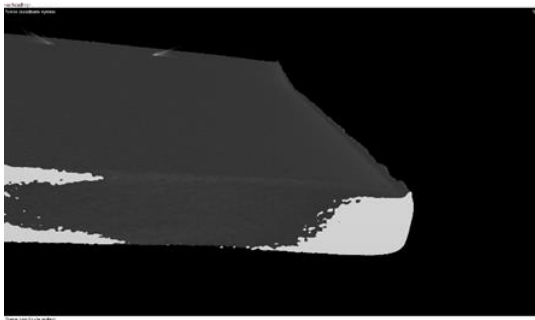
При отсичането на пробното тяло чрез щанцоване, при по продължителна работа се получава износване на ножа. Това явление се наблюдава на фиг. 4.18. Височината на усенка, който се получава е измерен посредством 3D томограф. След анализа от компютърния томограф се вижда ясно, че в двете страни на пробното тяло, дебелината е значително по-малка от реалната, което е следствие от захабения нож при щанцоването фиг. 4.16.

4.9.2. Сравнителен анализ на геометричните характеристики преди и след заточване на пресата за отсичане на пробни образци

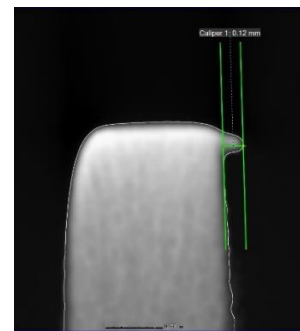
След направеният 3D компютърен анализ на образца, подготвен преди заточване на гилотинните ножове на пресата ясно се визуализира дефект по повърхността му. Поради изхабяването на ножовете се наблюдава смачкване на метала и деформирането му. Размера на дефекта е 0,12 mm е показан на фиг.4.19.

От направените изследвания на двата вида образци става ясно, че при изследвания образец, произведен преди заточване на ножовете се вижда деформация. . В краищата на образца е измерена значително по-малка дебелина от реалната дебелина в средата й- 0,92 mm; 1,04 mm; 0,88 mm.

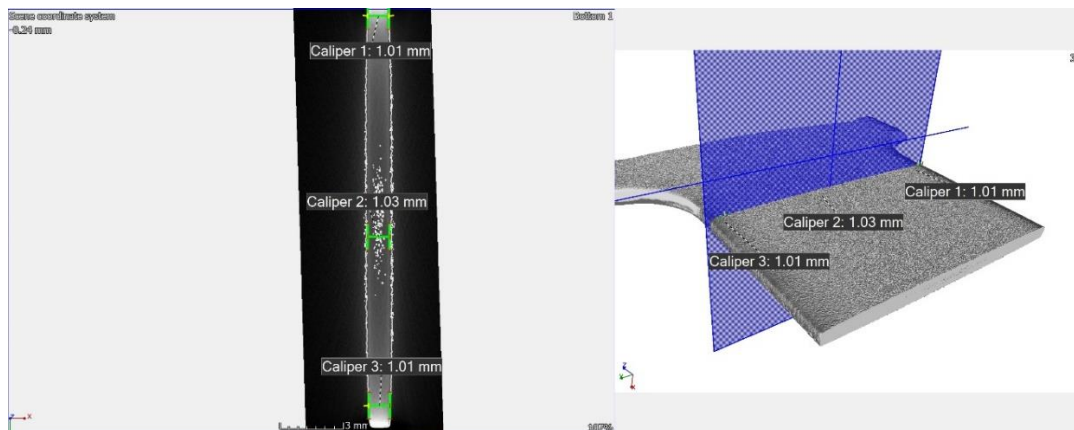
От анализа на образца, изготвен след заточване на пресата се забелязва равномерна ширина и дебелина (фиг. 4.26). Размерите на ширината са: 19,98 mm; 19,96 mm ; 19,96 mm, а тези на дебелината са 1,01 mm; 1,03 mm ;1,01 mm.



Фиг.4.18 Сканирано пробно тяло с усенък след шанцоване



Фиг. 4.19 Усенък на образец след шанцоване



Фиг.4.26. Измерване на дебелина на образец след заточване

4.10. Създаване на нов тип иновативен държач за пробни тела за 3D компютърен томограф

4.10.2. 3D моделиране на опитни образци

Моделирани са 5 епруветки с различна дебелина. На по-късен етап в методиката, моделираните 3D епруветки могат да бъдат използвани за еталони при сравнението им с изпитваните тестови епруветки.

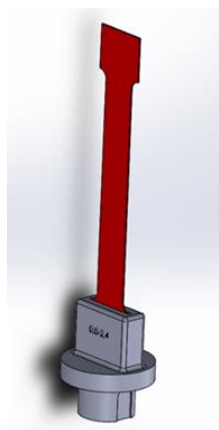
След моделираните епруветки с 3D CAD програмен продукт е моделиран и фиксиращ държач за епруветките. Държача показан на фиг. 4.28 е моделиран така, че да осигурява поставяне и закрепване на няколко типа епруветки, в зависимост от дебелината им [146].

4.10.3. 3D принтиран държач

Моделирания държач, Фиг. 4.29 е произведен чрез адитивна технология, на 3D Fused Deposition Modeling (FDM) принтер. Той е избран, защото консумативите са му по-евтини и за проектирането на прототипа не е необходима голяма прецизност в печатането.

4.10.4. 3D компютърна томография

Полезния модел държач за пробни тела действа по следния начин: Изследваният обект (епруветката) се поставя в държача, след което се закрепва в носещата маса на 3D компютърния томограф, описан в глава 1. Пробното тяло се затяга посредством светлия отвор с резба и с винта с резба. След поставянето на обекта за изследване, се задават параметрите, необходими за успешно сканиране на епруветката. При неправилно зададени параметри има вариант да не бъдат забелязани дефекти по вътрешната структура на изследвания обект.



