

» Računalniška tomografija v razvojnem procesu

Marko IVANUŠIČ
mag. Blaž FLORJANIČ
Gregor KODER

Smernice sodobnega razvoja izdelkov narekujejo njihovo večjo geometrijsko kompleksnost. Ta temelji predvsem na zahtevi po združevanju različnih funkcij posameznega konstrukcijskega elementa. S tem se zmanjšuje število sestavnih delov in s tem povezana kompleksnost tehničnih sestavov.

Skupni imenovalac pa je zmanjševanje stroškov in investicij. Pri obvladovanju kompleksnih sestavnih delov in ugotavljanju njihovih vzročno-posledičnih relacij v tehničnem sestavu klasične merilne metode pogosto ne zadostujejo. Običajno se v praksi izvaja opazovanje odziva skozi kontrolirani eksperiment ali monitoring v eksploataciji, kar predstavlja posredno metodo. Z računalniško tomografijo (CT) je mogoče neposredno ugotavljati postavitev konstrukcijskih elementov sestava, zato se ta merilna metoda najpogosteje uporablja v neporušitveni diagnostiki in povratnem inženirstvu. V članku so prikazani praktični primeri uporabe CT pri obvladovanju razvoja izdelka.

Uvod

Uporaba rentgenske tehnike kot merilne metode v proizvodni industriji omogoča vpogled v notranjost obdelovancev in s tem zaznavo napak, npr. praznin (poroznosti), zračnih vključkov, razpok in tujkov, kot tudi kontrolo sestave komponent. Rentgenska tehnika spada med neporušne metode preiskav materialov in/ali obdelovancev.

Računalniška tomografija na osnovi rentgenske tehnike se uveljavlja kot nadgradnja radiografije z vidika natančnejše zaznave, karakterizacije ter prostorske porazdelitve struktur (lastnosti) in napak v notranjosti merjencev. Omogoča meritve notranjih struktur, lahko pa se uporablja tudi v 3D-merilni tehniki.

Pri izvedbah računalniških tomografov, ki v osnovi sestojijo iz rentgenske cevi, merilne mize in detektorja, obstajajo različne tehnologije glede na geometrijo sistema. To so med drugim 2D CT (uporaba pahljačastega žarka v eni ravnini – »fan shaped beam« in vrstičnega detektorja), 3D CT (uporaba stožčastega žarka in detektorja s ploskim zaslonom) ter Helix CT (merjenec se vrti in giblje vzdolž osi oz. izvaja tirnico vijačnice med virom in detektorjem). METROTOM, katerega raba je predstavljena v članku, je 3D CT-stroj.

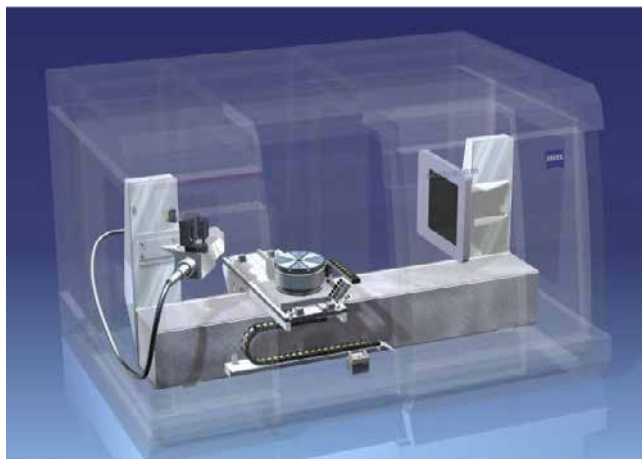
3D CT-tehnologija se v kontroli kakovosti lahko uporablja za različne namene, od pregledov sklopov, za kontrolo montaže, odkrivanje napak v materialih, meritev dimenzij in geometrijskih odstopanj do reverzibilnega inženiringa.

