

СРАВНИТЕЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИИТЕ ЗА БЪРЗО ИЗРАБОТВАНЕ НА ПРОТОТИПИ И БЪРЗО ИЗРАБОТВАНЕ НА ФОРМООБРАЗУВАЩИ ИНСТРУМЕНТИ

Андрияна БОЦЕВСКА¹ Георги ТОДОРОВ² Тодор НЕШКОВ³

¹катедра „Компютърни науки и инженерство”, Технически факултет – Битоля, Р. Македония
e-mail: abocevska@yahoo.com

²лаборатория „CAD/CAM/CAE в индустрията”, Технически университет - София, България
e-mail: gdt@tu-sofia.bg

³катедра „Автоматизация на дискретното производство”, Технически университет - София, България
e-mail: tlesh@tu-sofia.bg

Резюме: В този доклад е даден преглед на различните технологии за бързо изработване на прототипи както и сравнение на основните характеристики на компонентите получени чрез тези технологии. Характеристиките са свързани с грапавостта на повърхнината, точността на размерите и механичните свойства. Направена е класификация на популярните техники за формообразуващи инструменти и тяхното сравнение въз основа на трайността на инструмента, времето на развитие на инструмента и разходите за развитие на инструмента.

Ключови думи: прототипи, бързо прототипиране, бързо изработване на формообразуващи инструменти.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Съвременният глобален пазар се характеризира с безкомпромисна конкуренция и непрекъснато променящи се потребителски капризи. Това принуждава всеки производител на изделия да търси възможности за съкращаване на сроковете за проектиране и производство при възможно по-ниски производствени разходи. Един от начините за постигане на това е използването на технологиите за бързо прототипиране известни като Rapid Prototyping и Rapid Tooling. Натрупаният през последните години опит показва, че интегрирането на RP и RT технологиите в цикъла проектиране – производство на ново или модифицирано изделие неколкосткратно, а в отделни случаи многократно, съкращава този цикъл при постигане на високо качество. Особено съществено предимство е възможността много от дейностите при развитието на изделието да се реализират паралелно. RP/RT технологията е често пъти най-доброто възможно решение за производство не само на единични прототипи, но и на малки и средно големи серии на изделия със сложни външни свободно изкривени повърхнини и особено на такива със сложна вътрешна геометрия. Тази технология позволява времето за производство да се измерва не в седмици или месеци, а в часове и дни.

2. БЪРЗО ПРОТОТИПИРАНЕ

Техниките за бързо прототипиране (RP) са адитивни процеси. Компонентите се изграждат последователно в слоеве, докато се постигне крайната геометрия. Начина на изграждане на слоевете и прилагания материал съществено се различават между различните процеси.

Прилагането на технологиите за RP започва със създаването на 3D модел на прототипното изделие. При този процес може да се използва различна изходна информация. Създаденият 3D модел се конвертира в неутрален формат. Предпочитаният формат е STL, но може да се използват различни транслатори. Окончателно дефинираният 3D модел в STL формат се “нарязва” на слоеве чрез тънки успоредни напречни сечения, така че се образува физическия прототип от оригиналните CAD данни, (фиг.1).

Всяка технология има предимства и недостатъци, които трябва да бъдат подробно определени, преди да бъде избран RP процес. В противен случай може да бъде произведен част, която изцяло не отговаря на изискванията на потребителя.

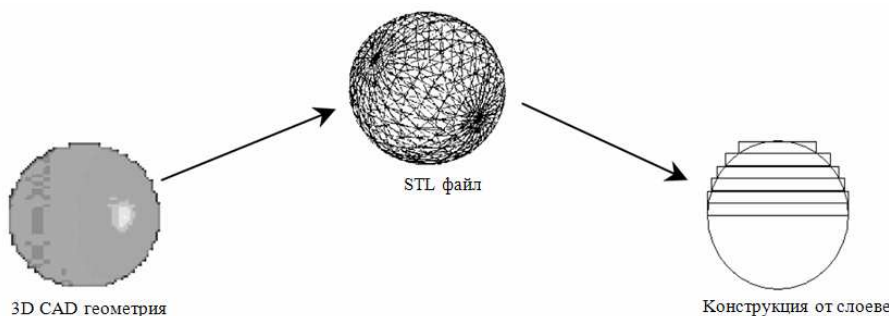
2.1 Прилагане на RP

Основно приложение:

Концептуални модели. В сравнение с конвенционалните производствени процеси техниките за бързо прототипиране позволяват бързо и

евтино изработване на прототипи на много сложни части. Това предоставя дизайнерския екип с възможност за проверка и модификация на прототипа в ранен етап. Дизайна може да бъде коригиран и модифициран преди вземане на

окончателното решение за производство. Частта получена чрез бързо прототипиране може да бъде прилагана като комуникационен инструмент не само за дизайнерския екип, но също така и за останалите отдели.



