

**RAPID PROTOTYPING ÎN
FABRICAREA SCULELOR
FLEXIBILE
partea I**

Cătălin IANCU

* Prof.dr.ing., Facultatea de Inginerie,
Univ."C-tin Brâncuși", Tg-Jiu

Rezumat: În lucrare sunt prezentate aplicații specifice Rapid Prototyping în fabricarea sculelor flexibile, capabile de adaptare și de schimbare, cu costuri rezonabile, atunci când se modifică tipul de produs. La baza obținerii acestor scule stă tocmai modelul RP, obținut prin diverse tehnologii specifice CAD/CAM/CNC. Sunt prezentate exemple de tehnologii de turnare speciale cum sunt turnarea în forme de ipsos și depunerea prin pulverizare cu metal topit.

Cuvinte cheie: Rapid Prototyping, scule flexibile, turnare specială cu model RP.

1. INTRODUCERE

1.1. Aplicație CAD/CAM - Rapid Prototyping

Una dintre cele mai importante implicații ale implementării CAD/CAM în procesele de producție este aceea a realizării de prototipuri ale produselor în regim rapid de lucru (RP - rapid prototyping).

RP este descris în principal ca metoda în care piesa este creată prin adăugare repetată a unui strat de material. Folosind programe de calculator specializate în grafică în trei dimensiuni, un model 3D CAD este "tăiat" în straturi sau secțiuni foarte subțiri. Apoi, în funcție de metoda specifică folosită, mașina sau sistemul RP construiește piesa strat cu strat până când o replică solidă a modelului CAD este generată. Selecția materialului este de asemenea specifică metodei folosite. Datorită caracteristicilor sale speciale, RP a făcut ca producerea de

**RAPID PROTOTYPING ÎN
MANUFACTURING OF
FLEXIBLE TOOLS
part I**

Cătălin IANCU

Prof.dr.eng., Faculty of Engineering,
Univ. "C-tin Brancusi" of Tg-Jiu

Abstract: The paper presents specific applications Rapid Prototyping in manufacturing flexible tool, able to adapt and change, with reasonable cost, when you change the type of product. In obtaining these tools stands just the RP model, obtained by various specific technologies CAD / CAM / CNC. There are examples of special casting technologies as forms of plaster casting and spraying molten metal deposit, both based on RP model.

Keywords: Rapid Prototyping, flexible tools, special casting on RP model.

1. INTRODUCTION

1.1. Application of CAD / CAM - Rapid Prototyping

One of the most important implications of the implementation of CAD / CAM in manufacturing processes is the achievement of rapid prototypes of goods under RP work system (RP - rapid prototyping).

RP is described primarily as a way the piece is created by adding a layer of material repeated. Using specialized computer software graphics in three dimensions, a 3D CAD model is "cut" in very thin layers or sections. Then, depending on the specific method used, the machine or RP system builds item layer by layer until a solid replica of CAD model is generated. Material selection is also specific to the method used. Due to its special characteristics, RP made the production of complex parts feasible. In addition, the simplicity of the planning

piese complexe să fie fezabilă. În plus, simplitatea planificării procesului a demonstrat potențialul acestei metode pentru realizarea unor procese de producție rapidă (RM – rapid manufacturing). Rezultatul RP – **prototipul** – reprezintă un model conceptual pentru vizualizarea și analiza proiectării. Poate fi folosit de ingineri pentru verificarea formei și pentru a realiza teste funcționale limitate.

Sistemele de RP permit utilizatorilor să producă prototipuri în mod rapid și eficient, dar și cu o precizie ridicată, încă din faza de proiectare. Aceste sisteme creează obiecte direct dintr-un model 3D CAD, permițând producătorilor atât să reducă dramatic timpul de proiectare și costurile, cât și să îmbunătățească substanțial calitatea produselor prin verificarea schițelor de proiectare. Toate sistemele de RP au în comun faptul că realizează prototipuri prin adăugare de noi straturi de material folosind informații din modelul CAD.

