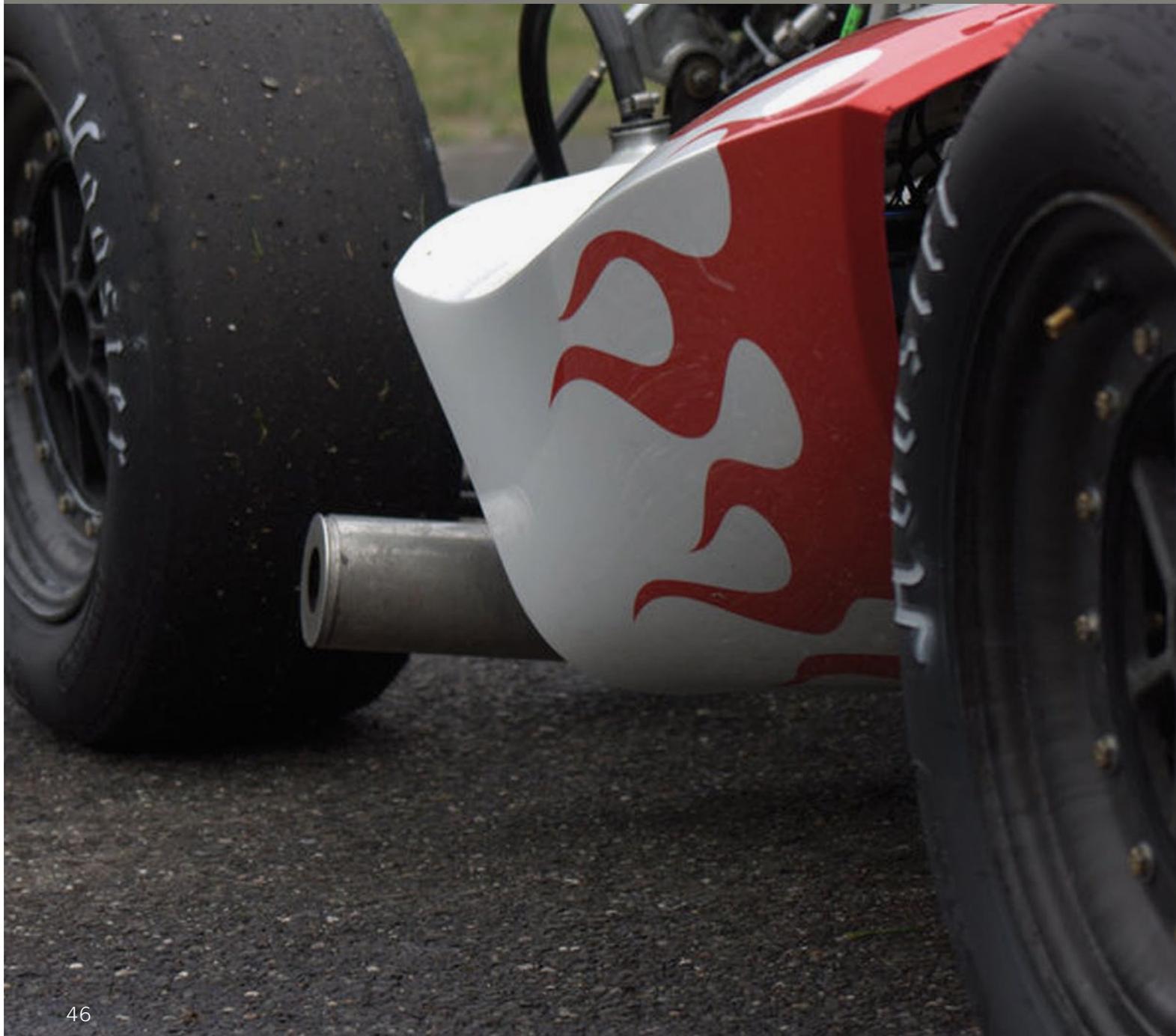


DIE RADKONSTRUKTION DES ARG 11

Das Cornell-Racing-Team der Cornell Universität in Ithaca, USA, beschreibt die dreiteilige Radkonstruktion seines Rennwagens ARG 11. Ziel des Teams war die Optimierung des Gewichts und der Steifheit des Rads durch Einsatz unüblicherer Werkstoffe.



AUTORIN



MEGAN ROTONDO

ist Mitglied des „Unsprung“-Subteams und leitende Konstrukteurin der Kohlefaserräder des Cornell-Racing-Teams der Cornell University in Ithaca, New York (USA).

ÜBERBLICK

Der ARG11, der Rennwagen der Saison 2011, hat eine dreiteilige Radkonstruktion, die aus Flanschen aus kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK) und einem Radstern aus Magnesiumguss zusammengesetzt ist. Beide Komponenten optimieren Gewicht und Seitensteifheit des Rads und wurden aufgrund ihres hohen Steifheits-Gewichts-Verhältnisses ausgesucht. Eine dreiteilige Konstruktion, das heißt die beiden CFK-Flansche verschraubt mit dem Magnesiumradstern, wurde wegen einer einfachen Fertigung und der geringen Kosten gewählt.

Durch die Verringerung des Gewichts der Räder verringert sich die Rotationsträgheit des Rads, wodurch das Fahrzeug schneller beschleunigen kann. Durch die Verringerung der Rotationsträgheit verbessert sich auch die Bremsleistung, weil weniger Bremskraft zur Verlangsamung der Raddrehung erforderlich ist. Durch die Verringerung des Gewichts der ungefederten Massen weist das Fahrzeug ein verbessertes Einschwingverhalten auf.

