

# Система за контрол на качеството на заваръчните съединения при ултразвукова заваръчна машина

Мартин Димитров<sup>1)</sup>, Георги Милушев<sup>2)</sup>, Веселка Иванчева<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> ТУ-София, 1797 София, бул. „Кл. Охридски” №8, e-mail: [martin.dimitrov@yahoo.com](mailto:martin.dimitrov@yahoo.com);

<sup>2)</sup> ТУ-София, 1797 София, бул. „Кл. Охридски” №8, [gm@tu-sofia.bg](mailto:gm@tu-sofia.bg), [www.tu-sofia.bg](http://www.tu-sofia.bg)

<sup>3)</sup> ТУ-София, 1797 София, бул. „Кл. Охридски” №8, [yivancheva@tu-sofia.bg](mailto:yivancheva@tu-sofia.bg), [www.tu-sofia.bg](http://www.tu-sofia.bg)

*Резюме:* В тази статия е представен модел на измервателна система за повишаване на качеството на заваръчните съединения при ултразвукова заваръчна машина. Използвани са съвременни методи и средства за измерване и контрол на качествените параметри за заваръчните съединения преди и непосредствено след процеса на заваряване с цел изграждане на ефективна система за контрол на качеството (QMS-Quality Monitoring System). Системата ще подпомага наблюдаването и проследяемост на процеса и продукта, регулиране и анализиране на резултатите, с цел да осигуряване подпомагане на дейностите за прилагането на тотално управление на качеството - TQM (Total Quality Management).

*Ключови думи:* инкрементален сензор, система за контрол на качеството, ултразвуково заваряване, заваръчно съединение, статистически файл, контролна карта, входящ и изходящ контрол

## 1. Увод

Под „управление на качеството“ се разбира всички методи и дейности за изпълнение на изискванията към качеството зададени от клиента. Един от най-важните елементи в конкретна област „управление на качеството в производството“ [1] е параметризацията и непрекъснатото следене на измерваната величина като показател за качеството. Това поставя високи изискванията към машините използвани в производствени условия по отношение на интегрирането към система за мониторинг на качеството (QMS – Quality Monitoring System), която от своя страна подпомага дейността свързана с управление на качеството в съответния производствен процес. QMS трябва да:

- съдържа интегрирана (интелигентна) измервателна система, измерваща величини свързани с качествените показатели на произвеждания продукт;
- събира, обработва, предава и представя статистически данни, относно реализирана продукция;
- съхранява всички видове възникнали грешки по време на производствения процес;