1.2. Fabricarea sculelor flexibile cu Rapid Prototyping

Noțiunea de *scule flexibile* se referă la capacitatea de adaptare și de schimbare a sculelor, cu costuri rezonabile, atunci când se modifică tipul de produs care se cere pe piața industrială.

Definirea sculelor flexibile are însă și alte semnificații, dincolo de flexibilitatea lor în raport cu produsul care se fabrică.

Potrivit unor autori și experți în domeniu din Europa de Vest și America, se presupune că sculele flexibile au următoarele caracteristici definitorii:

- sunt scule sau matrițe cerute pentru producția de serie mică. Aceasta depinde evident de tipul de produs și de caracteristicile sale. În unele industrii, cum ar fi cea de apărare, o serie mare poate fi considerată de câteva mii, pe când în industria producătoare de bunuri de larg consum, o serie mare este de câteva milioane, iar câteva sute de bucăți sunt considerate doar o serie de prototipizare a unui produs nou;

process demonstrated the potential of this method to achieve rapid production processes (RM - rapid manufacturing). The result of RP - **the prototype** - is a conceptual model for design visualization and analysis. Can be used by engineers to verify the shape and achieve limited functional testing.

RP systems allow users to produce prototypes quickly and efficiently and with high precision, since the design phase. These systems create objects directly from a 3D CAD model, enabling manufacturers to dramatically reduce both design time and cost and substantially improve product quality by verifying the design drawings. All PR systems have in common that prototype is made by adding new layers of fabric using information from CAD models.

1.2. Rapid Prototyping manufacturing of flexible tools

Flexible tool concept refers to the ability to adapt and change tools, at reasonable cost, when you change the type of product that is required on industrial market.

Defining flexible tool but also has other meanings, beyond their flexibility in relation to the product being manufactured.

According to some authors and experts from Western Europe and America, it is assumed that the flexible tools have the following defining characteristics:

- tooling or molds are required for small volume production. This obviously depends on the type of product and its features. In some industries, such as defense, may be considered a large number several thousand, while the manufacturing industry, consumer goods, a large number is several million and several hundred pieces are considered just a prototyping of a new product;

- flexible tools are normally associated with low costs. Virtually any tool or mold can be adapted or completely changed in the

- sculele flexibile sunt asociate în mod normal și cu costurile scăzute. Practic orice sculă sau matriță poate fi adaptată sau schimbată total, în vederea fabricării unui alt produs. Dar ideea și termenul de flexibilitate presupun această posibilitate de schimbare, cu costuri scăzute sau, oricum, rezonabile;
- definirea sculelor flexibile se referă și la tipul de material utilizat pentru fabricarea acelor scule. Din acest punct de vedere, sculele sau matrițele rigide sunt considerate ca fiind cele fabricate din oțel de scule călit (de exemplu, marca C120). Materialele cu duritate mai mică sunt considerate flexibile (de exemplu: silicon, cauciuc, rășini epoxidice, aliaje cu punct de topire scăzut, aliaje de zinc, aluminiu etc);
- este, de asemenea, posibil să se definească sculele flexibile și prin metoda lor de fabricație. Cele mai multe scule din oțel călit sunt fabricate prin procedee convenționale de așchiere sau combinate cu prelucrări prin electroeroziune la finisarea cavităților unor matrițe complexe. Sculele flexibile se fabrică prin procedee noi, cum ar fi: turnarea sub vid a matrițelor din cauciuc silionic, sinterizarea selectivă cu laser a pulberilor metalice, pulverizarea de metal topit în combinație cu formarea matrițelor ceramice sau celor din rășini polimerice etc.

