KONKURS NA NAJLEPSZE PRACE DYPLOMOWE WIMiR

XVI Konkurs Na Najlepsze Prace Dyplomowe Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki 2021/2022 – prace inżynierskie

Jakub SZNAJDER
MiBM

Analiza zwrotnicy bolidu klasy Formuła Student, wykonanej technologią addytywną i ubytkową

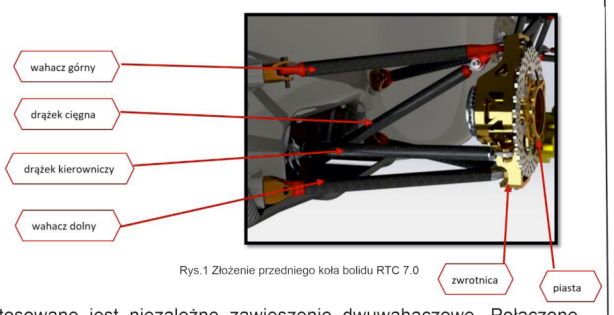
Analysis of an upright implemented in a Formula Student car, made with additive and cavity technology

promotor: **dr inż.** Krystian Szopa – Katedra Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska

Streszczenie: Przedmiotem pracy jest zwrotnica stosowana w bolidzie RTC 7.0 projektu AGH Racing. Jest to koło naukowe tworzące jednoosobowe pojazdy wyścigowe, które mają rywalizować na międzynarodowych zawodach – Formuła Student. Tytułowa zwrotnica to element zawieszenia, przenoszący obciążenia pomiędzy jezdnią a konstrukcją nośną. Celem pracy jest dobór parametrów geometrycznych i analiza porównawcza konstrukcji zwrotnicy bolidu RTC 7.0, ze względu na minimalizację odkształceń, przy zachowaniu jednakowej masy porównywanych modeli. Zostaną zaprojektowane dwa modele geometryczne, jeden przeznaczony do obróbki ubytkowej oraz drugi przystosowany do wdrukowania 3D z metalu, który powstanie przy użyciu optymalizacji topologii. W pracy przedstawione są zasady działania, wady, zalety oraz istotne aspekty technologii addytywnych i ubytkowych. Kolejno poruszane są podstawy teoretyczne konstrukcji zawieszenia na podstawie bolidu RTC 7.0 oraz podstawowe kąty istniejące w geometrii zawieszenia. Ponadto została zaplanowana i przeprowadzona analiza numeryczna metodą elementów skończonych. Badanie bierze pod uwagę najczęściej występujące przypadki obciążeniowe występujące na torze drogowym.

Konstrukcja układu zawieszenia i cele projektowe

Zawieszenie jest grupą komponentów, łączącą konstrukcję nośną samochodu z kołami. Służy do przenoszenia sił od opony na nadwozie pojazdu. Głównym zadaniem zawieszenia jest połączenie masy nieresorowanej z masą resorowaną. Podczas projektowania zawieszenia bolidów klasy Formuły Student, zwraca się uwagę na jak najlepszą dynamikę pojazdu. Bolid ma jeździć po krętych, szybkich torach.



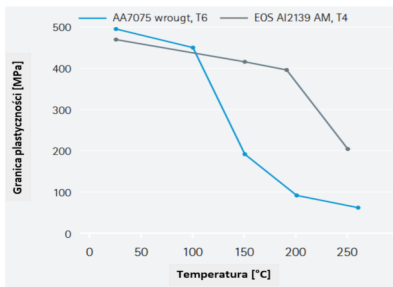
Rys.1 Złożenie przedniego koła bolidu RTC 7.0

W bolidzie AGH Racing RTC 7.0 zastosowane jest niezależne zawieszenie dwuwahaczowe. Połączone z amortyzatorami poprzez popychacze lub cięgna (drążki). System amortyzacji to dwa amortyzatory w odpowiednim układzie, z niezależnym tłumieniem i sztywnością dla drgań pionowych i kołysania bocznego. Zwrotnica to element spajający całe złożenie koła. Zawiera mocowania wahaczy, zacisku hamulcowego, drążka kierowniczego oraz łożysk umożliwiających montaż piasty. Do piasty natomiast montowana jest tarcza hamulcowa oraz felga razem z oponą. Odpowiedzialność niezawodnego działania zwrotnicy jest zatem kluczowa. Rys.1 przedstawia przednie lewe koło, pokazano implementację opisywanej części w złożeniu całego bolidu.

