

Mgr inż. Sławomir FRĄCKOWIAK  
Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań  
e-mail: slawomir.frackowiak@inop.eu

# Projektowanie procesów technologicznych wytłoczek osiowosymetrycznych na wyoblarkach sterowanych CNC

## *Designing technological processes of axisymmetrical drawpieces on CNC spinning machines*

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono klasyfikację procesów kształtowania obrotowego z uwzględnieniem najnowszych metod kształtowania wyrobów osiowosymetrycznych. Omówiono najczęściej występujące wady w wytłoczkach kształtowanych obrotowo oraz wpływ parametrów procesów technologicznych na ich powstawanie oraz różne rodzaje ruchów roboczych narzędzi. Opisano także metodykę projektowania trajektorii i rodzaje ruchów roboczych rolek występujące w procesie kształtowania obrotowego wytłoczek.

### **Abstract**

*The paper presents a classification of rotary forming processes considering the latest methods of forming axisymmetrical products. The most often occurring defects of rotarily formed drawpieces have been discussed and so has the influence of the technological process parameters on their presence, as well as various kinds of tool motions. The methodology of trajectory designing and kinds of working motions of rollers occurring in the process of rotary forming of drawpieces have also been described.*

**Słowa kluczowe:** CNC, kształtowanie obrotowe, wyoblanie, wytłoczka, wzornik

**Key words:** CNC, rotary forming, metal spinning, drawpiece, mandrel

## **1. WSTĘP**

Do różnych metod kształtowania obrotowego zalicza się procesy, które umożliwiają kształtowanie wyrobów osiowosymetrycznych. Wspólną cechą wszystkich metod kształtowania obrotowego, są rodzaje narzędzi roboczych, do których zaliczamy:

- wzornik,
- rolki kształtujące,
- dociskacz.

Materiał jest kształtowany w jednym lub w kilku przejściach rolki. Wyroby wykonywane metodą kształtowania obrotowego mają, w porównaniu do tłoczenia, wiele zalet, m.in.:

- kształtowanie materiału rolką następuje przy znacznie mniejszych siłach,
- wyroby mają wyższe własności wytrzymałościowe.

## **1. INTRODUCTION**

*Rotary forming comprises processes which allow for forming axisymmetrical products. A common feature of all the rotary forming methods are the kinds of tools which include:*

- mandrel,
- forming rollers,
- blankholder.

*The material is formed in one or more passes of the roller. Compared to products made by stamping, the ones made by the method of rotary forming have many advantages, including:*

- *material forming by a roller is effected with much less forces,*
- *the products have higher strength properties.*

## 2. KLASYFIKACJA PROCESÓW KSZTAŁTOWANIA OBROTOWEGO

Ze względu na ciągły postęp w dziedzinie plastycznego kształtowania obrotowego metali poszerza się klasyfikacja procesów technologicznych w tym zakresie. Kształtowanie obrotowe obejmuje grupę następujących procesów:

- wyoblanie,
- zgniatanie obrotowe,
- kształtowanie hybrydowe (mieszane).

W procesie wyoblania grubość ścianki wyrobu pozostaje prawie taka sama, natomiast podczas zgniatania obrotowego następuje zamierzona redukcja grubości ścianki. Kształtowanie hybrydowe jest procesem którym występują cechy zarówno procesu zgniatania jak i procesu wyoblania. Każdy z wymienionych procesów może odbywać się także na zimno i na gorąco.

Proces kształtowania obrotowego na gorąco może odbywać się z:

- podgrzewaniem laserowym,
- podgrzewaniem palnikami,
- podgrzewaniem strumieniem gorącego powietrza.

Propozycję klasyfikacji procesów kształtowania obrotowego z uwzględnieniem nowych procesów przedstawiono na rys. 1 [1].

## 2. CLASSIFICATION OF THE ROTARY FORMING PROCESSES

Due to continuous progress in the field of rotary plastic forming of metals, the classification of technological processes in that scope is growing broader. Rotary forming comprises the following group of processes:

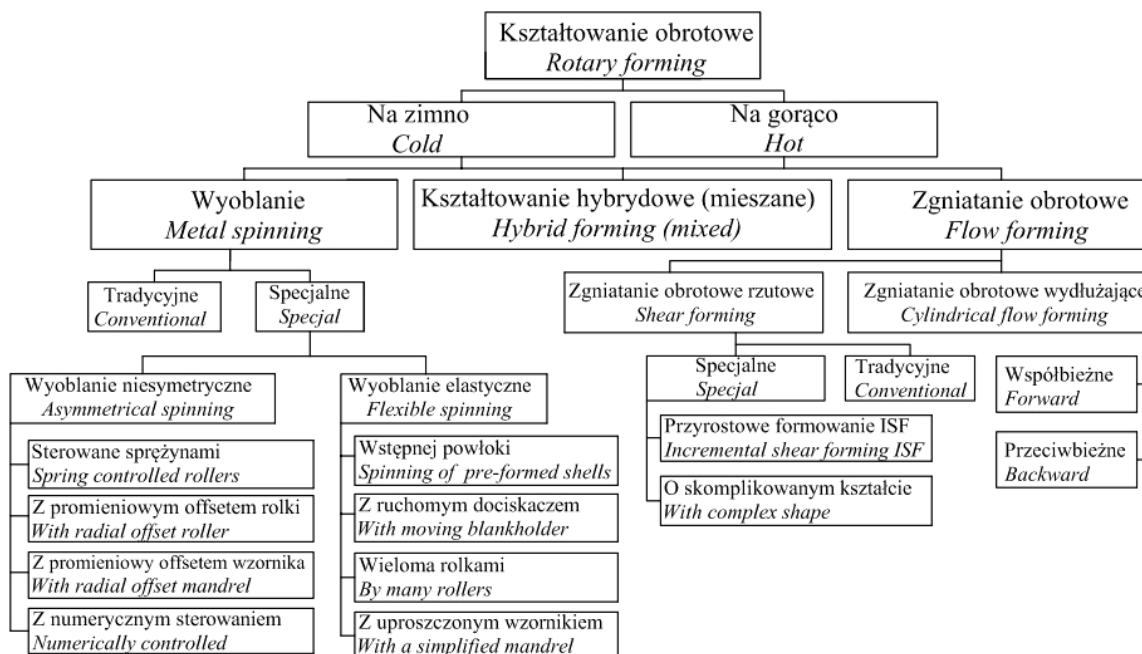
- metal spinning,
- flow forming,
- hybrid (mixed) forming.

In the metal spinning process, the product wall thickness remains the same; in flow forming the wall thickness is intentionally reduced. Hybrid forming reveals the features of both the extrusion process and the spinning process. Each of the processes under discussion can be performed in the cold and hot state.

Hot rotary forming process can be effected with:

- laser heating,
- heating by burners,
- heating by a stream of hot air.

A proposal of rotary forming processes classification incorporating new processes can be found in fig. 1. [1]



Rys.1. Klasyfikacja procesów kształtowania obrotowego [1]

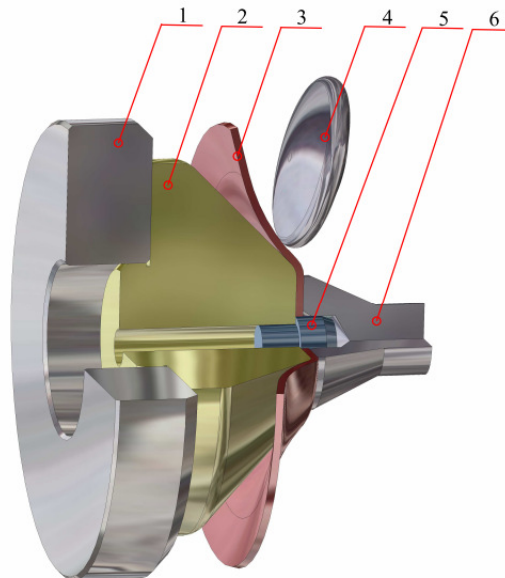
Fig. 1. Classification of rotary forming processes [1]

### 3. SCHEMAT PROCESU WYOBLANIA

Na rys. 2 przedstawiono zasadę procesu wyoblania. Na początku procesu krążek blachy (3) jest umieszczony na kołku centrującym (5). Następnie dociskacz (6) przesuwa się do materiału wyjściowego który zostaje zaciśnięty pomiędzy wzornikiem (2) a dociskaczem(6). Po uruchomieniu maszyny wrzeciono (1), na którym zainstalowany jest wzornik (2) obraca się razem z materiałem (3) i dociskaczem (6). Następnie rolki wyoblające (4), dociskane do obracającego się krążka blachy, kształtują stopniowo materiał na wzorniku.

### 3. SPINNING PROCESS DIAGRAM

*In fig. 2, the principle of the metal spinning process is shown. At the beginning of the process, a sheet metal disk (3) is located on the centering pin (5). Then, the blankholder (6) moves to the initial material which is clamped between the mandrel (2) and the blankholder (6). When the machine is started, the spindle (1), on which the templet (2) is installed, rotates together with the material (3) and the blankholder (6). Then the spinning rollers (4), pressed to the rotating sheet disk gradually form the material on the mandrel.*



Rys. 2. Schemat procesu wyoblania

1 – wrzeciono, 2 – wzornik, 3 – materiał obrabiany, 4 – rolka, 5 – kołek centrujący, 6 – dociskacz

*Fig. 2. A diagram of the spinning process*

*1 – spindle, 2 – mandrel, 3 – material being processed, 4 – roller, 5 – centering pin, 6 – blankholder*

### 4. WPŁYW PARAMETRÓW TECHNOLOGICZNYCH NA PROCES WYOBLANIA

W procesie wyoblania jest wiele czynników, które wpływają na przebieg procesu kształtowania materiału.

Na przebieg procesu wyoblania mają wpływ następujące parametry: prędkość obrotowa wzornika, prędkość posuwu rolki, średnica rolki, promień roboczy rolki, geometria narzędzi, liczba przejazdów narzędzia, grubość i średnica krążka blachy.