фиг.1 Принцип на създаване на прототип при RP технологията

- **Функционални или полу-функционални модели.** Някои процеси за бързо прототипиране позволяват създаването на напълно функционални части, ако съответното прилагане на частта не е много изисквателно. Частите получени с RP могат да бъдат приложени при асемблиране, както и да изпълняват функцията на финално произведен част на задоволително ниво. Въпреки това, много често полу-функционалните части са направени чрез използване на процеси за RP с материали, които често нямат адекватното физически свойства за окончателно приложение. Тези полу-функционални части могат да бъдат приложени за проверка на частите, лесно могат да бъдат сглобени или използвани за опитни изследвания, които разчитат само на геометрията на частта, а не на свойствата на материала.

- **Модели, образци.** Частите получени чрез RP могат да бъдат приложени като модели за производство на инструменти от силиконова гума за малко серийно производство на функционални части. Това се осъществява чрез леене под вакуум или като модели за еднократна употреба при леене по стопяеми модели, така RP части се унищожават по време на процеса. RP части също могат да бъдат приложени и като модели за леене в пясъчни форми.

- **Инструменти получени по директен начин.** За някои приложения, процесът на RP позволява производството на инструментите да

бъде направено директно, т.е. "меки" инструменти, които могат да бъдат приложени само за малко серийно производство и "твърди" инструменти за голямо серийно производство.

2.2 Видове методи за RP

Стереолитография (SLA). SLA е една от най-старите технологии на RP, която датира от средата на 1980 г. SLA може да бъде приложена за части със сложна геометрия и с повърхност на качество както и конвенционално обработените компоненти. SLA частите често са използвани като модели за производство на силиконови форми при леене под вакуум или леене на многокомпонентна термореактивна смес.

Предимства:

- Добра завършена повърхност;
- Лесно се получава сложна геометрия и
- Общо взето, има добра геометрична точност.

Недостатъци

- Необходими са допълнителни структури, които трябва да бъдат отстранени;
- Частите могат да се деформират, особено с акрилни смоли и
- Смолите са опасни и трябва внимателно обслужване.

Селективно лазерно синтеруване (SLS). Този метод позволява бързите прототипи да бъдат изработени от различни материали, така че по-

лу-функционални части могат да се получат директно. Частите които имат сложна геометрия могат да бъдат направени от прахообразен материал. Фактът, че се прилага прах като основен материал ограничава качеството на повърхността на финалната част. Производството на инструменти може да бъде пряко с прилагането на SLS частите, изработени от метален прах при процеса RapidTool.

Предимства

- Не е необходима допълнителна термична обработка на частите, освен ако те са керамични;
- Частите често могат да бъдат получени без допълнителни структури и
- Части от различен материал могат да бъдат получени директно.

Недостатъци

- Повърхността на частите е пореста и окончателната повърхност може да бъде пореста;
- Процесът на загряване и охлаждане на машината може да отнеме по-дълго време и
- Частите може значително да се деформират.

Изработване на делови чрез наслояване на листов материал (LOM). Този метод е често описан като превръщане на хартията в дърво. По принцип LOM е прилаган за правене на дървени модели за пясъчно леене. Тези модели са доста издръжливи и съответно отново употребими. LOM е една от най-икономичните технологии на RP и е отлична за правене на големи части с определена геометрична сложност.

Предимства

- Дървените части могат да бъдат покрити с пясък, продупчвани и да имат резба;

- Големите части могат да бъдат направени бързо и сравнително евтино.

Недостатъци

- Дървените части с малко напречно сечение често имат малка якост;
- Дървените части абсорбират влага, освен ако на повърхността се прилага определена процедура и
- Заключителната площ пред допълнителната обработка е незадоволителна в сравнение с някои други техники на RP.