Das Cornell-Team entschied sich für eine modulare dreiteilige Radkonstruktion, die die Vereinbarkeit mit früher verwendeten Rädern, einfachere Fertigungsverfahren und spezifische Anpassungsfähigkeit ermöglicht. Die Kohlefasersflansche können gegen Aluminiumflansche getauscht werden und die Magnesium-Radsterne lassen sich im Lauf der Jahre abändern und optimieren, ohne dass die gesamte Radkonstruktion geändert werden muss. Außerdem ist der Einsatz einfacher Fertigungsverfahren möglich, da für beide Teile Werkzeugvorrichtungen, einschließlich Urmodelle und Formen, erforderlich sind. Wenn ein einteiliges Rad gewünscht wird, muss eine komplizierte Form entweder für ein Vollkarbonrad oder ein Magnesium-Vollgussrad hergestellt werden. Die Kosten steigen auch mit zunehmender Komplexität, die sich aus der Herstellung des einteiligen Rads ergibt. Das dreiteilige Rad stellt die beste Ausgewogenheit zwischen Kosten, höherer Steifheit und niedrigerem Gewicht dar.

RADSTERNKONSTRUKTION

Die Konstruktion des Radsterns aus Magnesiumguss basierte auf Belastungen, die sich bei Kurvenfahrten ergaben. Für die Übereinstimmung mit dem diesjährigen Raddesign wurde eine Dreilochfelge vorgesehen. Für die Lastverteilung wurden jeweils 20 %, 60 % und 20 % an jedem Radbolzen angenommen. Es wurde eine Analyse vorgenommen, um die Auswirkung von Steifheit und Ermüdung auf die Lebensdauer des Rads auf Basis der Eigenschaften von Magnesiumlegierung AZ91E zu bestimmen. Zur Bestimmung der Radsteifheit wurde eine Finite-Elemente-Berechnung (FEA) durchgeführt. Der Entwurf eines Modells erfolgte in der CAD-Software Pro-Engineer, das dann in Ansys Mechanical importiert wurde. Anschließend wurden maximale Kurvenbelastungen auf das Gitter angewandt und die Beanspruchung und Biegung berechnet, ①. Das Ziel bestand darin, die gleiche Steifheit der früher verwendeten handelsüblichen Aluminiumradsterne zu bewahren, aber das Gewicht zu verringern. Die Steifheit der Sterne wich um nicht mehr als 10 % von derjenigen der Aluminiumsterne ab, aber das Gewicht des Rads konnte um 25 % verringert werden.

THE WHEEL DESIGN OF THE ARG 11

The Cornell Racing Team of Cornell University in Ithaca, USA, describes the three-piece wheel design of their racecar ARG 11. Their goal was to optimize the weight and stiffness of the wheel by using less traditional material.

OVERVIEW

The ARG11, the 2011 racecar, features a three-piece wheel design constructed from carbon fiber reinforced polymer (CFRP) flanges and a cast magnesium wheel center. Both components optimize the weight and lateral stiffness of the wheel, and were chosen for their high stiffness to weight ratio. A three-piece design, with the two CFRP flanges bolted to the magnesium wheel center, was chosen in order to ease manufacturing and cost.

Reducing the weight of the wheels reduces the rotating inertia of the wheel, therefore allowing the car to accelerate more quickly. Reducing the rotating inertia will also help braking performance, as less braking force is required to slow the rotation of the wheels. Reducing unsprung weight also increases the transient response of the car.

The Cornell team decided to go with a modular three-piece wheel design that allows compatibility with previously used wheels, simpler manufacturing methods, and customizability. The carbon fiber flanges can be swapped out for aluminum flanges and the magnesium wheel centers can be changed and optimized throughout the years without changing the entire wheel design. Also, simpler manufacturing methods can be used, as both pieces require tooling fixtures, including plugs and molds. If a one piece wheel is desired, a complicated mold must be manufactured for either a full carbon wheel or fully cast magnesium wheel. Cost also increases with increasing complexity, which stemmed from the manufacturing of the one-piece wheel. The three-piece wheel provides the greatest balance between cost, increased stiffness, and reduced weight.

WHEEL CENTER DESIGN

The design of the cast magnesium wheel center was based on loads experienced when cornering. A three lug nut pattern was assumed so as to match this year's hub design. The load distribution was assumed to be 20 % 60 % 20 % on each lug, respectively. Analysis was done to determine stiffness and fatigue on the life of the wheel based on the properties for AZ91E magnesium alloy. Finite element analysis (FEA) was used to determine the stiffness of the wheel. A model was designed in the CAD software Pro-Engineer and then imported into Ansys Mechanical. Then, maximum cornering loads were applied to the mesh and solved for stress and deflection, ❶. The goal was to keep the same stiffness of the previously used commercially available aluminum wheel centers, but reduce weight. The stiffness of the centers were within 10 % of the aluminum centers, but reduced the weight of the wheel by 25 %.

The manufacturing of the cast magnesium centers was done using sand casting at a local casting company. Molds were designed to handle 1.3 % shrinkage during casting as well as the necessary two-degree draft angles on surfaces that would be pressed into the sand. These molds were then made using stereolithography (SLA), a process of 3D printing using a UV-curing resin. Once the magnesium was cast, the un-machined blanks were precipitate treated, or heat treated, to T6 hardness before the team received them for final machining.