### 4. INFLUENCE OF THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE SPINNING PROCESS

*Material forming in the process of metal spinning is influenced by many factors.*

*The process proceeding is under the influence of the following parameters: the rotational speed of the mandrel, roller travel speed, roller diameter, working radius of the roller, tool geometry, number of tool passes, the sheet disk thickness and diameter.*

#### 4.1. Prędkość obrotowa wzornika

Zwiększenie prędkości obrotowej wzornika -  $n$ , przy niezmiennych pozostałych parametrach, poprawia jakość powierzchni, zmniejsza chropowatość, zmniejsza odchyłkę okrągłości wyrobu oraz zmniejsza siły potrzebne do kształtowania. Zwiększenie obrotów zmniejsza tendencję do fałdowania materiału, ale powoduje większe pocienienie i zwiększa prawdopodobieństwo pęknięcia materiału. Obroty wzornika -  $n$  dobiera się wg następującego wzoru [2]:

$$n = \frac{9500 \sim 320000}{D}$$

gdzie:

$D$  – średnica krążka blachy.

Z równania wynika że, istnieje duży zakres wyboru wielkości obrotów wzornika. Na przykład zakładając średnice krążka  $\phi 100$  mm, prędkość obrotowa wzornika mieści się w granicach od 95 do 3200 obr/min<sup>-1</sup>.

#### 4.2. Posuw rolki roboczej

Wpływ posuwu rolki roboczej -  $p$  na proces kształtowania przy niezmiennych pozostałych parametrach jest znaczny. Zmniejszenie posuwu poprawia te same parametry co zwiększenie obrotów wzornika i również wpływa na wzrost pocienienia ścianki. Jednak wpływ tego parametru na proces kształtowania jest większy niż w przypadku prędkości obrotowej, gdyż jego zmiana tylko o 20% ma już istotny wpływ.

#### 4.3. Promień roboczy rolki

Dobór odpowiedniego promienia rolki -  $R$  jest bardzo ważny. Przy określaniu promienia rolki należy brać pod uwagę: rodzaj materiału, grubość oraz wielkość krążka. Dla materiałów trudno odkształcalnych i grubszych stosuje się mniejszy promień. Mały promień rolki powoduje większe pocienienie ścianki. Większy promień należy stosować dla materiałów o dobrych właściwościach tłocznych np. DC04, aluminium 1050A.

#### 4.1. Rotational speed of the mandrel

*Increase of the mandrel rotational speed –  $n$ , with other parameters unchanged, improves the surface quality, reduces roughness, reduces the product roundness deviation and reduces the forces necessary for forming. Speed increase reduces the tendency to material corrugation, but causes more thinning and increases the probability of material cracking. The mandrel speed –  $n$ , is selected according to the following formula [2]:*

$$n = \frac{9500 \sim 320000}{D}$$

where:

$D$  – the sheet disk diameter.

*The equation indicates that there is a large range of the mandrel speed to be selected. For example, assuming the disk diameter of  $\phi 100$  mm, the mandrel speed is within the limits of 95 to 3200 rpm.*

#### 4.2. Working roller travel

*The influence of the roller travel –  $p$ , on the forming process, with the other parameters unchanged, is significant. Reduction of the travel improves the same parameters as the increase of the mandrel rpm and also influences the wall thinning increase. However, this parameter influences the process of forming more than the rotational speed: its alteration of 20% has a significant influence.*

#### 4.3. Working radius of the roller

*The selection of the adequate radius of the roller,  $R$ , is very important. When determining the roller radius, one should consider: the kind of material, the disk thickness and size. For hard-to-deform and thicker materials, smaller radius is applied. Smaller roller radius gives more thinning of the wall. Larger radius should be used for materials with good drawability properties, e.g. DC04, 1050A aluminum.*

Stosowanie większego promienia rolki poprawia jakość powierzchni oraz zmniejsza owalizacje wyrobu. Zalecany promień roboczy rolki wynosi [2]:

$$R = (0,012 \div 0,05)D$$

gdzie:

$D$  – średnica krążka blachy.

#### 4.4. Średnica rolki wyoblającej

Wielkość średnicy rolki -  $D_r$ , nie ma bezpośredniego związku z powstawaniem wad wytłoczki. Dobór średnicy rolki odbywa się na podstawie wzoru empirycznego zapewniający odpowiednią prędkość obrotową rolki, która nie może przekroczyć granicznych prędkości obrotowych łożysk rolki roboczej [2]:

$$D_r = 0,1D + 120 \pm 60$$

gdzie:

$D$  – średnica krążka blachy.

#### 4.5. Grubość krążka blachy

Im większa grubość blachy –  $g$ , tym mniejsze tendencje materiału do fałdowania, ale konieczne są większe siły do kształtowania. Dla cienkich blach stosowane jest podparcie blachy, w postaci dodatkowej rolki podpierającej, celem zapobiegnięcia utraty stateczności przez krążek w czasie kształtowania.

#### 4.6. Średnica krążka

Im większa jest średnica krążka –  $D$ , tym trudniej uzyskać wyrób bez fałdowania. Fałdowanie spowodowane jest tym, że krążek blachy łatwiej traci stateczność przy krawędzi na obwodzie, gdzie występuje dużo większa prędkość liniowa, tym większa, im większa jest średnica krążka. Utrata stateczności zachodzi przede wszystkim w wyrobach o dużym zakresie kształtowanej powierzchni.

*Application of larger roller radius improves the surface quality and reduces the product ovalization. The recommended working radius of the roller is [2]:*

$$R = (0.012 \div 0.05)D$$

where:

$D$  – the sheet disk diameter.