Cu toate că există multe procedee de FRP, mulți ingineri nu le consideră pe acestea ca fiind prototipuri adevărate, ci doar modele. Proiectanții cer de multe ori ca prototipul adevărat să fie fabricat din același material ca și piesa finală funcțională și mai mult, uneori cer ca prototipul să fie realizat prin același procedeu de fabricație ca și cel ce va fi utilizat la producția de serie. Această cerință se bazează de multe ori pe tipul de strategie al fabricii respective.

Modelele fabricate prin RP pot fi doar dintr-un număr limitat de materiale, care sunt disponibile pentru aceste tehnici. Aceste materiale, de multe ori nu au proprietăți mecanice suficient de bune pentru a fi utilizate ca piese funcționale în producția de serie. Din aceste considerente, uneori nu este posibil ca modele obținute prin FRP să fie

manufacture of another product. But the idea and the term involving the possibility of change flexibility implies low cost, or at least reasonable;

- definition of flexible tools refers to the type of material used in the manufacture of those tools. From this point of view, tools, or rigid molds are considered to be made from hardened tool steel (eg, brand C120). Soft materials are considered flexible (eg silicone rubber, epoxy resins, low melting point alloy, zinc alloy, aluminum, etc.);
- it is also possible to define the flexible tools by their manufacturing method. Most hardened steel tools are made by conventional methods combined with cutting or machining in EDM finishing of cavities of complex molds. Flexible tools are manufactured by new procedures, such as vacuum casting silicone rubber molds, selective laser sintering, metal powder spraying molten metal in combination with the formation of ceramic molds or polymeric resin, etc..

Although there are many methods of FRP, many engineers do not consider these as real prototypes, but only models. Designers often ask the real prototype to be manufactured from the same material as the final functional piece and more sometimes require that the prototype to be realized through the same process, as that will be used in mass production. This requirement is often based on the type of plant strategy.

RP models can be manufactured only of a limited number of materials which are available for these techniques. These materials often have not sufficiently good mechanical properties for use as functional components in mass production. For these reasons, it is sometimes not possible for models produced by FRP to be used for functional tests. However, flexible tools can provide only manufacture of a limited quantity of real prototypes of said material for functional parts.

Using the models obtained by FRP, as a starting point in making flexible tool, they

utilizate pentru teste funcționale.

Oricum, sculele flexibile pot asigura fabricarea doar a unei cantități limitate de prototipuri adevărate, din materialul precizat pentru piesele funcționale.

Folosind modele obținute prin FRP, ca punct de pornire în fabricarea sculelor flexibile, acestea pot fi obținute într-un timp mult mai scurt comparativ cu tehnologiile clasice de fabricare a sculelor.

Există multe procese tehnologice care ar putea beneficia de avantajele oferite de utilizarea sculelor flexibile. Câteva dintre acestea sunt:

- în domeniul tehnologiilor de fabricare a pieselor din mase plastice:

- Injecția de mase plastice;
- Turnarea sub vid;
- Fabricarea materialelor compozite;
- Extrudarea.

- în domeniul tehnologiilor de fabricare a pieselor metalice:

- Turnarea în nisip (modele, forme, cutii cu miezuri);
- Turnarea cu modele ușor fuzibile (în general ceară);
- Fabricarea pieselor din tablă;
- Turnarea în matriță închisă;
- Forjarea.

- în domeniul tehnologiilor de fabricare a pieselor din material ceramic:

- Turnarea rapidă;
- Presarea pulberilor ceramice în forme complexe;
- Presarea isostatică.

2. EXEMPLE DE TEHNOLOGII RAPID PROTOTYPING APLICATE LA SCULE FLEXIBILE PENTRU TURNARE

2.1. Turnarea în forme din ipsos.

Turnarea în forme de ipsos se folosește ca un proces de fabricare rapidă ce simulează turnarea în matrițe.

Există diferite variante ale metodei, dar

can be obtained in a much shorter time compared with conventional manufacturing technology tools.

There are many processes that could benefit from the advantages of using flexible tools. Some of these are:

- in the manufacturing technology of plastic parts:

- Plastic injection;
- Vacuum Casting;
- Manufacture of composite materials;
- Extrusion.

