

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТОЧНОСТТА ПРИ СУБПЕРИОСТАЛЕН ИМПЛАНТ ПРОИЗВЕДЕН, ЧРЕЗ СЕЛЕКТИВНО ЛАЗЕРНО РАЗТОПЯВАНЕ

Тодор Гаврилов

Благовест Златев

Цвета Караянчева

tgavrilov@3clab.com

bzlatev@3clab.com

cveta_@abv.bg

Лаб. CAD/CAM/CAE в Лаб. CAD/CAM/CAE в кат.ТММ, МТФ, ТУ –
индустрията, кат.ТМММ, индустрията, кат.ТМММ, София, бул. „Кл. Охридски”
МТФ, ТУ – София, бул. „Кл. МТФ, ТУ – София, бул. „Кл. № 8, 1797 София, България
Охридски” № 8, 1797 София, Охридски” № 8, 1797 София,
България България

Бързо развиващите се технологии предоставят варианти за сравняване на физически изработения образец с номиналния тримерен компютърен модел, по който е произведен, посредством системите за 3D сканиране и обработване на данните след това. Изследвана е геометрия, представляваща принтирана от хром-кобалтова сплав субпериостална имплантна структура, изработена по технологията SLM (Selective Laser Melting). – метод. За да се установи какви са разминаванията при получената и желаната геометрия на субпериосталния имплант е направено сравнение на припокриването на номиналния 3D модел и получения след 3D сканиране STL файл. Целта е да се открият неточностите на размерите и пространственото изкривяване, вследствие на високо температурния производствен процес.

Ключови думи: 3D сканиране, персонализирани импланти, геометрична валидация

1. Увод

Измерването на получените размери и цялостна геометрична валидация на детайли със сложна геометрия е предизвикателство. Структурите, изработени за целите на имплантологията, особено персонализираните импланти – съобразени с анатомичните особености на конкретен пациент и получен по методи, базирани на данни от томографски изображения на проблемната зона, са добър пример за детайл с много сложна геометрия.

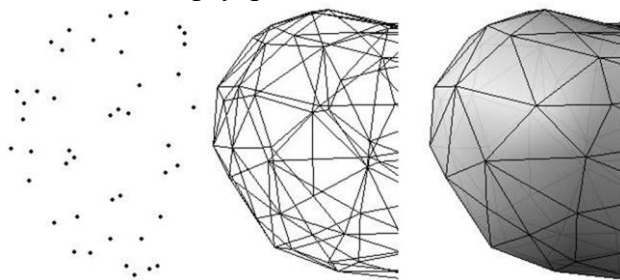
Измерването на геометрията и размерите им също представляват предизвикателство. При използването на координатно измервателни машини (СММ) се измерват обработени окончателно детайли, установени на измервателната машина, където се извършва контрол на даден размер или отклонение спрямо САД модела на детайла или от неговия чертеж (2D)[1]. Бързо развиващите се технологии предоставят и други варианти за сравняване на физически изработения образец с номиналния тримерен компютърен модел, по който е произведен, посредством системите

за 3D сканиране и обработване на данните след това. Тези системи се предпочитат когато се изисква цялостна оценка и валидация на геометрията, а не само контрол на ключови размери. Съвременните 3D скенери позволяват по-бързо сравнение между виртуални и физически прототипи.[2] Геометричната валидация и виртуалното прототипиране влияят директно върху точността на създаване на персонализирани импланти, вследствие от което операцията отнема по-малко време и имплантът е по-прецизен и съответно по този начин много животи могат да бъдат спасени[3].

3D сканиране се нарича процесът на събиране и дигитализиране на тримерна информация от физически обект посредством устройства като портативни координатно-измервателни машини, фотоапарати и други. В наши дни за създаването на тримерен модел на обект се използват два основни безконтактни метода: лазерно сканиране и фотограмметрия. При сканирането и с двата метода се генерират т. нар. „облаци от точки“ (на английски – point clouds), които в последствие се трансформират в мрежи.[3]

Основният файлов формат за облак от точки е *.pcd (от Point Cloud Data), но някои производители на софтуер използват собствени формати. Въз основа на тези точки, получени чрез методи за 3D сканиране, се апроксимира полигонална мрежа, която представя повърхнините на сканирания обект.[4]

Мрежата от своя страна се генерира на базата на облака от точки като повърхнините на обекта биват описани с полигони. В реинженеринга най-често се използват триъгълни мрежи. Съществуват множество софтуери, които по различни компютърни алгоритми автоматизирано създават изключително точни компютърни мрежи по първоначално създадения облак от точки (фиг. 2.5 [5]). Обикновено мрежите се експортират във файлове с разширения *.stl, *.ply и други, които се поддържат от множество софтуери.