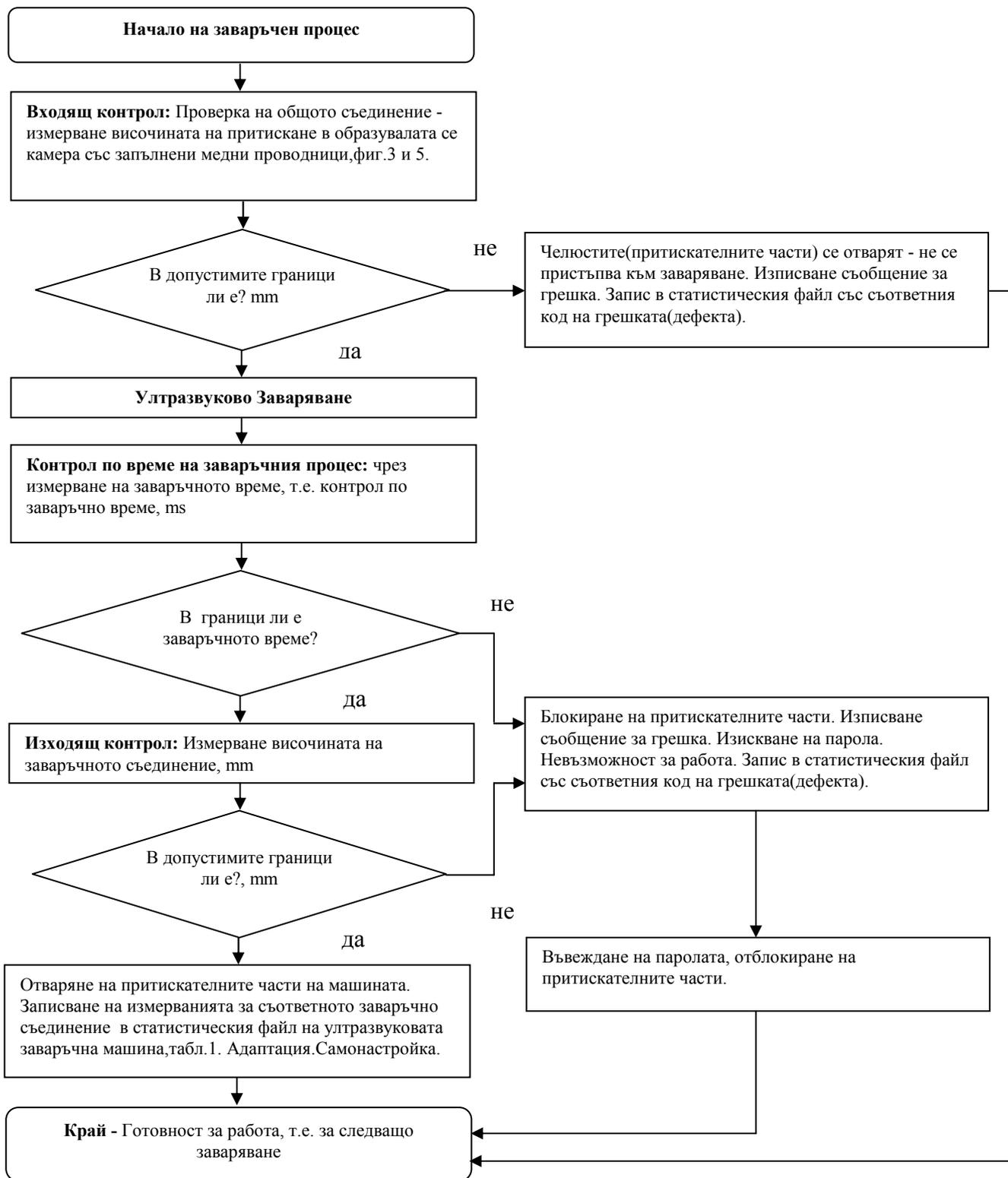
- подпомага работата на оператора и взимането на правилни решения;
- включва диагностика на машината взимане на правилни решения;
- подпомага персонала по управление на качеството, чрез събраните и обработени данни за произвеждания продукт.

В статията са разгледани технологичните особености на производствения процес за производство на кабелни съединения, чрез ултразвуково заваряване и възможностите за интегриране в QMS.

В стандарт ISO 6722 [3] за диаметъра на единичното жило при многожилен проводник е дадена само максималната стойност, но не и минималната. От това следва голямата разлика в реалното сечение на проводниците - много често далеч по-ниско от това посочено в спецификацията на кабела обявено от производителя, стремящ се да намали използването на мед. Понякога флукутацията в реалното сечение е голяма. Това налага необходимостта от постоянен непрекъснат входящ контрол от страна на потребителите на кабели. С оглед на непрекъсваемост на производствения процес, оптимален вариант е интегрирането

на измервателна система в заваръчната машина, прилагаща предварителен входящ контрол за всяко съединение, което ще се реализира.

Тук предлагаме метод, чрез измерване височините преди (входящ контрол на кабелите които са поставени на челюстите на машината) и след заваряване (изходящ контрол на реализираното вече заваръчно съединение).

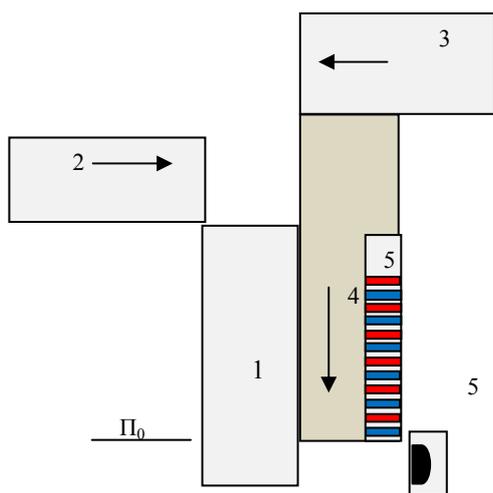


Фиг. 1. Алгоритъм за контрол на производствения процес

Първичната информация за продукта е височината на заваръчното съединение. Тя е решаваща за определянето степента на компресия между медните проводници при фиксирана оптимална широчина.

Идеята на QMS е не само да контролира (измерва) продукта от страна на отдел качество преди да започне да се произвежда, но и непрекъснато да го следи (контролира) по време на производството. Това е подходящо за процеси, където поради самия характер на производството и значимата цена за прилагане контрол на качеството, не е възможно инспектор по качество да спира процеса и да измерва характеристиките на продукта.

