

Застосування галтування в автомобілебудуванні також має особливу актуальність. Гострі кромки після штампування досить важко прибрати ручним способом через великі габарити деталі і невелику товщину листа. Вібраційна обробка дозволяє автоматизувати досить трудомісткий процес видалення окалини та масляного забруднення з листа перед нанесенням лакофарбового покриття. Крім того, регулярна створювана шорсткість на поверхні забезпечує хороше зчеплення з ґрунтом і, як наслідок, підвищує корозійну стійкість деталі.

Галтування деталей після термообробки має безперечну перевагу так як правильно підібраний розмір галтувальних тіл дозволяє одночасно обробити всю поверхню деталі досить складної форми. Необхідність ускладнення форм деталей найчастіше диктується необхідністю зниження матеріаломісткості при забезпеченні міцності. У свою чергу низька вага деталей забезпечує високу економічність при зниженні загальної маси автомобілів.

Література

1. Малкин Д. Д. Теория и конструирование объемных виброобработывающих устройств. – В кн.: Вибрационная техника в машиностроении. Львов, 1967.
2. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах (Под ред. Карташова И. Н. и др.). Киев, 1975.
3. Tennakoon S. G. K., Behringer R. P. Vertical and horizontal vibration of granular materials: Coulomb friction and a novel switching state. Phys. Rev. Lett., 1998, 81. № 4, pp. 794-798.

Воропай Олексій Валерійович, д.т.н., зав. каф. деталей машин і теорії механізмів і машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, voropay.alexey@gmail.com, +380505249254

Гнатенко Григорій Олександрович, к.т.н., доцент каф. підйомно-транспортних машин і обладнання Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, gmatenko.kpi@gmail.com

ОПТИМІЗАЦІЯ 3D МОДЕЛІ ВАЛ-ШЕСТЕРНІ ДЛЯ ЇЇ ВИГОТОВЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ АДДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В даний час існує безліч адитивних технологій, що дозволяють у порівняно короткі терміни отримати прототип виробу, що виготовлюється, а в ряді випадків і робочу деталь. Серед різноманітності адитивних технологій (Fused deposition modeling, Stereolithography, Selective laser sintering, Laminated object manufacturing, Multi-jet modeling, PolyJet, 3DP, Liquid interface production, Direct metal deposition and others) [1-4], деякі доступні широкому колу користувачів через їхню простоту і дешевизну. Серед таких доступних технологій Fused deposition modeling (FDM) та Stereolithography (STL або SLA).

Зазначені технології дозволяють отримати вироби з достатньою деталізацією та механічною міцністю для використання їх як кінцевих продуктів.

Експериментально встановлено, що для друку деталей обертання геометрична вісь симетрії моделі повинна бути вертикально. Дослідження показали, що практично неможливо надрукувати вали з номінальними розмірами (без припусків). При спробі надрукувати одразу реальну конструкцію валу завжди виникають проблеми з відхиленням геометричної форми та її розмірів (і навіть дефекти) на початковій ділянці (рис. 1). Тому необхідно в конструкції деталі передбачати додаткові циліндричні ділянки, які друкуються найпершими. Для подальшої механічної обробки поверхонь деталей обертання на токарному верстаті, ці циліндричні ділянки допоможуть: уникнути спотворень наступних ділянок деталі, підвищити міцність закріплення деталі у 3-х кулачковому патроні та забезпечити необхідну точність центрування. Після токарної механічної обробки ці додаткові ділянки відрізаються.

Зауважимо, що використання додаткових масивних початкових ділянок також дозволяє уникнути відомої проблеми відриву заготовки під час друку (рис. 2).

Для забезпечення якісного друку зубчастих коліс при створенні або підготовці 3D моделі до друку повинні бути передбачені додаткові напливи або опори під зубці та виступи. Як правило, сучасні "слайсери" пропонують створення додаткових підкріплень/підпірок на неробочій поверхні (рис. 3) в автоматичному режимі.

Проте вирішити зазначену проблему можна ще на стадії проектування шляхом незначної зміни конструктивних форм. Так конструкцією передбачаються спеціальні розширення та ухили (рис. 4), які потім видаляються наступною механічною обробкою (наприклад, на токарному верстаті).