Фиг. 4.28. Моделиран държач



Фиг. 4.30. Поставен обект за изследване

4.11. Изследване твърдостта на работни валове

4.11.4. Резултати и дискусии

Получените резултати са след преработка на метала, приблизително след като през тях са обработени 100 тона метал. Анализът е направен с преносим твърдомер на марката INSIZE, модел ISH-РНА portable, който има възможността да измерва твърдостта по 4 скали: HB (Бринел), HRC (Рокуел), HV (Викерс), МРа. Животът на опорните и работните валове е доста дълъг стига да се експлоатират по правилен начин.

След първоначалната работа с опорните валове, времето след което трябва да свалят за първо шлайфане е приблизително 3000 тона, поради повишаване на грапавостта или орубуване на валовите. След заглаждане на повърхността те отново се връщат в клетката за работа. При работните валове методът на работа е същият с разликата, че те се шлайфат след валцуване на 150 тона метал. Минималният диаметър на опорните валове е около $\Phi 520$ мм, а на работните валове до достигане на диаметър $\Phi 185$ мм.

Направените анализи са отчетени по скалата на Рокуел - HRC. От изследванията става ясно, че твърдостта на вала се е променила едва с 1 единица. Измерените стойности са описани с таблица 4.23.

Таблица 4.23. Твърдост на работен вал, производител“ Technocraft Interprises”, Индия след работа.

Размери	Твърдост Рокуел
mm	HRC
210x700x1927	61
	61.8
	62
Средно	61.6

4.12. Изследване грапавостта на работни валове и нисковъглеродна стомана

4.12.4. Изследване грапавостта на работни валове

➤ Използвана апаратура:

- Стругът, който се използва за обработка на работните валове е универсален струг С13МВ.
- За нуждите на производството е избран универсален кръгъл шлайф от български производител. Този шлайф е на принципа, при които обработваният детайл се върти, камъка стои неподвижен, а се мести масата, на която е закрепен.

➤ Опитни резултати

Измерванията на грапавост са извършени с преносим грапавомер DIAVITE compact, $0 \div 19.99 \mu\text{m}$ и точност $0.01 \mu\text{m}$, а диаметъра с електрон шублер INSIZE с обхват $0 \div 300 \text{ mm}$ и точност 0.03 mm [157].

След шлайфане на вала грапавостта е нормална - $0.4 \mu\text{m}$, а след работата му на валцуване достига свръхзаглаждане - $0.042 \mu\text{m}$, (табл. 4.21). След обработката на работният вал – шлайфане, диаметърът, който се отнема е в порядъка на 0.2 mm .

ТАБЛИЦА 4.21 Грапавост на работен вал

	Грапавост, [μm]
Шлайфан вал	0,4
Работил вал- преработени 50 t. метал	0,15
Работил вал- преработени 250 t. метал	0,042

4.12.5. Измерване на грапавост на нисковъглеродна стомана след валцуване на реверсивен едноклетков стан 700

За извършване на експеримента е направен анализ на грапавостта на нисковъглероден метал в няколко състояния на доставка и обработка на метала: горещо

валцуван рулон (Табл. 4.25), закупен студено валцуван рулон (Табл. 4.26) и студено валцуван рулон от закупен горещо валцуван рулон, преработен на реверсивен стан 700 за студено валцуване (Табл. 4.27).

В таблица 4.24 са представени резултатите от измерване на грапавост на студено валцуван рулон на реверсивен стан за студено валцуване при 5% и 50% деформация с начална грапавост 1,4 μm .

Таблица 4.25. Грапавост на Горещо Валцуван рулон, размер 2,0x1105 mm.

Брой измервания	Грапавот, μm
1	1,48
2	1,27
3	1,54
4	1,48
5	1,19
Средна стойност	1,39

Таблица 4.26. Грапавост на закупен студено валцуван рулон с размер 0,85x1010 mm.

Брой измервания	Грапавот, μm
1	0,98
2	0,99
3	1,02
4	1,0
5	1,03
Средна стойност	1,0

Таблица 4.27. Грапавост на студено валцуван рулон на реверсивен стан за студено валцуване при различни деформации с начална грапавост 1,4 μm

Брой измервания	Деформация	Грапавот, μm
1	5 %	0,99
2		1,0
3		1,02
4		1,01
5		1,02
Средна стойност		1,01
1	50 %	0,31
2		0,30
3		0,32
4		0,32
5		0,34
Средна стойност		0,32

4.13. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата работа е представен методът за технологична подготовка на едно пробно тяло от изборът на преса, видът шанца до размерите, на които трябва да отговаря по стандарт EN ISO 6892-1 едно пробно тяло за тестване на якост на опън. Пресата, която се използва е хидравлична с единична шанца за рязане с просто действие със заготовка. След тестването на различни дебелини и твърдости на пробното тяло става ясно, че няма

закомерност в броя проби, които ще се подготвят, след което ще трябва да се заточат гилотинните ножове на щанцата. Но след направено проучване и наблюдение на работния процес, вземайки предвид и интензивността на работа се предвижда необходимост от заточване след около 2 години или когато започнат да се появят ръбчета в участъка на срязване на заготовката.

Избран е най-подходящият за нуждите на производството размер на епруветката, а именно b_0 - 20 mm, ширина на уширенията 30 mm, L_t - 180 mm и L_c - 120 mm.

След направен обстоен анализ на изследването чрез спектрални апарати се установи, че този метод дава информация от съществено значение за опознаване и осъвършенстване на процесите на работа. Това е необходимо, за да могат да се правят бързи и точни количествени анализи на химичния състав на суровината, защото от там се определя целият режим на работа.

След анализирането на високоякостните марки стомана става ясно, че замяната на обикновените конструктивни марки стомана позволява значително да се намали металоемкостта на изработваните изделия чрез използването на по-малка дебелина на стената и при аналогични или по-високи показатели на якостта на опън. По този начин освен, че се запазва издръжливостта на изделието/конструкцията, но се намалява значително неговото тегло, увеличават се линейните метри на валцуваната ламарина, което води до икономия.

