

Erősítő szénszálcsoportok detektálása digitális képfeldolgozási módszerekkel

Detection of reinforcing carbon fibre groups by digital image processing methods

MAGYAR Gergely¹, TIMA Tamás Sándor¹, Dr. GEIER Norbert¹

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Gyártástudomány és -technológia Tanszék,
1111. Budapest, Műegyetem rkp. 3., T épület 4. em., Tel.: 06/1-463-2515, Fax: 06/1-463-3176,
E-mail: info@manuf.bme.hu, Honlap: <http://manuf.bme.hu>

Abstract

Many phenomena play a role in the machining of carbon fibre reinforced polymer (CFRP) composites, which depend on the orientation of the reinforcing fibres. For chopped fibre reinforcement structure, it is necessary to determine the position of the carbon fibre groups. Therefore, different digital image processing (DIP) algorithms have been developed to determine the positions of carbon fibre groups based on contrast differences. Comparison of each algorithm with manually processed images has been used to generate quantitative metrics to evaluate the accuracy of each algorithm.

Keywords: CFRP, chopped reinforcement, digital image processing, filtering

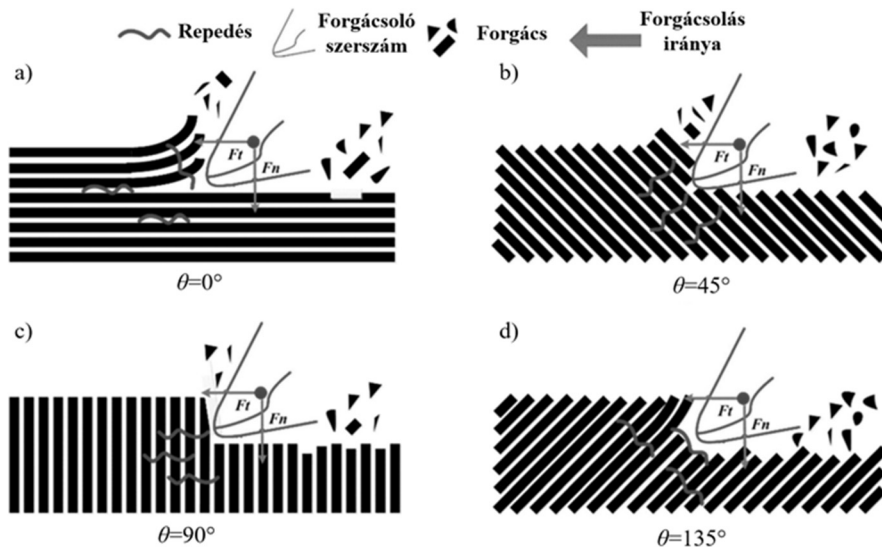
Kivonat

A szénszálerősített polimer (CFRP) kompozitok forgácsolása során számos olyan jelenség játszik szerepet, melyek az erősítőszálak irányától függenek. A rövid, vágott szálas erősítőstruktúra esetén a szénszálcsoportok pozíciójának meghatározása szükséges. Erre a célra különböző digitális képfeldolgozási (DIP) algoritmusokat fejlesztettünk, melyekkel kontrasztkülönbség alapján meghatározhatók a szénszálcsoportok pozíciói. Az egyes algoritmusokat manuális feldolgozott képekkel összehasonlítva létrehoztunk kvantitatív mérőszámokat, melyekkel az egyes algoritmusok pontossága meghatározható.

Kulcsszavak: CFRP, vágott szálas erősítés, digitális képfeldolgozás, szűrés

1. Bevezetés

A szénszálerősítésű polimer (CFRP) kompozit anyagok forgácsolása – az anyagok egyre terjedő alkalmazása és számos kihívást jelentő, azonban gyakran nélkülözhetetlen forgácsolása miatt – egy aktívan kutatott téma [1–3]. A szálerősített polimer kompozitok egyik előnye, hogy viszonylag bonyolult geometriával rendelkező alkatrészeket is elő lehet állítani, azonban a csatlakozó felületek létrehozása és a gyártási ráhagyások eltávolítása miatt forgácsolásuk gyakran szükséges [4]. Korábbi kutatók munkássága során már bebizonyosodott, hogy a szálerősített polimer kompozitok forgácsolása során jelentős hatása van a kialakult felület minőségére a forgácsolási sebesség iránya és a szálerősítés iránya által bezárt szögnek, vagyis a szálvágási szögnek (θ) [5]. Ennek egyik oka, hogy eltérő szálvágási szögek esetén különböző forgácsképződési mechanizmusok figyelhetők meg, ahogyan azt az 1. ábra szemlélteti [6]. Azon erősítőstruktúrák esetén, ahol a szálerősítés iránya az anyag minden pontjában ismert (pl. egyirányú vagy biaxiális erősítés), úgy ezen irányfüggő tulajdonságok okozta forgácsolásindukált geometriai hibák jól kezelhetők vagy akár előre jelezhetők. A rövid, vágott szálas erősítőstruktúra esetében az erősítő szálcsoportok iránya véletlenszerű, így azok pozíciójának a meghatározása szükséges [7]. Annak érdekében, hogy ezen szálirányfüggő ismeretek a rövid, vágott szálas erősítőstruktúra esetén is alkalmazhatók legyenek, kutatásunk során digitális képfeldolgozási (DIP) eszközöket alkalmazó algoritmusokat fejlesztettünk, melyekkel az erősítő szénszálcsoportok pozíciója meghatározható, majd a szénszálcsoportok pozícióját meghatározó létrejött kimeneti képek segítségével a forgácsolási folyamatuk fejleszthető.