- in metal parts manufacturing technologies:

- Sand Casting (models, shapes, boxes of cores);
- Casting models easily fusible (usually wax);
- Manufacture of sheet metal parts;
- Fill in the closed mold;
- Forging.

- in the manufacturing technology of ceramic parts::

- Fast Casting;
- Pressing ceramic powders into complex shapes;
- Isostatic pressing

2. EXAMPLES OF RAPID PROTOTYPING TECHNOLOGY APPLIED TO FLEXIBLE TOOLS FOR CASTING

2.1. Plaster casting molds.

Plaster casting is used as a rapid manufacturing process that simulates casting molds.

There are different variations of the method, but most take place after the route

majoritatea se desfășoară după itinerarul prezentat în figura 1, care constă din următoarele etape:

- se fabrică prin RP un model master, cât se poate de apropiat de forma piesei dorite. Nu este necesar să se includă și unghiurile înclinate ale pereților, în această etapă, dar poate fi util acest lucru;
- se toarnă sub vid, din cauciuc silionic, un negativ al modelului master;
- un al doilea model din cauciuc silionic se toarnă în cel anterior. Astfel se obține un model pozitiv din cauciuc silionic, al modelului RP inițial;
- se toarnă ipsos în jurul modelului pozitiv din cauciuc silionic, pentru a obține o cavitate din ipsos;
- se toarnă metal topit în cavitatea din ipsos;
- după solidificarea metalului, modelul din ipsos este spart și îndepărtat, pentru a se extrage și curăța piesa turnată.

shown in Figure 1, which consists of the following steps:

- RP is produced by a master model as close as possible the desired item. It is not necessary to include sloping angles of the walls at this stage but it may be useful;
- pour in a vacuum, silicone rubber, a negative master model;
- a second model of silicone rubber is poured in the first. This results in a positive model of silicone rubber, the original RP model;
- pour plaster around a positive model of silicone rubber to get a hole in the plaster;
- pour molten metal into the cavity of the plaster;
- after the solidification of metal, plaster model is broken and removed to drain and clean the casting.

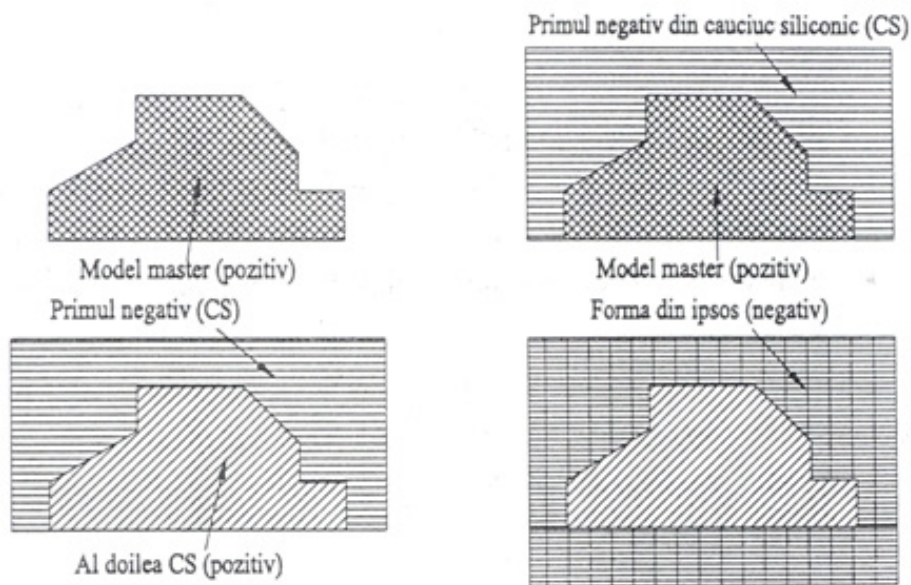


Figura 1. Principalele etape ale turnării în forme de ipsos, bazată pe RP
Figure 1. The main steps of casting the plaster forms, based on RP

Versiunea din cauciuc silionic a modelului master este necesară pentru a se putea extrage cu ușurință modelul din forma de ipsos.

