

By Dave Campo, Stratasys, Inc.

ОПИС

Випробування у аеродинамічній трубі – це складова частина конструкторської розробки у багатьох галузях виробництва. Неважливо, рухомий об'єкт чи ні, аеродинамічна труба дає розуміння впливу повітря під час його руху навколо дослідної моделі.

Оскільки фізика польоту залежить від правильного потоку повітря для створення тяги та зменшення гальмування, дослідження в аеродинамічній трубі є суттєвими у авіакосмічній індустрії. Навіть у часи передових комп'ютерних моделювань, авіакосмічні інженери досі покладаються на випробування фізичних моделей для перевірки комп'ютерних даних та встановлення базових аеродинамічних параметрів.

У нескінченному змаганні за збільшення ефективності автомобілів, аеродинаміка відіграє дуже важливу роль у конструкції транспорту. Зазвичай великі виробники автомобілів замовляють повітряну трубу для дослідження їх останніх моделей. Досліджуючи характеристики всієї конструкції, в той самий час вони можуть тестувати аеродинаміку окремих компонентів, таких як решітки, бокові дзеркала, повітряних заслінок, задніх анти крил та люків.

Якщо аеродинаміка важлива для пасажирських авто, уявіть її вплив на індустрію гоночних авто. У змаганні на високих швидкостях навіть невелика перевага може стати різницею між першим місцем та поразкою. Гоночні команди завжди піддають масштабовані моделі на тестування в аеродинамічну трубу так само, як і справжні авто та їх компоненти (мал.1).

Для створення тестової моделі в аеродинамічній трубі, автомобільні та авіакосмічні компанії поклалися на традиційне виробничі операції. Вони застосовували фрезерування, точіння та бробку для перетворення металу і пластику у тестову модель. Ці операції потребують програмування, налаштування та контролю оператора, що створює додаткові витрати часу та коштів. Враховуючи кількість матеріалу, який опиняється на підлозі у вигляді стружки, вартість матеріалу може бути вищою.

Автомобілі та літаки не єдині замовники аеродинамічного тестування. Таке дослідження так само важливе і для нерухомих об'єктів. В архітектурі велика увага приділяється впливу вітрів на високі будинки, мости та стадіони, особливо коли вони знаходяться у місцях з суворю погодою. Модель будівлі у масштабі приєднується до тестової установки, що має оточуючу територію та наземні об'єкти. Тестова установка ставиться у трубу та збираються всі вимірювання. Ці результати поєднуються з історичними даними швидкості вітрів і прогнозується загальне навантаження на будівлю та можливі ефекти.

У випадку з архітектурними моделями, досвідчений виробник моделей витратить багато днів на створення структур вручну. Створені з пінопласту, акрилу та інших матеріалів, модель у масштабі передає загальний вигляд, проте рідко відтворює всі деталі.

МОДЕЛІ FDM ДЛЯ АЕРОДИНАМІЧНОЇ ТРУБИ

FDM (fused deposition modeling) має швидке отримання визнання як альтернативний процес створення моделей для тестування. Якщо порівнювати його з обробкою та різанням, FDM більш ефективний, швидший та дешевший метод створення деталізованих та точних тестових моделей. Відомий міцними та функціональними матеріалами, FDM відмінно підходить для цього застосування.

FDM матеріали є найміцнішими із доступних на ринку виробничого виробництва. Механічні властивості ABS-M30, полікарбонату (PC), PC-ABS та поліфінілсульфону (PPSF) легко витримують сили та навантаження, створені під час дії повітря на поверхню моделі.

При зростанні швидкості вітру, механічні навантаження на модель зростають. Для процесів авіабудування є три категорії механічного навантаження: конструктивно не навантажені (<140 МПа), легко навантажені (~350 МПа) та важко навантажені (>860 МПа). Дві останні категорії витримують такі матеріали як алюміній та сталь. Тим не менш, конструктивно не навантажені моделі, що завжди вироблялись з алюмінію, можуть мати успіх від переваг процесу FDM.