Rys.2 Cele podczas projektowania zwrotnicy

Przystępując do projektowania zwrotnicy zostały określone cele i założenia (Rys. 2). Wybrane materiały, powinny charakteryzować się niską gęstością i łatwą obrabialnością, a przy tym zapewniać wysoką sztywność. Dla detalu frezowanego wybrano AL. 7075 T6, natomiast do technologii addytywnej proszek AL. 2139 T4. Drugi z materiałów charakteryzuje się znacznie lepszą wytrzymałością w wyższym zakresie temperaturowym (Rys.3). Jest to pożądana własność, z uwagi na fakt generowania dużych ilości ciepła przez układ hamulcowy w bliskim otoczeniu zwrotnicy.

Kolejnym punktem procesu projektowego było zagwarantowanie możliwości dostosowywania kątów geometrii zawieszenia. Regulacja kąta pochylenia koła (ang. Camber) została rozwiązana poprzez zmianę dystansu pomiędzy zwrotnicą, a górnym mocowaniem wahacza za pomocą podkładek dystansowych. Następnym krytycznym aspektem jest fakt, iż całe złożenie koła to masa nieresorowana. Im większa różnica pomiędzy masą nieresorowaną, a resorowaną tym auto jest bardziej stabilne i mniej podatne na przenoszone wstrząsy od toru drogowego. Zatem istotnym jest skupienie się na jak najmniejszej masie komponentów złożenia koła.



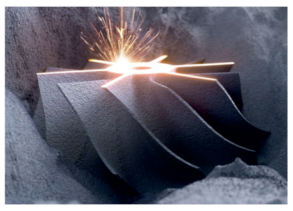
Rys.3 Zestawienie wytrzymałości materiałów w odniesieniu do temperatury

Technologie wytwarzania

Jednym z istotnych kryteriów oceny konstrukcji podczas konstruowania jest aspekt ekonomii i wytwarzania. Warto zwrócić uwagę na fakt, że zwrotnice do bolidu AGH Racing, to element wykonywany jednorazowo, bez horyzontu na produkcję seryjną. Powszechną technologią wykonywania elementów zawieszenia, takich jak zwrotnice jest odlewanie. Konkretny przypadek rozważa jednak ilości prototypowe, dlatego pod uwagę zostały wzięte technologie obróbki ubytkowej i druku 3D. Model zwrotnicy składa się z nieoczywistych, trudnych do zbazowania płaszczyzn. Ponadto niektóre obszary bryły zwrotnicy powstały przy pomocy modelowania powierzchniowego. Uprzednie fakty przemawiały jednoznacznie za skorzystaniem z obrabiarki pięcioosiowej obsługującej obróbkę symultaniczną. Alternatywą jest druk 3D z proszku metalowego (Rys.4). Zestawienie podstawowych rodzajów technologii druku 3D zostało przedstawione w Tab1.

Rodzaj materiału budulcowego	Nazwa procesu- skrót	Nazwa procesu- rozwinięcie
Żywica utwardzana UV	DLP	Digital Light Processing
	SLA	Stereolithography
	PolyJet	-
Filament/ wosk	FDM/FFF	Fused Desposition Modeling
Proszek polimerowy	SLS	Selective Laser Sintering
Proszek metalowy	MJF	Multi Jet Fusion
	SLM	Selective Laser Metaling
	DMLS	Direct Metal Laser Sintering
	EBM	Electron beam melting
	LMD	Laser metal deposition

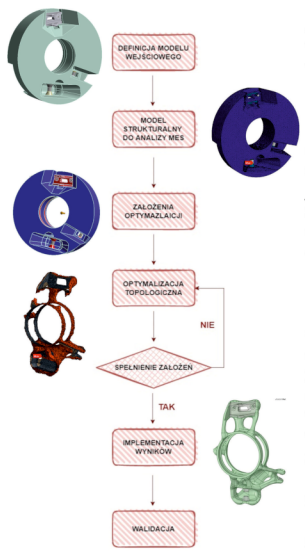
Tab. 1 Podstawowe rodzaje technologii druku 3D



Rys.4 Direct Metal Laser Sintering

Wytwarzanie przyrostowe (ang. Additive Matufacturing, AM) to proces łączenia materiału, warstwa po warstwie, w celu wytwarzania obiektów trójwymiarowych, Reasumując, z analizy metod wytwarzania wynika, iż czas powstawania detalu drukowanego metodą DMLS będzie znacznie dłuższy i droższy. Pomimo tego fascynacja metodami przyrostowymi znajduje argumentację w wolności i swobodzie podczas projektowania. Konstruktorzy nie zostają w sztywnych ramach ograniczeń technologicznych innych metod wytwarzania. Inspiracja bioniką i analizowanie strukturalnych kształtów pozwoliło na zaprojektowanie modelu, który może zostać wydrukowany.