1. ábra. Különböző szálvágási mechanizmusok a) $\theta=0^\circ$, b) $\theta=45^\circ$, c) $\theta=90^\circ$ és d) $\theta=135^\circ$ szálvágási szög esetén [6].

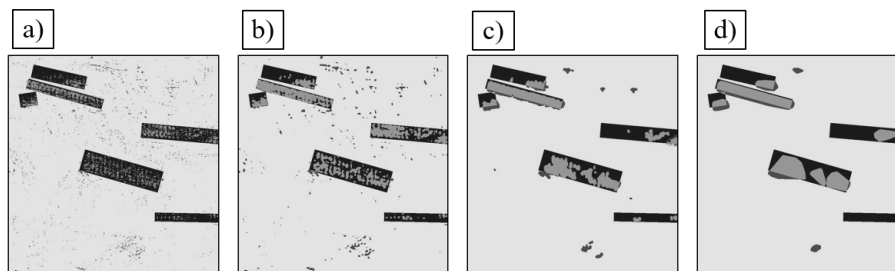
2. Alkalmazott módszerek

A módszer fejlesztéséhez használt kompozitlemez egy egyedi gyártású, vágott szálak erősítőstruktúrájú CFRP kompozit anyag volt, a [7] publikációban részletezett tulajdonságokkal. Öt munkadarabrész felületéről készítettünk fotókat 12 különböző megvilágítási szög mellett. Ennek oka, hogy így ki tudtuk használni az erősítőszálak fényvisszaverő és a mátrixanyag fényáteresztő tulajdonságát. Továbbá, a szálak csak abban az esetben verik vissza a fényt nagy mértékben, ha az irányuk merőleges a megvilágítás irányára így, hogy minden szálcsoportot érzékeltetni tudjon a kamera a 180° -os tartományt 12 egyforma részre osztottuk fel.

A képek feldolgozására ezután egy 7 lépésből álló algoritmust hoztunk létre, mely 4 különböző szakaszában létrejött képeket értékeltünk kimenetként. Az algoritmus lépései:

1. kép beolvasása,
2. eredeti kép binarizálása (DIP1 eredmény),
3. Gauss-szűrés alkalmazása,
4. szűrt kép binarizálása (DIP2 eredmény),
5. Canny-éldetektálás,
6. kontúrkeresés (DIP3 eredmény)
7. konvex halmaz módszer alkalmazása (DIP4 eredmény).

Az algoritmus által létrehozott képeket ezután manuális feldolgozott képekkel hasonlítottuk össze, ahol a szálcsoportok pozíciójának meghatározását mi végeztük el. Ez egy lassú és nagyban a feldolgozó személy szubjektív döntésétől függő, nehezen reprodukálható folyamat, viszont egy jó alapot ad az egyes módszerek összehasonlításához. A DIP képek képpontjait 4 csoportba soroltuk, (i) helyesen érzékelt szálcéppont (zöld), (ii) tévesen érzékelt szálcéppont (kék), (iii) nem érzékelt szálcéppont (piros) és (iv) helyesen érzékelt mátrix képpont (világos zöld), ezt a 4 csoportot szemlélteti a 2. ábra.



2. ábra. Az egyes kimeneti képek összehasonlítása a manuális képekkel a) DIP1, b) DIP2, c) DIP3 és d) DIP4 módszerek esetén.