По време на тестването на якост на опън се чертае графика, от която програмата ще изчисли параметри, важни за анализирането на материала. В зависимост от тестваният материал графиката е различна. Тествана е нисковъглеродна стомана в различни етапи на преработка. При ГВР и студено валцуван метал след термообработка графиката е с ясно изразена граница на провлачване и метала е пластичен и с добри механични показатели. При студено валцуван метал без последваща термообработка, графиката е без граница на провлачване и металът е крехък. При дрсиран метал графиката е без ясно изразена граница на провлачване, но металът е пластичен и добри механични показатели.

В следствие на развиващият се свят и апаратурата за анализ се модернизират. Затова е направено сравнение на измерването на линейните величини чрез стандартните измервателни средства- шублер и микрометър и модернизираният 3D компютърен томограф, който дава по-детайлна информация относно какви проблеми могат да възникнат при подготовката на пробно тяло за тестване на якост на опън. Анализите показват, че въпреки разминаването при измерването чрез двата метода, размерите на образеца отговарят на стандартите по ISO за ширина и дебелина и не дават съществена грешка в последващо изчисляване на механичните показатели. При анализа с 3D компютърния томограф се виждат детайлни дефекти след отсичането на пробното тяло след щанцоване. Дебелината в двете страни на образеца се смачкват от 1,02 mm средна дебелина в средата му до 0,90 mm. Другият дефект, който се визуализира е появата на усенък също вследствие на износеният нож на щанцата.

От направеният сравнителен анализ на геометричните характеристики на метално пробно тяло за тестване на якост на опън, подготвени преди и след заточване на гилотинните ножове на преса се установиха значителни различия. От измерванията, направени на 3D компютърен томограф се установи, че когато ножовете са изхабени се получават големи дефекти по повърхността на образеца. При детайлното измерване на ширината се наблюдава смачкване на метала от горната страна на да на ножа, равномерност в средата и дефект в долната част на образеца. А дебелината в крайните ширини е с 0,12 mm по-малка, за разлика от пробното тяло, подготвено след заточване, където дебелината и ширината са равномерни.

Поради разнообразието в твърдостта и дебелината на заготовката е трудно да се каже след какъв период от работа се изхабяват гилотинните ножове на щанцата. По наблюдения за нуждите и натовареността на текущото производство се налага заточване през средно 2 години. Навременното заточване на гилотинните ножове на пресата могат да доведе до по-точното измерване на якостта на опън.

Препоръчва се междинна проверка на пробното тяло за период от 6 месеца, в зависимост от натоварването на пресата.

Създаден е държач за пробно тяло, използван при 3Д компютърен томограф за анализ на геометричните характеристики и структурата на епруветката. Той осигурява обезопасено и стабилно захващане, при което да бъдат избегнати повреди и неточности при изследването и анализа на пробното тяло, което е от изключителна важност при контрол на качеството. След направена съпоставка на размерите на новият държач за пробни тела и стандарта, по които се определят размерите става ясно, че всички размери на плоски пробни тела с правоъгълна форма са съпоставими с размера на държача и могат да бъдат тествани. Предимството на държача за пробни тела е намалено време за поставяне на пробните тела в подвижната плоча, сигурното захващане и възможност за поставяне на различни видове пробни тела и не попада в зоната за сканиране.

Оптичният метод на измерване, технологията TIV позволява измерване на твърдостта на различни материали без допълнително калибриране. Освен това, статичното прилагането на товара позволява измерване на твърдостта на тънки и малки обекти, както и на покрития.

Глава 5

ПЛАН ЗА КОМЕРСИАЛИЗАЦИЯ НА НАУЧНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

Използвайки най-нови технологични операции и оборудване от световни производители и марки, компанията е фокусирана в разработката на иновативни решения в производството на тръби и профили чрез:

- Бързо внедряване на нови профили.
- Производство на тръби и профили от високоякостен материал – до 520 Мпа.
- Производство на сложни профили в комбинация с материал с висока якост на опън, фиг. 5.1.



Фиг. 5.1. Сложни профили в комбинация с материал с висока якост на опън

5.2. Заключение:

Чрез направената симулация на комбинация от сложни профили и по-малка дебелина на тръбите и профолите и тестването им при натоварване показва значително намаляване на теглото на готовите изделия като това не нарушава тяхната здравина и външния вид.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В разработеният дисертационен труд са направени обзор, анализ и систематизация на методи и средства за технологична диагностика на автоматични машини и линии.

Предложен е технологичен регламент и подход за внедряване и експлоатация на технологичното оборудване за производство на тънкостенни електро-заварени затворени профили от студено валцувана стомана.

Предложени са методики за експериментална подготовка на пробно тяло чрез което се тества якост на опън, спектрален анализ и компютърна томография.

Извършени са експерименти с универсална тест машина за якост на опън, чрез която се анализират механичните показатели на метала.

Чрез спектрален анализ е изследван химичният състав на използваната суровина за коректно определяне режимите на работа.

Създаден е иновативен държач за пробни тела, който е защитен в патентно ведомство на Република България, рег. № 3892 U1/ 23.09.2020 г. Държачът намира приложение в разработените методики за 3D сканиране на вътрешната структура на пробното тяло, целяща безразрушителен анализ на геометричните му характеристики. Чрез използваната методика, държачът и 3D компютърният томограф са анализирани геометричните характеристики и вътрешната структура на пробното тяло. Анализите показват деформация във формата му, образували се усенъци, следствие от износване на щанцата за пресоване. Направен е анализ и препоръка за профилактика на щанцата, съобразена с натоварването и. Установено е, че профилактиката трябва да се извършва в рамките на две години.

Задълбоченият анализ на химичните и механични показатели допринася за намаляване на брака в процеса. Увеличава качеството на готовата продукция, както и изпълнението и в срок.

Научно- приложни приноси в дисертационния труд:

Приносите в дисертацията имат основно научно-приложен характер и са както следва:

1. След детайлен обзор е направен критичен анализ и систематизация на методи и средства за техническа диагностични процедури.
2. Обсъдени са съществуващи проблеми и решения, касаещи съвременната диагностика на автоматични машини и линии и е изследвано влиянието на ИКТ върху методите за техническа диагностика.