Din experiența celor care utilizează astfel de metode, s-a constatat că timpul necesar pentru obținerea a zece piese metalice

Silicone rubber version of the master model is necessary in order to easily extract the shape of the plaster model.

From the experience of those who use such methods, it was found that the time required to obtain ten pieces of metal castings is eight days (from production of RP model). However, delivery time by this method of

turnate este de opt zile (de la fabricarea modelului RP). Oricum, timpul de livrare prin această metodă de fabricație, pentru un lot de circa 50 de bucăți de piese metalice turnate, este de circa 3 săptămâni.

Costul obținerii prototipurilor metalice prin acest procedeu este foarte scăzut comparativ cu costul matrițelor de turnare necesare în varianta clasică (doar 2...5% din costul matrițelor).

Avantajele turnării în forme din ipsos sunt:

- costuri scăzute ale formelor;
- posibilități de obținere a unor detalii fine pe suprafața pieselor;
- aplicabilitate și la piese de gabarit mare;
- tehnica este simplă, fără investiții costisitoare.

Dezavantajele sunt următoarele:

- viteza de răcire scăzută și ca atare proprietățile mecanice scad (cu circa 20%) față de turnarea convențională în matrițe;
- necesitatea de a turna o nouă formă din ipsos, pentru fiecare nor piesă metalică dorită;
- se folosesc aliaje puțin diferite la turnarea în forme din ipsos față de turnarea în matriță.

2.2. Depunere prin pulverizare cu metal topit.

Sculele și matrițele fabricate prin pulverizare de metal topit sunt folosite cu succes în multe aplicații, inclusiv deformările plastice la rece, injecția de mase plastice, turnarea sub presiune, turnare cu modele ușor fuzibile, etc.

Se pot fabrica astfel piese dintr-o mare varietate de materiale, cum ar fi: polipropilenă, ABS, poliamidă, precum și din materiale care sunt considerate dificile, cum ar fi materialele compozite.

Durabilitatea sculelor acoperite cu metal pulverizat depinde de câțiva factori și anume:

- cu cât scula sau matrița este mai complexă

manufacturing a batch of about 50 pieces of cast metal parts, is about three weeks.

The cost of obtaining metal prototypes by this process is very low compared to the cost of necessary hardware dies classical version (only 2 ... 5% of dies costs).

Advantages casting into plaster molds are:

- low cost forms;
- possibility of obtaining fine surface details of the pieces;
- applicability to large-dimension items;
- technique is simple, without costly investment.

The disadvantages are:

- Low cooling rate and thus lower mechanical properties (about 20%) compared to conventional casting molds;
- the need to cast a new form of plaster, metal parts required for each new item;
- slightly different alloys used in casting plaster molds to the casting mold.

2.2. Molten metal spray deposition

Tools and Dies manufactured by spraying molten metal are used successfully in many applications, including plastic deformation, injection molding, casting, casting models easily fuses, etc.

Such components can be manufactured from a wide variety of materials such as polypropylene, ABS, polyamide, and from materials that are considered difficult, such as composite materials.

Durability of sprayed metal coated tools depends on several factors, namely:

- As much as the tool or mold is more complex and has many fine details.

