



УКРАЇНА

(19) UA (11) 46418 (13) U
(51) МПК (2009)
B29C 35/08
B29C 41/02
G06F 17/50

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ПОШАРОВОЇ ПОБУДОВИ ВИРОБІВ НА БАЗІ ВИХІДНОЇ ТРИАНГУЛЯЦІЙНОЇ 3D МОДЕЛІ

1

2

(21) u200905500

(22) 01.06.2009

(24) 25.12.2009

(46) 25.12.2009, Бюл.№ 24, 2009 р.

(72) ДОБРОСКОК ВОЛОДИМИР ЛЕНІНМИРОВИЧ,
ЧЕРНИШОВ СЕРГІЙ ІВАНОВИЧ, ВІТЯЗЄВ ЮРІЙ
БОРИСОВИЧ, АБДУРАЙІМОВ ЛЕНМАР НАРИ-
МАНОВИЧ

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

(57) Спосіб пошарової побудови виробів на базі
вихідної триангуляційної 3D моделі, що включає
періодичне опускання столу на величину кроку
побудови й наступне формування шарів виробів,
який **відрізняється** тим, що величину кроку побу-

дови змінюють для кожного окремого опускання
столу по формулі:

$$h_i = \frac{\Delta}{\cos \varphi_{i(\min)'}}$$

де h_i - величина кроку побудови на i -ому етапі опу-
скання столу;

Δ - припустима погрішність формоутворення ви-
робу;

$\varphi_{i(\min)}$ - мінімальне значення із всіх розрахованих
величин кутів між нормальними векторами площин
трикутників триангуляційної моделі, що належать i -
ому шару виробу, й напрямком побудови виробу.

Корисна модель відноситься до формоутво-
рення, зокрема до пошарової побудови виробів на
базі вихідної триангуляційної 3D моделі, і може
бути використане в машинобудуванні.

Відомі способи побудови виробів пошаровими
методами на установках лазерної стереолітогра-
фії, при якому вироби виготовляються шляхом
попереднього нероз'ємного з'єднання елементар-
них шарів об'єму матеріалу, у якості якого можуть
виступати полімер, кераміка, папір, метал і ін. [2, 3,
4, 5, 6, 7]. Пошарові методи припускають прямий
перехід від віртуальної 3D CAD моделі до матері-
алізованого об'єкта. При даних способах 3D CAD
модель виробу розсікається на серію послідовних
дуже тонких шарів, звичайно 0,025-0,2мм товщи-
ною, з деяким постійним дискретним кроком побу-
дови. Товщина шаруючи обмежується технологіч-
ними можливостями застосовуваної установки
лазерної стереолітографії. Недоліком цих способів
являється виникнення різних погрішностей фор-
моутворення по поверхнях різних виробів. Під по-
грішністю формоутворення розуміється надлишко-
ва частина матеріалу на поверхні виробів, що
виникає внаслідок технологічних особливостей
процесу пошарового виготовлення виробів.

Найближчим до, що заявляється є спосіб по-
будови виробів пошаровими методами зі змінним

кроком побудови із забезпеченням заданої вели-
чини погрішності формоутворення, описаний у [1].

При здійсненні цього способу, для побудови
3D моделі, виріб повинен мати аналітичний опис
поверхні в доступній для аналізу формі. Модель
виробу розділяється на p шарів, які з погляду ма-
тематичного опису представляють 2D моделі. Ко-
жний перетин або шар моделі (перпендикулярний
напрямку переміщення столу) являє собою дво-
мірні моделі й задається в певній системі координат.
Далі підбирається крок столу з урахуванням взає-
много розташування поверхонь і з умовою, що
буде забезпечена припустима точність.

Недоліком цього способу являється умова на-
явності аналітичного опису поверхні моделі ви-
робу, що обмежує його застосування до більш скла-
дних виробів.

Наступним недоліком являється те, що для
розрахунку величини кроку столу необхідно розра-
ховувати кут нахилу поверхні до напрямку пере-
міщення столу, а для цього необхідно знайти до-
точну до розглянутої поверхні.

Зазначені недоліки в сукупності ведуть до збі-
льшення технологічного часу виготовлення ви-
робів за рахунок виникнення попередньої роботи з
підготовчих операцій, що знижує продуктивність
процесу виготовлення в цілому.