3. Предложени са иновативни подходи за диагностика на автоматични машини и линии.
4. Разработени са методики за: техническа диагностика (изпитване) чрез пробно тяло на пластична деформация и якост на опън, графики на въглеродна стомана при якост на опън, трансформация от горещо валцувана в студено валцувана ламарина, създаване на високоякостна студено валцувана стомана за прецизни електрозаварени тръби.
5. Разработени са методики за: проектиране на нов тип иновативен държач на пробно тяло, иновативно измерване на геометричните характеристики чрез 3Д компютърен томограф, анализиране характеристиките на пробно тяло преди и след заточване на шанца.
6. Разработени са методики за: спектрален анализ на метално пробно тяло, механична обработка и изследване на твърдостта и грапавостта на работни валове, тестване на грапавостта на нисковъглеродна стомана след студено валцуване
7. Направени са експериментални разработки и симулации на различни методики в индустриална среда.
8. Резултатите са анализирани и апробирани.

Б Л А Г О Д А Р Н О С Т И

Имах честта да работя под ръководството на проф. д-р Димитър Карастоянов, който ме подкрепяше и помагаше през годините – сърдечно благодаря за помощта и за неустоймото чувство за хумор.

Също така искам да благодаря на проф. д-мн Галя Ангелова за възможността да работя с уникална и модерна научно-изследователска апаратура в рамките на голям Европейски проект.

Разбира се, бих искала да изкажа благодарности и на доц. д-р Николай Стоименов за методическите указания и насоките, които ми даде.

Благодаря също на проф. д-р Тодор Нешков и на доц. д-р Любен Ключков от катедра АДП към МФ на ТУ-София за подкрепата през всички тези години.

Сърдечно Благодаря на всички !!!

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] „Правописен речник на българския книжовен език“ осмо стериотипно издание, Съставили Л. Андрейчин, Вл. Георгиев, Ив. Леков, Ст. Стойков, София 1978, Наука и Изкуство
- [2] Речник на чуждите думи в българския език; Александър Милев, Йордан Братков, Божил Николов, второ издание предговор към първото издание от Владимир Николов ДИ „ Наука и издателство“, 1964, София,
- [3] Български тълковен речник „НИ“ Л. Андрейчин, Ст. Илчев, Н. Костов, Ив. Леков, Ст. Стойков, Цв. Тодоров, четвърто издание, допълнено и преработено от Димитър Попов, 2018, ISBN-10:954-02-0156-X; ISBN-13:978-954-02-0156-6
- [4] Сп. Инженеринг ревю, Механични системи, брой 2, 2010
- [5] Клъстери и иновации- възможна парадигма на обновление, ст.н.с д-р Бенислав Ванев и ст.н.с. д-р Кирил Желязков, стр. 310 (от 309-337 стр. Иновациите- европейски, национални и регионални политики), 2008, Фондация „Приложни изследвания и комуникации“, ISBN 978-954-9456-12-7 ARC FUND.
- [6] Кейносукэ Оно и Тацуюки Негоро, „Статистически мениджмънт на производствения бизнес“, (Strategic management of manufacturing businesses”- Corporation, Tokyo, Japan), издание на Bulgarian AOTS Alumni Society и ЦКП
- [7] СМПБ, стр. 55
- [8] Иновациите- Европейски, национални и регионални политики, научен редактор проф. д.н.к.н. Марин Петров, Фондация „Приложни изследвания и комуникации“, ARC FUND, ISBN 978-954-9456-12-7; с (София), 2008
- [9] <https://www.ikea.bg/>, (последно посетен 12.2021)
- [10] В.Гановски, И. Бояджиев, Л. Клочков „Автоматични линии“, учебник, печатна база ВМЕИ „В. И. Ленин“, София, 1989
- [11] <https://ferropipe.com/carbon-steel-pipe/>, (последно посетен 12.2021)
- [12] <https://www.omega-bg.com/bg/%D0%B7%D0%B0-%D0%BD%D0%B0%D1%81>, (последно посетен 12.2021)
- [13] <https://www.husltd.com/bg>, (последно посетен 12.2021)
- [14] <https://www.megaprofil-bg.com/>, (последно посетен 12.2021)
- [15] <http://www.zpt.bg/galvanizing.php?l=bg>, (последно посетен 12.2021)
- [16] <https://www.steelimpex.eu/>, (последно посетен 12.2021)
- [17] <https://arcelormittal.com/>, (последно посетен 12.2021)
- [18] <https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/top-producers.html>, (последно посетен 12.2021)
- [19] https://en.wikipedia.org/wiki/Magnitogorsk_Iron_and_Steel_Works#cite_note-4, (последно посетен 12.2021)
- [20] <http://eng.mmk.ru/>, (последно посетен 01.2022)
- [21] <https://www.zaporizhstal.com/ru/>, (последно посетен 01.2022)
- [22] Сп. Инженеринг ревю- брой 6, 2013 г.К. Elissa, “Title of paper if known,” unpublished.
- [23] Zheng Q., Mashiwa N, Furushimaa T., Evaluation of large plastic deformation for metals by a non-contacting technique using digital image correlation with laser speckles, Materials and Design 191, 2020, 108626.
- [24] Penchev T., Altaparmakov I., Stoimenov N., Controlled Impact: Experimental Results in plastic deformation. XXVIII International Scientific Conference of the Faculty of Industrial Technology of TU-Sofia – FIT’2015, Sozopol, Bulgaria, 11-13 September, 2015, ISBN:978-619-167-178-6, 2015, pp. 151-156.
- [25] Ройдев М., Георгиева В., Стоименов Н., Клочков Л., Панев П., Разработване на автоматична линия за опаковане с еднократна опаковка, XXV МНТК Автоматизация на дискретното производство „АДП – 2016” 23-26 Юни, Созопол 2016г., ISSN – 13 10 -3946, 2016, стр.232-239.
- [26] Meusbarger <https://www.meusbarger.com/IT/IT/prodotti/stampi-per-tranciatura/base-portastampo/base-portastampo-di-precisione-sp> (последно посетен 01.2022).
- [27] Илиев Л.- Методи за определяне свойствата на материалите – якостни и пластични свойства, Курсова Работа по Технология на Материалите
- [28] Stoimenov N., Gyoshev S., Penchev T., Contactless measurement of temperature during cold plastic deformation., Scientific Proceedings, NDT days 2016, Number 1 (187), June 2016, ISSN 1310-3946, pp. 449-450