#### 4.4. Diameter of the metal spinning roller

*The magnitude of the roller diameter,  $D_r$ , has no direct relationship with the formation of drawpiece defects. The diameter is selected on the basis of the empirical formula ensuring the adequate rotational speed of the roller which must not exceed the limit speeds of the working roller bearings [2]:*

$$R = 0.1D + 120 \pm 60$$

where:

$D$  – the sheet disk diameter.

#### 4.5. Sheet disk thickness

*The larger sheet disk thickness,  $g$ , the less tendency to material corrugation, but larger forces are necessary for forming. For thin sheets, support of the sheet in the form of a supporting roller is applied in order to prevent the disk stability loss during forming.*

#### 4.6. The disk diameter

*The larger is the disk diameter,  $D$ , the more difficult it is to obtain a product without corrugation. Corrugation results from the fact that the sheet disk loses its stability easier at the edge on the circumference where the linear speed is higher; the larger is the disk diameter, the larger the linear speed. Loss of stability takes place mostly in products with big range of the surface being formed.*

## 5. WADY WYROBÓW WYSTĘPUJĄCE PODCZAS PROCESU WYOBLANIA

Występowanie wad podczas procesu wyoblania jest uzależnione od rodzaju wprowadzonych naprężeń, które zależą od kierunku ruchu rolki roboczej.

Gdy rolka porusza się w kierunku krawędzi zewnętrznej krążka, w materiale występują naprężenia obwodowe ściskające i promieniowe rozciągające. Gdy rolka robocza porusza się w kierunku środka krążka, to są wprowadzane naprężenia obwodowe ściskające i promieniowe ściskające (rys. 3) [3].

Do najczęściej występujących wad podczas procesu wyoblania zaliczamy: fałdowanie, pęknięcia obwodowe oraz pęknięcia promieniowe (rys. 4).

Fałdowanie krążka (rys. 4a) występuje wówczas, gdy do materiału są wprowadzone za duże naprężenia ściskające (zbyt duże przeformowanie w jednym przejściu narzędzia). Aby zapobiec fałdowaniu należy zwiększyć liczbę przejść narzędzia.

Pęknięcie obwodowe (rys. 4b) występuje wówczas gdy w materiale są wprowadzane za duże naprężenia promieniowe rozciągające.

Pęknięcia promieniowe (rys. 4c) występują, gdy są wprowadzane za duże naprężenia rozciągające obwodowe, lub w przypadku, gdy powstałe fałdy są obciskane na wzorniku.

## 5. PRODUCT DEFECTS OCCURRING DURING THE PROCESS OF METAL SPINNING

*The occurrence of defects during the metal spinning process is related to the kind of stresses introduced, which stresses depend on the direction of the roller motion.*

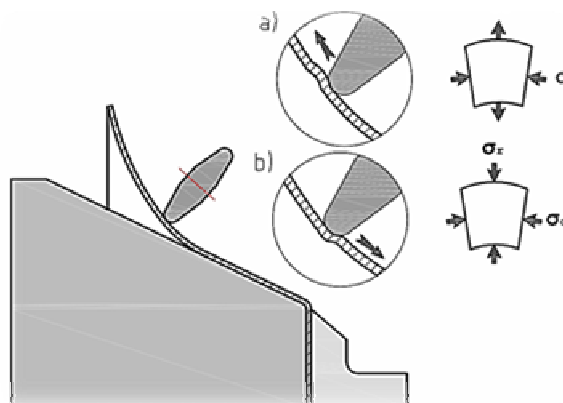
*When the roller moves towards the outer edge of the disk, circumferential compressive and radial tensile stresses appear in the material. When the roller moves towards the middle of the disk, circumferential compressive stresses and radial compressive stresses are introduced (fig. 3) [3].*

*The defects occurring most often during the process of spinning are: corrugation, circumferential cracks and radial cracks (fig. 4).*

*Corrugation of the disk (fig. 4a) takes place when too large compressive stresses are introduced to the material (too much deformation in one tool pass). In order to prevent corrugation, the number of tool passes should be increased.*

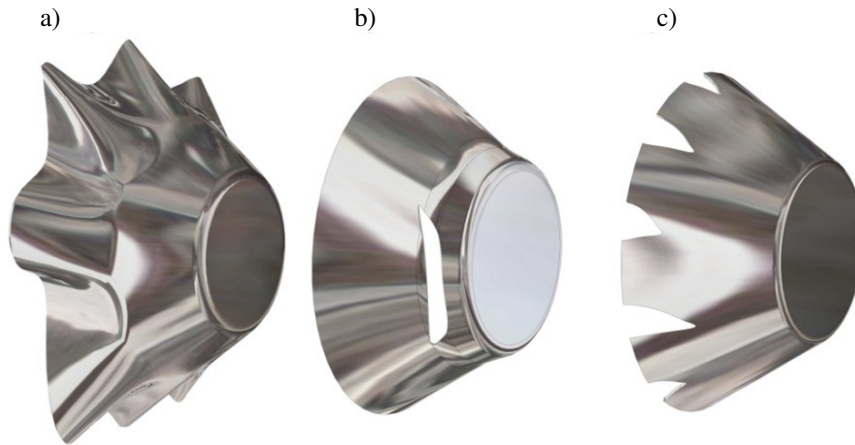
*Circumferential cracking (fig. 4b) takes place when too large radial tensile stresses are introduced to the material*