(19) UA (11) 46418 (13) U

Завдання корисної моделі - розширення можливості застосування способу пошарової побудови виробів без обмежень на їхню складність, можливість регулювання точності виготовлення по поверхні окремих деталей і виробу в цілому, а також підвищення продуктивності самого процесу.

Технічний результат досягається тим, що при здійсненні способу пошарової побудови виробів на базі вихідної триангуляційної 3D моделі, що включає періодичне опускання столу на величину кроку побудови й наступне формування шарів виробів, з метою підвищення продуктивності процесу й регулювання точності виготовлення виробів, величину кроку побудови змінюють для кожного окремого опускання столу по формулі:

$$h_i = \frac{\Delta}{\cos \varphi_{i(\min)}}, \quad (1)$$

де h_i - величина кроку побудови на i -ому етапі опускання столу;

Δ - припустима погрішність формоутворення виробу;

$\varphi_{i(\min)}$ - мінімальне значення із всіх розрахованих величин кутів між нормальними векторами площин трикутників триангуляційної моделі, що належать i -ому шару виробу й напрямком побудови виробу.

Відмітна ознака пропонованого рішення, що описує зміну величини кроку побудови по формулі (1) представляється раніше невідомим технологічним прийомом.

Наявність раніше невідомої ознаки дозволяє зробити висновок про відповідність пропонованого способу критерію "новизна".

На Фіг.1-3 зображені 3 варіанти триангуляційного представлення 3D моделі сфери, апроксимованої 1450, 450 і 67 трикутниками відповідно.

На Фіг.4, 5 у верхній частині зображена триангуляційна 3D модель сфери, апроксимованої 450 трикутниками, і дві січні площини Z_{i-1} і Z_i . У нижній частині представлена схема розрахунку величини кроку побудови виробу для кожного окремого опускання столу при здійсненні пропонованого способу.

На Фіг.6, 7 зображені більш докладні схеми розрахунку значення кроку побудови на i -ому етапі. У верхній частині для випадку, коли всі трикутники, що належать поточному шару, утворюють однаковий кут із вектором напрямку побудови. У нижній частині представлена аналогічна схема для загального випадку, коли трикутники утворюють різні кути з вектором напрямку побудови.

На Фіг.8, 9 представлені 3D моделі тестових виробів корпусу рубанка й кружки для здійснення пропонованого способу пошарової побудови виробів.

Розглянемо застосування пропонованого способу пошарової побудови виробів на базі триангуляційної 3D моделі сфери. Як показано на Фіг.1-3, типові CAD програмні пакети (наприклад, 3D Systems, 1988) моделі твердотільних об'єктів, такі як сфера, представляють у вигляді набору трикутних граней. При цьому якість апроксимації моделі сфери прямо залежить від їхньої кількості. Іншими словами 3D модель виробу триангулюють. На Фіг.1-3 зображена вихідна модель сфери, але що

апроксимована різним числом трикутників: 1450 трикутниками - 1, 450 трикутниками - 2, 67 трикутниками - 3. На жаль, вищевказані CAD системи зберігають дані про триангуляційний 3D моделі виробу в такій формі, що інформація про елементи (трикутниках) такої моделі зберігається незалежно друг від друга, без якої-небудь інформації про відношення одного трикутника щодо іншого.

У технологіях пошарової побудови виробів приблизно 60% загального часу по підготовці 3D моделі виробу приділяється генеруванню шарів, тобто розділенню її на сукупність елементарних шарів. Більш того, більша частина часу займає робота зі знаходження трикутників, які знаходяться між двома послідовними січними площинами й обчисленню точок перетинання для генерування даних про шар.

У сучасних установках пошарової побудови виробів крок побудови є величиною постійної й задається оператором вручну, виходячи з технологічних особливостей застосовуваної установки. Даний спосіб дозволяє вибирати крок побудови виробів на кожному етапі відповідно до формули (1).