Рисунок 1 – Надрукована вал-шестерня

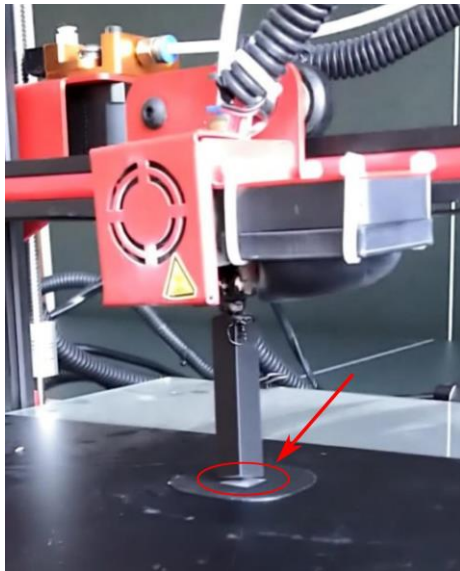


Рисунок 2 – Відрив заготовки

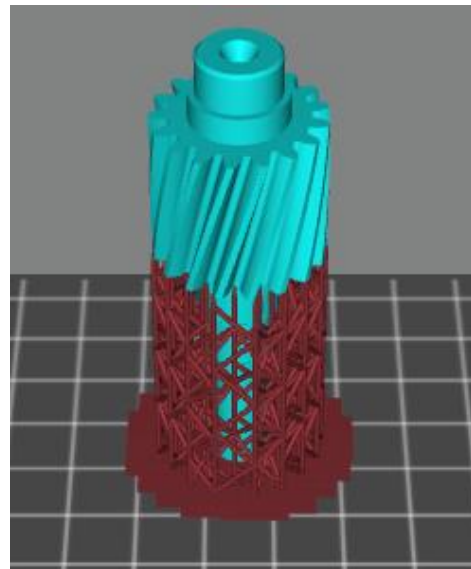


Рисунок 3 – Опорні конструкції для 3D друку зубчастих коліс

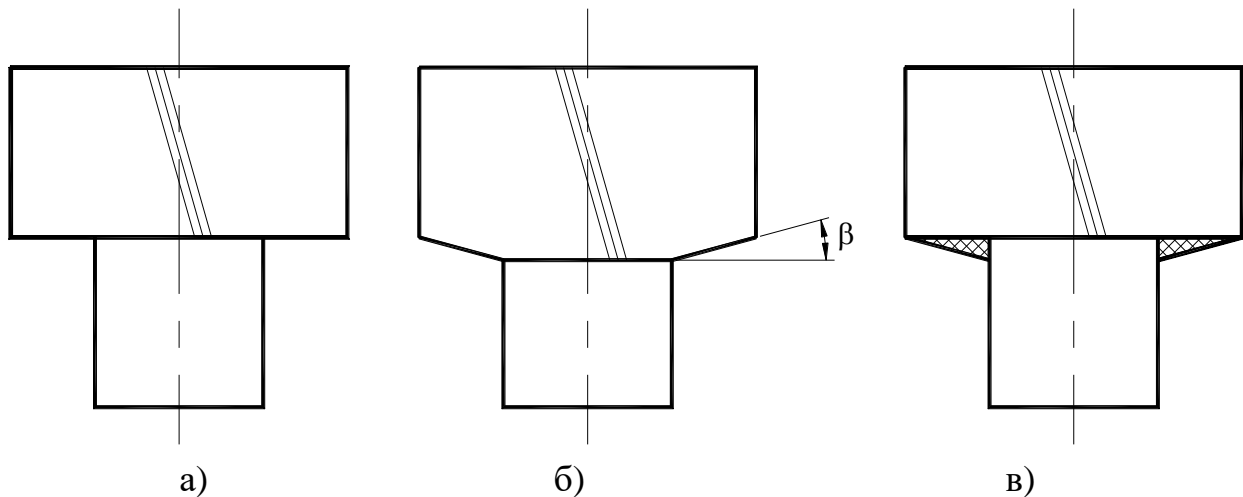
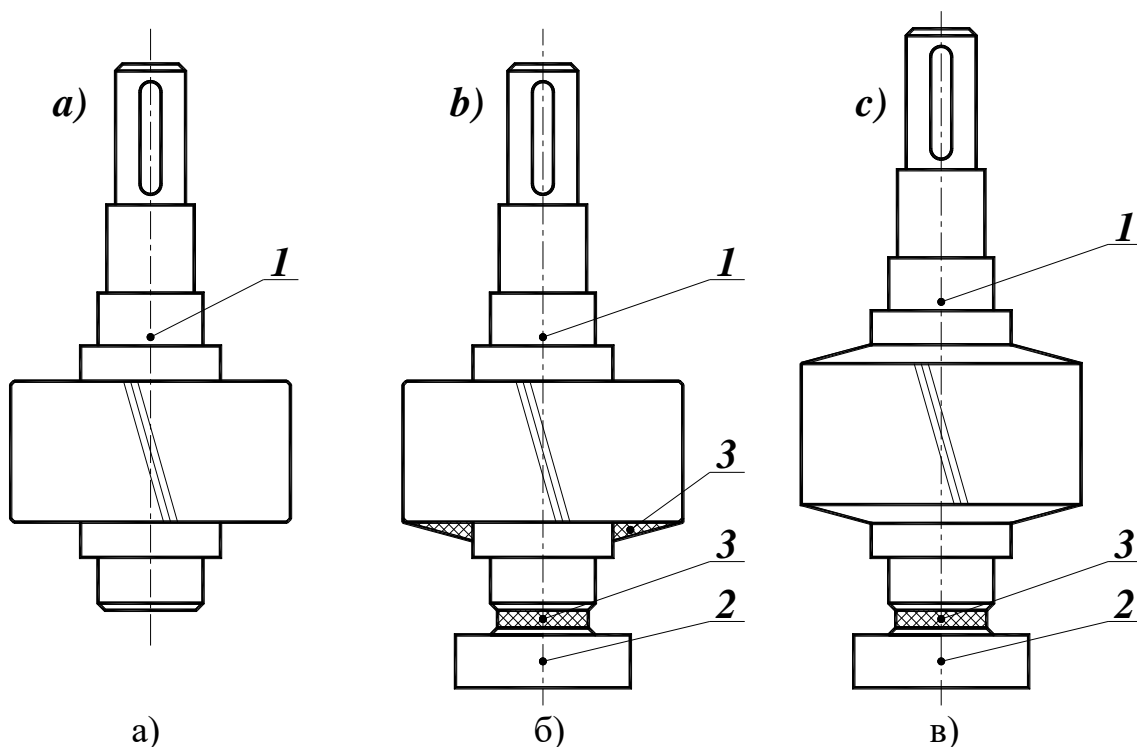