*Radial cracks (fig. 4c) take place when too large circumferential tensile stresses are introduced or in case the corrugations are crimped on the mandrel.*



Rys. 3. Rozkład naprężeń w zależności od kierunku ruchu rolki roboczej [3]  
a) ruch rolki w kierunku krawędzi zewnętrznej krążka, b) ruch rolki w kierunku środka krążka

Fig. 3. Stress distribution depending on the direction of the working roller movement [3]  
a) roller moving towards the disk outer edge, b) roller moving towards the middle of the disk



Rys. 4. Rodzaje wad podczas wyoblania: a) fałdowanie, b) pęknięcia obwodowe, c) pęknięcia promieniowe  
 Fig. 4. Kinds of defects arising during spinning: a) corrugation, b) circumferential cracks, c) radial cracks

## 6. PROJEKTOWANIE TRAJEKTORII RUCHÓW NARZĘDZI

### 6.1. Zasady projektowania ścieżek narzędzia

Projektowanie trajektorii ruchów narzędzi jest obecnie nierozwiązanym problemem. Podjęto trzy próby zautomatyzowania projektowania trajektorii ruchów poprzez: systemy ze sprzężeniem zwrotnym i przez porównanie parametrów z wcześniejszymi przypadkami [2].

H. Dierig [4] zaproponował system kontroli siły na narzędziu w czasie rzeczywistym, który miał za zadanie utrzymanie stałego poziomu siły na narzędziu. Taki system nie zapewnił uzyskania wyrobu bez fałdowania. Natomiast G. Reil [5] zaproponował stosowanie różnych sił w czasie całego procesu przez tak zwane sterowanie rozmyte. Stwierdził, że przy użyciu tej metody może być zmniejszone pocienienie ścianki nawet o 21% w porównaniu do niekontrolowanego procesu. Następną próbą zautomatyzowania projektowania trajektorii ruchów zaproponowana została przez R. Ewersa [6], który zaproponował automatyzację projektowania ścieżek narzędzia na podstawie podobieństwa do poprzednich przypadków. Takie podejście usprawnia projektowanie trajektorii narzędzia o ok. 37%, ale wymaga dużej bazy danych [2].

## 6. DESIGNING THE TOOL MOTION TRAJECTORIES

### 6.1. Tool path designing principles

*At the moment, designing the tool motions is an unsolved problem. Three trials of automating the design of motion trajectories have been undertaken: by systems with feedback and by comparison to previous cases [2].*

*H. Dierig [4] has proposed a system of tool force control in actual time, the task of which was to maintain constant level of force on the tool. Such a system has not prevented product corrugation. G. Reil [5] has proposed the application of various forces during the whole process by so-called fuzzy control. He has found that, when using this method, wall thinning can be reduced by as much as 21% as compared to the uncontrolled process. Another attempt at automatizing trajectory designing has been made by R. Ewers [6] who has proposed automation of the tool path designing on the basis of similarity to previous cases. Such an approach facilitates the tool trajectory designing by about 37% but requires a vast data base [2].*

Ponadto istnieją również programy CAM wspierające projektowanie trajektorii narzędzia. Są to: program OPUS - opracowany przez Leifeld GmbH i program SpinCAD - opracowany przez MJC lub zastosowany w Instytucie Obróbki Plastycznej program Trop CNC. Jednak te programy CAM służą do wizualizacji trajektorii ruchów narzędzia i sprawdzenia czy istnieją ewentualne kolizje narzędzi oraz przekonwertowania do kodu CNC. Projektowanie trajektorii ruchu narzędzi odbywa się więc głównie dzięki doświadczeniu programisty.

W dalszej części artykułu przedstawiono wpływ trajektorii ruchu narzędzia na jakość końcową wytłoczki. Napisanie programu sterującego ruchem rolki podczas procesu kształtowania stanowi najtrudniejszą część w całym procesie projektowania. Obecnie istnieją tylko wskazówki, jak należy prowadzić narzędzie, aby uzyskać wyrób wolny od wad.

Różne rodzaje trajektorii ruchu narzędzia zostały przedstawione na rys. 5.

Badania nad trajektorią ruchu rolki kształtującej zostały przeprowadzone przez Hayama i innych [7]. Autorzy ci stwierdzili, że najlepsze wyniki uzyskali dla trajektorii ruchu narzędzia łukowo wklęsłego, dla którego wartość współczynnika wyoblania  $R$  wyniosła  $R = 2,5$  w porównaniu do kołowo wypukłego  $R = 2,0$  i liniowego  $R = 1,7$ . Współczynnik wyoblania  $R$  jest określony wzorem:

$$R = \frac{g_0 - g_1}{g_0} \cdot 100\%$$

gdzie:

$g_0$  - grubość materiału wyjściowego,

$g_1$  - minimalna grubość wytłoczki bez pęknięcia.

Rozkład kolejnych ruchów rolki roboczej podczas procesu wyoblania został przedstawiony na rys. 6.