Технічний представник провідної автомобільної компанії сказав, "Ми проводимо тестування у повітряній трубі з моделями FDM вже багато років та маємо шалений успіх. Ми не мали жодних помилок у даних та постійно при необхідності проводимо тести для реальних та масштабованих моделей."



Мал. 1: Команди NASCAR використовують Повітряну трубу з рухомою підлогою для аналізу аеродинаміки їх гоночних машин.

Дехто питає про придатність FDM для процесу тестування у повітряній трубі спираючись на характеристики матеріалу. Втім це властиво тим, хто не знайомий добре з цією технологією та є скептичним до процесу FDM, вказуючи на можливі обмеження. Вони вважають, що поверхня після FDM's занадто груба та дуже важко її зачистити, щоб отримати коректні тестові дані. Це відчуття є зрозумілим, але не точним.

Коли тестування відбувається при дуже великій швидкості вітру, справедливим є те, що поверхні мають бути дуже гладкими. Втім на нижчих швидкостях компанії використовують моделі FDM безпосередньо з принтерів. Для випадків коли деталі мають бути оброблені перед відправкою у повітряну трубу, є варіанти. FDM матеріали є міцними та стійкими до незначного абразивного впливу і тому стійкими до шліфування. Існують декілька простих та швидких методів фінішної обробки (зв'яжіться з інженерним відділом Stratasys' для консультацій з приводу фінішної обробки).

Іншою думкою про фінішну обробку поверхні є перевага незначної шорсткості у деяких процесах. Наприклад при створенні архітектурних моделей часто важливо точно відтворити текстуру фасаду будівлі. У цьому процесі FDM модель вже має достатньо виражену структуру для створення доцільного масштабування структури фасадної поверхні.

FDM також відтворює маленькі, недоступні деталі, що є складними або неможливими для виготовлення традиційними методами. Використовуючи матеріал підтримки, що легко вимивається, інженери та архітектори можуть включати будь-яку деталь у модель для тестування. Внутрішні переходи, перегородки та місця герметичних пробок можуть будуватись прямо на об'єкті. Такий рівень деталізації та розмірна точність процесу FDM дає впевненість у найвищій якості результатів тестування у повітряній трубі.

Після того, як буде відкинута сприйняття дуже гладкої поверхні як обмеження у використанні, для компаній з галузей від авіакосмічної до архітектурної переважить міцність, деталізація та точність моделей FDM для аеродинамічної труби. Таким чином вони зменшать вартість, час та зусилля.

ПОРАДИ З ДИЗАЙНУ

Орієнтація при вирощуванні

Розміщення моделі у камері вирощування має вплив на час, деталізацію та шорсткість поверхні. Для процесів у аеродинамічній трубі найкраще орієнтувати деталь, щоб отримати оптимальну якість поверхні.

Ідеальна орієнтація деталі має бути для важливих поверхонь у площині X-Y, що дозволяє уникнути хвилястості між шарами. Така орієнтація дає рівномірну шорсткість по всій довжині контуру, на якому екструдер FDM викладає матеріал. Наприклад частина крила на малюнку 2 не розміщена оптимально. У цій позиції важлива поверхня матиме виражену хвилястість між шарами, що могла б негативно вплинути на потік повітря. Щоб покращити якість поверхні крило повинно стояти на торці (малюнок 3), що дає гладкі контури та розміщення в одній площині шарів матеріалу і потоку повітря. Вирощування крила у вертикальній позиції збільшить час друкування, але це компенсується досягненнями у результатах досліджень та мінімізацією або уникненням ручної обробки моделі.

Стиль вирощування

Якщо модель для аеродинамічного тестування має великий обсяг матеріалу, може бути застосований стиль вирощування з неповним заповненням для зменшення часу, використання матеріалу та вартості моделі. Стиль часткового заповнення створює всередині моделі стільникову структуру, що оточена суцільним шаром контуру матеріалу моделі. В результаті використовується до 75% менше матеріалу, що разом з тим має мінімальний вплив на міцність моделі.