У верхній частині Фіг.4, 5 представлена триангуляційна 3D модель сфери 2, що розсікається двома січними площинами 4 і 5 з координатами Z_{i-1} і Z_i відповідно. На кожному кроці розглядаються тільки ті трикутники, які належать поточному i -ому шару, утвореному січними площинами 4 і 5. У нижній частині Фіг.4, 5 представлені поверхні двох вибірових трикутників 6 і 7 у розрізі, нормалі $\vec{n}_{i,1}$ й $\vec{n}_{i,2}$ до їхніх поверхонь, кути $\varphi_{i,1}$ й $\varphi_{i,2}$, утворені нормальними й напрямком побудови виробу, дві січні площини 4 і 5 з координатами Z_{i-1} і $Z_{i(\text{факт})}$ відповідно. За замовчуванням за величину кроку побудови виробу береться його максимальна величина, задана оператором, $h_{(\text{max})}$, тобто $Z_{i(\text{факт})} = Z_{i-1} + h_{(\text{max})}$. Далі провадиться розрахунок величин кутів $\varphi_{i,1}$ і

$\varphi_{i,2}$, береться найменший з них і відповідно до формули (1), на основі припустимої величини погрішності формоутворення Δ , обчислюється розрахункова величина кроку побудови h_i , тобто розрахункова січна площина 8, що береться за основну, визначається по залежності $Z_{i(\text{розрах})} = Z_{i-1} + h_i$. У загальному випадку, для кожного шару вибір найменшого кута провадиться по формулі:

$$\varphi_{i(\min)} = \min(\varphi_{i,j}), \quad j = 1..N, \quad (2)$$

де $\varphi_{i(\min)}$ - мінімальне значення із всіх розрахованих величин кутів між нормальними векторами площин трикутників триангуляційної моделі, що належать i -ому шару виробу й напрямком побудови виробу;

i - номер поточного шару;

N - кількість трикутників у поточному шарі.

На Фіг.6, 7 для наочності схеми доповнені зображеннями східчастої побудови виробів. У нижній частині показано за рахунок чого зменшується величина кроку побудови для поверхні з меншим кутом між її нормаллю й напрямком побудови виробу в порівнянні з поверхнею з більшим кутом.

Для цього площина трикутника 7 з меншим кутом між її нормаллю й напрямком побудови виробу умовно триває 9 до площини нижнього перетину 4. Перпендикулярно до площини 9 відкладається відрізок довжиною Δ . Далі розраховується величина кроку побудови h_i , для даного випадку аналогічно відповідно до формули (1).

Приклади.

Провадилось моделювання побудови тестових виробів, зображених на Фіг.8, 9, для здійснення запропонованого способу. Допуск на виготовлення тестових виробів 50мкм.

У першому випадку маємо модель корпусу рубанка 10 із габаритними розмірами по осях координат 60×249×114мм відповідно. Для побудови виробу модель розбивається на шари, звичайно 0,025-0,2мм товщиною, з деяким постійним дискретним кроком побудови. Для більш точного виготовлення виробу необхідно використовувати мінімальний крок побудови. При використанні мінімального кроку, рівного 0,025мм, модель виробу висотою 114мм буде розбита на 4560 шарів. Застосування даного способу побудови виробів з погрішністю формоутворення, рівної 0,05мм, виріб буде розбите на 2045 шарів, що істотно скорочує час побудови виробу в $\approx 2,2$ рази.

У другому випадку маємо модель кухля 11 із габаритними розмірами по осях координат 174×120×120мм відповідно. При використанні мінімального кроку, рівного 0,025мм, модель виробу висотою 120мм буде розбита на 4800 шарів. Застосування даного способу побудови виробів з погрішністю формоутворення, рівної 0,05мм, виріб буде розбите на 1392 шарів, що істотно скорочує час побудови виробу в $\approx 3,5$ рази.

У випадках, коли розрахована величина кроку побудови виходить за межі мінімального й максимального значень кроків побудови виробів, а вони, у свою чергу, визначаються технологічними можливостями установки пошарового виготовлення виробів, за розрахункову величину кроку побудови в цьому випадку приймають одне з найближчих граничних значень $h_{(min)}$ або $h_{(max)}$ відповідно.