Az egyes csoportokba tartozó képpontok számának felhasználásával három jellemző mérőszámot alkottunk meg (m_1 , m_2 , m_3), melyeken keresztül az egyes módszerek értékelhetők. Az m_1 mérőszámot a DIP módszerrel helyesen érzékelt szálképpontok mennyiségének és a manuális módszerrel meghatározott összes szálképpont mennyiségének hányadosa határozza meg, az m_2 mérőszámot a DIP módszerrel tévesen érzékelt szálképpontok mennyiségének és a manuális módszerrel meghatározott összes szálképpont mennyiségének hányadosa határozza meg, míg az m_3 mérőszámot a DIP módszerrel helyesen érzékelt szálképpontok mennyiségének és DIP módszerrel tévesen érzékelt szálképpontok mennyiségének hányadosa adja meg százalékos formában. Az egyes mérőszámok számításához 1-3) képleteket alkalmaztuk.

$$m_1 = \frac{b_{a,h}}{b_{m,\bar{o}}} \cdot 100 (\%) \quad (1)$$

$$m_2 = \frac{b_{a,t}}{b_{m,\bar{o}}} \cdot 100 (\%) \quad (2)$$

$$m_3 = \frac{b_{a,h}}{b_{a,t}} \cdot 100 (\%) \quad (3)$$

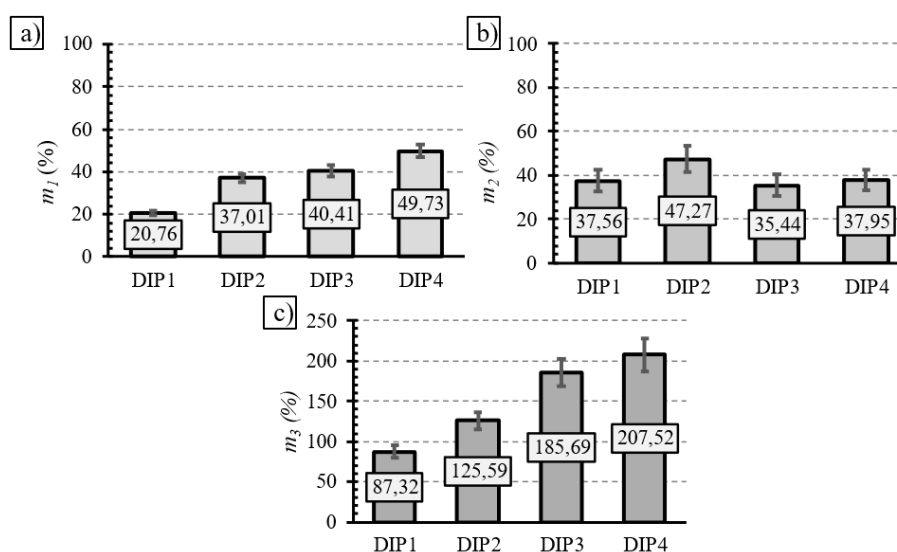
Ahol m_1 , m_2 , m_3 az indexeknek megfelelő mérőszámokat, $b_{a,h}$ a DIP módszerrel helyesen érzékelt szálképpontok mennyiségét, $b_{a,t}$ a DIP módszerrel tévesen érzékelt szálképpontok mennyiségét és $b_{m,\bar{o}}$ manuális módszerrel meghatározott összes szálképpont mennyiségét jelölik.

3. ERedmények és következtetések

Az egyes DIP módszerekkel létrehozott képek a manuálisan feldolgozott képekkel történő összehasonlítása után meghatározott mérőszámok és a hozzájuk tartozó standard hiba értékek az 1. táblázatban olvashatók, vastagon kiemelve az adott mérőszám esetén legkedvezőbb kapott értéket. A kiértékelés eredményeit vizuálisan szemlélteti a 3. ábra.

Az automatizált módszerekhez tartozó m_1 , m_2 és m_3 mérőszám és a standard hiba értékek 1. táblázat

Mérőszám	DIP1 (%)	DIP2 (%)	DIP3 (%)	DIP4 (%)
m_1	20,76±1,11	37,01±1,84	40,41±2,48	49,73±3,02
m_2	37,56±4,83	47,27±6,00	35,44±4,96	37,95±4,53
m_3	87,32±7,21	125,59±10,68	185,69±17,08	207,52±20,42



3. ábra. A három mérőszám a) m_1 b) m_2 és c) m_3 értékei a négy különböző DIP módszer esetén oszlopdiagramon ábrázolva.

Az eredményeken megfigyelhető, hogy az egyes módszerekkel 20,76-49,73%-os pontossággal sikerült érzékelni a szálképpontokat a fejlesztett módszerekkel. A legtöbb szálképpontot a DIP4, vagyis a konvex halmaz módszert is alkalmazó algoritmussal sikerült megtalálni. Valamint ezen módszer esetén volt a legkedvezőbb a helyesen (m_1) és tévesen (m_2) megtalált képpontoknak az aránya is, viszont ez a DIP3 módszer esetén is magas volt. Amennyiben nem akarunk a konvex alakzattal való közelítéssel élni, úgy a DIP3 módszer is alkalmas lehet kellő pontossággal a szálképpontok meghatározására, illetve ezen módszer esetén volt a legkisebb a tévesen (m_2) érzékelt szálképpontok mennyiségének és az összes szálképpont mennyiségének az aránya.