Рис. 4. Особливості конструкції 3D друку зубчастих коліс
a – необхідне зубчасте колесо; *б* – надруковане зубчасте колесо;
в – видалення матеріалу з надрукованої моделі

Дослідження показали, що якісне зубчасте колесо можна отримати без додаткових підпірок при оптимізації моделі, а саме введення додаткової конусності (див. рис. 4). Встановлено, що кут залежить від вибраної технології (FDM та SLA), вибору матеріалу та режиму друку. Для технології SLA вже при куті підйому 15 градусів забезпечується прийнятна якість друку моделі, показаної на рис. 5.



а) вихідна модель; б) оптимізація I; в) оптимізація II

Рисунок 5 – Особливості конструкції 3D друку вал-шестерень:

- 1) базова деталь; 2) додаткова циліндрична ділянка для подальшої механічної обробки поверхонь деталей обертання на токарному верстаті;
- 3) зона, яку потрібно механічно видалити за допомогою механічної обробки (зона зрізу)

Зазначимо, що:

- на рис. 5 а показано вихідну модель (неоптимізовану) вал-шестірни.
- на рис. 5 б показано модель, оптимізовану для 3D друку з подальшою токарною обробкою (з одним ухилом).
- на рис. 5 в показано оптимізовану модель з двома ухилами для збільшення жорсткості зубчастого вінця.

Доцільно виділити такі завдання, які можна поставити під час створення 3D моделей деталей машин:

- оптимізація процесу друку за часом;
- оптимізація з геометрії (точності);
- оптимізація за міцністю;
- оптимізація за вартістю.

Оптимізація за часом друку та за геометрією (точністю). Можна сказати, що ці два критерії оптимізації частково суперечать один одному. Конструктору в залежності від завдання доводиться вибирати деяку золоту середину. Оптимальне значення цих параметрів забезпечить необхідну якість геометрії (точності) та прийнятну тривалість процесу виготовлення деталі.

Для оптимізації процесу 3D друку за часом або за геометрією (точністю) використовуються такі шляхи:

– вибір режиму/параметрів друку (для збільшення швидкості друку – збільшення товщини шару).

– додавання внутрішніх порожнин (уникнення суцільності / зменшення щільності, за рахунок використання спеціальних внутрішніх заповнень [5]).

Для SLA технології є обмеження максимальної швидкості друку, зумовлені технологією (близько 50 мм на годину). У разі застосування FDM технології швидкість друку може бути як більше так і менше, оскільки залежить від перерізу і вказується в метрах покладеної нитки в годину.