Використання запропонованого способу дозволяє регулювати точність виготовлення виробів. Це

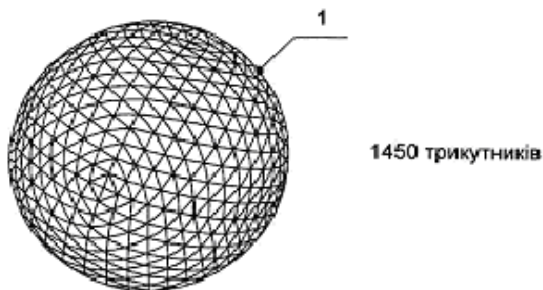
досягається за рахунок того, що при розрахунку величини кроку побудови (товщини шаруючи) ураховується припустима величина погрішності формоутворення виробів Δ . Внаслідок цього, є можливість контролювати процес виготовлення виробів з погрішністю формоутворення в межах заданої максимальної величини.

Перевагою пропонованого способу являється також те, що для його здійснення може бути використаний найбільше простий, у порівнянні з аналогічними способами, метод. Поверхня моделі виробу не вимагає аналітичного опису, вона задана у вихідному STL-файлі, автоматично створюваним сучасними системами 3D CAD моделювання.

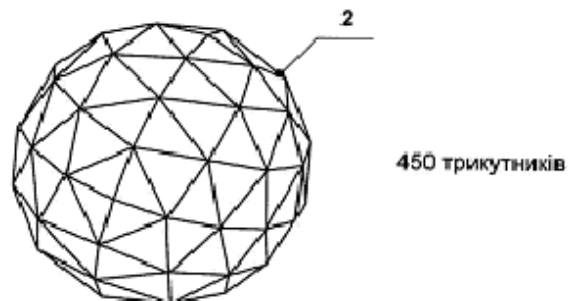
Наступна перевага запропонованого способу полягає в тому, що даний спосіб вибору кроку побудови виробів реалізований у програмі. Таким чином, відсутня необхідність у ручній праці оператора установки пошарового виготовлення виробів. Програма автоматично розраховує кроки побудови виробів будь-якої складності на підставі введеного значення припустимої величини погрішності формоутворення, а також мінімального й максимального значень кроку побудови.

Література:

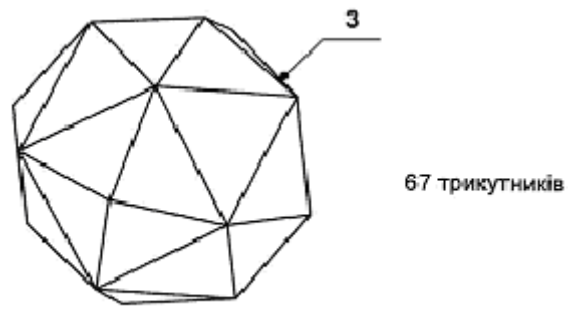
1. Вітязев Ю. Б. Розширення технологічних можливостей прискореного формоутворення способом стереолітографії: Автореф. дис... к-та техн. наук: 05.02.08 / НТУ «Харк. пол. ін-т.», 2004. - 20 с
2. Пат. 4863538 США. Method and apparatus for producing parts by selective sintering.
3. Пат. 5182715 США. Rapid prototyping method.
4. Пат. 5184307 США. Method and apparatus for production of high resolution three-dimensional objects by stereolithography.
5. Пат. 5247180 США. Stereolithographic apparatus and method of use.
6. Пат. 5437964 США. Stereolithography using vinyl ether-epoxide polymers.
7. Пат. 5902538 США. Simplified stereolithographic object formation methods of overcoming minimum recoating depth limitations.