Предлага се нов подход, където, след контрол на първото изделие се разрешава започване на производство и след това се разчита на QMS. Системата за мониторинг на качеството съдържа измервателна система, следяща за качеството на продукта и отклонението от зададените норми. При нарушаване на качествените норми, инспекторът по качество внася необходимата корекция за отстраняване на проблема.

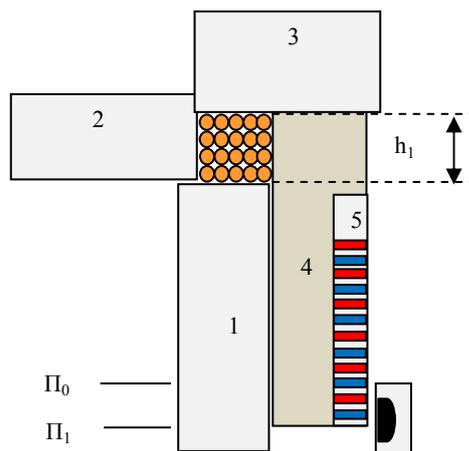


Фиг. 2. Интегриран инкрементален сензор в заваръчен модул (ултразвукова заваръчна машина) с дадена нулева позиция  $\Pi_0$ .

## 2. Описание на система за мониторинг за повишаване на качеството на заваръчните съединения при ултразвукова заваръчна машина

### 2.1 Модел за контролиране на производствения процес от страна на машината.

На фигура 1 е показан алгоритъм на контрол на производствения процес, който съдържа следните основни стъпки: Операторът взема кабелите които ще се свързват, дадени по работна инструкция. Те са с определено заголване в зависимост от размера на сонотрод-концентратора. Поставя медните жила на челюстите на заваръчния модул (фиг.2), позиционира медните жила на всички проводници, така че краищата на жилата да са изравнени с всички притискателни части, след което натиска бутон или педал в зависимост от организацията на работното място. Всички подвижни части се предвижват в посоките указани на фиг.2. След като всички притискателните части се придвижат и се затворят, се образува едно пространство (камера) със запълнени медни жила (фиг. 3).



Фиг. 3. Измерване височината на притискане (входящ контрол) с цел определяне на общото сечение на кабелите, които предстоят да се заваряват.

Проверката на общото сечение става чрез измерване височината на притискане  $h_1$ . След измерване на височината  $h_1$ , програмата сравнява дали тази височина е в допустимите граници. При изпълнение на условието машината извършва ултразвуково заваряване (УЗ).

Под влияние на ултразвуковите трептения допирните повърхности се трият и температурата в зоната на заваряване се повишава (откъм страната на сонотрод-концентратора). Стига се до пластична деформация, дифузия, разтопяване (откъм страната на сонотрод-концентратора), рекристализация и други явления, благодарение на които проводниците се свързват в неразглобяемо съединение [4].

Извършва се контрол на заваръчния процес по време. Ако заваръчното време е под максимално допустимата граница, заваръчния процес е приключил успешно.

Изходящият контрол, след заваръчния процес, измерва височината на заваръчното съединение. Идеята е да се провери произведения продукт дали отговаря на зададените норми. Ако височината  $h_2$  фиг. 5 е в допустимите граници, притискателните части (челюстите) на заваръчния модул се отварят и освобождават годното съединение. Записват се данните от измерванията в

статистическия файл на ултразвуковата заваръчна машина (табл.1).

Машината е в готовност за работа за следващо заваряване.

Ако височината  $h_2$  не е в допустимите граници, тогава се създава риск за качествените характеристики на заваръчното съединение. Машината блокира всички притискащи части (челюстите) и притиска заваръчното съединение, така че то не може да се вземе заедно с кабелната форма и да се монтира в електрическата инсталация. На монитора се изписва съобщение за грешка съдържащо вида и кода на грешката. Записват се данни за грешката в статистическия файл (табл.1).

След потвърждение от страна на оператора, че е прочел съобщението, машината изисква въвеждане на парола. Инспекторът по качеството въвежда паролата, притискащите челюсти се освобождават и заемат първоначалната си позиция - машината е в готовност за следващо заваряване. Ако височината преди заваряване  $h_1$  не е в допустимите граници, тогава машината не пристъпва към заваряване и челюстите се отварят. На монитора се изписва съобщение за вида и кода на грешката.