фиг. 1 Компютърно генериране на мрежа по облак от точки[5]

2. Дигитализация на субпериостална имплантна структура, посредством 3D безконтактен скенер

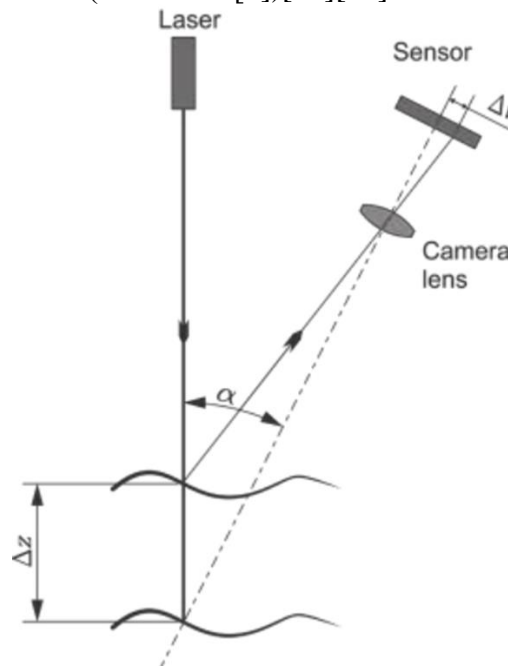
Изследваната геометрия, представлява принтирана от хром-кобалтова сплав субпериостална имплантна структура(фиг 2.), изработена по технологията SLM (Selective Laser Melting). - метод, при който се използва разтопяване на прахообразен материал с помощта на лазерен лъч, с цел получаване на метален детайл с практически неограничено сложна форма [6][7]. Геометрията на импланта е получена по методи, базирани на данни от томографски изображения на проблемната зона, при които чрез задаване на различни интензитети на сивия цвят се изолират различни видове тъкани чрез създаване на нови маски [8]



фиг. 2 Субпериостален имплант произведен по технология за адитивно производство

За измерване на постигнатите точности на изработения имплант е използвана технология за лазерно 3D сканиране. Използвани са възможностите на портативна измервателна система Romer absolute arm 7320 SI, използващ метода лазерна триангулация

3D сканирането по метода на лазерна триангулация се извършва чрез проектиране на лазерна права или точка върху обекта и последващо „улавяне” на нейното отражение с помощта на сензор, разположен на предварително известно разстояние от източника на лазерния лъч. На базата на измерения ъгъл на отражение могат да се определят пространствените размери на детайла (Фиг. 2.10 [9])[10][11].

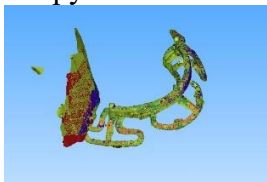


фиг. 3 Принцип на работа на лазерна триангулация [12]

Имплантът е установен стабилно върху гранитна тресажна маса, която да гарантира висока стабилност при

движението на скенера за обхождане на импланта. По този начин се избягват генериране на вибрации и преместване на импланта и съответно грешки в координатите на снетите точки в пространството, което гарантира максимална точност на измерване.

Полученият облак от точки при сканиране бива почистен от шумове и сканирани части от масата или други елементи, които не са част от геометрията на импланта, обект на изследването (фиг. 4, фиг. 5). Обработката на данните, се извършва чрез инструментите на софтуера „3D Reshaper“.