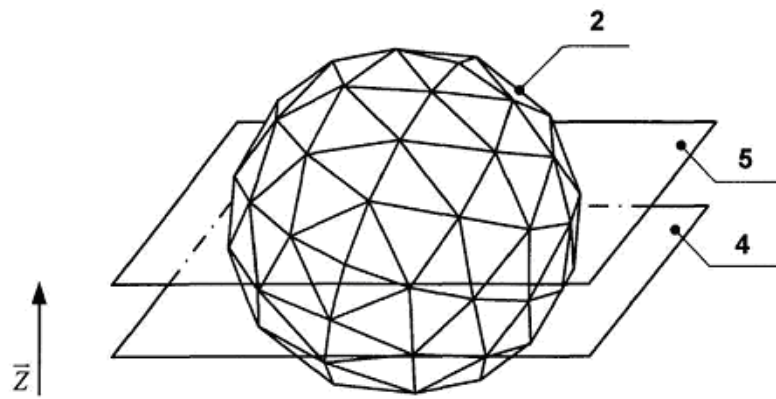
Фіг.1



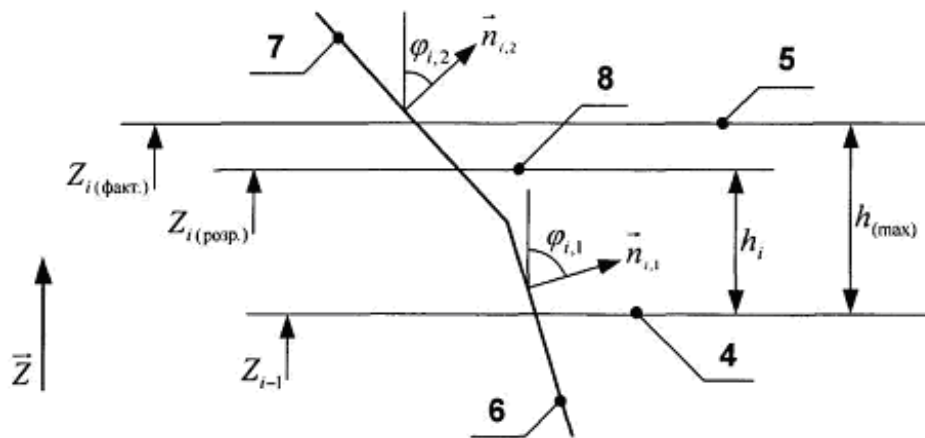
Фіг.2



Фиг.3



Фиг.4



Фиг.5

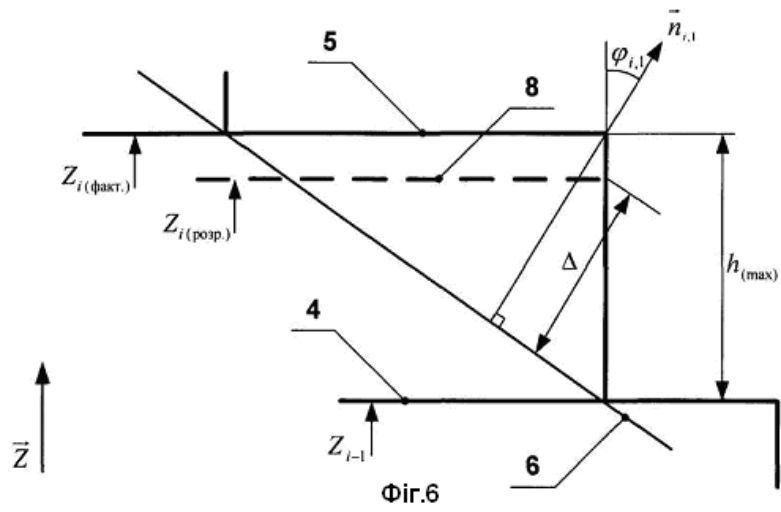