- [29] Иванчев И., Славчев В., Добрева И., Даалов Б., Експериментално определяне на якостните характеристики при различна възраст на бетона, XVIII Юбилейна международна научна конференция по строителство и архитектура ВСУ'2018, ISSN: 1314-071X
- [30] Ivanchev I., Slavchev V., Research on concrete mechanical properties and their application for cracks' research in reinforced concrete elements, subjected to bending, 15th International scientific conference VSU'2015, ISSN: 1314-071X, pp.115-120
- [31] http://www.wance.net/products/dzwnsyj/weihongdianzi/index.html?gclid=EAIaIQobChMI7O-C3dfv3gIV1B-tBh3LQg9LEAAyAAEgKOoPD_BwEV.
- [32] Опъковъчен лист за компютърно контролирана електронна тест машина, Time Group
- [33] <https://www.zwick.com/en/systems-for-climate-and-temperature-testing/temperature-chamber>, (последно посетен 01.2022)
- [34] Цонев В., Изследване на механични характеристики на легирани стомани в условията на високи температури, Автореферат за присъждане на образователна и научна степен „Доктор“
- [35] Киркова Е. Обща Химия. София, Унив. изд. „Св. Климент Охридски“, (2001). с. 436.
- [36] Добри Лазаров, „Неорганична химия“, (2019), УИ "Св. Климент Охридски", ISBN: 9789540738192
- [37] Христо Радев, „Метрология и измервателна техника“, книга- справочник в три тома, под общата редакция на проф. д.т.н. Христо Радев, издателство „Софтрейд“, София 2012 г. (Том 2, стр. 144-165, Механични средства за измерване)
- [38] Polymeta-S, last visited June 2021 <https://www.polymeta.bg/shop/instrumenti-i-okomplektovka-za-metalorezheshhti-mashini/insize-2/shubleri/elektronen-shubler?v=461b1990fe86>
- [39] ARC Metrologia, <http://www.arc-bg.com/195-izmervatelni-instrumenti-sylvac-shveicariq>, (последно посетен 01.2022)
- [40] Христо Радев и колектив, „Измерване на диаметри на голямо габаритни валове“ XXV Национален научен симпозиум с международно участие „Метрология и Метрологично осигуряване“, 2015, 7-11.09,2015 Созопол, 70 год. ТУ София, стр. 221-225
- [41] Христо Радев и колектив „Определяне на непостоянството на оста на въртене на обекти, осъществяващи точни въртеливи движения“, XXV Национален научен симпозиум с международно участие „Метрология и Метрологично осигуряване“, 2015, 7-11.09,2015 Созопол, 70 год. ТУ София, стр. 226-234
- [42] Христо Радев и колектив, „Измерване на геометричните параметри на голямо габаритни ротационни детайли тип „пръстен““, XXV Национален научен симпозиум с международно участие „Метрология и Метрологично осигуряване“, 2015, 7-11.09,2015 Созопол, 70 год. ТУ София, стр. 235-239
- [43] Kazakova S., Kamenova I., Klochkov L., Stoimenov N., Popov B., Sokolov B., Application of 3D Industrial Tomography In Dental Medicine., International Scientific Conference “Industry 4.0”, 13-16 December 2017, Borovets, Bulgaria, pp. 187-190, ISSN: 2535-0021 (Print), 2535-003X (Online), Publisher: Scientific Technical Union of Mechanical Engineering Industry – 4.0
- [44] Nikon Metrology Brochure http://www.nikonmetrology.com/en_EU/Products/X-ray-and-CT-Inspection/Computed-Tomography/XT-H-225-ST-Industrial-CT Scanning/, (последно посетен 01.2022)
- [45] (<https://www.livescience.com/39810-fused-deposition-modeling.html>)
- [46] <https://all3dp.com/fdm-vs-sla/>, (последно посетен 01.2022)
- [47] <https://www.fargo3dprinting.com/choose-fdm-sla-desktop-3d-printers/>, (последно посетен 01.2022)
- [48] Опитът на японските корпорации „Тошиба“ и Сейко, книжка 5/93, Издателство „Център по качеството и производителността“, С., 1993, Издателство стандартизация
- [49] Г. Дюкенджиев, Р. Йорданов „Контрол и управление на качеството“, сп. Софтрейд, 2002 год.
- [50] И. Малаков, Г. Дюкенджиев, Ф. Флеминг, Р. Йорданов „Класификация на методите за определяне на технико- икономическите показатели за качество при проектиране на технически изделия“, научни измествия, НТСМ, година XIII, брой 10/93, ноември 2006 г., „ННТКМУ“, Автоматизация на дискретното производство, АДП 2006, ноември 2006, София ISSN-13-10-3946 (27-33).
- [51] Н. Коцев, Е. Ринкова, Е. Грънчаров, „Анализ и оценка на риска на заключалки на шахтни врати на асансьори“, сборник доклади АДП 2008г., НТКМУ, Семково- септември 2008 г. ISSN-13-10-3946 (277-283).
- [52] В. В. Брагин, Ф. Чабон, „Оценка риска и последствий отказов комплексной системы, конструкций, процессов, Ярославль, 1997.
- [53] К. Димитров, Д. Данчев, „Надеждност на строителни машини и системи“, Техника, С., 1994 г.
- [54] Б. Савова, Е. Евгениев, „Оценка на професионалния риск“, Издателска къща „Шанс“ АД, С., 2008