Першим і найпростішим шляхом прискорення процесу друку є збільшення товщини шару, що спричиняє погіршення геометрії, за практично незмінної міцності (іноді може спостерігатися навіть незначне збільшення міцності, залежно від міжшарової адгезії).

Крім швидкості друку, на час виготовлення кінцевого продукту при технології SLA впливає також тривалість проведення додаткових операцій, таких як промивання, засвітлення та інші додаткові операції.

При 3D друку також не обов'язково намагатися отримати готовий виріб із номінальними розмірами.

Точність деталей залежить від позиціонування принтера та температурних змін матеріалу. Залежно від розмірів та форми конкретного виробу, коефіцієнтів об'ємного/лінійного розширення, відбувається зміна розмірів при охолодженні або остаточної полімеризації, найчастіше виникає усадка матеріалу.

Конструктору необхідно керуватись базовими поняттями технології машинобудування (допуски, посадки, розмірні ланцюги). У багатьох деталях відповідальними є лише певні «робочі» поверхні. Потрібних характеристик «робочих» поверхонь можна домогтися за допомогою вибору відповідної технології друку. Критично важливі параметри робочих поверхонь, такі як розмір, точність та шорсткість, можна забезпечити наступною механічною обробкою, заздалегідь забезпечивши необхідні припуски на шліфування/полірування. При цьому неробочі поверхні залишивши (наприклад, бічні грані) без додаткової обробки.

Оптимізація по міцності є забезпеченням необхідних параметрів міцності матеріалу деталі. Загалом залежить від вибору між повним/неповним заповненням, додатковими покращеннями/зміцненнями моделі та оптимізацією внутрішньої структури [5].

Введення порожнин, а також спеціальних заповнень (навіть оптимальних) спричиняє зниження міцності надрукованої деталі. Тому, при оптимізації з урахуванням параметрів міцності для робочих виробів (не повнорозмірних прототипів) бажано не "довіряти" автоматичній зміні внутрішніх об'ємів "слайсером", а робити це виключно конструкторам на стадії проектування, з урахуванням навантаженості зони виробу, наприклад, залежно від ділянки валу.

Основні шляхи збереження мінімально необхідної міцності деталей: збереження мінімальної товщини поверхонь (для маленьких деталей не менше 1 мм); використання оптимальних заповнень та внутрішньої структури. Серед раціональних видів заповнень порожнин пропонуються наступні:

- класична квадратна сітка;
- стільникові (гексагональні) структури;
- гіроїдні структури;
- трикутні плоскі структури;
- тетраедрична просторова структура;
- радіально-дужева структура (для тіл обертання).

Зазначимо, що робота [5] присвячена детальному вивченню питань заповнення. У цій статті порівнюються різні схеми заповнення та об'ємні відсотки заповнення з використанням технології FDM. Для дослідження було проведено нестандартні випробування на вигин із двома напрямками навантаження. За результатами можна чітко встановити зв'язок між масою виробу та часом виготовлення, закономірність та відсоткове співвідношення, а також зниження міцності при використанні порожнистих ділянок у виробках.

Оптимізацію за вартістю в жодному разі не варто плутати з мінімізацією вартості. Вартість виготовлення деталей за допомогою 3D друку також залежить від безлічі факторів. Насамперед від вибору самої технології друку. Для FDM і SLA технологій, що розглядаються тут, ціна залежатиме не тільки від точності та габаритів моделі, а й від можливості використання високотемпературних матеріалів. Формування кінцевої вартості готової деталі буде компромісом усіх параметрів: вибір матеріалу; вибір режиму/параметрів друку; оптимізація 3D моделі тощо.

Література

1. Полимерные аддитивные технологии: учебное пособие / А.А. Ляпков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 114 с.
2. <https://formlabs.com>
3. <https://3dprinter.ua>
4. <https://3dmanufacture.com.ua>
5. Birosz, Márton & Dániel, Ledenyák & Ando, Matyas. (2022). Effect of FDM infill patterns on mechanical properties. Polymer Testing. 113. 107654. 10.1016/j.polymertesting.2022.107654.

Карпенко Володимир Олександрович, д.т.н., професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, karpenko4dm@gmail.com
 Нескреба Едуард Євгенійович, студент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, eeneskreba12@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ СТАНУ І ПОВЕДІНКИ АВТОМОБІЛЬНОЇ ШИНИ В ПЕРІОД СТАРТОВОГО РУХУ АВТОМОБІЛЯ

Цілковим зрозуміло, що процес взаємодії автомобільної шини з опорною поверхнею є досить складним та потребує детального вивчення. Від стану і поведінки автомобільних шин залежать основні експлуатаційні характеристики