Таблица 1 Концепция и примерно съдържание на статистическия файл съхраняващ се в компютъра на ултразвуковата заваръчна машина.

дата	час	ID, име, общо сечение, mm <sup>2</sup>	код на дефекта	Референтна стойност на $h_{1ref}$ , mm	$Th_1$ -толеранс на $h_1$ , $\mu$ m	Реализиран $h_1$ , mm	Нова референция на $h_{1newref}$ , mm	t-време, ms
15.07.14	06:00:15	0150.102	0	1,1	100	1,05	1,08	300
15.07.14	06:31:20	0150.102	1	1,08	100	0,85	1,08	0
15.07.14	06:33:34	0150.102	2	1,08	100	1.06	1,07	320

Референтна стойност на $h_{2ref}$ , mm	$Th_2$ -толеранс на $h_2$ , $\mu$ m	Реализирано $h_2$ , mm	Нова референция на $h_{2newref}$ , mm	A-амплитуда, $\mu$ m	E-енергия, Ws	p- налягане, bar	w-широчин a, mm
0,7	100	0,8	0.75	20	160	1,6	1,45
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0,75	100	0,98	-----	20	160	1,6	1,45

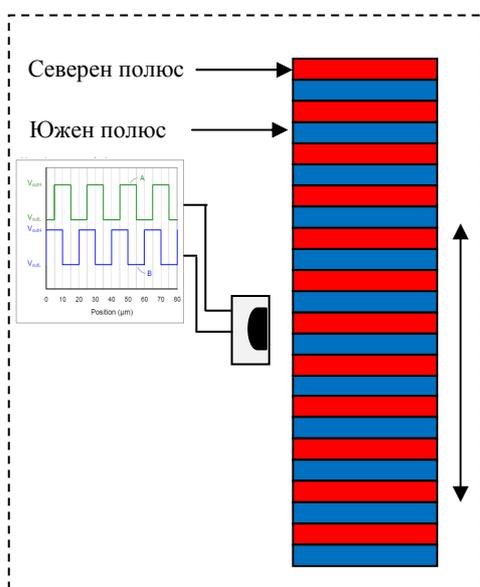
Грешката е регистрирана преди заваряване, тъй като няма заварени проводници (няма наличие на заваръчно съединение), а само леко притиснати жила. Данните за грешката се записват в

статистическия файл (табл.1). След отваряне на челюстите машината е в готовност за работа, т.е. за следващо заваряване.

В случай че заваръчното време се увеличи с повече от 15%, тогава се създава риск за

качествените характеристики на заваръчното съединение. Машината блокира всички притискателни части и притиска заваръчното съединение, така че то не може да се вземе и монтира. На монитора се изписва съобщение за грешка съдържащо вида и кода на грешката. Записват се данни за грешката в статистическия файл (табл.1).

След потвърждение от страна на оператора, за изчитане на съобщението, машината изисва въвеждане на парола. Инспекторът по качеството въвежда паролата и притискателните части (челюстите) се отварят и заемат първоначалната си позиция. След отваряне на челюстите машината е в готовност за работа, т.е. за следващо заваряване.



Фиг. 4. Линейна магнитна скала с фиксирана дължина на полето (фиксирана стъпка) и магнито-резистивен сензор [2]

## 2.2 Интегриране на сензорното устройство в заваръчния модул в измервателната система - общ вид.

За измерване на малки линейни премествания се използват различни сензори. Подходящ за вграждане в малки детайли е инкрементален магнитен енкодер на линейни премествания. Той се състои от две основни части: магнитна скала и сензор използващ принципа на магниторезистивния ефект (Ефект на Гаус), т.е. промяна на електрическото съпротивление  $R_B$  на

полупроводникова пластина намираща се в магнитно поле (магниторезисторен сензор).

Те се изработват във вид на решетка чрез нанасяне върху подложка на полупроводников слой чрез изпаряване във вакуумни инсталации [5]. Към подвижния елемент 4, се закрепя магнитна скала. Магнитната скала се състои от последователно подредени постоянни магнити редуващи се един след друг (фиг. 4). Една стъпка от магнитната скала означава преминаване на един магнит (северен и южен полюс), т.е. една магнитна стъпка. Магниторезистивното сензорно устройство доставя два сигнала (А и В) - фиг. 6, т.е. при преместване на детайл 4 (фиг.3) от нулево положение  $\Pi_0$  към положение  $\Pi_1$  с височина  $h_1$  през магниторезистивият сензор ще преминат последователност от магнити, редувайки северен и южен полюс и респективно ще се генерират правоъгълни сигнали (фиг. 6), пропорционални на броя на постоянните магнити преминали през него. Резолюцията на тези инкрементални сигнали от фланг до фланг трябва да е  $5\mu m$ . (инкрементален енкодер за линейни премествания).