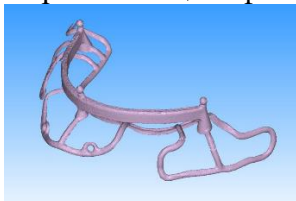


фиг. 4 Необработен облак от точки, получен при 3D сканиране

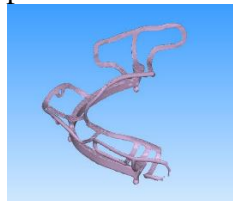


фиг. 5 Почистен облак от точки, получен при 3D сканиране

След почистване на облака от точки следващата стъпка е създаването на файл в STL файлов формат, като за целта точките от облака се използват за изграждане на мрежа от триъгълници – фиг. 6, фиг. 7



фиг. 6 STL файл, описващ геометрията на изработения имплант



фиг. 7 STL файл, описващ геометрията на изработения имплант – изглед отдолу

3. Съпоставка на номиналния 3D модел с получения STL файл

За да се установи какви са разминаванията при получената и желаната геометрия на субпериосталния имплант е направено сравнение на припокриването на номиналния 3D модел и получения след 3D сканиране STL файл. Целта е да се открият неточностите на размерите и пространственото изкривяване, вследствие на високо температурния производствен процес.

За целта двата файла (фиг. 8 и фиг. 9) са вмъкнати в софтуерна среда на специализиран софтуер, след което са наслагани един спрямо друг, задавайки съвпадение на началото на координатните им системи – фиг. 10. В червен цвят е видима геометрията на сканирания имплант, а със сив – тази на моделирания.



фиг. 8 3D модел на субпериостален имплант



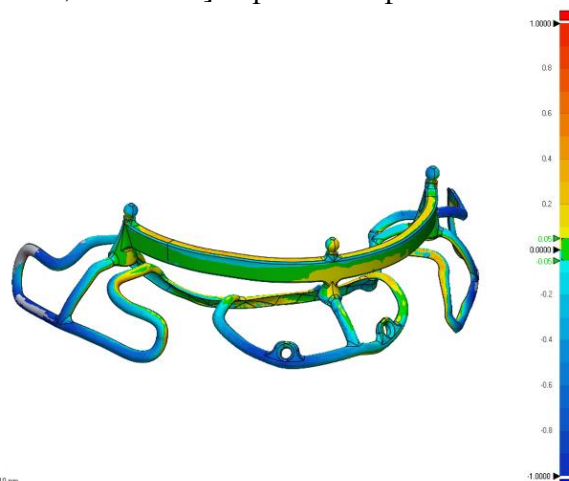
фиг. 9 Сканиран модел на субпериостален имплант



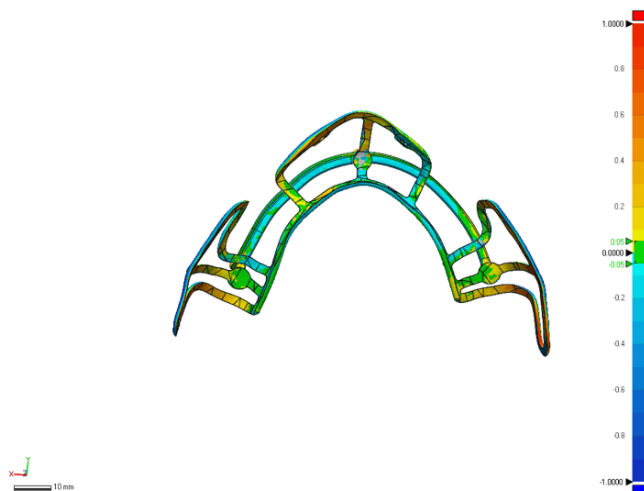
фиг. 10 Наслагване на 3D модел и STL файл

Измерване на постигнатата точност, чрез 3D сравнение

Направено е 3D сравнение с цветна визуализация с граници на зона в зелен цвят [-0.05mm; +0.05mm] – фиг. 11 и фиг. 12



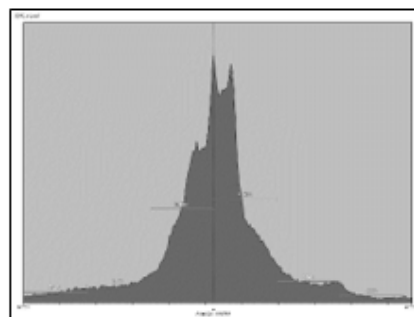
фиг. 11 Сравнителен анализ на субпериостална протеза



