

» Konvencionalna i digitalna radiografija u farmaceutskoj industriji

**Marko Andrejaš,
Iztok Palčič,
Jernej Jerman,
Andrej Lešnjak**

Cilj istraživanja je, da dokažemo, da se s pomoću digitalne radiografije otkrivaju greške u zavarenim spojevima, kako bi zadovoljili zahtjeve za kvalitetom snimaka iz standarda i da dokažemo, da digitalna radiografija može zamijeniti konvencionalnu (analognu) radiografiju u farmaceutskoj industriji.

U tu svrhu smo u tvrtki Q Techna d.o.o., kupili najnoviji digitalni uređaj CRxVision tvrtke General Electric i programsku opremu za digitalnu radiografiju. U prvom dijelu ćemo predstaviti zahtjeve za kontrolu zavarivanja u farmaciji i zatim digitalnu radiografiju. Pri praktičnom radu smo načinili probne snimke s digitalnom radiografijom na poznatim uzorcima i s programskom opremom očitali greške mjerenja. Na preostalih pet stvarnih uzoraka smo načinili usporedbu između analognih (konvencionalnih) i digitalnih snimaka.

1 Uvod

Najčešće se u farmaceutskoj industriji susrećemo s nerazornim ispitivanjima pri kontroli zavarenih spojeva. Pri zavarivanju mogu nastati različite greške, koje utječu na kvalitetu zavara. Te greške je potrebno otkriti, prije nego li konačni proizvod ide u primjenu.

U moderno doba se je digitalizacija dotaknula i nerazornih ispitivanja. Prvo je to bilo vidljivo s dolaskom suvremenih ultrazvučnih uređaja, dok se proces digitalizacije u industrijskog radiografiji donekle usporio. Razloga za to je više, jedan od njih je taj, da u prošlosti kvaliteta digitalnih radiograma nije bila na takvoj razini, kao kvaliteta klasičnih radiograma. Zasloni za pregled digitalnih snimaka nisu bili na takvoj razini, kao što su današnji (imali su lošiju rezoluciju tj. razlučivost). Poteškoća je bila i pohranjivanje snimaka, jer digitalni radiogrami mogu biti veliki i nekoliko 100 MB. Sada imamo na raspolaganju velike servere s primjerenim kapacitetima za pohranu podataka, tako da je digitalna radiografija jedna od najnovijih metoda, koja se uvriježila na području nerazornih ispitivanja materijala [1].

2 kontrola zavarivanja u farmaciji

Kvaliteta zavara u farmaciji je strogo definirana. Zahtijevana je potpuna penetracija, a neprovarenost, napukline i ljuškanje nisu dopušteni, jer na takvim područjima postoji velika mogućnost za koroziju te mogućnost nakupljanja nečistoća i bakterija. U zavaru ne smije biti uključina, stršećih materijala ili oksidnih pjega (najviše 4). Svi zavari moraju biti glatki, ujednačeni i ravni, na vanjskoj strani malo konkavni. Korjen zavara mora biti ujednačen, ravan, a dopuštena je mala konveksnost. Niti u jednom slučaju zavar ne smije biti konkavan na unutrašnjoj strani cijevi. Na unutrašnjoj strani zavara ne smiju biti vidljivi tragovi oksidacije – obojenje. Spojevi moraju biti pravilno naliježući, a površina koja se zavaruje mora biti pravokutna.

Zahtijeva se 100 % vizualna kontrola zavara i 20 % videoskopska kontrola (osim ako nije drugačije zahtijevano). U slučaju, da se izvode radovi zavarivanja na procesnim cjevovodima većih promjera, ili debljina tj. cjevovod je kategoriziran kao tlačni cjevovod, u skladu s dogovorom s investitorom se prored vizualne, propisuje i određeni opseg drugih NDT ispitivanja (npr. radiografsko ili penetrantsko ispitivanje). U posebnim slučajevima, gdje se to zahtijeva, provodi se 10 % kontrola sadržaja delta ferita na području zavara; granica prihvatljivosti je < 3 %.

Svi zahtjevi i prag prihvatljivosti za lučno zavarene spojeve su definirani s gore navedenim zahtjevima i uobičajenim standardima SIST EN ISO 5817 stupanj B, koji vrijedi za debljine iznad 3 mm i AWS D 18.1 za debljine ispod 3 mm te tablica boja AWS D 18.2. Rjeđe se primjenjuju zahtjevi iz ASME BPE (Bio Process Equipment) i ASME B31.3 (Process Piping).