Slabosti te tehnologije se kažejo v tem, da mora biti mogoče objekt presevani z vseh strani. To glede na omejeno moč sevanja in različne debeline in gostote materiala ni vedno izvedljivo. Prav tako se zaradi polikromatske narave rentgenskih žarkov in sipanja pri njihovem prehodu skozi opazovani vzorec pojavljajo slikovni artefakti. To so popačenja in anomalije zaradi napak pri procesiranju digitalnih signalov. Največ popačenj pri računalniški tomografiji povzročajo materiali z zelo različno gostoto, na primer kovinski vijak v plastičnem ohišju.

Naprava METROTOM 1500

Naprava METROTOM 1500 na Sliki 1, ki jo uporabljamo v kontroli kakovosti BSH, izpolnjuje standard ISO 9001:2008 (VDA 6, Teil 4, 2. Auflage 2005 [2]). S tem je certificiran za uporabo v kontroli kakovosti za namen stalne izboljšave sistema kakovosti.

Z vidika sevalne varnosti spada med kabinske polno zaščitene naprave. Omogoča CT-meritve obdelovancev, ki so iz umetnih mas, keramike, (zlitin) lahkih kovin (magnezija, aluminija), in tudi jekla. V Preglednici 1 je opisana zmogljivost naprave glede na tehnične podatke.



» Slika 1: Metrotom 1500 [1]: v polno zaščiteni kabini so rentgenska cev (spodaj levo), vrtljiva merilna miza na tračnicah (sredina spodaj) in detektor s ploskim zaslonom (spodaj desno).

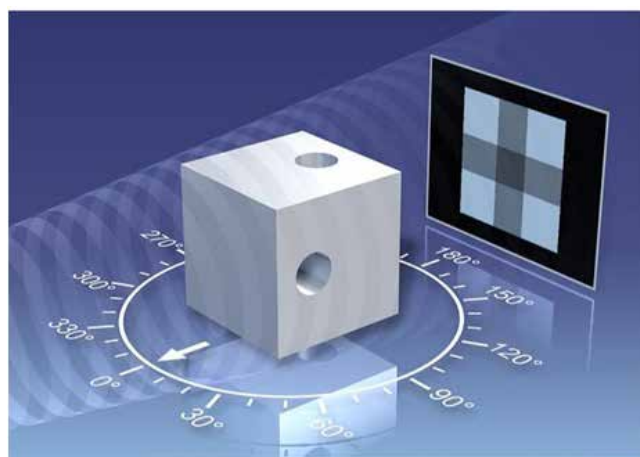


Marko IVANUŠIČ, mag. Blaž FLORJANIČ,
Gregor KODER • BSH Hišni aparati, d. o. o. Nazarje

To je 3D CT-naprava, kjer se za presvetlitev obdelovanca uporablja stožčasti žarek. Po prehodu skozi obdelovanec žarki zadenejo na raven detektor, kjer se odvisno od geometrije in absorpcijskih lastnosti merjenca ustvari 2D-slika sivin. CT-slikanje se izvaja tako, da merjenec vpnemo v nosilec iz ekspandiranega polistirena in postavimo na vrtljivo merilno mizo, med samim slikanjem pa se zavrti okrog rotacijske osi mize za 360°. Ob tem detektor zajame zaporedje 2D-slik oz. projekcij z različnih smeri (Slika 2). Iz teh projekcij nato računalniški algoritem izračuna rekonstrukcijo objekta. Tako dobimo podatkovni zapis v obliki 3D-slike oz. volumnski prikaz objekta.

ZMOGLJIVOST	
Rentgenska cev (moč)	225 kv/225 W
Vrtljiva merilna miza (kotna ločljivost)	0,036"
Detektor	1024 x 1024 p ali 2048 x 2048 p
Maksimalna ločljivost detajlov (kontrast 10 %) po standardu ISO 15708	8 µm oz. 3,5 µm
Merilno območje	Ø300 x 350 mm
Presvetlitev (možna skupna debelina stene obdelovancev)	- polimeri 250 mm - lahke kovine 120 mm - jeklo 10 mm
Merilna točnost (MPE po standardu VDI/VDE 2630 1.3)	(9 + L/50) µm ... L (mm)

» Preglednica 1: Zmogljivost glede na tehnične podatke [2]



» Slika 2: Prikaz zajema posnetkov [1]

Za kakovost CT-meritve oz. slikanja so najpomembnejši trije parametri: geometrijska ločljivost, kontrast in merilni čas; vsi trije so med seboj povezani. Praksa je pokazala, da je pri časih slikanja do 45 min in kontrastu brez šuma mogoče glede na dimenzijski razpon merjenecv doseči geometrijsko ločljivost med 30 µm in 200 µm. Na kakovost slikanja negativno vplivajo predvsem slikovni artefakti (Slika 3).