## 2.3. Описание на действието на ултразвуков заваръчен модул

Заваръчния модул е отделен от заваръчния генератор и представлява изпълнителен механизъм за заваряване на проводниците. Частите на машината (фиг. 4) се състоят от:

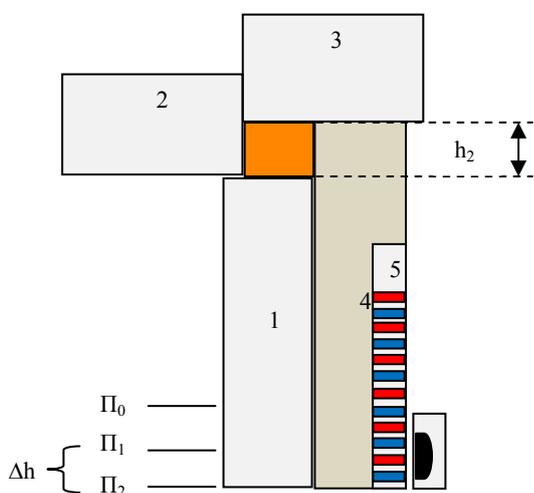
- 1 -Сонотрод-концентратор (осцилиращ с честота минимум 20 kHz и амплитуда минимум  $20\mu m$ );
- 2 - плъзгаща челюст;
- 3 - наковалня;
- 4 - теглителна греда (към нея е прекрепена и плочка на наковалнята);
- 5 - инкрементално сензорно устройство,

На фиг.3 е представено как при затварянето на челюстите се измерва първо височината на притискане на медните проводници  $h_1$ , т.е. височина преди заваряване, за да се изпълни входящ контрол. Фиг.5 представя как след като е

измерена височина  $h_1$  и е протекъл заваръчен процес, се измерва височината на заваръчното съединение  $h_2$  за да се приложи изходящ контрол от страна на машината.

След заваряване на медните проводници, от фиг. 3 и 5 се вижда, че  $h_1 > h_2$ .

Всяка измерена височина съответства на определен брой дискретни сигнали получени от сензора. Чрез разликата във височините  $\Delta h$  може да се изчисли каква компресия се прилага на медните проводници от страна на притискателните части (челюстите) на машината, което е предпоставка за качествено заваръчно съединение. При добро съединение височината след заваряване  $h_2$



Фиг. 5. Измерване височина на заваряване (изходящ контрол) с цел определяне височината на заваръчното съединение.

## 2.4. Структура на статистическите записи

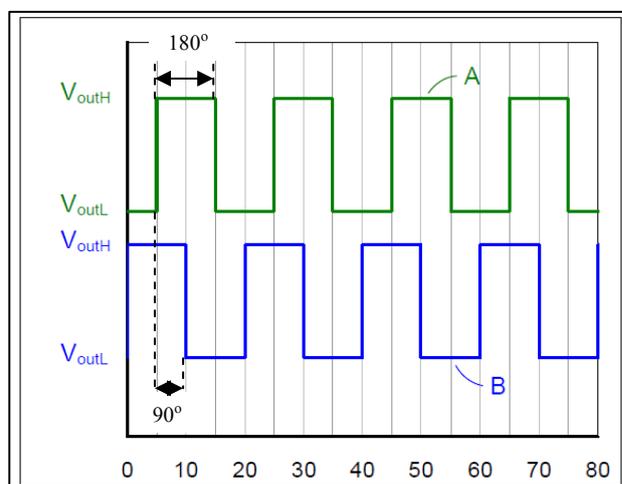
С цел пълно проследяване и контрол на процеса е проектиран статистически файл с най-важната информация. Регистрира се информацията за всяко заваръчно съединение независимо от това дали е успешно или неуспешно (брак). Таблицата (табл. 1) съдържа: дата и час, ID (номер или име на заваръчното съединение), общо сечение на заваръчното съединение, код на дефекта, референтна (стандартна) стойност на височината преди заваряване  $h_{1ref}$ , толеранс на  $h_1 - Th_1$ , измерена стойност на реализираната височина  $h_1$ , изчислена нова референтна стойност на  $h_{1newref}$ . (след статистическа обработка), заваръчно време  $t$ ,

трябва да е по-малка от височината преди заваряване  $h_1$ . От това следва, че една от основните предпоставки за нормално протекъл заваръчен процес е разликата между височините преди и след заваряване.  $\Delta h$  е положително число. Това е минималното условие, зададено в машината, приложимо за основен контрол.

$$\Delta h = h_1 - h_2 \quad (1)$$

При преместване на теглителната греда 4 се измерват  $h_1$  и  $h_2$ .