- [55] Е. Евгениев, Б. Савова и В. Куцарова, „Оценка на професионалния риск“ част втора, Издателска къща „Шанс АД, Сл., 2011, ISBN 978-954-92179-6-4
- [56] <http://www.efnms.eu/>, (последно посетен 01.2022)
- [57] Cold Rolled Steel". Archived from the original on 7 April 2014. Last visited 31 March 2018.
- [58] How innovation works: And why flouris in freedom, Copyright ©, Matt Ridley, 2020; ISBN: 978-954-28-3274-4
- [59] БДС, EN, IEC 60812. Методи и анализ на надеждността на системите. Процедура за анализ на видовете откази и последиците от тях (FMEA).
- [60] БДС, EN, IEC 61025. Анализ чрез дървото на отказите (FTA).
- [61] <http://bg.buildingplateexporter.com/info/differences-between-hot-rolledcoil-and-cold-r-22051379.html>, (последно посетен 01.2022)
- [62] Liu, David Lipták, Béla G. (1997). Environmentalengineers' handbook. CRC Press. p. 973. ISBN 978-0-8493.
- [63] CRCA Steel - Cold Rolled and Close Annealed".materialgrades.com. 4 November 2017.Archived from the original on 15 November 2017. Last visited 29 April 2021.
- [64] Hot Rolled vs Cold Rolled Steel. spaco.org. Archived from the original on 29 April 2018. Last visited 29 April 2021.
- [65] Eagleson, Mary (1994). Concise encyclopedia chemistry). Walter de Gruyter. p. 834. ISBN 978-3-11-011451-5.
- [66] BDS EN 10130: 2006
- [67] BDS EN 10139: 1997
- [68] http://www.splav-kharkov.com/en/e_mat_start.php?name_id=356, (последно посетен 01.2022)
- [69] БДС EN 10131:2006
- [70] БДС EN EN10140
- [71] BDS EN 10025
- [72] BDS EN 10111: 2009
- [73] BDS EN 10305-3
- [74] BDS EN 10305-5
- [75] http://www.sa-inco.com/en/pickling-_-cleaning-lines/projects/12, (последно посетен 01.2022)
- [76] <http://www.sa-inco.com/en/rolling-mills/projects/1>, (последно посетен 01.2022)
- [77] ИЗМЕРВАНЕ НА ТВЪРДОСТ НА МЕТАЛИ И СПЛАВИ, Сп. Инженеринг ревю - брой 9, 2013
- [78] Учебна литература по металознание / материалознание (31)
- [79] Христов, С.Г., Изпитване и дефектоскопия на металите, С., Техника, 1988.
- [80] <https://www.hardnesstesters.com/>, (последно посетен 01.2022)
- [81] <http://www.sa-inco.com/en/annealing-and-heating-ovens/projects/3>, (последно посетен 01.2022)
- [82] <http://www.elmaksan.net/contact-us/>, (последно посетен 01.2022)
- [83] <http://www.olimpia80.com/>, (последно посетен 01.2022)
- [84] <https://www.danieli.com/en/worldwide/business-units/danieli-centro-tube.htm>, (последно посетен 01.2022)
- [85] Дюкенджиев Г., Йорданов Р., Методи за анализ на измервателни системи. Оценка на възможностите и приложения
- [86] проф. д.т.н. Хр. Радев, Метрология и измервателна техника, книга- справочник, Том 1, 2, 3, София, Софтрейд, 2002
- [87] Семерджиев А., Автоматизация на контрола в машиностроенето, сп. Техника, 1990
- [88] https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%8A%D0%B3%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B0_%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B0 (последно посетен 01.2022)
- [89] METINVEST HOLDING LLC, <https://metinvestholding.com/bg/media/news/chto-takoe-goryachekatanij-stalnoj-prokat-i-kak-on-proizvoditsya>, (последно посетен 01.2022)
- [90] S. Moir, J. Preston, Surface defects—evolution and behaviour from cast slab to coated strip, 125 (2002), pp. 720-724
- [91] <https://stomanaengineering.com/>
- [92] Завод „Стомана Индъстри“ АД, гр. Перник, България <https://stomanaengineering.com/>, (последно посетен 01.2022)
- [93] H. Yu, X. Liu, X. Ren, Behaviour of longitudinal cracks on slab surfaces in V-H rolling processes, Steel Res. Int., 2 (2008), pp. 537-544, 10.2374/SRI07SP066-79-2008-xx