3 Industrijska radiografija

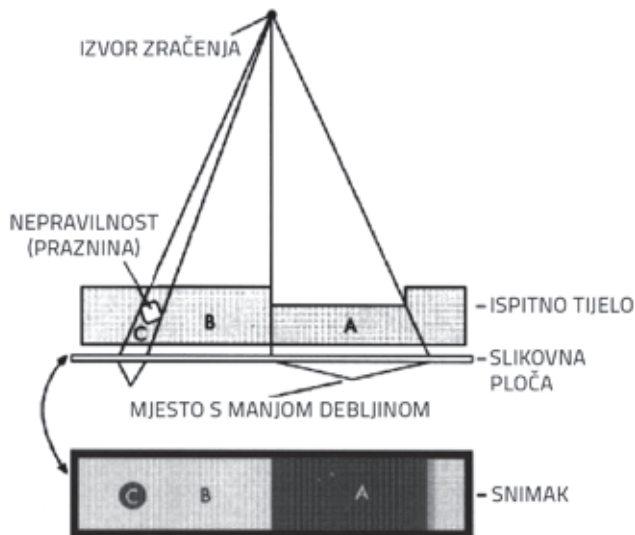
3.1 Osnovno načelo

Rendgensko zračenje nastaje, kada ubrzani elektron preda dio svoje energije pri interakciji s jezgrom atoma materijala, gdje je



Marko Andrejaš, Iztok Palčič, Jernej Jerman,
Andrej Lešnjak ■ Q Techna, d. o. o.

došlo do zaustavljanja ubrzanog elektrona. Rendgensko zračenje ima sposobnost ozračivanja materijala. Pri prolasku zračenja kroz materijal to slabi, što znači da je količina zračenja na izlazu iz predmeta manja nego li prvotna količina zračenja (slika 2). Jačina tog slabljenja je ovisna o vrsti i s tim povezane gustoće te debljine materijala. Količina zračenja na izlazu iz materijala ovisna je o debljini materijala, kroz koju zračenje prolazi (područje A na slici 2). I unutrašnje nepravilnosti, koje se na površini ne vide, u materijalu smanjuju debljinu ozračivanja (područje C na slici 2), što znači, da



» Slika 1: Shema zacrnjivanja na različitim debljinama ozračivanja [2].

na tom mjestu zračenje slabi manje nego li na mjestu bez unutrašnjih nepravilnosti (područje B na slici 2).

Količina zračenja je na mjestu bez greške manje, nego li na mjestu gdje se nalazi greška. Na klasičnom radiografskom filmu to je vidljivo kao razlika u zacrnjivanjima. Radi toga se mogu unutrašnje greške otkrivati s pomoću rendgenskog ili gama zračenja [2]. Digitalna radiografija je oblik radiografije, gdje se primjenjuju digitalni senzori, koji prepoznaju zračenje, umjesto klasičnih radiografskih (fotografskih) filmova [3]. Pod pojmom digitalna radiografija možemo podrazumijevati više metoda, koje možemo ubrajati u digitalnu tehniku radiografije.

METODA	SKRAĆENICA	OPIS
Radioskopija	RTR	Radiografija, koja se odvija u stvarnom vremenu.
Računalna tomografija	CT	3D-slika predmeta, kojeg se pregledava.
Izravna radiografija	DR	Trenutačna promjena intenzivnosti zračenja u digitalni snimak.
Računalna radiografija	CR	Izvodi se u dva koraka. Prvo se formira latentna slika na fosornoj ploči, a u sljedećem koraku se ta slika pročita (skenira) i pretvori u digitalnu sliku.

» Tablica 1: Podjela digitalne radiografije

3.2 Podjela digitalne radiografije

Digitalna radiografija se dijeli na četiri osnovne metode, koje su ukratko opisane u tablici 1.