При позиция  $\Pi_0$ ,  $h=0 \mu m$ , т.е. няма наличие на сигнал, тъй като няма преместване на детайл 4, фиг.4 и фиг.5.



Позиция,  $\mu m$

Фиг. 6. Изходни сигнали в зависимост от посоката на преместване [2]

референтна (стандартна) стойност на височината след заваряване  $h_{2ref}$ , толеранс на  $h_2 - Th_2$ , реализирана височина (измерена височина на заваръчното съединение)  $h_2$ , изчислена нова референтна стойност на  $h_{2newref}$ . (след статистическа обработка) и заваръчни параметри: амплитуда, енергия, налягане и широчина.

Код – 0 – няма отчетена грешка от машината. Заваръчното съединение е годно.

Код на дефект 1 – грешка преди заваряване (по време на входящ контрол), в случая причината е височината на притискане (пресоване) е по-ниска от зададената референтна стойност, както и извън зададения толеранс  $100 \mu m$ . Това

обикновено означава, че общото сечение на кабелите, които ще се заваряват е по-малко, а от там и височината  $h_1$  по-ниска. В този случай машината не заварява, отваря челюстите и изписва грешка със съобщение на монитора, че оператора най-вероятно е пропуснал кабел или е взел кабел с по-малко сечение, тъй като височината на притискане на проводниците е по-малка.

Код на дефект 2 – грешка след заваряване (изходящ контрол), тогава има наличие на заваръчно съединение, но височината на заваръчното съединение е по-голяма от зададената референтна стойност, както и от толеранса, настроен на  $100\mu m$ . Наличието на по-голяма височина означава, че компресията между проводниците е ниска, и следователно електрическите и механични характеристики на съединението са слаби. В този случай заваръчното съединение трябва да се бракува.

След набавяне на първичната информация тя се обработва по подходящ начин и се представя графично - фиг.7.

Мониторинговата система съдържа 3 контролни карти за височина преди заваряване (височина на притискане)  $h_1$ , височина след заваряване (височина на заваръчното съединение)  $h_2$  и заваръчно време  $t$ . Всяка една контролна карта се отваря поотделно в програмата на машината. За всяка една контролна карта се изчислява: средна стойност за съответния период  $\bar{X}$ , средноквадратично отклонение  $\sigma$  и способността на процеса  $C_{pk}$  на база реализирана продукция за съответния период. Специалист по качество следи контролните карти и статистическите индекси и прилага текущ статистически контрол на процеса.

На фиг.7 е даден пример с височина на притискане (пресоване) преди заваряване  $h_1$  в програмата на ултразвукова заваръчна машина и е даден пример, в който е избрано(маркирано) точно определен опит за заваряване [1].

Мониторинговият потребителски интерфейс съдържа информация за: заваръчното съединение, графично

представяне на разпределението, референтна височина преди заваряване  $h_{1ref.}$ , реализирана височина от страна на оператора  $h_{1real.}$ , контролни граници  $M_G$  и  $M_D$ , апроксимираща права  $M$ , хоризонтални контролни граници  $K_G$  и  $K_D$ .

Използването на карти с „пълзяща средна“ позволява да се получи информация както за въздействие на специфични смущения, така и за естествените смущения, предизвикани от въздействието на доминиращ фактор.

След определяне и нанасяне върху картата на средноаритметичните стойности на отделните извадки се прекарва апроксимираща права  $M$  (фиг.7) и се определя градиента на изместването  $\delta\bar{X}$ . Върху картата се нанасят контролните граници  $M_G$  и  $M_D$  симетрично на правата  $M$ , отстоящи на разстояние  $A_2\bar{R}$  от нея.