Two iterations of the magnesium centers were run on the car. The first iteration was a three-spoke design with a 15-bolt circle ring to attach to the wheel flanges. It was found throughout the testing and analysis that the three-spoke design produced an uneven stiffness around the

wheel, which produced undesirably large camber change, ❷. This was improved upon by adding thinner spokes more evenly distributed around the wheel. A nine-spoke wheel center was then cast out of the same AZ91E used previously. This allowed a much more even distribution of stiffness around the wheel, reducing the overall camber change during cornering, ❸.

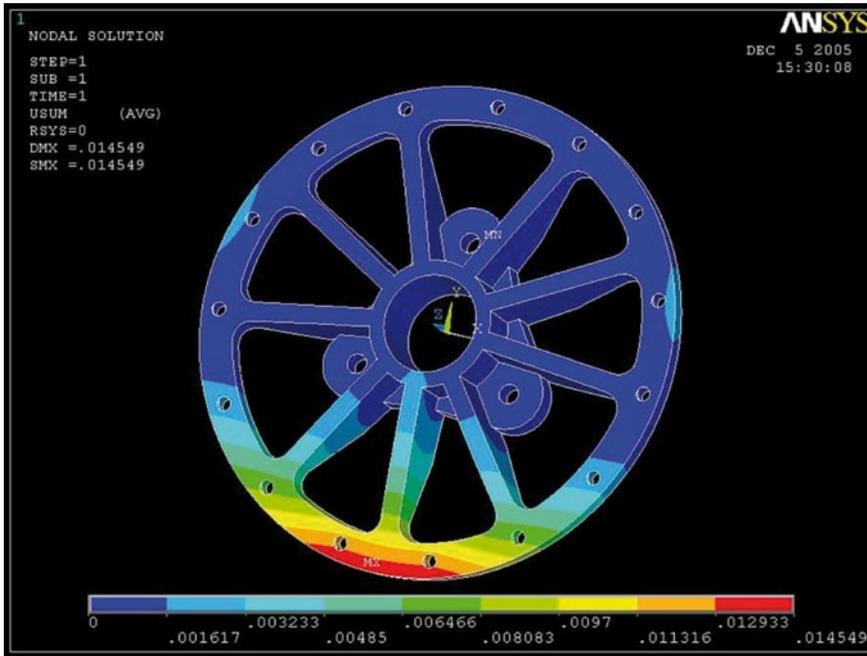
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER FLANGES

After the magnesium wheel centers were optimized, the team looked to increase stiffness and reduce weight further by designing and manufacturing carbon fiber flanges instead of using commercially available aluminum flanges. The CFRP flanges would theoretically further reduce the wheel weight by 30 % and increase the stiffness by 40 %; these predictions were derived from testing data on the current wheels and an FEA model of the CFRP flanges. The geometry was based off the aluminum flanges, with a few changes to simplify manufacturing and help the drape of the carbon in the mold. Some radii were made larger so as to prevent bridging, or gapping, in the corners.

AUTHOR

MEGAN ROTONDO

is a member of the unsprung subteam and lead designer of the carbon fiber wheels on the Cornell Racing Team from Cornell University in Ithaca, New York (USA).



1 Ansys-Modell des Magnesium-Radsterns, aus dem die maximale Biegung bei Lateralbelastung ersichtlich ist; die Einheiten sind in Zoll angegeben
 Ansys model of magnesium wheel center showing the maximum deflection under lateral loading; units are in inches

Die Herstellung der Magnesiumstern-sterne erfolgte mittels Sandguss bei einer örtlichen Gießerei. Die Formen wurden so ausgelegt, dass sie für eine Schrumpfung von 1,3 % während des Gießens und die erforderlichen Aushebewinkel von 2° an den in den Sand gepressten Flächen ge-

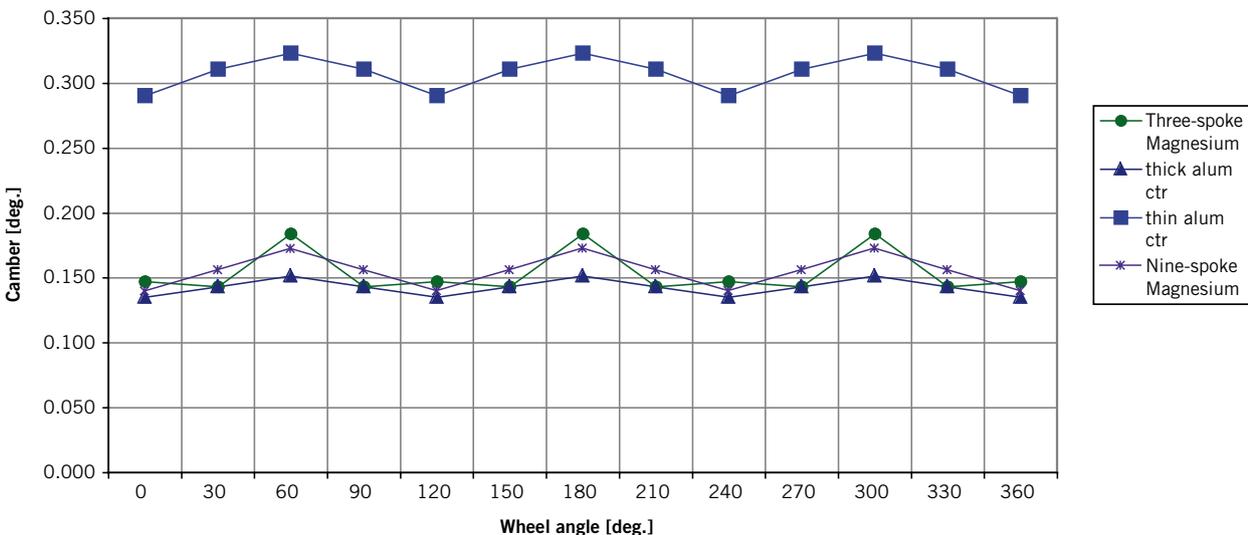
eignet waren. Diese Formen wurden dann mittels Stereolithografie (STL), einem 3D-Druckverfahren mit UV-härtendem Harz, gefertigt. Nach dem Vergießen des Magnesiums wurden die unbearbeiteten Rohlinge einer Ausscheidungsbehandlung, oder Wärmebehandlung, zur Erzielung einer

T6-Härte unterzogen, bevor sie das Team zur Fertigbearbeitung erhielt.