Моделиране чрез отлагане на разтопен материал (FDM). Този метод принадлежи към класа на технологии за RP, които са известни като концептуални модели. Това е така, защото в сравнение с други технологии като например SL, създадените модели обикновено са нефункционални от гледна точка на тяхната якост и заключителната повърхност е незадоволителна, ако се сравни с други технологии като например SL. През последните години има подобрене след като Stratasys създава машините Maxum и Titan. Концептуалните модели са предназначени да осигурят бърз начин за създаване на частта, която ще може да бъде проверена за груби грешки и да може да бъде прилагана като комуникационен инструмент между продукта и дизайнерския екип.

Предимства

- Частите могат да бъдат направени от различни материали и
- Машината може лесно да бъде монтирана и използвана в офис.

Недостатъци

- Добра завършена повърхност;
- Нужна е опорна структура;

табл.1 Грапавост на повърхнината ($\mu\text{m Ra}$) за избраните технологии за БП

Технология - материал	Дебелина на слоя	Ъгъл на изграждане, α /степени				
		10	30	50	70	90
SLA – Епоксид (ACES стил)	0,15	39,9	28,8	21,5	16,7	6,3
SLS – Полистирен	0,20	65,2	35,6	32,6	24,7	20,6
SLS – Найлон	0,10	28,5	36,9	36,5	39,2	11,8
LOM - Хартия	0,10	29,2	27,7	25,3	23,3	16,9
FDM - ABS	0,25	56,6	38,6	26,4	22,7	17,9

табл.2 Точност на размерите за избраните технологии за БП

Планирани размери от CAD моделът (mm)	Средна

Технология - материал	34,50	50,35	52,50	56,00	60,00	71,00	75,00	точност
Реални размери на изследваните части (mm)								
SLA – Епоксид (ACES тил)	34,83	50,57	52,77	55,85	59,97	70,97	74,94	97,7
SLS – Полистирен	34,43	50,45	52,62	56,48	60,14	71,31	75,12	97,7
SLS – Найлон	34,77	50,37	52,59	55,99	60,39	70,65	74,99	97,8
LOM - Хартия	34,67	50,61	53,20	55,98	59,92	71,05	74,86	97,2
FDM - ABS	34,38	50,07	53,45	55,46	60,09	70,42	75,08	95,3

табл.3 Индикативни механични свойства за избраните технологии за БП

Технология	Материал	Якост на опън (MPa)	Модул на еластичност (MPa)	Склероскопична твърдост D
SLA	Епоксид	55-65	2,150-2,600	80-85
	Акрилат	35	1,100-1,200	78
LOM	Хартия	26-66	2,514-6,697	55-70
	Полиестер	85	3,435	-
FDM	ABS	35	2,495	105 Твърдост по Роквел
	Восък	3,5	277	33
SLS	Фин найлон	36	1,400	-
	Акрилен полимер	10	1,100	-
	Найлон	49	2,828	-

- Компонентите имат малка якост във вертикална посока;
- Процесът протича бавно за части с голяма маса и
- Лошата крайна повърхност ги прави неатрактивни инструменти.

2.3 Свойства на частите получени чрез RP

Следните параграфи оценяват няколко ключови свойства, именно:

- Грапавост на повърхнината
- Точност на размерите
- Механични свойства.

Грапавост на повърхнина на частите получени чрез RP. Грапавостта на повърхнината може да бъде измерена със стойности от 0 до 90, (Таблица 1). От данните може да се отчете, че има едно значително разнообразие в грапавостта на повърхността в зависимост от: технологията, дебелината на слоя, използвания материал и от ъгъла на изграждане на повърхността. Ъгълът на изграждане е особено важен и RP потребителят трябва да посочи коя повърхност трябва да има най-добро качество, за да се гарантира, че частта е

изградена в правилната посока, за постигане на желания резултат.

Точност на размерите на частите, получени чрез RP. Измерени са същи образци на изпитване, за да се установи точността на линейните размери за различните технологии за бързо прототипиране, в сравнение с установените размери на CAD модела на изпитвания образец, (Таблица 2). От таблицата може да се види, че точността значително се променя в зависимост от прилаганата технология и на която размер е направено измерване. От данните може да се отчете че нито една от технологиите, които се разглеждат не е по-точна от 97,8%. RP моделите са склонни на изкривяване и RP потребителят трябва да вземе в предвид линейната неточност на размерите и изкривяването на моделите при определяне на прилагането на частта.