și are mai multe detalii fine. cu atât durabilitatea va fi mai mică. Se pot folosi inserții de aluminiu și bronz, acolo unde piesa are canale adânci sau detalii fine. Aceasta crește durabilitatea matrițelor acoperite cu spray metalic, asigurând o mai bună calitate a pieselor ce se vor fabrica cu aceste scule;

- o vâscozitate și o temperatură scăzută a materialului injectat vor mări durabilitatea matrițelor respective. Seria de fabricație ce se poate obține cu un set de matrițe acoperite prin spray metalic poate fi foarte variată. Poate fi scăzută, de 25...250 pentru polipropilenă, sau ridicată, de 1800 ...2500, pentru ABS. Durabilitatea matrițelor poate fi îmbunătățită prin evitarea șocurilor termice ale acestora. Pentru aceasta se recomandă ca, la prima utilizare, sculele să fie încălzite lent până la temperatura de lucru, după care procesul poate continua fără întreruperi;

- operatorul are un rol foarte important în determinarea durabilității sculelor acoperite metalic. Ele trebuie manipulate cu grijă, deoarece nu sunt la fel de robuste ca cele din oțel sau aluminiu. Trebuie reduse forțele de strângere la fixare pentru a evita strivirea.

Etapele de fabricare a unei matrițe acoperite prin pulverizare de metal topit sunt următoarele:

1. se fabrică un model RP care să aibă unghiurile de înclinare necesare și să țină seama de toleranța piesei care se va fabrica prin injecție;
2. se finisează suprafețele active ale modelului master pentru a obține o precizie și o rugozitate cât mai bună care se așteaptă și de la piesele ce se vor fabrica prin injecție din mase plastice, având în vedere că matrița ce va rezulta va fi o replică fidelă a modelului master;
3. modelul este poziționat la nivelul unui plan de separație, astfel încât să se poată depune spray metalic pentru prima jumătate a matriței;
4. modelul și planul de separație se acoperă cu un strat subțire de alcool polivinil (PVA) pentru a facilita extragerea ulterioară a modelului RP;
5. tijele extractoare și eventualele inserții

sustainability will be even lower. You can use aluminum inserts and bronze, where the piece has deep channels or fine detail. This increases the durability of metal molds covered with spray, ensuring a better quality of parts that will be manufactured with these tools;

- A low temperature viscosity of the injected material will increase the sustainability of those dies. Production Series you can get from a set of spray coated metal molds can be very varied. It may be low, 25 ... 250 for polypropylene, or high, 1800 ... 2500, ABS. Mold reliability can be improved by their avoidance of thermal shock. For it is recommended that for the first use, tools should be heated slowly up to temperature, after which the process can continue uninterrupted;

- The operator has an important role in determining the sustainability of metal coated tools. They must be handled carefully because they are not as robust as those of steel or aluminum. Clamping forces should be reduced to avoid crushing restraint.

Stages of manufacturing a mold by spraying molten metal covered are:

1. RP model is made to have the necessary angles and take into account the tolerance of the item that will be manufactured by injection;
2. the surfaces of the master model are polished to obtain improved accuracy and better surface roughness as expected from the parts that will be manufactured by injection plastic mold, since the mold will result to be a faithful replica of the model master;
3. model is positioned in the separation plan, so that metal can be deposited spray for the first half of the mold;
4. the model and the separation plan is covered with a thin layer of polyvinyl alcohol (PVA) to facilitate subsequent extraction of RP model;
5. extracts and possible inserts rods will be