*Moreover, there are also CAM programs assisting tool trajectory designing. Those are program OPUS elaborated by Leifeld GmbH and program SpinCAD elaborated by MJC or program Trop CNC used by the Metal Forming Institute. However, those CAM programs serve to visualize the tool movement trajectories and check if there are any collisions or conversions to the CNC code. The tool trajectory design is, therefore effected thanks to the experience of the programmer.*

*The further part of the paper presents the influence of the tool motion trajectory in the final drawpiece quality. Writing the program controlling the roller motion during the process of forming is the most difficult part of the whole process of designing. At the moment, there are only guides indicating how to lead the tool to obtain a product free of defects.*

*Various kinds of tool motion trajectories can be seen in fig. 5.*

*The forming roller trajectory has been investigated by Hayam and others [7]. Those authors have found that the best results were obtained with the concave arc trajectory for which the value of the metal spinning factor,  $R$ , was 2.5 compared to the circular convex,  $R = 2.0$  and linear  $R = 1.7$ . The metal spinning factor,  $R$ , is determined by the formula:*

$$R = \frac{g_0 - g_1}{g_0} \cdot 100\%$$

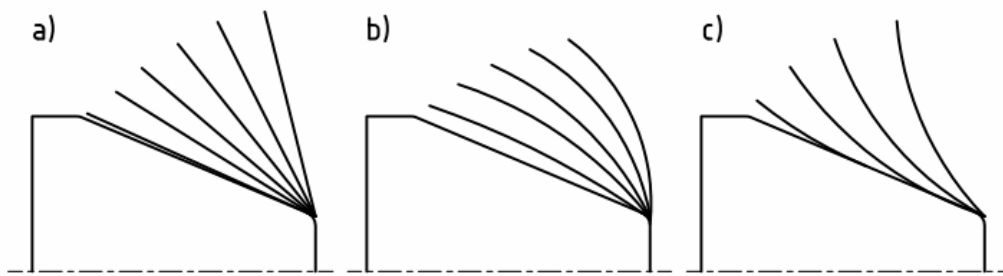
where:

$g_0$  – initial material thickness,

$g_1$  – minimum drawpiece thickness without a crack.

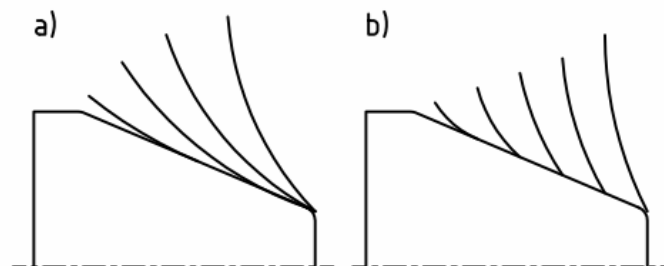
*The subsequent roller motions during the process of metal spinning has been presented in fig. 6.*





Rys. 5. Rodzaje trajektorii ruchów narzędzia podczas wyoblania: a) liniowa b) łukowo wypukła c) łukowo wklęsła

*Fig. 5. Kinds of tool trajectories in spinning: a) linear, b) convex arc, c) concave arc*



Rys. 6. Rozkład kolejnych ruchów rolki podczas procesu wyoblania: a) stopniowe zmniejszanie średnicy krążka, b) stopniowe kształtowanie na wzorniku

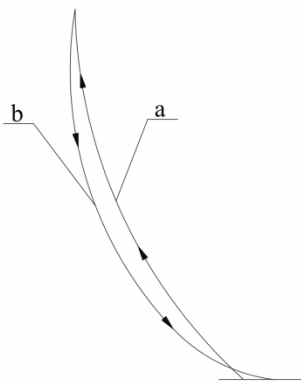
*Fig. 6. Roller motions during the spinning process: a) gradual reduction of the disk diameter, b) gradual forming on the mandrel*

Wybór rodzaju kolejnych ruchów narzędzia jest uzależniony przede wszystkim od kształtu oraz od długości wytłoczki. Dla długich wyrobów korzystne jest stosowanie ruchów ze stopniowym odkształcaniem materiału na wzorniku (rys. 6b). Natomiast dla przedmiotów krótkich korzystniej jest stosować ruchy o stałym zmniejszaniu średnicy krążka (rys. 6a). Podyktowane jest to uzyskaniem większej równomierności rozkładu grubości ścianki oraz krótszym czasem trwania procesu kształtowania.

Narzędzie kształtujące - rolka pracuje zarówno podczas ruchu w kierunku brzegu krążka jak i odwrotnym (rys. 7). Kierunek poruszania się rolki wpływa na rodzaj wprowadzanych naprężeń do materiału. Rolka poruszając się ku brzegowi krążka pocienia go na mniejszych średnicach a pogrubia na większych. W przypadku ruchu w przeciwnym kierunku sytuacja jest odwrotna. Należy pamiętać, że podczas ruchu rolki w kierunku dociskacza materiał zbiera się przed rolką i konieczne jest rozproszczenie tego materiału. Nierozproszczenie tego materiału może spowodować powstanie zgrubień materiału na części wyrobu dociśniętej już do wzornika.