Механични свойства на частите, получени чрез RP. Особено трудно е да се измерват и сравняват механичните свойства на частите получени чрез бързо прототипиране по редица причини. Материалите и процесите използвани за получаване на частите непрекъснато се подобряват и в резултат на това е подобрена механичната якост и останалите характеристики на частите.

Таблицата 3 представя данни, предоставени от доставчиците на материали или самите производители на оборудване.

3. БЪРЗО ИЗРАБОТВАНЕ НА ФОРМООБРАЗУВАЩИ ИНСТРУМЕНТИ

Производителите все повече се стремят към технологии за бързо изработване на формообразуващи инструменти (RT) не само като алтернатива на бързото прототипиране, а специално и за започване на малко производство, което не оправдава инвестиции за конвенционални твърди инструменти.

3.1 Класификация на технологиите за RT

В момента голям брой инструменти могат да бъдат произведени чрез прилагане на различни технологии. За целите на класификацията, инструментите са разделени на твърди или меки и също така директни или индиректни (фиг.2).

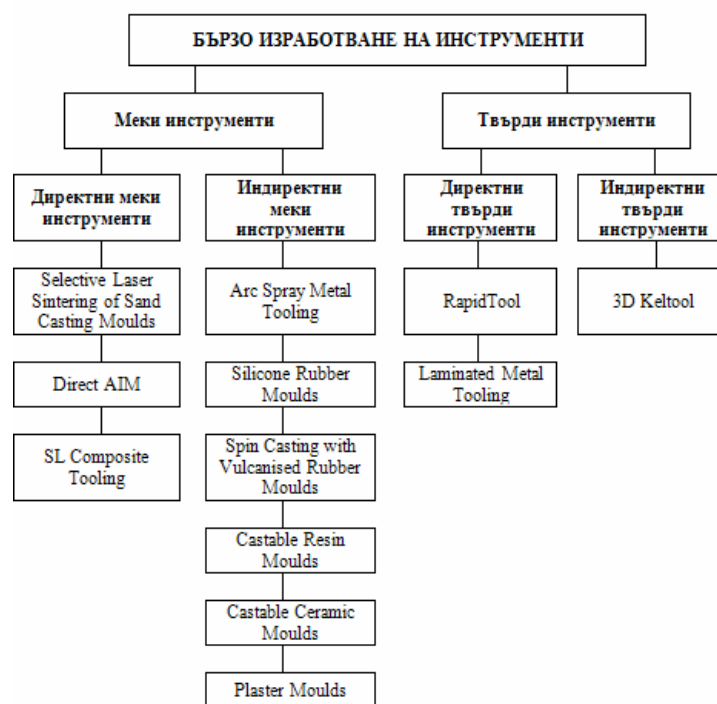
Инструментите за малко серийно производство често известни като меки инструменти в резултат на това че тези инструменти са изработени

от материали като силиконов каучук, епоксидна смола, сплави които имат ниска точка на топене или алуминий, които са по-лесни за работа, в сравнение с челиците. Инструментите за голямо серийно производство са известни като твърди инструменти и обикновено са направени от твърди стомани.

При директните инструменти, инструмент е създаден с процеса на RP. При индиректни инструменти, само моделът е създаден чрез прилагане на технологиите на RP. Този модел се използва за получаване на инструмента от материали като силиконов каучук, епоксидна смола, мек метал или керамика.

3.2 Сравнение на технологиите за RT

Технологиите за изработване на формообразуващи инструменти са много различни една от друга, защото те предлагат голямо разнообразие от процеси, които могат да се избират. Важно е да се отбележи, че сравнение между тези техники е необходимо. Сравнението на тези техники е направено на базата на следните критерии:



фиг.2 Класификация на RT технологията

табл.4 Сравнение на технологиите според трайността на инструмента

Трайността на инструмента 10-200 (брой на части)	201-2000	Повече от 2000
Silicon rubber mould	Arc spray metal tooling	RapidTool
Spin casting with vulcanized rubber mould	Direct AIM	3D Keltool
Castable resin mould	SL composite	Laminated metal tooling
Castable ceramic mould		SLS of sand casting moulds
Plaster mould		