3.3 Računalna radiografija – CR

Prema načinu je metoda vrlo slična klasičnoj radiografiji, stoga

Hi-tech casting solution and knowledge based engineering

17th International Foundrymen Conference – Opatija, May 16th - 18th, 2018

- Computer-aided Design and Rapid Prototyping
- Advanced Casting Technologies
- Mould and Core Materials and Binders
- Control of Nucleation
- Solidification and Microstructure
- Casting Properties and Service Performance
- Energy and Environment Control
- Materials Testing Methods

ORGANIZERS



University of Zagreb
Faculty of metallurgy



University
North Koprivnica



University of Ljubljana
Faculty of natural
sciences and engineering



ELKEM AS
Norway

MEDIA COVERAGE



Časopis
IRT3000 Adria

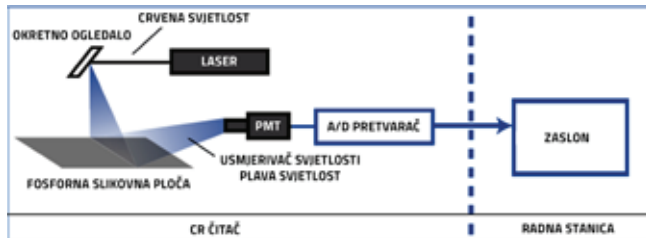


Foundry Planet



Foundry-Lexicon

ju je jednostavno zamijeniti s klasičnom radiografijom. CR-radiografija se izvodi u dva koraka. Slika tako ne nastaje izravno kao pri DR-radiografiji, već u posebnom procesu čitanja slike. Zapis snimke, koji je pohranjen na slikovnoj ploči, se s pomoću laserske stimulacije mijenja u svjetlost i tek se zatim taj zapis pretvara u digitalnu sliku. Za razliku od klasične radiografije, gdje je latentna slika pohranjena u zrnima superbromida, pri CR-radiografiji se latentna slika pohranjuje u poluvodičkom stanju, u fosfornom sloju, koji je osjetljiv na zračenje.



» Slika 2: Proces čitanja CR slikovne ploče [4].

Kao rezultat zračenja na fosforni sloj je taj, da je nekoliko elektrona pobuđeno i zahvaćeno u poluvodičkom visokoenergetskom stanju. To generira latentnu sliku. Ti zahvaćeni elektroni mogu biti oslobođeni energijom laserske zrake. Ta stimulacija uzrokuje, da elektroni predaju vidljivu svjetlost, koju zatim hvata PMT (foto multiplikatorska cijev). Valna duljina lasera (550 nm) i emitirana vidljiva plava svjetlost (400 nm) različitih su valnih duljina, kako bi ih se moglo razlikovati. Čitač, koji se primjenjuje za čitanje slikovnih ploča, sadrži PMT i svu elektroniku koji digitaliziraju analogni svjetlosni signal (slika 2) [4].

Postoji više različitih verzija čitača CR-slikovnih ploča. Stacionarni čitači automatski uzimaju slikovnu ploču iz zaštitne kasete, a pri mobilnima moramo slikovnu ploču ručno uzeti iz kasete i umetnuti je u čitač. Nakon završenog skeniranja i brisanja latentne slike, slikovna ploča je pripravljena za ponovnu primjenu. Nakon izlaganja ploče zračenju, pohranjena informacija s vremenom se prirodno raspada (atomi se vraćaju u osnovno nepobuđeno stanje), stoga dobivamo najbolje rezultate čitanja ploča u roku 1 sata [4].

Kvaliteta digitalnog radiografskog snimka

Pri digitalnoj radiografiji se susrećemo s tri izraza, koji opisuju kvalitetu snimljenog radiograma, a to su kontrastna razlučivost, prostorna razlučivost i omjer signal/šum.

Slogom riječi kontrastna razlučivost opisuju razlike u intenzitetu signala između pojedinačnih dijelova digitalnog radiografskog snimka. A te razlike nam omogućuju, da vidimo informacije, koje snimka sadrži. Tako su područja s višim signalom prikazana kao tamnija, a područja s nižim signalom kao svjetlija. Stoga je vrlo važno, da je kontrast takav, da omogućuje vidljivost što manjih detalja [5].

Prostorna razlučivost je jedno od geometrijskih svojstava digitalnog radiografskog snimka. To je stupanj geometrijske oštrote ili točnosti prikaza detalja na snimku. Možemo je opisati kao najtanji par crta, koje na slici još možemo razlučiti kao dvije pojedinačne crte. Za tu svrhu se primjenjuje DUPLEX indikator u skladu sa SIST EN ISO 19232-5. Na razlučivost utječu veličina fokusne točke rendgena (što je manja fokusna točka, biti će veća prostorna razlučivost), udaljenost između objekata ispitivanja i slikovne ploče (detektora), udaljenost između fokusne točke i rendgena i objekta ispitivanja te kvaliteta primijenjene slikovne ploče (veličina pojedinačnog piksela na slikovnoj ploči) [5].