Analize podatkovnih zapisov CT-meritev se izvajajo s programsko opremo VG Studio MAX in CALYPSO. Kot rezultat so na



TOOL-TEMP®

Izjemno kakovostne naprave, ki delujejo bolje in predvsem dlje!



V Sloveniji imamo Tool-Temp naprave, ki delujejo brez težav že več kot 10 let!

Črpalka iz bronu zdrži veliko dlje kot običajne črpalke iz medenine.

Naprave za temperiranje:

- na vodo 90°C/olje 150°C,
- tlačne na vodo do 160°C,
- na olje do 360°C.

Naprave za hlajenje vode.

Več o Tool-Temp kakovosti

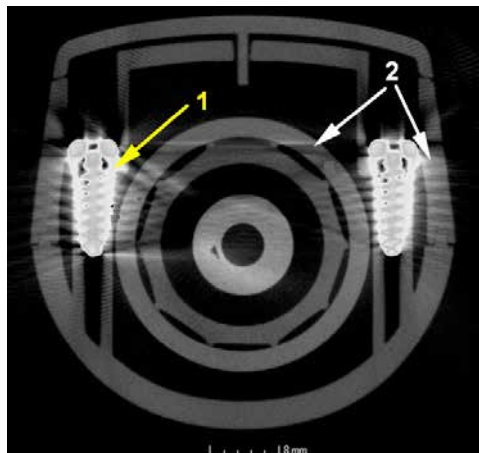


Tool-Temp olje do 360°C

Lesnik

Zgornje Bitnje 100a, 4209 Žabnica
T: 04 231 53 30, F: 04 231 53 31
www.lesnik.si, office@lesnik.si

voljo topografske slike (slikovni prerezi skozi merjenec), druga vizualizacija (npr. sekvenca) ter poročila meritev v obliki merilnih protokolov ali prikaz geometrijskih odstopanj s pomočjo barvne lestvice.



» Slika 3: Slikovni artefakti, na sliki označeni z 1 in 2

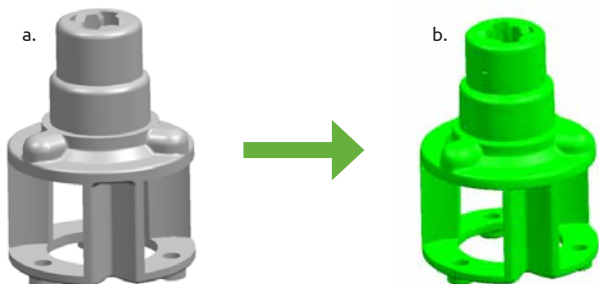
Uporabnost CT-meritev se je pokazala na širokem področju – od analize serijske proizvodnje, prehoda v produkcijo, kontrole sestave do pripomočka za reševanje reklamacij.

Primeri uporabe računalniške tomografije pri razvoju in obvladovanju polimernih izdelkov

Pri razvoju kompleksnih polimernih izdelkov in sestavov prihaja tehnologija računalniške tomografije kot nova generacija merilne opreme vedno bolj do izraza. Izkazala se je kot zelo uporabna metoda predvsem na področju neporušne analize kompleksnih sestavov in pri potrjevalnem postopku posameznih komponent tako v razvojni fazi produkta kot tudi kasneje v življenjski dobi produkta, pri obvladovanju kvalitete vhodnega materiala ter pri odkrivanju morebitnih napak pri montažnem procesu.