Върху картата се нанасят и хоризонталните контролни граници  $K_G$  и  $K_D$ , определени по формулите (2) и (3). [1]

$$K_G = \bar{X} + \frac{\delta\bar{X}}{2} + A_2\bar{R} \quad (2)$$

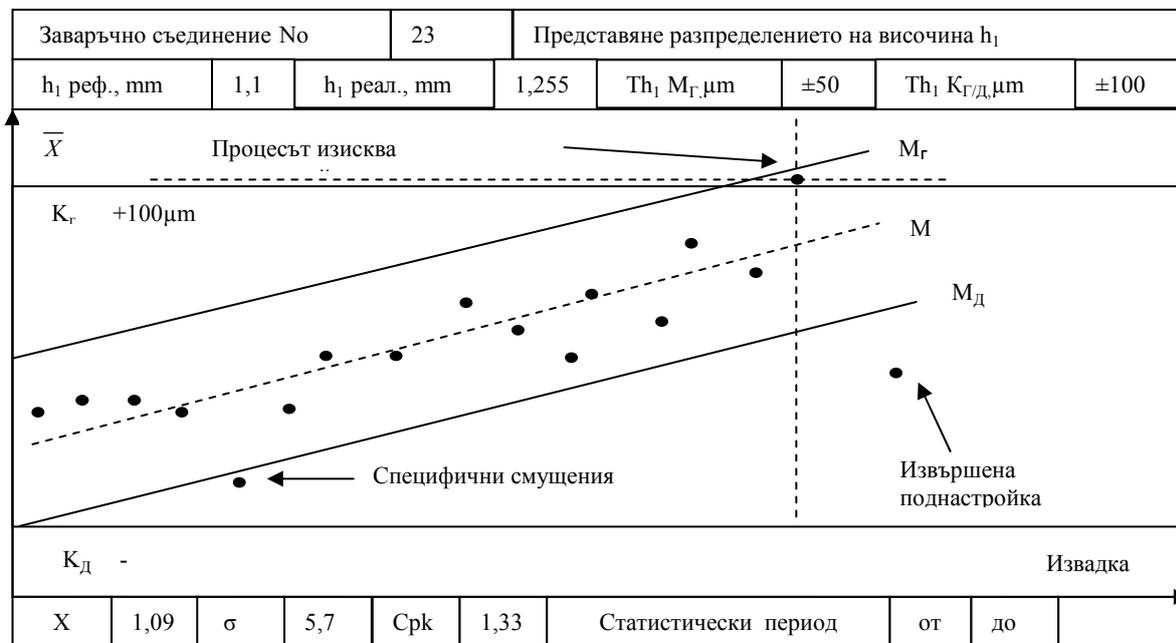
$$K_D = \bar{X} - \frac{\delta\bar{X}}{2} - A_2\bar{R} \quad (3)$$

Излизането на средни стойности извън тези контролни граници ( $K_G$ ,  $K_D$ ) е сигнал за необходимост от поднастройване или смяна на инструмента. Особеното при тази карта е, че са въведени вътрешни (контролни граници  $M_G$  и  $M_D$ ) и външни толеранси (контролни граници  $K_G$  и  $K_D$ ). Външните толеранси са статични и не се изместват, независимо от резултатите, а вътрешните толеранси запазват същите стойности спрямо средната стойност, но са плаващи (динамични), тъй като следят посоката на пълзящата среда  $M$ . В случай, че вътрешните толеранси достигнат (пресекат) външните толеранси, то процесът изисква донастройване (най-често с тестови образец).

Интегрирана е X/R карта с „пълзяща средна“, тъй като опитите които бяха направени показаха по-добри резултати, ако се използва именно тази карта. При друга карта (със средна стойност), грешките

засичани от машината са големи, без видими причини в електрическите и механични характеристики. Причините са: нормалната флукутация в реалното сечение на кабела, както и позиционирането на медните проводници на челюстите на машината от страна на оператора. Направени опити, предмет на друго представяне, водят до

извода, че е най-добре да се взимат стойностите от предходните 5 височини на притискане (заваръчни съединения) и от тях да се изчислява средно аритметичната стойност, след което в машината да се задава нова референтна стойност. Идеята за тази адаптация е дадена в алгоритъма на фиг.1.



Фиг. 7: Концепция на статистически процес контрол SPC интегрирана в ултразвукова заваръчна машина– Графично представяне на натрупаната и обработена статистическа информация използваща X/R с „плъзгаща средна“.

### 3. Заключение

Реализиран е успешен проект на мониторингова система в ултразвукова заваръчна машина на базата на определен алгоритъм, включващ: входящ контрол, контрол по време на заваръчния процес и изходящ контрол. Използвано е инкрементално сензорно устройство за линейни премествания, като средство за измерване. Въведен е статистически файл, съхраняващ всички необходими данни за всяко едно произведено съединение. Въведени са контролни карти, които представят графично основните параметри. Изчисляват се статистически индекси, които се следят от специалист по качество с цел анализ на параметрите на производствения процес.