Omjer signal/šum je definiran kao omjer između signala i slučajnim oscilacijama oko vrijednosti signala (šuma). U digitalnoj radiografiji je taj omjer ovisan prije svega o broju upadnih fotona. Tako

omjer signal/šum možemo povećati s povećanjem broja upadnih X-zraka, odnosno s povećanjem vremena ekspozicije (ozračivanja materijala). Omjer signal/šum je snažno povezan s kontrastnom razlučivosti. Pri prealom vremenu ekspozicije, tako imamo niski omjer između signala i šuma te lošu kontrastnu razlučivost. Tako standardi za digitalnu radiografiju zahtijevaju ispunjavanje glede omjera signal/šum, s time i posredno na zahtjeve glede kontrastne razlučivosti [5].

4 Rezultati i diskusija

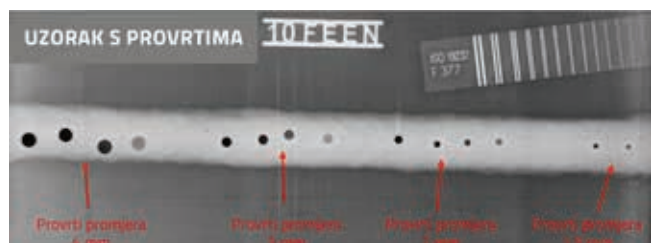
4.1 Podloga za vrednovanje

Prvo nas je zanimalo, kako dubina i širina provrta utječu na točnost mjerenja greške s pomoću programske opreme. Zato smo prvo načinili uzorak s provrtima različitih promjera i dubina. Te greške smo zatim izmjerili te ih uspoređivali sa stvarnim vrijednostima. U sljedećem koraku smo zavarili pet zavarenih spojeva na cijevi, koje smo zatim poslicali s pomoću konvencionalne radiografije te digitalne radiografije. Te snimke smo zatim međusobno uspoređivali. U tablicama su navedeni parametri izvođenja radiografskog ispitivanja, materijal i postupak zavarivanja. Svaki radiografski snimak je bio provjeren, ispunjava li zahtjeve za kvalitetom snimke prema SIST EN ISO 17636-1:2013 i SIST EN ISO 17636-2:2013, greške na snimci su bile kvalificirane u skladu sa SIST EN ISO 6520-1:2008, a zatim su te greške bile ocijenjene sa standardom SIST EN ISO 10675-1:2013, razina prihvatljivost 1. Za mjerenje veličine grešaka smo primijenili funkciju mjerenja udaljenosti u programu Rhythm Review. Za kalibraciju udaljenosti u tom programu smo primijenili veličinu DUPLEX indikatora, koji u širinu mjeri 15 mm [6].

4.2 Uzorak s provrtima

PARAMETRI	NAPON	STRU-JA	VRIJE-ME	UDALJE-NOST F	ZAHITJEVANA KVALITETA	POSTIGNUTA KVALITETA
Zahtijev za IQI	180 kV	4 mA	75 s	688 mm	Žica 14	Žica 16
Zahtijev za DUPLEX					D 11	D 11
Zahtijev za SNRN					100	162
Tehnika izrade radiograma		Slika 1 prema SIST EN ISO 17363-2:2013				
Materijal		X5CrNi18-10				
Dimenzije [mm]		300 x 200 x 12				
Metoda zavarivanja		MAG				

» Tablica 2: Primijenjeni parametri za uzorak s provrtima



» Slika 3: Digitalni radiogram uzorka s provrtima

U tablici 3 su vidljivi rezultati mjerenja promjera provrta s alatom, kojeg sadrži program Rhythm Review. Iz tih rezultata je vidljivo, da se s povećanjem dubine provrta smanjuje izmjereni promjer. To možemo pojasniti tako, da se radi unutrašnjeg rasipanja rendgenske zrake, projekcija provrta smanjuje (povećava se i ukupna neoštrina ocrtanog detalja radi povećanja geometrij-

DUBINA PROVRTA [MM]	IZMJERENA VRIJEDNOST PROMJERA PROVRTA [MM]	GREŠKA MJERENJA [MM]
Promjer provrta 1,5 mm		
2,5	1,50	0
5	1,48	- 0,02
Promjer provrta 2 mm		
2,5	2	0
5	2	0
10	1,97	- 0,03
15	1,96	- 0,04
Promjer provrta 3 mm		
2,5	2,99	- 0,01
5	2,99	- 0,01
10	2,98	- 0,02
15	2,96	- 0,04
Promjer provrta 4 mm		
2,5	4,01	+ 0,01
5	4,03	+ 0,03
10	3,99	- 0,01
15	3,97	- 0,03