*The selection of the tool motion kind is related, first of all, to the drawpiece shape and length. For long products, it is disadvantageous to apply motions with gradual material deformation of the mandrel (fig. 6b). For short objects, on the other hand, it is better to apply motions with small reduction of the disk diameter (fig. 6a). This is to obtain a more even distribution of the wall thickness and shorter forming process time.*

*The forming, i.e. the roller, works both during its movement towards the disk edge and in the opposite direction (fig. 7). The roller movement direction influences the kind of stresses introduced into the material. The roller, moving towards the disk edge, thins it on the smaller diameters and makes it thicker on the longer ones. In the case of the other roller movement direction, the situation is opposite. It should be kept in mind that, during the roller movement toward the blankholder, the material gathers in front of the roller and it has to be distributed. If it is not distributed, shoulders of material can arise on the product part already pressed to the mandrel.*



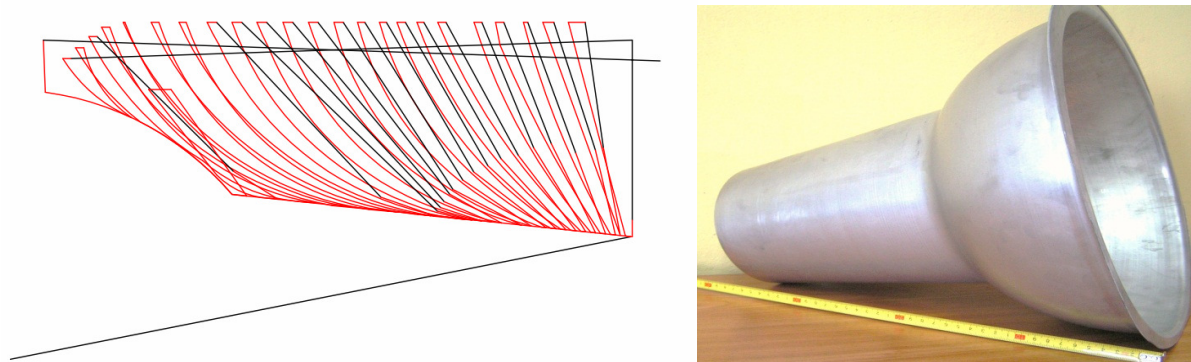
Rys. 7. Rodzaje ruchów rolki: a - ruch w kierunku do krawędzi zewnętrznej krążka, b - ruch w kierunku środka krążka  
 Fig. 7. Kinds of roller motions: a – motion towards the disk outer edge, b – motion towards the disk middle

## 6.2. Badanie ruchów narzędzia w procesie wyoblania

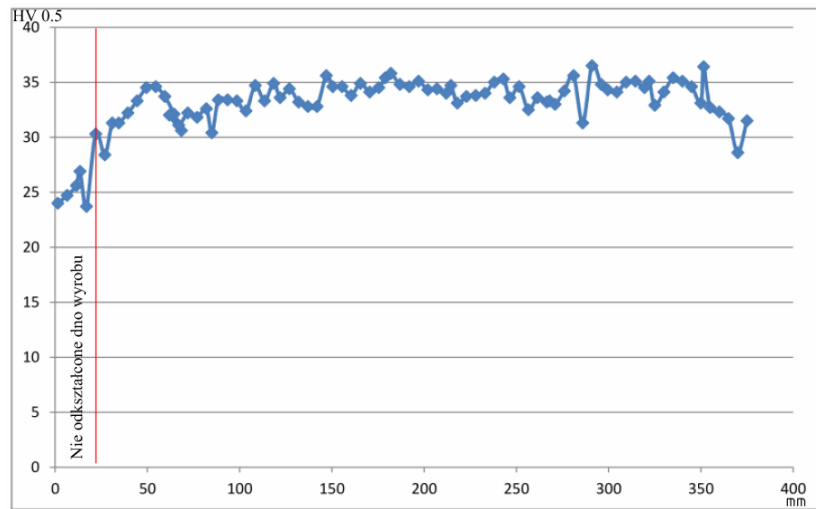
W Instytucie Obróbki Plastycznej został wykorzystany program CAM w procesie wspomaganego projektowania trajektorii narzędzia o nazwie Trop CNC. Jego głównym zadaniem jest przekonwertowanie rysunku typu AutoCAD na kod CNC oraz wyszukanie błędów i graficzna prezentacja poszczególnych ruchów narzędzi. Zastosowanie takiego programu znacznie przyspiesza pisanie programu sterującego oraz ułatwia wprowadzanie zmian celem optymalizacji procesu. Na rys. 8 przedstawiono przykładową trajektorię rolki wyoblającej składającą się z 124 ruchów, w procesie wyoblania osłony wentylatora KHDA-36 [1].

## 6.2. Examination of tool motions in the process of spinning

In the Metal Forming Institute, a CAM program has been used in the process of aiding the design of tool trajectory called Trop CNC. Its essential task is to convert an AutoCAD type drawing into a CNC code and to find mistakes and graphically present the individual tool motions. Application of such a program significantly accelerates writing of the controlling program and facilitates modifications in order to optimize the process. Fig. 8 shows an example of a spinning roller trajectory consisting of 124 motions in the process of spinning a KHDA-36 ventilator casing [1].