- [94] M.Nioia, S.Celottob, C.Pinnaa, E.Swartb, H.Ghadbeigia, Journal of Materials Processing Technology, Volume 249, November 2017, Surface defect evolution in hot rolling of high-Si electrical steels, Pages 302-312
- [95] S. Shainu, T.K. Roy, B.K. Dey, R.K. Sharma, N.C. Gorain, S. Dhar, C.V. Sastry, Study on Slab Surface Defects and Generation of FeO Type Slivers in Hot Rolled Coils Tata Steel Ltd., Jamshedpur (2008)
- [96] S.-L. Lee, J. Choi, Deformation analysis of surface defect on hot rolling by 3-D FEM simulation, Rev. Metall. Cah. Inf. Tech., 105 (2008), pp. 127-135, 10.1051/metal:2008025
- [97] Paneva M., Klochkov L., Methodology and experimental study of carbon steel in tension for technological preparation of a sample /test tube, XXIX International Scientific and Technical Conference, ADP - 2020., 29.06-02.07 2020, Sozopol, Bulgaria., Publishing house of TU-Sofia ISSN – 2682-9584, Publisher Department “Automation of Discrete Production Engineering” Mechanical Engineering Faculty, Technical University – Sofia, pp. 56-61
- [98] European standard - Metallic materials- Tensile testing- Part 1: Method of test at room temperature (EN ISO 6891-1:2009)J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [99] Paneva M., Research of Mechanical Characteristics in Tensile Tests of Low Carbon Steel Samples During Transformation from Hot Rolled to Cold Rolled Sheet Metal Method for testing the grinding media in mills, 8th International Conference on Mechanical Technologies and Structural Materials (MTSM 2018), Split, Croatia, September 27-28, 2018, Croatian Society for Mechanical Technologies, Croatia, ISSN: 1847-7917, pp. 153-158
- [100] Paneva M., Linear Plastic Deformation of Solid Body, Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, 71, Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, ISSN:0204-9848, 2019, pp. 35-42
- [101] Балевски А., Металознание. Изд. „Техника“, София, (1975) (5-то издание).
- [102] Будуров Ст., Спасов Т.. Увод в химията на твърдото тяло. Университетско издателство „Н. Рилски“, Благоевград, (1997), ISBN: 954-680-080-5.
- [103] Феликс Н., Арсов Я.. Планиране на експеримента в технологията на металите. Изд. „Машиностроение“, Москва, изд. „Техника“, София, (1981).
- [104] Zlateva, G., Martinova Зл., Microstructure of Metals and Alloys. An Atlas of Transmission Electron Microscopy Images. CRS Press, Taylor & Francis Group, (2008), ISBN: 978-1-4200-7556-4.
- [105] Арсов, Я.Б. Стоманени отливки. Изд. „Техника“, София, 1974.
- [106] <https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B0%D0%BB%D1%86%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B5>, (последно посетен 01.2022)
- [107] M. Zhaoa, L. Huang, Ch. Li, J. Li, P. Li, Evaluation of the deformation behaviors and hot workability of a high-strength low-alloy steel, Materials Science and Engineering: A, 810 (2021), p. 141031
- [108] D.X. Wen, J.K. Wang, K. Wang, Y.B. Xiong, L. Huang, Z.Z. Zheng, J.J. Li, Hot tensile deformation and fracture behaviors of a typical ultrahigh strength steel, Vacuum, 169 (2019), p. 108863
- [109] 3D Systems <https://www.3dsystems.com/software/geomagic-control-x>, (последно посетен 01.2022)
- [110] J. C. Maxwell, 1892, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, pp. 68–73.
- [111] Laboratory SmartLab at the ICT-BAS (last visited December 2021) – https://www.ict.bas.bg/rius/smartlab_en.html
- [112] Stoimenov N., Panev P., Karastoyanov D., Software for 3D Modeling, Simulation and Optimization, XXVII International Scientific and Technical Conference, ADP - 2018., June 21-24th 2018, Sozopol, Bulgaria., pp. 329-334, ISSN – 13 10 -3946.
- [113] Paneva M, Panev P, Stoimenov N, Survey of the Geometric Characteristics of a Test Specimen Before Punch Sharpenings, V INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE "INDUSTRY 4.0", 09-12.12.2020, BOROVETS, BULGARIA, ISSN: 2535-0153, pp. 245-248
- [114] M. Paneva, N. Stoimenov, Hardness Of Working Rolls For Cold Rolling Mill, 8th International Conference, ICAT'19 Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, August 26-30, E-ISBN: 978-605-68537-4-6, 2019 pp. 203-206
- [115] <https://metalin.com/bg/pages/Kakvo-predstavlyava-protzesat-na-strugovane>
- [116] доц. Д. Неделчев, катедра ТМММ, ТУ-Варна: Тема 3. Стругови операции. Характеристики и възможности на процеса. Елементи на технологичната система, 2014. ,
- [117] Д. Георгиев, Д. Неделчев, Ст. Славов. „Технология на машиностроенето I част“.
- [118] Ан. Диков, „Технология на машиностроенето“, Година на издаване 2007; Брой на страници: 410;ISBN: 9789543340538; Издател: Софтрейд.

- [119] ДИПЛОМНА РАБОТА на тема: „Устройство за повърхностна обработка на фино - механични детайли с неправилна форма” 2008 г.
- [120] Михайлов, Вл., „Шлифване на външни и вътрешни цилиндрични повърхнини”, 1965 г.
- [121] БДС_EN_22768-2
- [122] Атанасов, Ж., „Абразивна обработка на металите”1979/80 г.
- [123] <https://intraLink.bg/podavaschi-abrazivi-za-bezcentrovi-shlajfove.html>, (последно посетен 01.2022)
- [124] БДС EN ISO 4287:2006
- [125] В. Анчев, В. Тошков, Л. Василева, Ж. Захаридова, Ж. Калейчева, Й. Николов, Р. Петров, В. Симеонов, Ръководство за лабораторни упражнения по Материалознание, ИК „КИНГ“, 335 стр
- [126] Assoc. Prof. Eng. Ivelin Ivanov, Materials resistance, lecture notes for the specialties HERE and II, 2006.
- [127] Ръководство за работа Универсална машина WdW-300
- [128] Bruker, <https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/elemental-analyzers/optical-emission-spectrometers/q2-ion.html>, (последно посетен 01.2022)
- [129] Manual for Spectrum Analyzer device.
- [130] David Roynance, Mechanical Properties of Materials, 2008
- [131] J. Whitney, H. Whitney, A Handbook of Mathematical Methods and Problem-Solving Tools for Introductory Physics, Copyright © 2016 Morgan & Claypool Publishers Online ISBN: 978-1-6817-4281-6 • Print ISBN: 978-1-6817-4280-9
- [132] Todor Penchev, I. Altaparmakov, N. Stoimenov, Controlled Impact: Experimental Results in plastic deformation, XXVIII International Scientific Conference of the Faculty of Industrial Technology of TU-Sofia – FIT`2015, Sozopol, Bulgaria, 11-13 September 2015, pp.151-156, ISBN: 978-619-167-178-6
- [133] N. Stoimenov, B. Popov, V. Yosifova, Controlled High-Temperature Sintering of Boron Carbide, 23rd International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2019), MATEC Web Conf. 292 03005 (2019), eISSN: 2261-236X, DOI: 10.1051/mateconf/201929203005
- [134] Stoimenov N., Gyoshev S., Penchev T., Contactless measurement of temperature during cold plastic deformation., Scientific Proceedings, NDT days 2016, Number 1 (187), June 2016, ISSN 1310-3946, pp. 449-450
- [135] Karastoyanov D., Gyoshev S., Penchev T., Altaparmakov I.. Innovative Impact Processes: Machines, Theory, Experiments, Modeling. Prof. Marin Drinov Academic Publishing House, 2016, ISBN:978-954-322-860-7, 111
- [136] Gyoshev S.. Theory of Controlled Impacts. PROBLEMS OF ENGINEERING CYBERNETICS AND ROBOTICS, 67, 2016, ISSN:0204-9848, 11-18
- [137] Penchev T., Karastoyanov D., Gyoshev S., Altaparmakov I., (2016). Monography – Innovative Impact Processes: Machines, Theory, Experiments, Modeling, Academy publishing house, Sofi, ISBN 978-954-322-860-7
- [138] Karastoyanov D., Ivanova D., Stoimenov N., (2015). Technology for production of high-temperature materials and alloys including nano elements., Recent Advances in Systems,19th International Conference on Systems (part of CSCC`15), Zakynthos Island, Greece, July 16-20, pp. 177-181, ISSN: 1790-5117, ISBN: 978-1-61804-321-4.
- [139] Stoimenov N., Karastoyanov D., Vukov A., Neshkov T., Klochkov L., Gyoshev S., (2014).
- [140] Thermographic Study Of Rolls on Roller Batteries., XII International SAUM Conference on Systems, Automatic Control and Measurements., Nis, Serbia, November 12th-14th, pp 25-28, ISBN 978-86-6125-117-7
- [141] Gyoshev S., Penchev T., Karastoyanov D, (2014). Study of parameters of controlled impact by impact deformation of elastic and elastic-plastic materials. 5th European Conference of Mechanical Engineering (ECME' 14), November 22-24, Florence, Italy, p. 113-119, ISBN: 978-960-474-402-2
- [142] Marchecheva Y., Loukaycheva M., Tsonev V., Dimova B., The influence of magnesium alloy AE42 test specimens deformation magnitude on their microstructure, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 878 012065, 2020
- [143] https://en.wikipedia.org/wiki/File:Lamination_schema_gene.svg, (последно посетен 01.2022)
- [144] Ruzic J., Stoimenov N., Advanced copper matrix composites, 2016 “Prof. Marin Drinov” Publishing house of Bulgarian Academy of Sciences, ISBN 978-954-322-859
- [145] Hristov S., Testing and Flaw Detection of Metals, Technika, (1988)
- [146] Paneva M., Klochkov L., Methodology and experimental study of carbon steel in tension for technological preparation of a sample /test tube, XXIX International Scientific and Technical Conference, ADP - 2020., 29.06-02.07 2020, Sozopol, Bulgaria., Publishing house of TU-Sofia ISSN – 2682-9584, Publisher Department