» Tablica 3: Rezultati mjerena promjera uzorka s provrtima

ske neoštine). Stoga imamo pri manjim dubinama provrta vrlo točna mjerenja, jer je takvo rasipanje manje. U nekim slučajevima je došlo i do drugačijih rezultata, što se može pojasniti s greškom pri bušenju. Dakle možemo zaključiti, da je s pomoću digitalne radiografije moguće vrlo precizno otkriti i izmjeriti greške. Ta osjetljivost preciznog mjerenja se smanjuje s dubinom greške. Za pomoć pri pregledu slike primjenjuju se filtri, koji nam poboljšavaju slike i s time olakšavaju pregled snimke. Ti filtri su ugrađeni u program za obradu slika, a na raspolaganju imamo i automatsko i ručno podešavanje. [1].

4.3 Usporedba konvencionalnih radiografskih snimaka s digitalnim

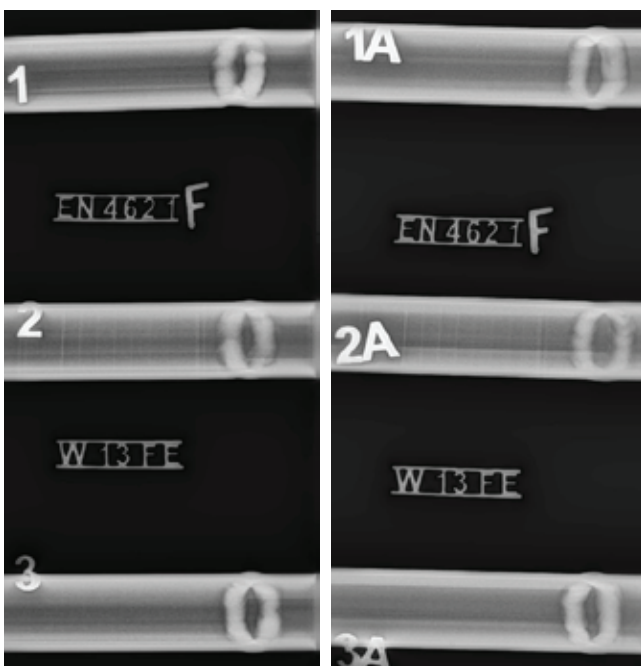
U tablici 4 su navedeni parametri i druge informacije, s kojima smo izveli računalnu radiografiju (CR).

Snimke načinjene i sa CR-metodom kao i s klasičnom radiografijom su ispunili zahtjeve za kvalitetom snimka tj. slike. Tako smo pri digitalnom snimku premašili zahtijevani SNR omjer, a pri konvencionalnoj radiografiji smo zadovoljili zahtjeve za zacrnljivanjem snimaka. Svi uzorci su bili zatim ocijenjeni. Uzorak 4 je neprihvatljiv radi uzdužne napukline. Pri slikanju s klasičnom radiografijom ta je napuklina bila vrlo loše vidljiva, što je očito iz dviju donjih slika. Preostali uzorci su bili sukladni standardu SIST EN ISO 10675-1:2013, razina prihvatljivosti 1, prihvatljivi.

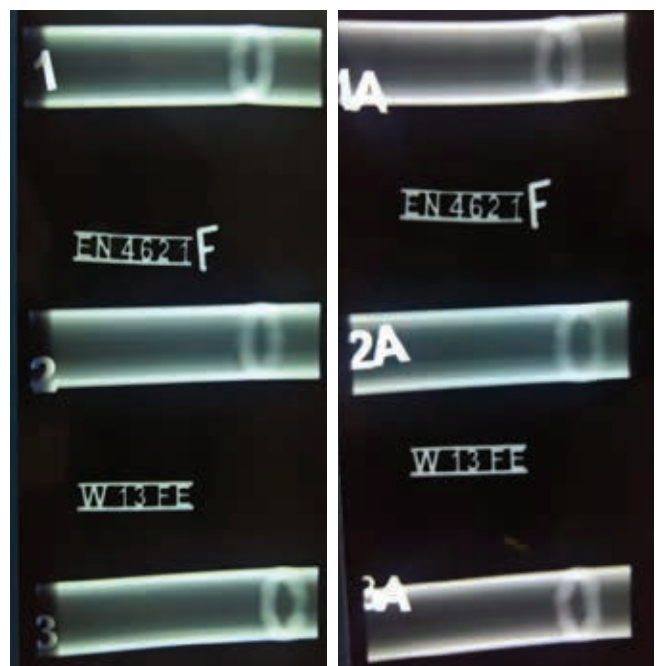
Na digitalnom snimku je vidljivo, koliko je jednostavno mjerenje veličine grešaka. Tako vidimo, da je duljina napukline 2,5 mm. U usporedbi s klasičnim radiogramom, i kontrast između greške i zavara je bitno veći, što nam omogućuje lakše određivanje veličine greške.

