

Szybkie mikrofalowe drukowanie 3D ciągłych tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknami węglowymi

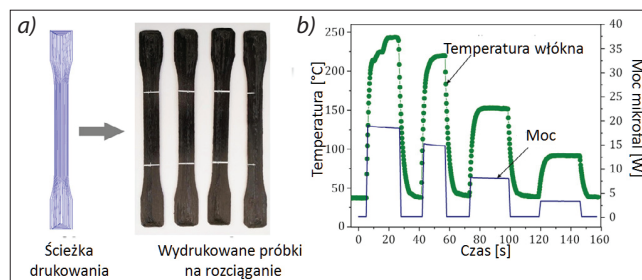
Zastosowanie w druku 3D ciągłego tworzywa sztucznego wzmocnianego włóknem węglowym (CCFRP) i ogrzewania mikrofalowego zamiast tradycyjnego ogrzewania oporowego umożliwia natychmiastowe, objętościowe nagrzewanie, co znacznie przyspiesza wytwarzanie kompozytów.

Ciągłe tworzywo termoplastyczne najpierw przechodzi przez aplikator rezonansowy i jest ogrzewane wewnątrz (rys. 1). Mikrofałe przekazywane do aplikatora z portu sprzęgającego stymulują prądy indukcyjne w każdym włóknie węglowym i generują nagrzewanie objętościowe Joule'a. Tylko włókna CCFRP są gwałtownie nagrzewane; aplikator i otaczające go medium pozostają w temperaturze pokojowej. Podgrzane włókna są w sposób ciągły wyciągane przez siłę generowaną, gdy włókna przylegają do platformy drukującej.

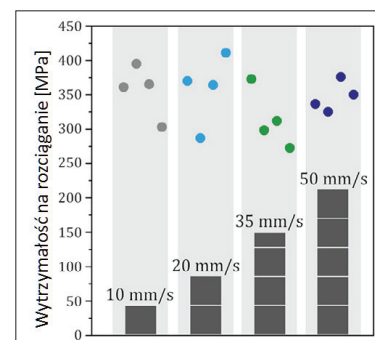
W celu zbadania zależności pomiędzy prędkością drukowania a właściwościami mechanicznymi wydrukowanych próbek wykonano próbki do rozciągania (rys. 2a). Włókna węglowe są układane wzdłuż ścieżek przenoszenia obciążeń i drukowane warstwa po warstwie, tworząc element o grubości 1 mm. Każda warstwa ma wysokość ok. 0,15 mm.

Na rys. 2b przedstawiono szybkość nagrzewania mikrofalowego włókna przy różnych poziomach mocy. Najwyższa szybkość nagrzewania wynosi około 62,5°C/s przy mocy 18 W. Oznacza to, że temperatura włókna może wzrosnąć do 200°C w czasie krótszym niż 3 s. Szybkość nagrzewania spada do 12°C/s przy mocy 3 W, jednakże nadal jest to wyższa prędkość ogrzewania niż 2°C/s w tradycyjnej dyszy ogrzewania oporowego.

Moc mikrofali jest kontrolowana poprzez prędkość drukowania: proste ścieżki są drukowane z prędkością 50 mm/s, a zakręty – 10 mm/s. Temperatura



Rys. 2. Ścieżka drukowania i wydrukowane próbki do rozciągania (a) oraz zależność szybkości nagrzewania włókna od mocy mikrofali (b)



Rys. 3. Wytrzymałość na rozciąganie próbek drukowanych z czterema różnymi prędkościami

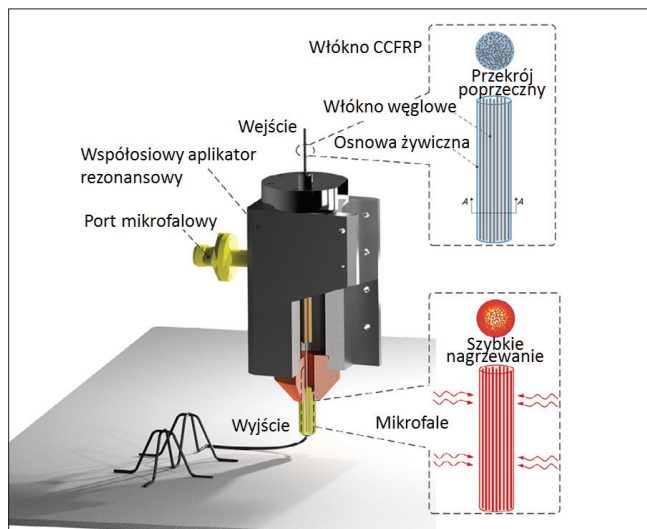
włókna podczas drukowania waha się od 180°C do 240°C w ciągu jednej minuty. Pomiary wytrzymałości na rozciąganie próbek drukowanych z czterema różnymi prędkościami wykazały, że średnia wytrzymałość dla najniższej prędkości 10 mm/s wynosi około 356 MPa, czyli więcej niż średnia wytrzymałość uzyskiwana z mniejszą prędkością przy tradycyjnym nagrzewaniu rezystancyjnym (rys. 3). Może to być spowodowane selektywnym ogrzewaniem mikrofalowym włókien węglowych, które może zwiększyć wytrzymałość międzyfazową i zapewnić lepsze przenoszenie obciążeń. Ponadto wstępnie impregnowane włókna pomagają uzyskać lepszą jakość i większą zawartość objętościową włókien.

Przy wyższych prędkościach drukowania uzyskano średnie wytrzymałości około 358 MPa, 313 MPa i 347 MPa. Jak widać, wysoka prędkość nie ma wpływu na wytrzymałość na rozciąganie części drukowanych mikrofalami 3D, ale znacznie skraca czas wytwarzania.

Opracował: prof. dr hab. inż. Krzysztof Jemielniak

LITERATURA

Li Nanya, Link Guido, Jelonnek John. "Rapid 3D microwave printing of continuous carbon fiber reinforced plastics". *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 69 (2020): 221–224, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2020.04.057>.



Rys. 1. Schemat mikrofalowego druku 3D ciągłego tworzywa termoplastycznego wzmocnianego włóknami węglowymi