- se vor poziționa înainte de spray-ul metalic. Aceste tije extractoare au rolul de a facilita evacuarea viitoarelor piese turnate sau injectate, dar ele sunt utile și în faza de fabricare a matrițelor, pentru evacuarea modelului RP;
6. în continuare se depune prin pulverizare un strat metalic de circa 2 mm grosime, într-o singură sesiune de lucru, pentru a nu apărea oxidarea între straturi, ceea ce ar putea duce ulterior la exfolierea acestora;
 7. pentru a conferi rezistență acestei cruste metalice subțiri, pe partea posterioară a acesteia se depune un material de suport, în general o rășină epoxidică. La început, rășina se depune prin vopsire pentru a asigura umplerea completă a cavităților, după care se toarnă rășina respectivă, până se obține grosimea necesară. Uneori se folosește aluminiul sau o altă pulbere metalică, nu atât pentru armarea rășinii, cât mai ales pentru creșterea conductivității termice a viitoarei matrițe. Se poate prevedea în această etapă și o rețea de canale sau țevi subțiri pentru răcirea cu apă;
 8. după ce s-a turnat spatele matriței, aceasta se prelucrează (prin frezare) pentru a asigura planeitatea. În etapele 1-8 s-a format doar o semimatriță, pentru cea de a doua semimatriță metoda și etapele de lucru desfășurându-se analog. Aceste etape sunt ilustrate în figura 2;
 9. se rotește cu 180 grade modelul RP, se poziționează pe suprafața plană frezată anterior și se înlătură placa ce delimitează planul de separație al celor două semimatrițe;
 10. se repetă etapele 4-8 pentru a forma și a doua semimatriță;
 11. înlăturarea modelului RP este poate partea cea mai dificilă a metodei. Dacă nu se lucrează cu atenție maximă, se poate ca unele porțiuni din stratul metalic depus să se desprindă împreună cu modelul RP. Tijele extractoare pot fi foarte utile în această etapă.
- positioned before the metal spray. The extractor rods were designed to facilitate future disposal or injection molded parts, but they are useful also in manufacturing molds for the evacuation model RP;
6. to continue is to be deposited by sputtering a metallic layer about 2 mm thick in a single session, to avoid oxidation occurs between layers, which subsequently could lead to their exfoliation;
 7. to confer resistance to this metal thin crusts, on the back of it is deposited a support material, generally an epoxy resin. At first, the resin is deposited by coating, to ensure complete filling of cavities, then the resin is poured, to obtain the required thickness. Sometimes they use aluminum or other metal powder, not so much to reinforce the resin, but especially to increase the thermal conductivity of the future dies. It can be made at this stage and a fine network of channels and pipes for cooling water;
 8. after casting the back of the mold, it is processed (milled) to ensure flatness. 1-8 stages formed only a half-die, for the second half-die working method and steps are similar to first. These steps are illustrated in Figure 2;
 9. the RP model is rotated 180 degrees, milled flat surface is positioned above, the plate is removed and delineate the separation plan of the two half-dies;
 10. Repeat steps 4-8 to form and second half-die;
 11. removing the RP model is perhaps the most difficult part of the method. If you do not work with full attention, it is possible that some portions of the deposited metal is released together with the RP model. The extractor rods can be very useful in this phase.
- In the end are assembled the two half-dies for manufacturing by vacuum molding or injection of pieces of desired plastic.

În continuare se assemblează cele două semimatrițe pentru fabricarea prin turnare sub vid sau prin injecție a pieselor din materialul plastic dorit.