BR. UZORKA	NAPON [KV]	STRUJA [MA]	VRIJEME CR [S]	VRIJEME KONV. [S]	Udaljenost f [mm]	TEHNIKA U SKLADU SA SIST EN ISO 17363-1,2	MATERIJAL	DIMENZIJE [MM]	POSTUPAK ZAVARIVANJA
1	120	7,5	9	50	681	Slika 11	1.4307	Ø19 x 1,5	TIG
2	120	7,5	9	50	681	Slika 11	1.4307	Ø19 x 1,5	TIG
3	120	7,5	9	50	681	Slika 11	1.4307	Ø19 x 1,5	TIG
4	120	7,5	10	55	639,7	Slika 11	1.4301	Ø60,3 x 2	TIG
5	120	7,5	10	55	639,7	Slika 11	1.4301	Ø60,3 x 2	TIG

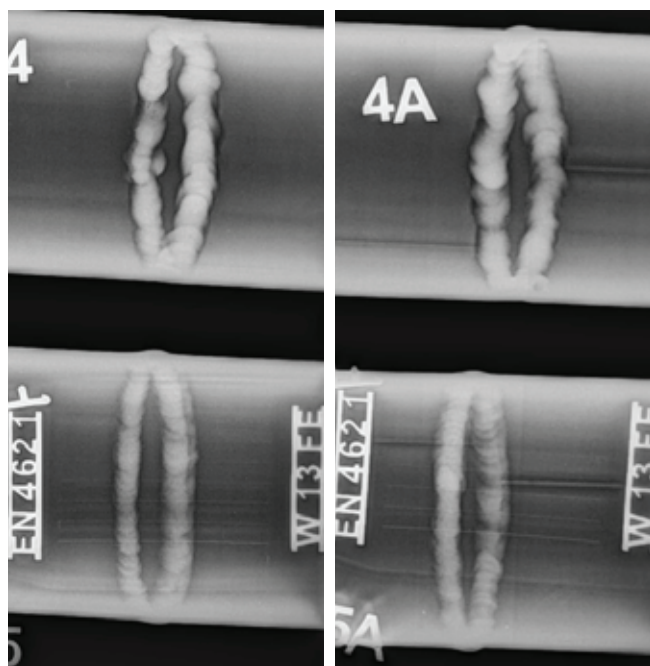
» Tablica 4: Parametri, materijal, dimenzije i postupak zavarivanja



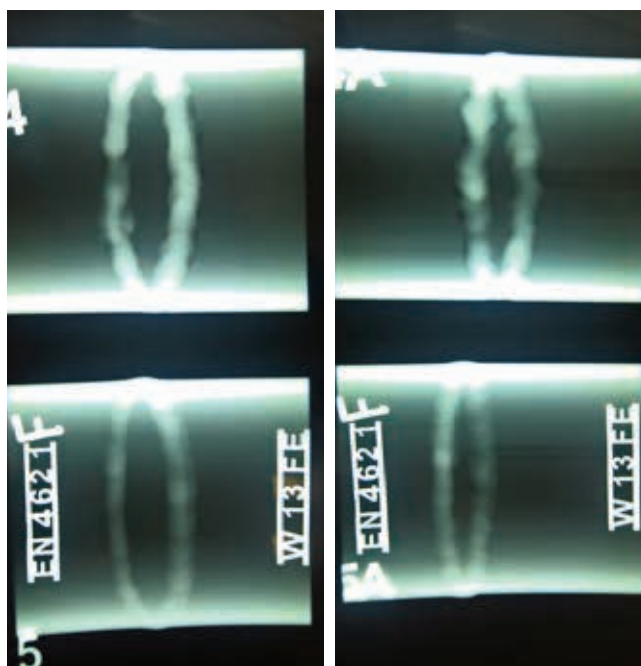
» Slika 4: Digitalna (CR) radiografija: uzorci 1–3