Az algoritmusok eredményei közvetlenül hasznosíthatók egy korábbi kutatás [7] folytatása során, ahol ugyanezen képek felhasználásával a sorja-előrejelzés került elvégzésre az anyagok fúrása előtt. A létrehozott algoritmusokkal kellő mennyiségben sikerült az egyes szálcsoportokhoz tartozó képpontok meghatározása, további eredményeket a kutatás folytatása során a sorja-előrejelzés ismételt lefuttatása során kapunk majd. Ezen felül kutatásunk további iránya mesterséges intelligenciát is alkalmazó algoritmusok fejlesztése.

4. Összefoglalás

Mivel a szálak pozíciójának ismerete kulcsfontosságú a CFRP kompozitok forgácsolása során, ezért kontrasztkülönbségen alapuló digitális képfeldolgozási algoritmust fejlesztettünk, melyekkel vágott szálas erősítőstruktúra esetén is meghatározhatók az erősítő szálcsoportok pozíciói. Az algoritmus 7 fő lépésből áll és 4 különböző kimeneti eredményt ad. A különböző kimeneti képeket manuálisan feldolgozott képekkel hasonlítottuk össze, majd mérőszámokat határoztunk meg az egyes módszerek jellemzése érdekében. A legnagyobb mennyiségben a DIP4 módszerrel sikerült a szálképpontok érzékelése (m_1), illetve ezen módszer esetén volt a legjobb a helyesen és a tévesen érzékelt szálképpontok aránya (m_3). A legkevesebb tévesen érzékelt szálképpont a DIP3 módszer esetén volt. Kutatásunk következő lépései mesterséges intelligenciát is alkalmazó képfeldolgozási módszerek fejlesztése és a sorja-előrejelzés elvégzése a létrehozott képeken.

Köszönetnyilvánítás

Ez a kutatás a Magyar Tudományos Akadémia által finanszírozott, BO/00508/22/6 számú Bolyai János Kutatási Ösztöndíj és az Innovációs és Technológiai Minisztérium által finanszírozott Új Nemzeti Kiválóság Program ÚNKP-22-5-BME-327 számú Ösztöndíj támogatásával készült. Ez a kutatás részben a Kínai és Magyar tudományos és technológiai együttműködést ösztönző 2019-2.1.11-TÉT-2020-00203 támogatásnak köszönhetően valósult meg.

Irodalmi hivatkozások

- [1] N. Geier és mtsai., „A critical review on mechanical micro-drilling of glass and carbon fibre reinforced polymer (GFRP and CFRP) composites”, *Compos. Part B Eng.*, köt. 254, o. 110589, ápr. 2023, doi: 10.1016/j.compositesb.2023.110589.
- [2] D. I. Poór, N. Geier, C. Pereszlai, és J. Xu, „A critical review of the drilling of CFRP composites: Burr formation, characterisation and challenges”, *Compos. Part B Eng.*, köt. 223, o. 109155, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.109155>.
- [3] Y. Bai, Z. Jia, R. Fu, J. Hao, és F. Wang, „Mechanical model for predicting thrust force with tool wear effects in drilling of unidirectional CFRP”, *Compos. Struct.*, köt. 262, o. 113601, ápr. 2021, doi: 10.1016/j.compstruct.2021.113601.
- [4] N. Geier, D. I. Poór, C. Pereszlai, és P. Tamás-Bényei, „Drilling of recycled carbon fibre-reinforced polymer (rCFRP) composites: analysis of burrs and microstructure”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 0 2022, doi: 10.1007/s00170-022-08847-4.
- [5] G. Magyar, D. Károly, J. Xu, és N. Geier, „Analysis of drilling-induced geometrical damages in basalt and carbon fibre-reinforced polymer (BFRP and CFRP) composites”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, köt. 123, sz. 1, o. 357–372, nov. 2022, doi: 10.1007/s00170-022-10173-8.
- [6] L. Zhang és mtsai., „High-speed milling of CFRP composites: a progressive damage model of cutting force”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, köt. 106, sz. 3, o. 1005–1015, jan. 2020, doi: 10.1007/s00170-019-04662-6.
- [7] N. Geier, G. Póka, Á. Jacsó, és C. Pereszlai, „A method to predict drilling-induced burr occurrence in chopped carbon fibre reinforced polymer (CFRP) composites based on digital image processing”, *Compos. Part B Eng.*, köt. 242, o. 110054, aug. 2022, doi: 10.1016/j.compositesb.2022.110054.