Zwei Entwurfsiterationen des Magnesiumsterns wurden am Fahrzeug erprobt. Die erste Iteration bestand aus einer Dreispeichen-Ausführung mit einem Kreisring aus 15 Schrauben zur Befestigung der Radflansche. Während der Erprobung und Analyse stellte sich heraus, dass die Dreispeichen-Ausführung zu einer ungleichmäßigen Steifigkeit um das Rad führte, wodurch eine unerwünscht große Sturzänderung hervorgerufen wurde, 2. Dies wurde durch Hinzufügung dünnerer, gleichmäßiger um das Rad verteilter Speichen verbessert. Dazu wurde ein Radstern mit neun Speichen aus dem gleichen AZ91E gegossen, das bereits zuvor verwendet wurde. Dies ermöglichte eine gleichmäßigere Verteilung der Steifigkeit um das Rad, wodurch sich die Gesamtänderung des Sturzes bei Kurvenfahrten verringerte, 3.

FLANSCH AUS KOHLEFASER-VERSTÄRKTEM KUNSTSTOFF

Nach der Optimierung der Magnesium-Radsterne, versuchte das Team, die Steifigkeit weiter zu erhöhen und das Gewicht noch mehr zu verringern, indem es anstelle der Verwendung handelsüblicher Aluminiumflansche Kohlefaserflansche entwarf und herstellte. Die CFK-Flansche würden das Radgewicht theoretisch um weitere



2 Die physikalische Prüfung des Rads ergab eine Sturzänderung aufgrund der Lateralbelastung, während das Rad gedreht wurde; bei der Neunspeichenausführung war die Abweichung dieser Sturzänderung geringer als bei der Dreispeichenausführung; bei den Überschriften „thin alum ctr“ (dünner Alu-Stern) und „thick alum ctr“ (dicker Alu-Stern) handelt es sich um die geprüften handelsüblichen Radsterne

Physical testing of the wheel showed a camber change due to lateral loading as the wheel was rotated; the nine-spoke design had less variance in this camber change than the three-spoke design; “thin and thick alum ctr” headings indicate the commercially available wheel centers tested

The analysis was done in Ansys Mechanical using Shell181 elements, a quadrilateral plate element often used for layered membrane analysis. A model was built in Pro-Engineer and then imported into Ansys Mechanical. Loads were applied directly to the wheel model using a cosine distribution of pressure over half of the tire rim. Both lateral and radial loads were considered in the analysis, 4. The loading experienced during a typical bump was used as the maximum radial load case and a full cornering load assuming full weight transfer (inside wheel lift) was used as the maximum lateral load case. These loading conditions were used to determine the optimal fiber orientation for each layer in the composite.

The laminate schedule is one of the most important considerations when designing a composite structure. Because the composite has its highest stiffness in the direction of the fibers, the fibers must be oriented along the direction of the highest principal stress in the part. Design considerations include the number of layers and in what orientation relative to a global coordinate system. The 0-degree orientation is traditionally the longitudinal axis of the part, if applicable. Laminate designs can be quasi-isotropic, which use a combination of longitudinal or 0-degree, transverse or 90-degree, and 45-degree layers, which create generally isotropic material properties. A laminate can also be symmetric or balanced. A symmetric laminate is symmetric in its orientations about the middle layer through the thickness. The laminate schedule used on the carbon fiber wheels was symmetric because it experiences complex loading with both bending and in-plane stresses. From classical lamination theory, the symmetry of the laminate negates the coupling effects between bending and axial stresses in the laminate. These coupling effects occur because of the anisotropic stiffness in each layer.

A genetic algorithm was written to determine the laminate schedule of the wheels. This was done to reduce the time consuming task of iterating by manually evaluating results, changing input angles, and running the analysis again. The algorithm fully automated the process and used a heuristic approach to determine the most efficient orientation of the plies. The algorithm is given an initial orienta-

tion to start from, input manually into the program. Then, it randomly generates a population size, specified by the user, and runs analysis for the whole population. It then uses a fitness function, in this case based on the Tsai-Wu failure criterion value, maximum lateral deflection, and number of plies, to determine the cost of this individual. The algorithm then combines the best individuals to create the next generation to evaluate. This next generation also went through a mutation function in their creation, allowing the new individuals to possess an angle perhaps not in the parent population. This next generation went through the same process until the maximum number of iterations was reached.

The program was run completely through Matlab, which opened and ran Ansys Mechanical automatically through a batch file. The genetic algorithm produced a laminate schedule that favored radial plies towards the outer layers of the laminate, with more transverse and angle plies towards the inner layers. If one thinks of the wheel as a beam, the highest tensile stresses caused by radially loading would be at the outer layer of the laminate. Therefore, one would place the fibers along the direction of this highest tensile stress, hence the many radial layers, or 0-degree layers, output by the algorithm.