Опції часткового заповнення дуже легко застосувати за допомогою спеціального програмного забезпечення підготовки вирощування Insight. Додатково може бути збільшена товщина шару оболонки моделі для збільшення міцності. Зауважимо, що такий стиль заповнення не може бути застосований до стін моделі та деталей, менших за 6.4 мм.

Вибір Матеріалу

Будь-який з матеріалів FDM може бути використаний для моделей аеродинамічного тестування. Вибір матеріалу буде базуватися на міцності, необхідній для витримування сил від повітря у трубі. Для складних моделей зі складним видаленням структур підтримки рекомендується вибрати модельний матеріал що вирощується разом з структурами підтримки, що вимиваються.

Фінішна обробка поверхні

Як відзначалось раніше, компанії використовують моделі FDM безпосередньо з систем вирощування в аеродинамічній трубі. Для багатьох процесів фінішна обробка поверхні не має необхідності якщо орієнтація моделі при вирощуванні є правильною та швидкості вітру при аеродинамічних тестах не перевищуватимуть допустимих значень. Тим не менше, при необхідності фінішної обробки, існує швидкий та ефективний процес згладжування.

[Finishing Touch™ Smoothing Station](#) – це система, що забезпечує автоматизований процес, внаслідок якого створюються моделі з гладкими поверхнями менше ніж за дві години. У станції фінішної обробки деталі охолоджуються протягом 5 – 15 хвилин, після чого відправляються до фінішної камери на 15 – 30 секунд для циклу обробки. Такий процес повторюється два або три рази, внаслідок чого деталь за одну годину готова до використання. Отримана шорсткість добре підходить для фарбування.



Малюнок 2: При цій орієнтації головна Поверхня крила матиме ступінчасту структуру, що впливатиме на потік повітря.



Малюнок 3: вертикальна орієнтація цієї моделі дає гладку поверхню, яку не потрібно додатково обробляти.

ПРОЦЕСИ ТА РЕЗУЛЬТАТ

Виробник авіакосмічної продукції

Провідний авіакосмічний виробник мав великий успіх з комбінованим процесом конструювання тестової аеродинамічної моделі. Компанія встановила оболонку, вирощену технологією FDM з полікарбонату на металеву раму. Такий метод допоміг зменшити витрати на 75 відсотків в порівнянні з попередніми техніками виготовлення на верстатах з ЧПУ фрезеруванням пінопласту, який потім покривався шаром скловолокна. Через те, що тести проходили за великих швидкостей вітру, FDM моделі потребували додаткової фінішної обробки поверхні перед тестуванням, але представник компанії наголосив, “це є незначним в порівнянні з перевагами.”

Команда NASCAR

Joe Gibbs Racing (JGR), провідна команда автоперегонів NASCAR, регулярно тестує масштабовані моделі (40 відсотків масштабування) у повістю закритій аеродинамічній камері з роликровою платформою. Масштабовані моделі проходять різноманітні трампліни, кути відхилення від курсу, кути заносу для того, щоб розробити комплекс конструкційних конфігурацій. Результати тестування використовуються для покращення ходових характеристик, таких як притискна сила, бічна сила та тяга.

У закритій камері JGR відтворює аеродинамічні навантаження на їх гоночні машини при умовах, еквівалентних швидкості 320 км/год. Mark Bringle, менеджер технічного спонсора JGR говорить, “міцність матеріалу дозволяє проводити тестування на моделях FDM при великих швидкостях вітру без ризику помилки.” JGR створює багато масштабованих моделей з FDM матеріалу PC-ABS та часто використовує метод часткового заповнення при вирощуванні для зменшення часу вирощування та витрат матеріалу та часу. За твердженням Mark Bringle, більшість цих моделей встановлюються на аеродинамічне тестування без жодної додаткової фінішної обробки.