табл.5 Сравнение на технологиите според разходите за развитие на инструмента

Разходи за развитие на инструмента \$500-\$2000	\$2001-\$10 000	Повече от \$10 000
SLS of sand casting moulds	Arc spray metal tooling	RapidTool
Silicon rubber mould	Direct AIM	Laminated metal tooling
Spin casting with vulcanized rubber mould	SL composite	3D Keltool
Castable resin mould		
Castable ceramic mould		
Plaster mould		

табл.6 Сравнение на технологиите според времето за развитие на инструмента

Време за развитие По-малко от 1 седмица	1-2 седмици	Повече от 2 седмици
SLS of sand casting moulds	Arc spray metal tooling	RapidTool
Direct AIM	Silicon rubber mould	Laminated metal tooling
SL composite	Spin casting with vulcanized rubber mould	3D Keltool
	Castable resin mould	
	Castable ceramic mould	
	Plaster mould	

трайността на инструмента (табл.4), разходите за развитие на инструмента (табл.5) и времето за развитие на инструмента (табл.6).

От Таблица 4 може да се отчете че технологиите за индиректни меки инструменти имат малка трайност на инструмента от 10-200 парчета, защото инструмента при тези технологии е направен от мек материал и като такъв бързо се износва. Технологиите за директни меки инструменти използват сравнително потвърди смоли и затова трайността на инструмента е от 201-2000 парчета.

Разходът за разработване на инструмента при технологиите за индиректни меки инструменти, с изключение на инструмента с дъга разпръскване

на метала, е най-нисък (\$500-\$2000). При технологиите за твърди инструменти, разходът за разработване на инструмента е по-висок поради самия разход за твърд инструмент и дългото време за производство, на оборудването за бързо прототипиране (Таблица 5).

Технологиите за директни меки инструменти имат малко време за разработване на инструмента, съответно се изисква малко ръчна работа. При технологиите за индиректни меки инструменти времето за разработване на инструмента от 1 до 2 седмици е необходимо за допълнителни ръчни операции за производство на инструмента от модела (Таблица 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В този доклад е направен преглед на различни технологии за бързо прототипиране, тъй като техните предимства и недостатъци трябва да бъдат анализирани преди да бъде избран процес за бързо прототипиране. Дадени са забележките за грапавостта на повърхнината, точността на размерите и механичните свойства. Също така е изложена класификация на популярните техники за бързо изработване на формообразуващи инструменти. Сравнението на тези техники е направено на базата на следните критерии: трайност на инструмента, разходи за развитие на инструмента и време за развитие на инструмента.

Литература

1. **Ashley S.**, "From CAD art to rapid metal tools", Mechanical Engineering, pp. 82-87, March 1997.
2. **Chua C. K., Leong K. F.** Rapid Prototyping: Principles and Applications In Manufacturing. John Wiley, 1997.
3. **Denton K. R.** "The economics of rapid tooling and rapid prototyping", The Sixth International Conference on Rapid Prototyping, pp. 179-188, 1995.
4. **Hilton P.** "Making the leap to rapid tool making", Mechanical Engineering, pp. 75-77, July 1995.
5. **Tsang H. B. and Bennett G.** "Rapid tooling - direct use of SLA moulds for investment casting", First National Conference on Rapid Prototyping and Tooling Research, pp. 237-247, 1995.

COMPARATIVE STUDY OF RAPID PROTOTYPING AND RAPID TOOLING TECHNOLOGIES

Andrijana BOCEVSKA¹ Georgi TODOROV² Todor NESHKOV³

¹Department „Computer Science and Engineering”, Faculty of Technical science – Bitola, R. Macedonia
e-mail: abocevska@yahoo.com

²„CAD/CAM/CAE in Industry” lab, Technical University – Sofia, Bulgaria
e-mail: gdt@tu-sofia.bg

³ Department „Automatization of discrete production”, Technical University – Sofia, Bulgaria
e-mail: tresh@tu-sofia.bg

Abstract: This paper provides an overview of different technologies for rapid prototyping and compares the main features of the components derived from this technologies related to the surface roughness, dimensional accuracy and mechanical properties. Also, several popular rapid tooling techniques are classified. The comparison on these techniques is made based on tool life, tool development time and tool development cost.

Keywords: prototypes, Rapid prototyping, Rapid tooling.