PHYSICAL TESTING

Once the designs were manufactured, physical testing was done to correlate actual results with the analysis. A test rig was made that fixed the wheel at the lug to a thick steel frame. This allowed the team to test just the wheel during lateral loading, instead of the entire unsprung assembly. A tire with a hook attached to where the contact patch would be is loaded laterally. Then dial gauges were used to measure the deflection due to this loading, 5. The wheel was able to rotate on the fixture so as to test different loading conditions and assess the camber change over the full rotation of the wheel. This testing is what helped determine the second iteration of the wheel center. The deflection testing of the wheel seemed to correlate well with the FEA model, however, the maximum deflection was higher than predicted. This may be due to manufacturing defects in regards to the manual layout and vacuum bag proc-

ess used by the team. Also, the material properties used for the bending stiffness may not be completely accurate, as they were given by the manufacturer. Further testing should be done on the prepreg carbon fiber material to come up with actual material properties. This is due to the statistical nature of the properties of the carbon fiber. The strength of fibers varies greatly due to the manufacturing process and it is important to do testing on one's material before building an FEA model.

FURTHER DEVELOPMENT

The magnesium centers have been run on the car for five years and five competitions, while the carbon fiber flanges have been run for two years and three competitions. The only problem that has occurred has been with the carbon fiber flanges. One thing that must be considered with the vacuum only cure process is that carbon fiber has voids in it due to possible uneven flow of the epoxy during cure and the high fiber volume fraction of the prepreg carbon fiber used. This caused air to leak through the carbon fiber on some of the wheels. During the upcoming development process, the team hopes to solve this problem by using an autoclave, or external pressure, during the cure. This will ensure the epoxy is fully and evenly dispersed throughout the composite.

CONCLUSIONS

Overall the magnesium wheel centers with carbon fiber flanges provided a weight savings of 30% over the aluminum centers with commercial aluminum flanges, while improving the stiffness by 15%. Further testing regarding the material properties of the composite and analysis methods should be done to further investigate the benefits of continuing this design. The magnesium wheel centers provided a cost effective way to reduce weight while maintaining an acceptable stiffness, while the carbon fiber flanges improved both the stiffness and weight of the wheels at the cost of a more complicated manufacturing process. This combination worked well with the resources available to a Formula Student team and allowed for an exploration of the benefits of using less traditional materials for wheel design.



Personalities wanted.

Faszination MAN.

Wenn Leidenschaft Sie antreibt, werden unsere Perspektiven Sie begeistern. Als ein international führender Anbieter von ganzheitlichen Transportlösungen fährt die MAN Truck & Bus AG auf Erfolgskurs. Unsere innovativen Lkw, Busse und Motoren bewegen den Fortschritt. Werden Sie Teil unseres Teams, arbeiten Sie mit uns an der Zukunft der Mobilität.

Aktuell suchen wir Mitarbeiter/innen unter anderem in den Bereichen

- **Forschung & Entwicklung**
- **Konstruktion / Produktion / Fertigung**
- **Versuch / Technik**
- **Vertrieb / After Sales / Service**
- **Qualitätsmanagement**
- **Einkauf / Logistik**

Detaillierte Informationen zum Aufgaben- und Qualifikationsprofil der Stellen sowie weitere Bereiche finden Sie in unserer Jobbörse unter www.man-karriere.eu.

Haben wir Ihre Neugierde geweckt?
Dann freuen wir uns auf Ihre Online-Bewerbung!

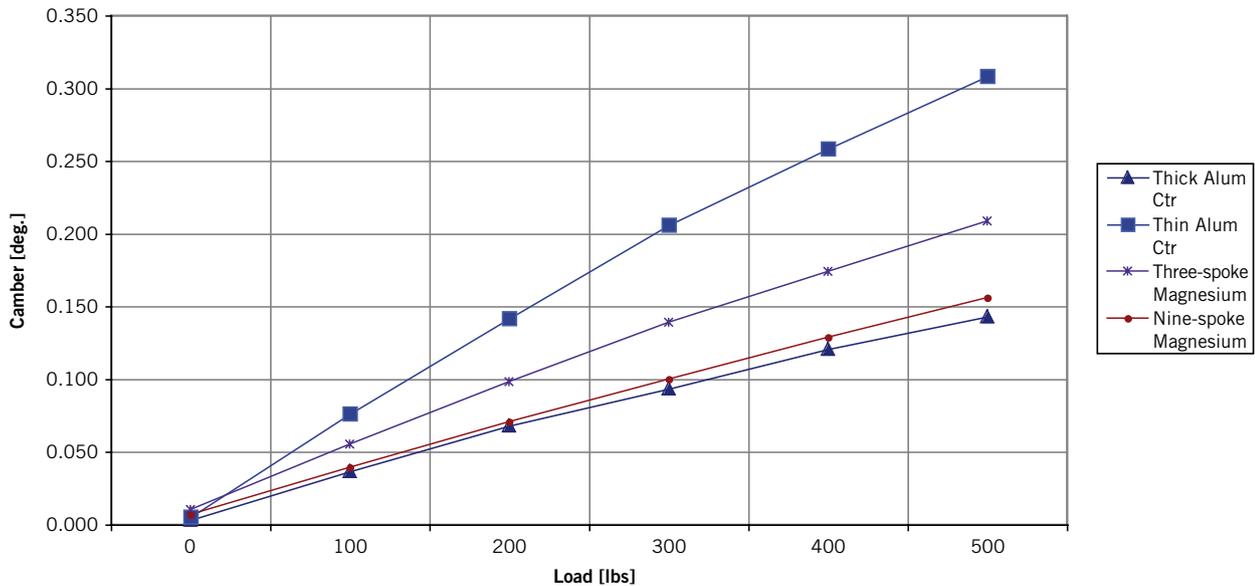
Ihr Recruiting Team der MAN Truck & Bus AG

Commercial Vehicles Power Engineering www.man.eu

Engineering the Future – since 1758.