Bringle зазначив, що коли вони використовували інші методи створення аеродинамічних моделей, JGR були обмежені щорічною кількістю моделей приблизно від 75 до 100 через значні витрати часу та складного виробництва. Як контраст виявились останні 12 місяців для JGR, яким вдалось виготовити 750 моделей на системі Fortus. При цілодобовій роботі системи Fortus та невеликого об’єму додаткової обробки, моделі що раніше виготовлялись на верстатах або пресуванням за тижні або більше були готові вже через кілька днів з технологією FDM.

Продемонструвавши значний виграш у витратах часу і вартості після створення моделей технологією FDM, JGR почала порівнювати традиційні методи з методом FDM для виробництва випускного сопла задньої покритишки (малюнок 4). Після вивчення деталі, JGR визначили, що найкращим буде порівняння випускних сопел, виготовлених ручним способом з листового металу та технологією FDM. Незважаючи на те, що вони мали значні потужності для обробки на верстатах з ЧПУ, така обробка виявилась не конкурентною по часу та вартості в порівнянні з обробкою листового металу. Тим не менш, оптимального балансу при обробці листового металу вдалось досягти лише при умові, що готова деталь триматиме розмірні допуски від 1.8 мм.

При порівнянні з процесом ручної обробки листового матеріалу, JGR побачила, що технологія FDM зменшує собівартість до 89 відсотків та виробничий час до 66 відсотків (таблиця 1). Компанія витратила дев’ять годин на обробку, щоб створити дві половини сопла, приварити їх одне до одного та з’єднати їх проточеним фланцем, що зайняло б додаткову годину роботи. З іншого боку, було визначено, що процес FDM було б завершено після трьох годин і лише 30 хвилинами ручної праці. Додатковою перевагою стало те, що модель FDM була значно точнішою за модель з листового металу (0.13 мм проти 1.8mm).

“Виготовлення цих моделей для тестування у аеродинамічній камері найкраще робити, використовуючи систему швидкого прототипування Fortus. Розмірні допуски, час та собівартість зможуть бути надзвичайно низькими та стане можливим уникнути витрат часу на ручну обробку при створенні деталі,” – це слова Scott Temple, інженера з аеродинаміки JGR.



Система фінішної обробки Finishing Touch Smoothing Station від Stratasys.



Малюнок 4: Випускне сопло для задньої шини від Joe Gibbs Racing car. CAD модель (ліворуч), FDM модель (праворуч).

Процес	Час Створення	Обробка креслень	Обробка/ Вирощування	Час машинної обробки	Час фінішної обробки	Вартість роботи	Вартість матеріалу	Амортизація
Традиційний метод	3 дні	2 години	8 годин	1 година	--	\$720	\$30	Включена
FDM	1 день	--	3 години	--	0.5 години	\$40	Включена	\$45
Економія	ЗАОЩАДЖЕННЯ ЧАСУ С FDM: 55.5 годин (66%)					ЗМЕНШЕННЯ ВАРТОСТІ З FDM: \$665 (89%)		

Таблиця 1: Порівняння даних по часу і собівартості між ручною обробкою листового матеріалу та технологією FDM при виробництві аеродинамічної моделі випускного сопла для задньої шини.

Лабораторія архітектурного дизайну

Лабораторія The Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory (BLWTL) на території університету University of Western Ontario (London, Ontario, Canada) проводить різноманітні архітектурні дослідження з моделями FDM з моменту придбання першої 3D системи у 1999. Так як лабораторія постійно розвивала методи покращення якості та зменшення виробничого часу, використання ними технології FDM стало більш частим. Серед переваг використання моделей FDM, Peter King, директор з досліджень в аеродинамічній камері при лабораторії BLWTL, відзначає швидкість приведення у відповідність матеріалів з акриловими клеями. Це дозволяє технікам лабораторії поєднувати деталі, оброблені на верстатах з моделями FDM у випадку необхідності збільшення міцності або жорсткості. King також відзначив здатність швидкого виробництва деталізованих та точних моделей як ще одну перевагу FDM.