Uporaba pri optimiranju in potrjevanju izdelkov

Z vedno kompleksnejšimi polimernimi izdelki postaja nadzor njihove kakovosti vedno večji izziv. Podjetja, ki se ukvarjajo s proizvodnjo orodij za brizganje termoplastičnih polimernih izdelkov in z injekcijskim brizganjem izdelkov, se soočajo z vedno krajšimi dobavnimi roki in vedno ostrejšimi kakovostnimi zahtevami. Zahteve strank narekujejo vedno krajši čas industrializacije izdelka od prvih vzorcev do serijskega izdelka, zato je s klasičnimi merilnimi metodami, kot so koordinatni merilni stroji, velikokrat težko dohajati potrebe kupcev.

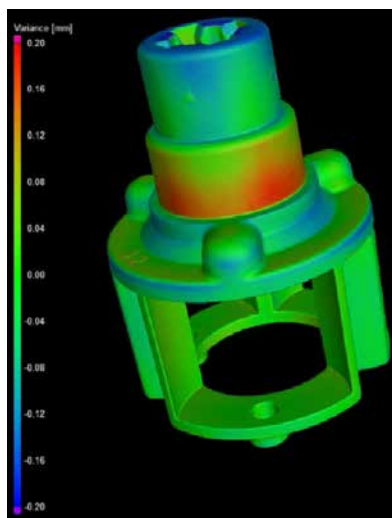


» Slika 4: Teoretični model 3D CAD (a) in model, generiran z računalniško tomografijo (b) [3]

Računalniško tomografijo lahko uporabljamo tudi za merjenje topografije, kjer danes prevladujejo predvsem 3D-optične merilne

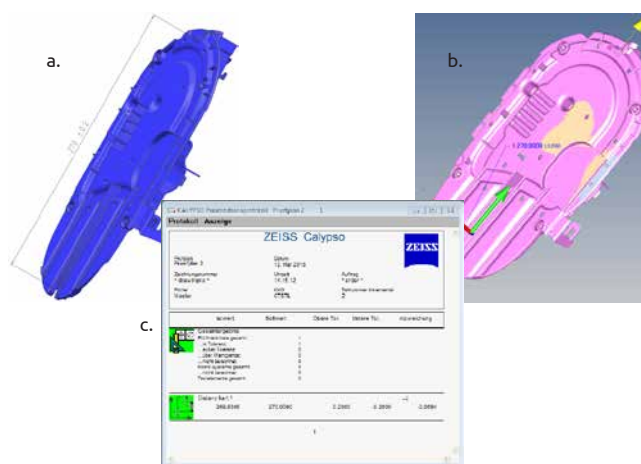
naprave. Tako merjenje topografije omogoča krajše čase validacije orodja za injekcijsko brizganje in hitrejšo optimizacijo tega ter s tem krajšanje časa od naročila do prve dobave. Merjenje vzorcev poteka brezdotično, zato ni potrebe po fiksni podporah z vpenjali, kot jih potrebujemo pri klasičnih koordinatnih merilnih strojih. V 3D CT-napravo lahko zložimo tudi več vzorcev hkrati, na primer pri izdelkih iz večgnezdnih orodij, ki so lahko naključno orientirani. Podpore so narejene iz materiala z nizko gostoto, ki je prepusten za rentgenske žarke.

Po zajemu podatkov je treba modele ovrednotiti s primerno programsko opremo. Ta omogoči poravnavo tomografskega modela s teoretičnim 3D CAD-modelom, bodisi po referenčnih površinah, ki jih določi uporabnik, ali po metodi najboljšega približka (angl. best fit). Geometrijska primerjava tomografskega in teoretičnega 3D CAD-modela je prikazana na Sliki 5.



» Slika 5: Prikaz odstopanj – poravnava realnega modela z referenčnim 3D CAD-modelom [3]

Za izdelavo merilnega poročila potrebujemo bodisi 3D-model, ki že vsebuje podatke o izdelovalnem procesu, PMI (angl. product and manufacturing information, Slika 6), bodisi v programski opremi za validacijo rezultatov na podlagi 2D-dokumentacije določimo kote, ki jih želimo kontrolirati. Pomembna je poravnava na referenčne površine.