MAN Gruppe





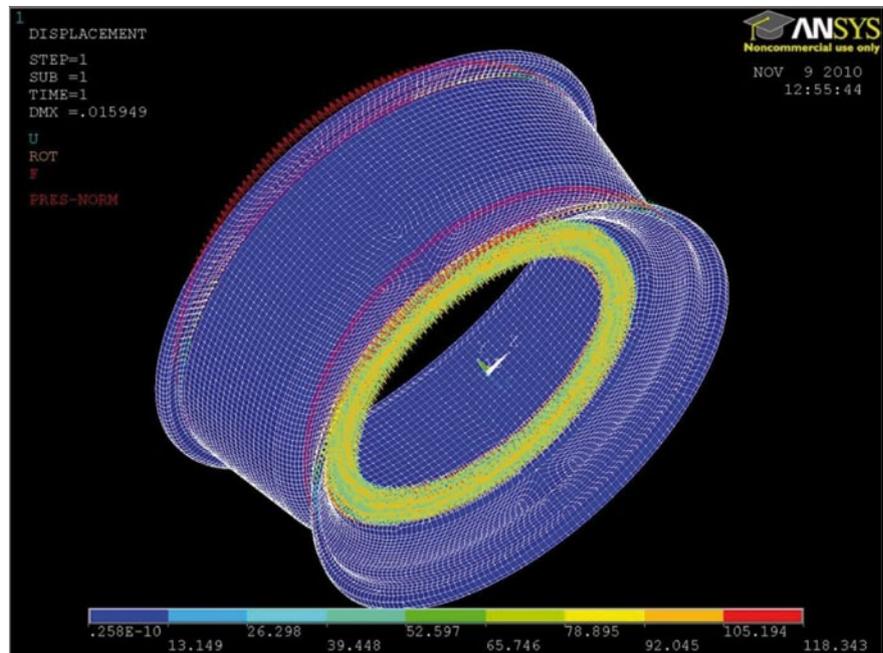
③ Die physikalische Prüfung des Rads ergab, dass der Magnesiumradstern dieselbe Steifheit aufwies wie der „dicke Alu-Stern“, welcher der handelsübliche Radstern war, wobei sich eine Einsparung des Radgesamtwichts des Fahrzeugs von 6 lb (2,72 kg) ergab
Physical testing of the wheel showed the magnesium wheel center provided the same stiffness as the “thick alum ctr,” which was the commercially available wheel center, while providing a weight savings of 6 lb, or 2.72 kg, over the total wheel weight on the car

30 % verringern und die Steifheit um 40 % erhöhen – diese Vorhersagen wurden von Versuchsdaten an den gegenwärtigen Rädern und an FEA-Modellen der CFK-Flansche abgeleitet. Die Geometrie basierte auf den Aluminiumflanschen und erfuhr einige Änderungen für eine einfachere Herstellung und leichteres Drapieren des Karbons in die Form. Einige Radien wurden vergrößert, um eine Brücken- oder Lückenbildung in den Ecken zu vermeiden.

Die Analyse erfolgte in Ansys Mechanical mit Shell181-Elementen, einem vierseitigen Plattenelement, das häufig zur Schichtmembrananalyse verwendet wird. In Pro-Engineer wurde ein Modell erstellt und dann in Ansys Mechanical importiert. Belastungen wurden direkt auf das Radmodell angewandt, wobei eine Kosinus-Druckverteilung über die Hälfte des Reifenwulsts zur Anwendung kam. Bei der Analyse wurden Lateral- und Radiallasten berücksichtigt, ④. Die während einer typischen Bodenunebenheit einwirkende Belastung wurde als maximale Radiallast verwendet und eine Last bei voller Kurvenfahrt bei angenommener vollständiger Gewichtsverlagerung (abgehobenes kurveninneres Rad) wurde als Fall maximaler Laterallast verwendet. Diese Belastungsbedingungen wurden zur Bestimmung der optimalen Faserorientierung für jede Lage im Verbundmaterial herangezogen.