Зараз, як і у всіх компаніях, час та собівартість є ключовими факторами у прийнятті рішення про використання технології FDM. Коли BLWTL виготовляв архітектурні моделі з герметичними пробками (малюнок 5), в них не було іншого варіанту ніж свердлити їх вручну. На великих моделях кількість герметичних пробок може сягати до 1,000 штук, свердління яких є витратним та виснажливим. BLWTL вдалось виключити цю операцію з технології завдяки розміщенню отворів під герметичні пробки на комп'ютерну CAD модель та вирощуванню їх одразу у моделі FDM. Після використання операції вимивання матеріал підтримки легко видалявся з усіх отворів для герметичних пробок. Такий крок дав результат у зменшенні часу та праці на виготовлення аеродинамічних моделей до 66 відсотків. Більше того BLWTL побачили додаткове зменшення собівартості порядку 30 відсотків відносно їх попередніх методів. З такими заощадженнями на їх аеродинамічних моделях, лабораторія оцінила, що вони зможуть окупити кожен зі своїх систем Fortus лише за три, п'ять років.

ВИСНОВОК

Замінюючи деталі з традиційними методами виготовлення моделями FDM, компаніям вдалося досягти зменшення собівартості на рівні від 30 до 90 відсотків та зменшити час на створення до 66 відсотків. Вони отримали також перевагу від неймовірного зменшення оброблювального процесу, необхідного для створення аеродинамічних досліджених моделей оскільки FDM є автоматичним процесом, не потребуючим втручання. Також, як виявили JGR, така операційна ефективність збільшить кількість аеродинамічних моделей, що можуть бути створені протягом року.

Такі результати є досяжними для кожної компанії будь-якого розміру у всіх галузях промисловості. Провідні корпорації, що створюють літаки або автомобілі можуть застосувати технологію FDM до своїх аеродинамічних випробувань. Так само як і менші організації, що вдосконалюють гоночні машини або проектують хмарочоси можуть використовувати FDM щоб отримати інформацію з аеродинамічних тестів для вдосконалення конструкції, динаміки та витривалості.



Малюнок 5: Архітектурні аеродинамічні моделі спроектовані з отворами під герметичні пробки, щоб уникнути часу та витрат на ручне свердління.

ОГЛЯД ПРОЦЕСУ FDM

3D системи швидкого прототипування Fortus базуються на запатентованій Stratasys технології FDM (Fused Deposition Modeling). FDM є провідною технологією вирощування у цій галузі та єдиним процесом, що використовує як матеріал реальні конструкційні інженерні термопластики для вирощування найміцніших деталей безпосередньо з 3D файлів. Системи Fortus використовують найширший рівень вдосконалених матеріалів та механічних властивостей, тому ваші деталі будуть витримувати високі температури, каустичні хімікати, стерилізацію, важкі процеси.

Процес FDM використовує два матеріали – один матеріал для створення деталі та інший для розміщення структури підтримки. Матеріал подається як нитка з бухти в пластиковому корпусі. Для вирощування деталі нитка подається в екструзійну головку та розігрівається до напівплавкого стану. Головка далі подає матеріал та розподіляє його як шар з товщиною від 0.127 м.м.

На відміну від деяких процесів вирощування, системи Fortus та технологія FDM не потребують жодного спеціального приміщення чи навколишніх умов та не створюють шкідливих хімікатів та продуктів виробництва.

Fortus 3D Production Systems
Stratasys Incorporated
7665 Commerce Way
Eden Prairie, MN 55344
+1 888 480 3548 (US Toll Free)
+1 952 937 3000
+1 952 937 0070 (Fax)
www.stratasys.com
info@stratasys.com

Fortus 3D Production Systems
Stratasys GmbH
Weismüllerstrasse 27
60314 Frankfurt am Main
Germany
+49 69 420 9943 0 (Tel)
+49 69 420 9943 33 (Fax)
www.stratasys.com
europe@stratasys.com