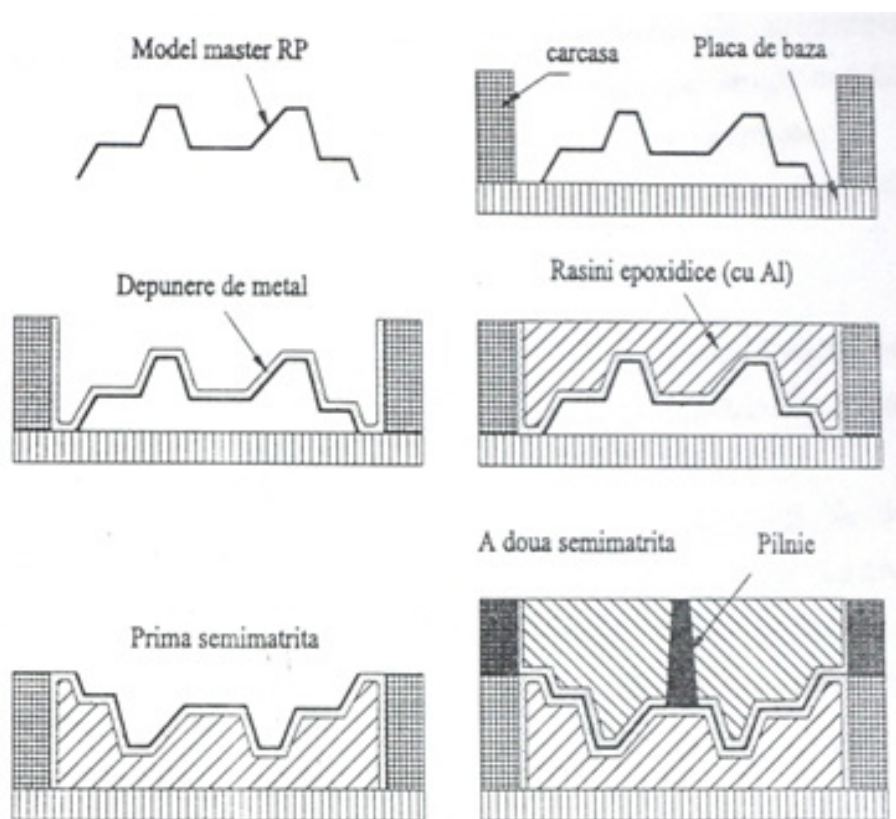


Figura 2. Etapele principale de fabricare a matrițelor prin depunere de spray metalic pe model RP

Figure 2. The main stages of manufacture of molds by Metal spray deposition on RP model

3. CONCLUZII

Turnarea în forme de ipsos se folosește ca un proces de fabricare rapidă ce simulează turnarea în matrițe. Costul obținerii prototipurilor metalice prin acest procedeu este foarte scăzut comparativ cu costul matrițelor de turnare necesare în varianta clasică (doar 2...5% din costul matrițelor).

Sculele și matrițele fabricate prin pulverizare de metal topit sunt folosite cu succes în multe aplicații, inclusiv deformările plastice la rece, injecția de mase plastice, turnarea sub presiune, turnare cu modele ușor fuzibile, etc. Se pot fabrica astfel piese dintr-

3. CONCLUSIONS

Plaster casting is used as a rapid manufacturing process that simulates casting molds. The cost of obtaining metal prototypes by this process is very low compared to the cost of necessary hardware dies classical version (only 2 ... 5% of the blanks).

Tools and Dies manufactured by spraying molten metal are used successfully in many applications, including plastic deformation, injection molding, pression casting, casting models easily fuses, etc.. Such components can be manufactured from a wide variety of materials such as

o mare varietate de materiale, cum ar fi: polipropilenă, ABS, poliamidă, precum și din materiale care sunt considerate dificile, cum ar fi materialele compozite.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Petru Berce, Nicolae Bâlc, *Fabricarea rapidă a prototipurilor*, Editura Tehnică, București, 2000.
- [2] Girouard D., *Rapid Tooling – How Does Rapid Prototyping Decline ?*, Proceedings of the 3rd European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing, Nottingham, Great Britain, July 1994.
- [3] Dickens P.M., *Rapid Prototyping processes of physical parts*, in Concurrent Engineering, concepts, implementation and practice, Syan C.S. Chapman & Hall, London, 1994.
- [4] Chua C.K., Leong K.F., *Rapid Prototyping: Principles and Applications in Manufacturing*, John Wiley, New York, 1997.

polypropylene, ABS, polyamide, and from materials that are considered difficult, such as composite materials.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Petru Berce, Nicolae Bâlc, *Fabricarea rapidă a prototipurilor*, Editura Tehnică, București, 2000.
- [2] Girouard D., *Rapid Tooling – How Does Rapid Prototyping Decline?*, Proceedings of the 3rd European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing, Nottingham, Great Britain, July 1994.
- [3] Dickens P.M., *Rapid Prototyping processes of physical parts*, in Concurrent Engineering, concepts, implementation and practice, Syan C.S. Chapman & Hall, London, 1994.
- [4] Chua C.K., Leong K.F., *Rapid Prototyping: Principles and Applications in Manufacturing*, John Wiley, New York, 1997.