» Slika 5: Konvencionalna radiografija: uzorci 1–3



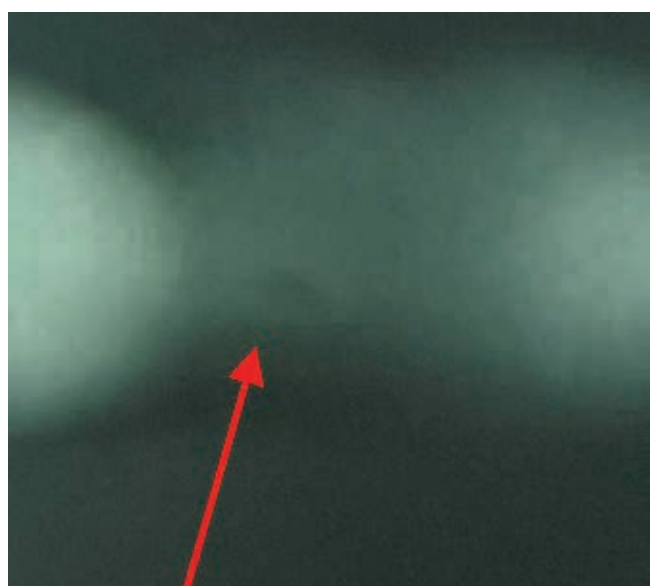
» Slika 6: Digitalna (CR) radiografija: uzorci 4 i 5



» Slika 7: Konvencionalna radiografija: uzorci 4 i 5



» Slika 8: Digitalna (CR) radiografija - Povećanje greške na uzorku 4.



» Slika 9: Konvencionalna radiografija - Povećanje greške na uzorku 4.

5 Zaključci

Svrha ispitivanja je bila prikazati digitalnu radiografiju kao metodu, koja može zamijeniti klasičnu radiografiju. U tu svrhu smo zavarili šest ispitnih uzoraka. U jedan uzorak smo načinili provrte poznatih dimenzija i zatim promatrali, kako dubina greške utječe na točnost digitalnog radiografskog snimka. Na preostalim uzorcima sa stvarnim greškama smo proveli usporedbu između klasične i digitalne radiografije. Iz istraživanja možemo doći do sljedećih zaključaka:

Mjerenje grešaka je pri klasičnoj radiografiji ručno, zato je teško osigurati točnost mjerenja. Kako su kriteriji za prihvatljivost grešaka pri nekim greškama vrlo strogi (mali), vrlo je važno, da smo pri mjerenju vrlo točni. S pomoću računalnog programa Rhythm Review mjerenje veličine greške je vrlo jednostavno. S njime smo mogli vrlo brzo izmjeriti veličinu grešaka na digitalnim radiogramima.

Digitalne snimke možemo pretvarati u klasične slikovne datoteke, stoga za pregled radiograma nije potrebna dodatna oprema, kao što je pri klasičnoj radiografiji (iluminatori). Naručitelj tako može brže dobiti informacije o rezultatima ispitivanja.

U usporedbi s klasičnom radiografijom dobivamo i rezultate ispitivanja brže, jer samo skeniranje ploče traje oko 8 puta brže nego li razvijanje radiografskog filma. Vremena ekspozicije su kod digitalne radiografije približno 6 puta manja u usporedbi s klasičnom radiografijom.

Kako se pri digitalnoj radiografiji ne primjenjuju opasne kemikalije, a uz to su slikovne ploče namijenjene višestrukoj primjeni, u usporedbi s klasičnom radiografijom je više ekološka metoda ispitivanja.

A program Rhythm Review sadrži i modul za mjerenje debljine cijevi. Taj modul je vrlo primjenjiv tako, kada nije moguće sa cijevi ukloniti izolaciju, jer se s pomoću digitalne radiografije može načiniti mjerenje debljine i u takvom slučaju.

Kao glavni zaključak možemo zapisati, da digitalna radiografija može zamijeniti klasičnu radiografiju sa stajališta zahtjeva za detekciju nepravilnosti. Sve zahtjeve za kvalitetom digitalnih i klasičnih snimaka su bili ispunjeni, a ocjenjivanje grešaka na digitalnim

snimkama je bilo, u usporedbi s klasičnom radiografijom, točnije, pouzdanije i brže. Pokazalo se i da je mogućnost detekcije i oštrina detalja pri niskim debljinama ozračenih materijala veća nego li pri konvencionalnoj radiografiji, što znači, da je u farmaciji, gdje se pretežito instaliraju cjevovodi manjih debljina, primjena CR vrlo primjerena. Isto tako je moguća obrada snimaka, što pri klasičnoj radiografiji nije moguće. Predviđamo, da će se u budućnosti digitalna radiografija uspjeti uvriježiti i u cijelosti zamijeniti klasičnu radiografiju.