фиг. 12 Сравнителен анализ на субпериостална протеза – изглед отдолу

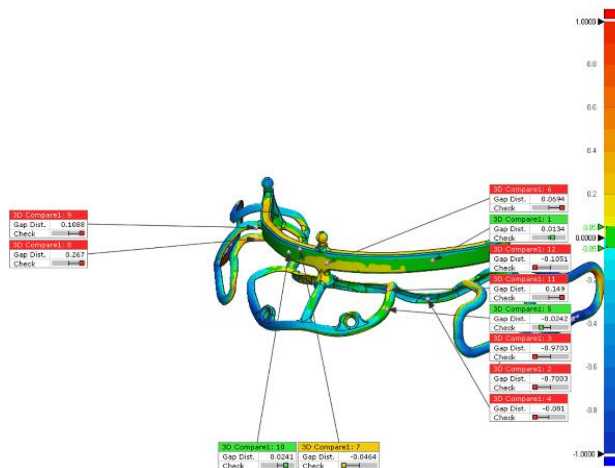
Анализ на резултатите от проведеното проучване и изготвяне на научен отчет

Направеният сравнителен анализ е използван за извличане на данни за съвпадението на геометрията между моделирания и сканирания имплант. Данните показват, че близо 47% от повърхнините на сканирания имплант се намират в границите на отклонение $[-0.05\text{mm}; +0.05\text{mm}]$, спрямо 3D модела. От останалите 53% намиращи се извън същите граници, близо 30,3% са над заложеният допуск, докато 22,7% остават под него. Средната стойност на отклоненията в положителните стойности е 0.176мм, докато отклоненията в отрицателните стойности е -0.191мм. Средната стойност от разпределението е -0.021мм. Всички тези данни са видими на фиг. 13. Извадени са и данни за отклоненията в случайни точки от повърхнините на импланта, като информация за тях е видима на фиг. 14 и фиг. 15



Min.	-0.9999
Max.	0.9996
Avg.	-0.0213
RMS	0.2731
Std. Dev.	0.2723
Var.	0.0741
+Avg.	0.1757
-Avg.	-0.1912
In Tol.(%)	46.9948
Out Tol.(%)	53.0052
Over Tol.(%)	30.2928
Under Tol.(%)	22.7124

фиг. 13 Статистика на база на направения сравнителен анализ



фиг. 14 Данни за отклоненията в случайни точки от повърхнините на импланта

Measured Pos.			Gap Dist.	Tolerance
X	Y	Z		
79.9909	-38.4443	69.9997	0.0134	±0.05
60.5071	-53.385	53.7376	-0.7003	±0.05
62.7926	-47.7092	48.0408	-0.9703	±0.05
86.0629	-46.3442	56.0034	-0.081	±0.05
88.0165	-28.1179	59.9863	-0.0742	±0.05
104.0034	-28.2747	70	0.0694	±0.05
111.9847	-30.0325	71.9964	-0.0464	±0.05
137.9237	-56.6946	61.0906	0.267	±0.05
139.9671	-61.2396	61.9784	0.1088	±0.05
116.0113	-31.7149	69.9998	0.0241	±0.05
89.5316	-32.4525	63.319	0.149	±0.05
68.0596	-55.2973	73.9608	-0.1051	±0.05
60.5071	-61.2396	48.0408	-0.9703	±0.05
139.9671	-28.1179	73.9608	0.2670	±0.05

фиг. 15 Таблица с координати и отклонения на посочени точки от повърхнините на импланта

Изводи

Изследвани са постигнатите точности на изработен персонализиран субпериостален имплант, като той е подложен на 3D сканиране. За целта е използвана системата Romer absolute arm 7320 SI, която се намира в лаб. „3D Креативност и Бързо Прототипиране“ към СНИРД, София ТехПарк. При обработването на данните от 3D сканирането е използван софтуерът „3D Reshaper“, като след обработката е получен STL файл.

Направен е сравнителен анализ, сравняващ геометриите на номиналния 3D модел с полученият модел от сканирането. Зададени са допуски на отклоненията в граници $[-0.05\text{mm}; +0.05\text{mm}]$. 47% от повърхнините на детайли влизат в съответните допуски.

За достигането на имплант с по-голяма точност на геометрията е необходимо да се извършат още опити с различни параметри на производствения процес при селективно лазерно разтопяване. При извършването на редица опити, следва да се стигне до оптимизация на параметрите за мощност на лазерния източник, дебелина на слоя и скорост на обхождане при различните контури, което от своя страна да намали термичните деформации на импланта и да запази желаната геометрия.