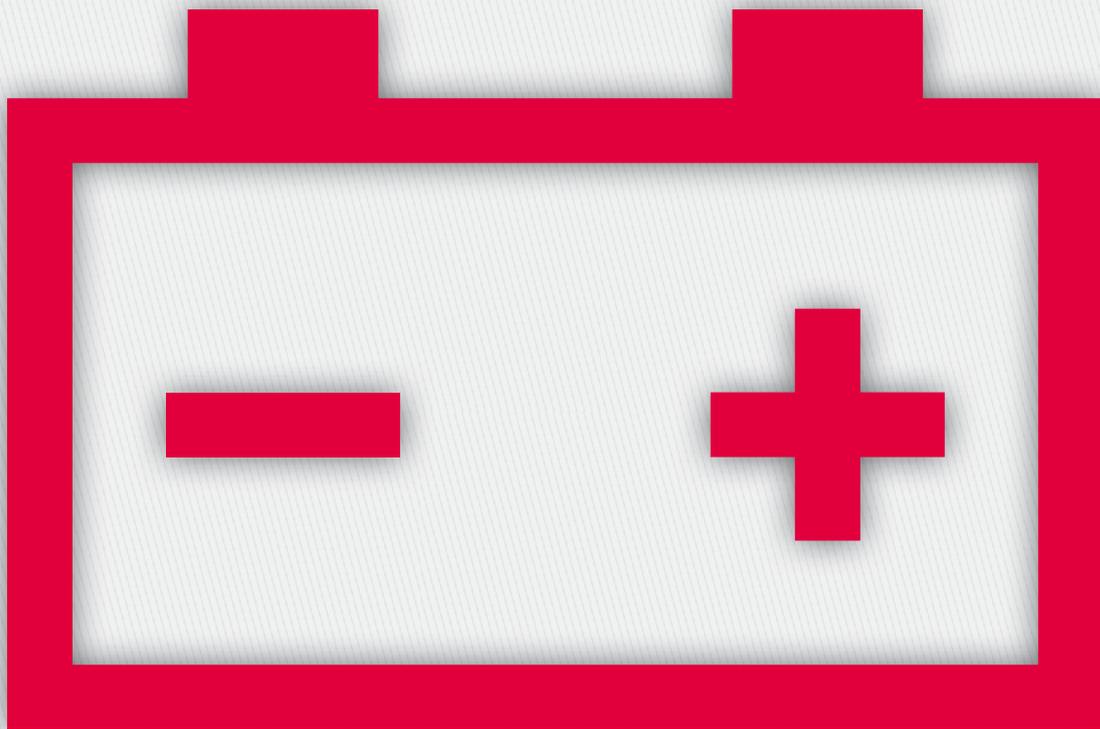
Der Laminatlagenplan ist einer der wichtigsten Gesichtspunkte beim Entwurf einer Verbundstruktur. Da der Verbundstoff seine höchste Steifheit in Faserrichtung besitzt, müssen die Fasern entlang

der Richtung mit der höchsten Hauptbelastung im Teil ausgerichtet sein. Zu den Konstruktionsüberlegungen gehören die



④ Gitter- und Belastungsbedingungen des in Ansys modellierten Kohlefaser-Radflansches; die roten Pfeile geben die Kosinusverteilung der Last entlang einer Hälfte der Radfelge an, die gelben Pfeile im Ring in der Mitte geben die Randbedingungen an der Radsternverbindung an
Mesh and loading conditions of the carbon fiber wheel flange modeled in Ansys; the red arrows indicate the cosine distribution of load along one half of the wheel rim, the yellow arrows in the ring in the center indicate the boundary conditions at the wheel center connection

MEHR POWER FÜRS STUDIUM ...



**... MIT DEN FÜHRENDEN
FACHZEITSCHRIFTEN DER AUTOMOBILBRANCHE
IM GÜNSTIGEN STUDENTENABO!**

Profitieren Sie als Abonnent vom Online-Fachartikelarchiv, das nützliche Recherchetool mit kostenlosem Download der Fachbeiträge. Ein großer Vorteil bei der Vorbereitung auf Klausuren, Referate und Hausarbeiten.

Laden Sie frühzeitig Ihre „Karriere-Batterie“ auf und abonnieren Sie jetzt zum attraktiven Sonderpreis unter: Tel. 05241.80 16 92 oder www.ATZonline.de



5 Mit Messuhren wurde die Biegung gemessen, während das Rad auf einem statischen Prüfstand seitlich belastet wurde
Dial gauges were used to measure deflection as the wheel was loaded laterally on a static test stand

Anzahl der Lagen und deren Ausrichtung bezüglich eines globalen Koordinatensystems. Die 0°-Ausrichtung ist üblicherweise die Längsachse des Teils. Laminatkonstruktionen können quasi-isotrop sein, wobei eine Kombination von Längs- (oder 0°-), Quer- (oder 90°-) und 45°-Lagen verwendet werden, die im Allgemeinen isotrope Werkstoffeigenschaften ergeben. Ein Laminat kann auch symmetrisch oder ausgeglichen sein. Ein symmetrisches Laminat ist hinsichtlich seiner Ausrichtungen um die mittlere Lage durch die Dicke hindurch symmetrisch. Der bei den Kohlefaserrädern angewandte Laminatlagenplan war symmetrisch, weil komplexe Belastungen mit Biege- und Flächenspannungen auf ihn einwirken. Nach der klassischen Laminattheorie werden die Kopplungseffekte zwischen Biege- und Axialspannungen im Laminat durch die Symmetrie des Laminats aufgehoben. Diese Kopplungseffekte treten aufgrund der anisotropen Steifheit in jeder Lage auf.

Zur Bestimmung des Laminatlagenplans der Räder wurde ein genetischer Algorithmus geschrieben. Dies diente zur Verringerung der zeitraubenden Aufgabe der Iteration durch manuelle Bewertung von Ergebnissen, Änderung von Eingabewinkeln und erneute Ausführung der Analyse. Der Algorithmus automatisierte den Prozess

vollständig und nutze einen heuristischen Ansatz zur Bestimmung der effizientesten Lagenausrichtung. Der Algorithmus erhält eine Anfangsausrichtung als Ausgangsrichtung, die manuell in das Programm eingegeben wird. Dann generiert er nach dem Zufallsprinzip eine Population, die eine vom Benutzer vorgegebene Anzahl an Individuen enthält und führt eine Analyse für die Gesamtpopulation durch. Weiterhin nutzt er eine Fitnessfunktion, in diesem Fall auf Basis des Tsai-Wu-Versagenskriteriumwerts, der maximalen seitlichen Biegung und der Anzahl Lagen, um die Kosten dieses Individuums zu bestimmen. Anschließend kombiniert der Algorithmus die besten Individuen, um die zu bewertende nächste Generation zu erzeugen. Auf diese nächste Generation wird bei ihrer Erstellung auch eine Mutationsfunktion angewendet, wodurch die neuen Individuen einen Winkel aufweisen können, der in der Ausgangsgesamtheit vielleicht nicht vorhanden ist. Diese nächste Generation durchläuft den gleichen Prozess, bis die maximale Anzahl Iterationen erreicht wird.