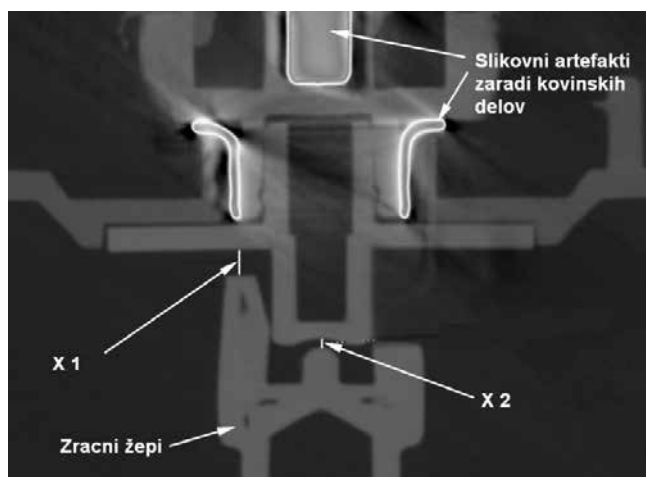
» Slika 6: 3D-model s podatki PMI (a), prikaz meritve s programsko opremo Calypso (b) in merilno poročilo (c)

Uporaba CT pokaže svoje prednosti tudi po končani razvojni fazi kot merilna metoda za kontrolo sestavnih delov, ki prihajajo v proizvodnjo, predvsem ko gre za kompleksne in zahtevne kose. V proizvodnem procesu je zaželeno, da je čas od prihoda v vhodno skladišče do prihoda materiala na montažno linijo čim krajši. Za-

radi optimiranja skladiščnih zalog želimo, da se kvaliteta vhodnega materiala izvrši hitro. To lahko dosežemo z računalniško tomografijo in dobro zasnovanim prednastavljenim merilnim protokolom.

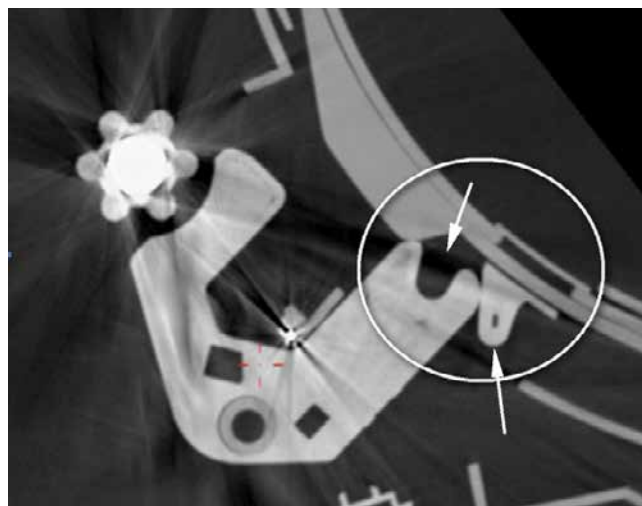
Neporušna kontrola sestava

Pri razvoju kompleksnega izdelka nas pogosto zanima, kako nekatere komponente delujejo v sestavu. Zanima nas, ali so zračnosti med gibljivimi deli zadostne za pravilno delovanje sestava oziroma ali so med posameznimi komponentami kolizije. Velikokrat moramo sestav analizirati tako, da s porušnimi metodami del ohišja



» Slika 7: Rentgenski posnetek sestava [3]

izrežemo in opazujemo notranjost. To pa lahko vpliva na detajle, ki jih želimo opazovati. Z merilno metodo vplivamo na opazovani sistem. Z izdelavo rentgenskega posnetka pa neporušno prodremo v notranjost sestava in izvedemo kontrolo. S programsko opremo za validacijo rentgenskega posnetka lahko po želji delamo prereze sestava in ga analiziramo. Na Sliki 7 je prikazan posnetek sestava v prerezu, na katerem so vidne zračnosti med sestavnimi deli, ki jih potrebujemo za pravilno delovanje. Prav tako so na sliki vidna območja nezapolnenosti polimernega sestavnega dela (zračni žepi), kar vpliva na porušno trdnost izdelka.