Използваният метод за контрол на геометрията – лазерно 3D сканиране дава цялостна точна оценка за отклоненията на сложно геометрични детайли, при които контактно измерване не би дало адекватен резултат.

Настоящите изследвания са финансирани по научен проект в помощ на докторант с договор №:202ПД0020-05 от НИС при ТУ-София.

Литература

- [1]. Хаджийски П., Калдъшев Цв., Острев Н., Възможности за интегриране на CAD/CAM проектирането със създаване на координатно-измервателни програми за координатно-измервателни машини (СММ), сп. Машиностроене и електротехника, бр. 5- 6, година LXV 2016, стр. 17 – 20, ISSN 0025-455X;
- [2]. Todorov, G., Romanov, B., Todorov, T.; Assessment of Accuracy and Precision of a Complex Polymer Component, p3, 29th International Scientific Symposium, Metrology and Metrology Assurance 2019
- [3]. Kamberov K., Todorov G., Sofronov Y., Nikolov N, Methodology for designing, manufacturing and integration of personalized spinal implants for surgical treatment of the cervical spine, p6, AMEE 2020
- [4]. Sofronov, Y., Zagorski, M., Todorov, G., Gavrilov, T.; Approach for reverse engineering of complex geometry components, p1-2, BulTrans 2019, p69-75
- [5]. Marjanovic M 2018 Process for converting a set of image slices into a segmented 3D surface mesh, <http://artisynth.org/pmwiki.php?n=OPAL>. MarkoMarjanovic, open on 17.12.2018
- [6]. Kruth, J. и др. 2005. Binding mechanisms in selective laser sintering and selective laser melting. Rapid Prototyping Journal, 11(1), pp. 26 - 36.
- [7]. Pham, D. T. & S.S. Dimov. 2003. Rapid prototyping and rapid tooling - the key enablers for rapid manufacturing. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 217(1), pp. 01-23
- [8]. Semkov, M., Dimova, K.; Comparison of stress distribution on periodontally compromised mobile teeth splinted and non-splinted using finite element method, p2, AMEE 2020
- [9]. Basic principle of laser triangulation https://www.researchgate.net/figure/Basic-principle-of-laser-triangulation_fig3_281744073
- [10]. „Геодезия“, проф. инж. Васил Ц Пеевски, проф. д-р инж. Михаил Ив.

Венедиков, Държавно издателство „Техника“, София, 1966
[11]. „Ръководство за упражнения по геодезия“, доц. к.т.н. инж. Паско М.Бакалов и др., Издателство „Техника“, София,1991

[12]. Poredoš P, Povšič K, Novak B and Jezeršek M 2015 Three-dimensional measurements of bodies in motion based on multiple-laser-plane triangulation Rev. Téc. Fac. Ing. Univ. Zulia 38 53– 61

ACCURACY ANALYSIS OF SUBPERIOSTEAL IMPLANT MANUFACTURED BY SELECTIVE LASER MELTING TECHNOLOGY

Todor Gavrilov

Blagovest Zlatev

Tsveta Karayancheva

tgavrilov@3clab.com

bzlatev@3clab.com

[Cveta @abv.bg](mailto:Cveta@abv.bg)

lab. CAD/CAM/CAE in Industry, dep.TMTM FIT, TU-Sofia, bul."Kliment Ohridski" № 8, 1797 Sofia, Bulgaria

lab. CAD/CAM/CAE in Industry, dep.TMTM FIT, TU-Sofia, bul."Kliment Ohridski" № 8, 1797 Sofia, Bulgaria

dep.TMM FIT, TU-Sofia, bul."Kliment Ohridski" № 8, 1797 Sofia, Bulgaria

Rapidly evolving technologies provide options for comparing the physical prototype and the nominal three-dimensional computer model, using the systems for 3D scanning and data processing. The investigated geometry represents a subperiosteal implant structure produced from chromium-cobalt alloy by Selective laser melting technology. In order to determine the discrepancies in the obtained and desired geometry of the subperiosteal implant, a comparison is made between the overlap of the nominal 3D model and the STL file obtained after 3D scanning. The aim is to detect dimensional inaccuracies and spatial distortions due to the high temperature production process.

Key words: 3D scanning, personalized implant, geometry validation