Представен е концептуалният модел на мониторинговата система и са посочени основни моменти и конструкционни особености при интегрирането на измервателната система в машината. Това позволява да се прави бърз и навременен анализ на текущото състояние на процеса, намалява риска от дефектна продукция и разхода за прилагане на качествен контрол. Чрез събраната информация могат да се правят различно статистически анализи с цел подобряване качеството на заваръчните съединения.

Разработения модел на система за мониторинг на качеството (Quality Monitoring System - QMS), интегрирана в ултразвукова заваръчна машина за гарантиране качеството на продукта в процеса на производство, позволява да се

следят промените в качествените характеристики на заваръчното съединение, с което се предпоставя:

1. навременната намеса в случай на тенденция за дефект и за предотвратяване дефектна продукция;
2. анализ и решения за подобряване на процеса;
3. дейности свързани с надеждността на оборудването и подобряването с оглед на използвания материал.

Предвиждат се бъдещи изследвания в посока на по-задълбочено изследване, както на интегрираната измервателна система, така и на статистическата обработка от страна на алгоритъма и софтуера; детайлно проучване и изследване на всеки един модул от мониторинговата система с цел практическото реализиране на системата в комплекс с ултразвуковата заваръчна машина.

#### 4. Благодарност

Изследванията, представени в тази статия, са извършени по проект 141ПД0071-08, финансиран от Научно-изследователския сектор на Технически университет – София.

#### 5. Литература

- [1] **Г. Дюкенджиев, Р. Йорданов** *Контрол и управление на качеството*. Софттрейд. София, 2012. 3-71 с.
- [2] **Sensitec GmbH**. Data Sheet, *Incremental sensor kit PLI5001AAA-CA*, (2008). 1-6 с.
- [3] **ISO 6722** *Road vehicles - 60 V and 600 V single-core cables - Dimensions, test methods and requirements*, Second edition 2006-08-01. 32 с.
- [4] **Х. Конрад, Р. Крампц** *Електротехнология*. Техника, 1979.
- [5] **Х. Радев** *Метрология и измервателна техника, том 2*. Софттрейд. София, 2012

# Monitoring System for Quality Improvement of Welding Junction with Ultrasound Welding Machine

Martin Dimitrov <sup>1)</sup>, George Milushev <sup>2)</sup>, Veselka Ivancheva <sup>3)</sup>

- 1) Technical University of Sofia, 1797 Sofia, 8 Kl. Ohridsky Blvd.,  
[martin.dimitrov@yahoo.com](mailto:martin.dimitrov@yahoo.com)
- 2) Technical University of Sofia, 1797 Sofia, 8 Kl. Ohridsky Blvd.,  
[gm@tu-sofia.bg](mailto:gm@tu-sofia.bg), [www.tu-sofia.bg](http://www.tu-sofia.bg)
- 3) Technical University of Sofia, 1797 Sofia, 8 Kl. Ohridsky Blvd.,  
[vivancheva@tu-sofia.bg](mailto:vivancheva@tu-sofia.bg), [www.tu-sofia.bg](http://www.tu-sofia.bg)

*Abstract:* The paper presents a model of a measurement monitoring system for quality improvement of the welding junctions with Ultrasound Welding Machine. Modern methods and measurement tools are applied for monitoring and control of the quality parameters of the welding junctions before and immediate after the welding process with the aim: creation of effective Quality Monitoring System (QMS). The system will observe and follow the process and the product, will treat and analyse the results necessary for TQM (Total Quality Management) System.

*Key words:* incremental sensor, quality monitoring system, ultrasound welding, welding junction, statistical file, control chart, incoming and outgoing control.

## Literatura

- [1] **G Dukendgiev, R. Jordanov**, Kontrol I upravljenje na kachestvoto, Softtreidq Sofia, 2012. 3-71 c.
- [2] **Sensitec GmbH.**, Data Sheet, *Incremental sensor kit PLI5001AAA-CA*, (2008). 1-6 c.
- [3] **ISO 6722** *Road vehicles - 60 V and 600 V single-core cables - Dimensions, test methods and requirements*, Second edition 2006-08-01. 32 c.
- [4] **Konrad H., R. Krampic**, Elektrotehnologija, Tehnika, 1979.
- [5] **Radev H.**, Metrologija I izmervatelna tehnika, tom 2, *Softreid*, 2012