Fig. 6

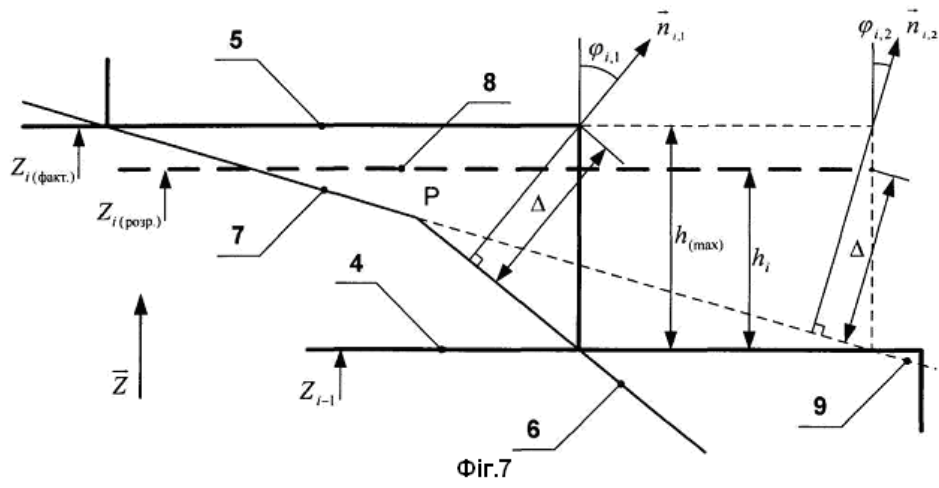


Fig. 7

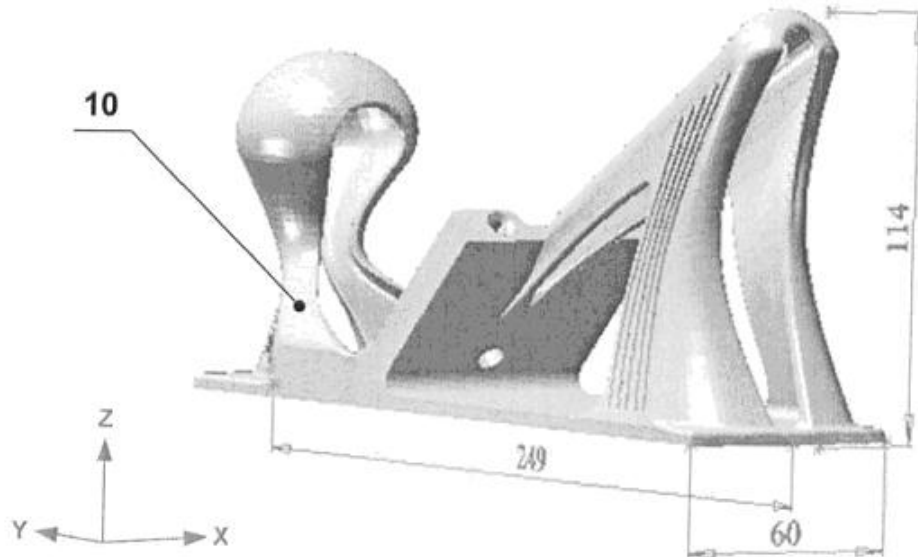
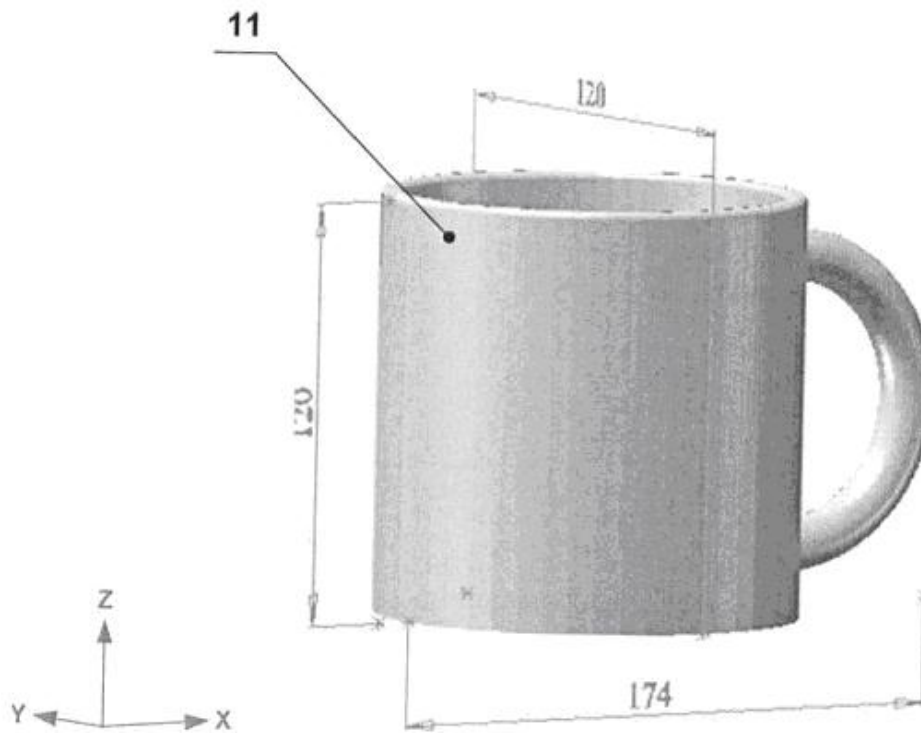


Fig. 8



Фиг.9