» Slika 8: Rentgenska slika sklopa s stikalom v napačni montažni poziciji [3]

Piovan

Periferna oprema za predelavo plastičnih mas in hladilniki
Equipment for processing plastics and chillers



Quantum nova generacija gravimetričnih dozatorjev.
Quantum new generation of gravimetric blenders.

www.piovan.com; www.qantum.piovan.com/en

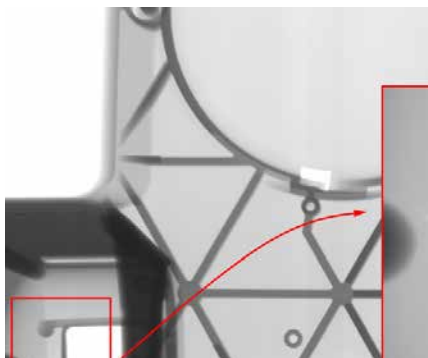


Zadnje NOVOSTI iz programa **PIOVAN**.

Latest NEW products from **PIOVAN**.



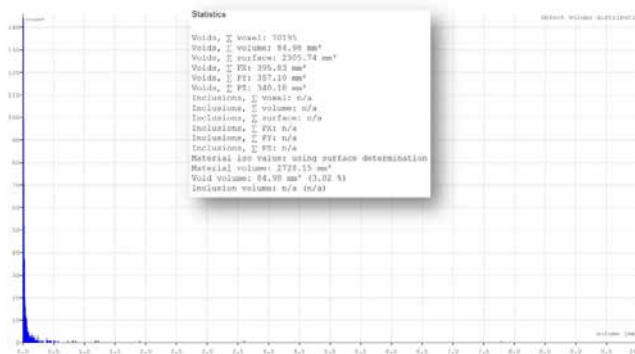
CT-tehnologija je zelo uporabna tudi pri iskanju vzrokov napak na sestavih, torej kot diagnostično orodje. Z izdelavo CT-posnetka lahko neporušno izvedemo analizo sklopa in hitro ugotovimo stanje. V primeru na Sliki 8 lahko opazimo napako pri montaži. CT-analiza aparata, ki je bil izločen pri stoodstotni kontroli na koncu montažne linije, pokaže napačno pozicijo stikala, do katere je prišlo zaradi neprevidnosti proizvodnega delavca. Na podlagi analize lahko, če se izkaže za potrebno, načrtujemo oziroma izvedemo ukrepe v zelo kratkem času.



» Slika 9: Rentgenska slika tlačno litega sestavnega dela

Analiza tlačno litega aluminijastega izdelka

Radiografija ponuja tudi možnost kontrole materiala (gradiva), pri čemer se opazujejo predvsem homogenost materiala, gostota materiala in velikost delcev (vključkov) ter nastanek morebitnih razpok. V proizvodnem postopku tlačnega litja lahko nastane

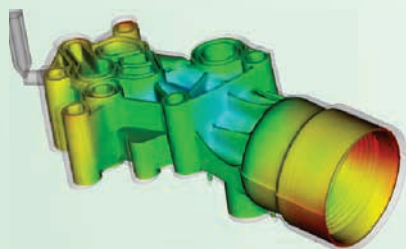


» Slika 10: Histogram analize zračnih vključkov na podlagi tomografskega modela

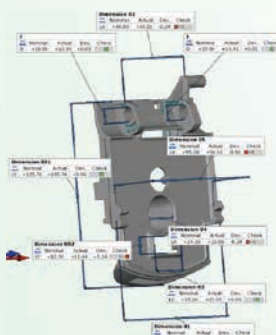
vrsta livarskih napak (razpoke, nečistoče, zračni vključki, plinska poroznost, oksidi ...), ki jih s pomočjo CT lahko opazujemo kot klasičen rentgenski posnetek (Slika 9). V tem primeru uporabimo klasične metode opazovanja posnetka in na podlagi izkustvenih ugotovitev eksperta opredelimo vrsto napak.

Prava dodana vrednost CT-tehnologije se pokaže pri uporabi algoritmov za analizo tomografskih modelov, pri čemer je analitiku (ekspertu) ponujena tako kvantitativna analiza v obliki histograma (Slika 10) kot tudi slikovni prikaz območij izdelka z napakami (Slika 11). Na podlagi take analize se ekspert lažje odloči, katera območja je treba še posebej pozorno analizirati pri natančnem pregledu prereзов tomografskega modela.