Das Programm wurde vollständig durch Matlab ausgeführt, das mittels eines Skripts Ansys Mechanical automatisch öffnete und ausführte. Der genetische Algorithmus erzeugte einen Laminatlagen-

plan, der radiale Lagen zu den äußeren Lagen des Laminats hin bevorzugte und mehr Quer- und Winkellagen zu den inneren Lagen hin vorsah. Stellt man sich das Rad als Strahlenbündel vor, würden die durch radiale Belastung verursachten höchsten Zugbeanspruchungen an der äußeren Lage des Laminats auftreten. Deshalb würde man die Fasern entlang der Richtung dieser höchsten Zugbeanspruchung platzieren. Daher die vom Algorithmus ausgegebenen vielen Radial- beziehungsweise 0°-Lagen.

PHYSIKALISCHE PRÜFUNG

Nach der Herstellung der Modelle erfolgte eine physikalische Prüfung, um die Korrelation der Ergebnisse mit der Analyse zu prüfen. Es wurde ein Prüfstand errichtet, auf dem das Rad am Bolzenloch an einem dicken Stahlrahmen befestigt wurde. Somit war es dem Team möglich, während der Lateralbelastung nur das Rad zu prüfen, anstatt der gesamten ungefederten Baugruppe. Ein Reifen, an dem ein Haken dort befestigt ist, wo die Aufstandsfläche sein würde, wird seitlich belastet. Dann wurde mit Messuhren die Biegung aufgrund dieser Belastung gemessen, 5. Das Rad konnte sich an der Vorrichtung drehen, sodass verschiedene Belastungsbedingungen geprüft und die Sturzänderung über die gesamte Raddrehung beurteilt werden konnte. Diese Prüfung half dabei, die zweite Iteration des Radsterns zu bestimmen. Der Biegungsversuch des Rads schien mit dem FEA-Modell gut zu korrelieren, die maximale Biegung war jedoch höher als erwartet. Dies kann vielleicht auf Herstellungsfehler bei der manuellen Aufbringung der Lagen und des vom Team angewendeten Vakuumsackverfahrens zurückzuführen sein. Außerdem können die für die Biegesteifheit verwendeten Werkstoffeigenschaften möglicherweise nicht ganz exakt vom Hersteller angegeben worden sein. Ferner sollten die Prüfungen bei einem vorimprägnierten Kohlefaserverwerkstoff erfolgen, um auf die tatsächlichen Werkstoffeigenschaften zu kommen. Dies liegt an der statistischen Natur der Eigenschaften der Kohlefaser. Die Faserfestigkeit schwankt stark aufgrund des Herstellungsprozesses und es ist wichtig, die Prüfung an seinem eigenen Material durchzuführen, bevor ein FEA-Modell erstellt wird.

WEITERE ENTWICKLUNG

Magnesiumradsterne werden seit fünf Jahren und fünf Rennen an dem Fahrzeug eingesetzt, wohingegen die Kohlefaserflansche seit zwei Jahren und drei Rennen gefahren werden. Das einzige Problem, das aufgetreten ist, gab es bei den Kohlefaserflanschen. Ein Punkt, der berücksichtigt werden muss, wenn die Härtung allein mit Vakuum erfolgt, ist der, dass Kohlefasern aufgrund möglichen ungleichmäßigen Epoxidflusses während des Härtens und aufgrund des hohen Faservolumenanteils der vorimprägnierten Kohlefaser Hohlräume in sich aufweisen. Dies führte dazu, dass bei einigen Rädern Luft durch die Kohlefasern eintrat. Das Team hofft, während des bevorstehenden Entwicklungsprozesses dieses Problem durch Einsatz eines Autoklaven beziehungsweise Anwendung eines Außendrucks während der Härtung zu lösen. Dies wird sicherstellen, dass das Epoxid im gesamten Verbundstoff vollständig und gleichmäßig verteilt wird.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Insgesamt führten die Magnesiumradsterne mit Kohlefaserflanschen zu Gewichtseinsparungen von 30 % gegenüber den Aluminiumradsternen mit handelsüblichen Aluminiumflanschen, während sich die Steifheit um 15 % erhöhte. Weitere Prüfungen der Werkstoffeigenschaften des Verbundmaterials und Analyseverfahren sollten durchgeführt werden, um die Vorteile der Fortsetzung dieser Bauweise weiter zu untersuchen. Die Magnesiumradsterne boten eine kostengünstige Möglichkeit zur Gewichtsverringerng bei Bewahrung einer annehmbaren Steifheit, wohingegen die Kohlefaserflansche Steifheit und Gewicht der Räder um den Preis eines komplizierteren Herstellungsverfahrens verbesserten. Diese Kombination funktionierte mit den Mitteln, die einem Formel-Student-Team zur Verfügung stehen, gut und ermöglichte, die Vorteile des Einsatzes unüblicherer Werkstoffe für die Radkonstruktion zu erforschen.

automotive
engineering **iauv**

Wir entwickeln Autos und Ihre Karriere!

Alle Themen. Alle Marken. Weltweit.

www.iauv.com