- [147] “Automation of Discrete Production Engineering“ Mechanical Engineering Faculty, Technical University – Sofia, pp. 56-61
- [148] <http://www.insize.com/>, (последно посетен 01.2022)
- [149] Markus Grüber, Gerhard Hirt, Investigation of correlation between material properties, process parameters and residual stresses in roller leveling, *Procedia Manufacturing*, Volume 15, Pages 844-851, ISSN 2351-9789, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.180>, 2018.
- [150] José Lucio Gonçalves, José Daniel Biasoli de Mello, Henara Lillian Costa, Wear in cold rolling milling rolls: A methodological approach, *Wear*, Volumes 426–427, Part B, Pages 1523-1535, ISSN 0043-1648, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.12.005>, 2019.
- [151] TECHNOCRAFT INTERPRISES Quality Certificate
- [152] NKMZ Quality Certificate
- [153] SIJ RAVNE SYSTEMS, Hardness Conversion Table - <https://sij.ravnesystems.com/assets/Uploads/Hardness-Conversion-Table.pdf>, (last visited August 2019)
- [154] Paneva M. and Panev P., MECHANICAL TREATMENT AND ROUGHNESS OF WORKING ROLLS FOR REVERSE MILL FOR COLD ROLLING, XXX International Scientific and Technical Conference, ADP - 2021., 29.06 ÷ 02.07.2021, Sozopol, Bulgaria., Publishing house of TU-Sofia ISSN – 2682-9584, Publisher Department “Automation of Discrete Production Engineering“ Mechanical Engineering Faculty, Technical University – Sofia, pp. 38-42
- [155] Helpos.com, (2008) THESIS on the topic: "Device for surface treatment of fine - mechanical parts with irregular shape". (last visited April 2021)
- [156] Ruseva Sl., Papazyan K., Atanasov Ass., Petkova St.,(1988) ESKD, Handbook of design documentation, State Publishing House "TECHNIQUE", Sofia
- [157] https://www.hahn-kolb.net/-/DIAVITE-Compact-II/5521CL04_040801020102.cgid/bg/BG/EUR/ (last visited November 2021)
- [158] X. Renab, Y. Huangac, X. Zhangac, H. Licd, Y. Zhao, Influence of shear deformation during asymmetric rolling on the microstructure, texture, and mechanical properties of the AZ31B magnesium alloy sheet, *Materials Science and Engineering: A*, 800 (2021), p. 140306
- [159] J. Alberto, M. Martina, A. N. Schellcd, H. G. Brokmeiercd, R. E. Bolmaro, Comparison of a low carbon steel processed by Cold Rolling (CR) and Asymmetrical Rolling (ASR): Heterogeneity in strain path, texture, microstructure and mechanical properties, *Journal of Manufacturing Processes*, 64 (2021), Pages 557-575
- [160] M. Zhaoa, L. Huang, Ch. Li, J. Li, P. Li, Evaluation of the deformation behaviors and hot workability of a high-strength low-alloy steel, *Materials Science and Engineering: A*, 810 (2021), p. 141031
- [161] D.X. Wen, J.K. Wang, K. Wang, Y.B. Xiong, L. Huang, Z.Z. Zheng, J.J. Li, Hot tensile deformation and fracture behaviors of a typical ultrahigh strength steel, *Vacuum*, 169 (2019), p. 108863
- [162] Acatech (Hrsg.) (2015) Smart Maintenance für Smart Factories Mit intelligenter Instandhaltung die Industrie 4.0 vorantreiben acatech POSITION, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg].
- [163] Berger, R. (2014). INDUSTRY 4.0:The new industrial revolution How Europe will succeed. http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_TAB_Industry_4.0_20140403.pdf.(последно посетен 01.2022