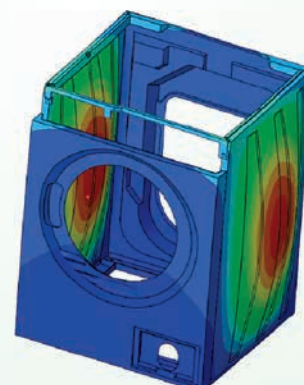
ZNIŽAJTE STROŠKE PROIZVODNJE IN ZMANJŠAJTE TVEGANJA PRI RAZVOJU IZDELKOV



Odprava deformacij brizganega izdelka

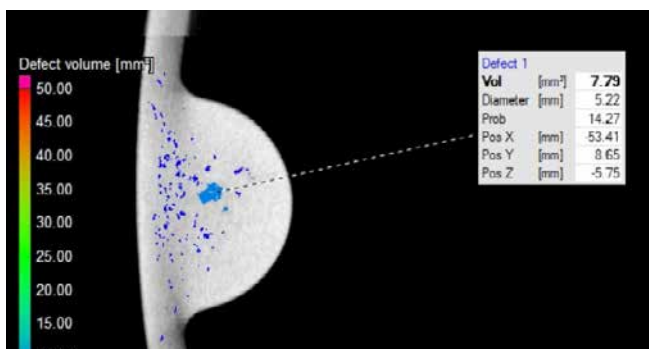


Izsek iz merilnega protokola vzorca



Analiza vibracij ohišja pralnega stroja

Razvoj izdelkov na ključ | Napredni MKE-trdnostni preračuni | Optimizacija proizvodnih procesov
3D-skeniranje in meritve | Brizganje prototipov in malih serij | Strokovno usposabljanje | Raziskave in razvoj



» Slika 11: Grafični prikaz analize zračnih vključkov na podlagi tomografskega modela

Sklep

Računalniška tomografija zagotavlja edinstven, nedestruktiven in tridimenzionalni vpogled v opazovani vzorec. Je izjemen diagnostični pripomoček, s katerim inženirji v vsakdanji praksi globlji vpogled v izvor napak. Pogosteje zastopani cenovno konkurenčnejši kontrolni postopki tega ne zagotavljajo. Prav natančna in hitra diagnoza napak pa sta izjemnega pomena za vzdrževanje dolgotrajne globalne konkurenčnosti in ohranjanje kompetenčne prednosti.

Viri:

- [1] www.zeiss.com, 10.5.2015, Carl Zeiss IMT
- [2] METROTOM® Technische Daten, DE_60_022_340I; Carl Zeiss IMT
- [3] Arhiv BSH

» Novo pri Meusburgerju: brezstopenjsko nastavljivo vstopno vodilo

Na voljo sta dve različici modularne izvedbe vstopnega vodila. Za obe je značilna brezstopenjska nastavljivost širine in tri različne višine. Različne možnosti nastavitve širine traku in dviga traku omogočajo fleksibilnost pri uporabi za različna orodja za preoblikovanje pločevine.

Vstopno vodilo E 5620 z vzmetnim ležajem na eni strani omogoča prosto določanje širine vodila od 18 do 82 mm. Silo vzmeti je mogoče optimalno nastavljati s sistemom tlačnih vzmeti. V kompletu so tri vzmeti različnih debelin. Pri vodilu E 5622 se trak najprej centrira in nato vodi skozi štiri iglične ležaje, nameščene v nasprotnih parih. Vodilne letve so brezstopenjsko nastavljive za širine trakov od 18 do 82 mm. S tem izdelkom se odlično ujema pritrtilna prirobnica E 56204, ki se lahko namesti na sprednji del orodja in odstrani z njega. Vsi izdelki so na voljo iz zaloge v običajni visoki kakovosti.

» www.meusburger.com



Največji sušilni sistem za plastične materiale kadarkoli nameščen, 8000 kg/h PET.

www.moretto.com



ΣUREKA
Drying Revolution

Najboljši na svetu v
energijski učinkovitosti:
54 W/h na kg
za sušenje PET.

Lesnik
www.lesnik.si