Literatura

- [1] Marko Andrejaš: Digitalna radiografija varov in zvarnih spojev: diplomsko delo. Ljubljana 2016
- [2] VECTOR Technische Unternehmensberatung GmbH: Durchstrahlungsprüfung (RT) – Stufe 1, SECTOR Technische Unternehmensberatung GmbH, Hattingen, 2002
- [3] Digital radiography v Wikipedija. Dostopna na: https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_radiography; ogled 21. 02. 2016
- [4] GE Inspection Technologies: Industrial Radiography, GE Inspection Technologies, 2008
- [5] Igor Šabič: Študija učinka uporabe radiografske rešetke v klasični pediatrični radiologiji: magistrsko delo. Ljubljana, 2014
- [6] SIST EN ISO 19232-5:2013. Neporušitveno preskušanje – Kakovost radiografske slike – 5. del: Indikatorji kakovosti radiografske slike (vrste dupleks, žični) – Določitev neostrine slike (ISO 19232-5:2013). Slovenski inštitut za standardizacijo; Ljubljana; 2013.

» Novosti na području robotskog zavarivanja

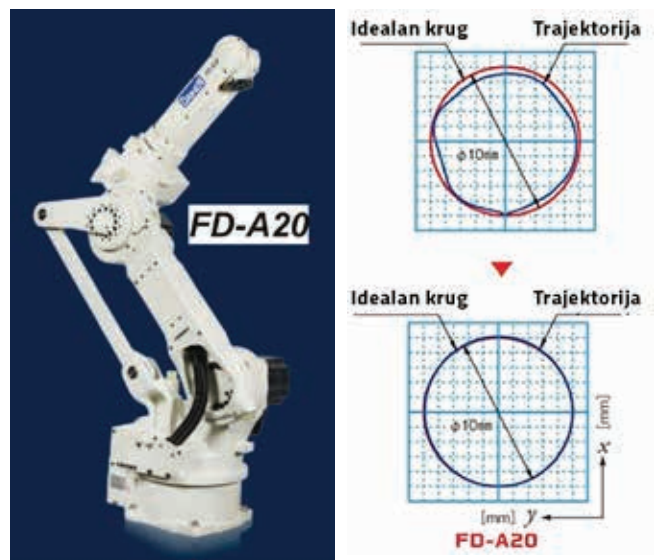
**Peter Kastelic
Andrej Kreft**

Tvrtka Daihen Varstroj, koja je članica korporacije Daihen, neprekidno poboljšava svoje proizvode za postizanje idealnih rezultata na području tehnologije zavarivanja. Uvođenje robotizacije u proces zavarivanja proširuje područja djelovanja, povisuje fleksibilnost procesa zavarivanja i omogućuje bolju kvalitetu i ponovljivost proizvoda.

Pri zavarivanju je itekako posebice važna dobra kontrola nad događanjem tijekom vrlo kompleksnih postupaka zavarivanja.

Visoko precizni robot FD-A20Za napredne tehnologije zavarivanja, kao što su lasersko zavarivanje i rezanje, TIG itd., gdje su zahtjevi za preciznim vođenjem ključni za postizanje kvalitete, u DAIHEN VARSTROJ imamo odgovor u obliku visoko-preciznog robota FD-A20 s točnošću ponavljanja do $\pm 0,07$ mm i odstupanjem od kružnosti promjera ≤ 10 mm ispod 0,09 mm pri brzini TCP-2 m/min.

Za kvalitetno zavarivanje je pored preciznog vođenja robota, potrebna i dodatna senzorička, koja omogućuje kvalitetno zavarivanje unatoč promjenjivoj prethodnoj pripremi predmeta za zavarivanje. S pomoću laserskog senzora FD-QT, možemo poboljšati praćenje zavarenog spoja. Senzor FD-QT omogućuje praćenje zavarenog spoja pri preklapajućem zavaru kao i za kod zavarivanja tankih limova (debljine 1 mm), omogućuje visoku stabilnost luka pri



» Visoko precizan robot FD-A20



Peter Kastelic, Andrej Kreft • Daihen Varstroj d.d.