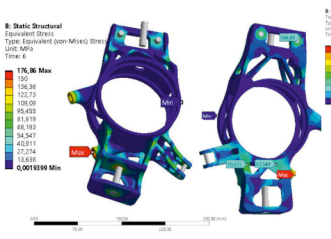
Wyniki analizy wytrzymłościowej i optymalizacji topologii



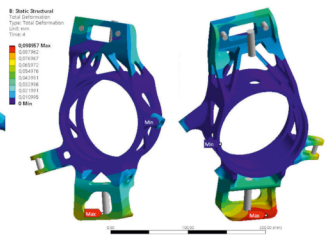
Rys.5 Algorytm przebiegu badania

Analiza przebiegała dwutorowo, ponieważ dla tych samych danych wejściowych (różnica w materiale), zbadano dwie geometrie: model do wykonania technologią ubytkową- frezowanie pięcioosiowe (**model I**) oraz model do wykonania technologią addytywną- drukowanie 3D metoda DMLS (**model II**). Ponadto została zaplanowana i przeprowadzona analiza numeryczna obydwu modeli geometrycznych. Wykonana analiza metodą elementów skończonych zawiera najczęściej występujące przypadki obciążeniowe występujące na torze drogowym. Korzystając z narzędzia, jakim jest oprogramowanie Optimum Kinematics, zbudowano model geometrii zawieszenia i obliczono siły w istotnych węzłach. Dyskretyzację domeny obliczeniowej przeprowadzono wykorzystując element skończony: Tet10--czworościan paraboliczny o wielkości 2 mm. Głównym rezultatem po przeprowadzonej analizie są naprężenia zredukowane według hipotezy Hubera oraz rozkład przemieszczeń (Rys. 6,7,8).

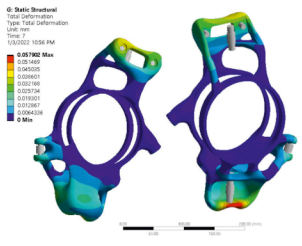
Optymalizacja topologiczna jest obliczeniową metodą projektowania, której celem jest optymalizacja rozkładu materiału w danej przestrzeni projektowej z uwzględnieniem obciążeń i ograniczeń, przy jednoczesnej maksymalizacji osiągów konstrukcji. Analiza topologiczna została przeprowadzona w środowisku Ansys, korzystając z narzędzia *topology optimizaton*. Program wykorzystuje metodę SIMP, metoda stałych materiałów izotropowych z penalizacją (ang. solid isotropic material with penalization). W celu przeprowadzenia optymalizacji topologicznej zaprojektowano wejściowy model geometryczny, który maksymalnie wykorzystuje objętość wewnątrz felgi. Na podstawie wyników optymalizacji kształtu zrekonstruowano modelu geometrycznego na podstawie siatki trójkątów (Rys.5).



Rys.6 Rozkład naprężeń zredukowanych HMH model I

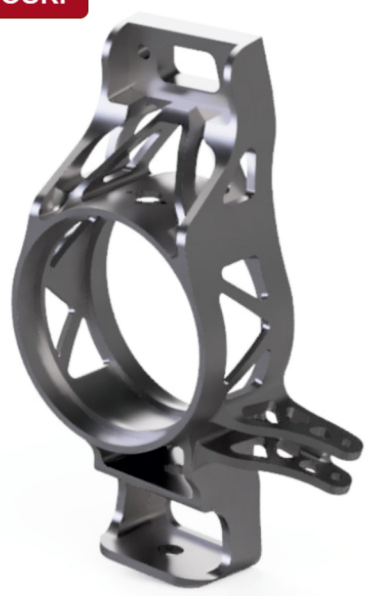


Rys.7 Rozkład przemieszczeń model I



Rys.8 Rozkład przemieszczeń model II

Wnioski



Rys.9 Przednia zwrotnica frezowana - model I

Rys.10 Przednia zwrotnica drukowana w technologii DMLS - modelI

Reasumując, patrząc globalnie model przeznaczony do wytwarzania technologią DMLS (Rys.10) jest o 42% sztywniejszy od modelu frezowanego (Rys.9), a sztywność samego ramienia kierowniczego przeznaczonego do technologii przyrostowych wzrosła o 88% względem modelu wykonanego obróbką ubytkową. Pomimo wielu zalet, druk 3D wiąże się również z wadami, takimi jak konieczność usunięcia podpór modelu lub zastosowania obróbki wykańczającej w celu wygenerowania lepszej powierzchni. Jednak jedną z największych wad jest anizotropia w strukturze materiału. Ortotropia materiału została uwzględniona w analizie. Podsumowując cel optymalizacji polegający na zwiększeniu sztywności przy zachowaniu masy został spełniony. Mając poczucie spełnienia założonych wymagań zakłada się, że zaprojektowany element jako jeden z wielu w całym bolidzie, pomoże zbliżyć cały zespół do sukcesów w rywalizacji na arenie międzynarodowej.