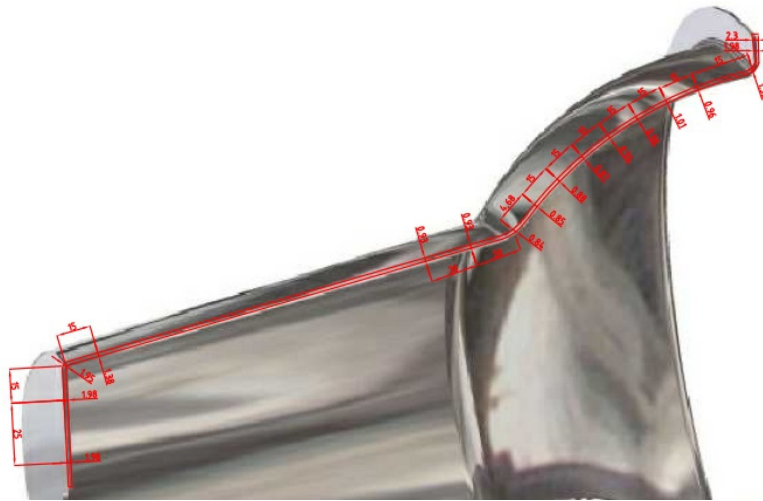


Rys. 8. Trajektorja ruchów rolki w procesie wyoblania osłony wentylatora KHDA-36 [1]  
 Fig. 8. The trajectory of roller motions in the process of spinning a KHDA-36 ventilator casing [1]



Rys. 9. Rozkład twardości w odległości od dna wytłoczki

*Fig. 9. Hardness distribution at a distance from the drawpiece bottom*



Rys. 10. Rozkład grubości ścianki osłony wentylatora KHDA-36 [1]

*Fig. 10. KHDA-36 ventilator casing wall thickness distribution [1]*

Na rys. 9 przedstawiono rozkład twardości na długości wytłoczki. Widać tu wzrost twardości z początkowej wartości około 25 HV0.5 do ok. 33 HV0.5. Spowodowane jest to pocienieniem ścianki, której rozkład grubości przedstawiono na rys. 10.

## 7. WNIOSKI

- Projektowanie procesów technologicznych na wyoblarkę sterowane numerycznie jest skomplikowane ze względu na dużą ilość parametrów, które są ze sobą wzajemnie powiązane.

*Fig. 9 shows the distribution of hardness on the drawpiece length. Increase of the hardness from the beginning value of about 25 HV0.5 up to 33 HV0.5 can be seen here. This is due to the wall thinning; the thickness distribution of the wall has been shown in fig. 10.*

## 7. CONCLUSIONS

- *Designing technological processes for CNC metal spinning machines is complicated due to the large number of parameters which are mutually interrelated.*

- Najlepsze wyniki procesu wyoblania uzyskano dla trajektorii ruchów rolki roboczej łukowo wklęsłej.
- Przy projektowaniu trajektorii ruchów rolki roboczej dla nowego wyrobu korzystne jest wykorzystanie wcześniej sprawdzonych trajektorii dla podobnego rodzaju materiału, podobnej średnicy i grubości krążka wyjściowego oraz kształtu wyrobu końcowego.
- Zastosowanie programu typu CAM znacznie przyspiesza opracowywanie programów dla procesów technologicznych kształtowania wyrobów metodą wyoblania oraz ułatwia ujawnienie przy tym wystąpienia ewentualnej kolizji narzędzi i innych elementów występujących w procesie.
- *The best results of the metal spinning process have been obtained for the concave arc trajectory of the working roller.*
- *When designing the roller trajectory for a new product, it is beneficial to take advantage of previously proved trajectories for a similar kind of material, similar diameter and thickness of the initial disk, as well as the shape of the final product.*
- *Application of a CAM type program significantly accelerates elaboration programs for technological processes of forming products by the method spinning; it also facilitates the detection of possible collision of the tools and other elements present in the process.*

## LITERATURA/REFERENCES

- [1] Wiśniewski J., Drenger T., Gądek T., Nowacki Ł., Frąckowiak S., Pawlicki M., Ulatowski Z.: Badania innowacyjnych technologii tłoczenia, wyoblania i zgniatania obrotowego, szczególnie wyrobów o złożonych kształtach z trudno odkształcalnych i szybko umacniających się materiałów z wykorzystaniem nowoczesnych technik komputerowych. Praca BT 901 71 004 INOP Poznań 2010 s. 78-98.
- [2] Music O., Allwood J.M., Kawai K.: A review of the mechanics of metal spinning. *Journal of Materials Processing Technology* 2010, 210, s. 3-23.
- [3] Runge M.: *Spinning and Flow Forming*. Leifeld GmbH 1994.
- [4] Dierig H.: CNC spinning using adaptive control. *VDI Fortschrittsberichte*. VDI-Verlag, Düsseldorf 1992 R. 2 No. 252.
- [5] Reil G.: *Process control of numerically controlled machines with Fuzzy Logic*, Dr. Ing. Thesis. Lehrstuhl für Umformende Fertigungsverfahren, Technische Universität Dortmund 1993.
- [6] Ewers R.: *Process design and optimisation in sheet metal spinning*. Technische Universität Dortmund 2005.
- [7] Hayama M., Kudo H., Shinokura T.: Study of the pass schedule in conventional simple spinning. *Bulletin of the JSME* 1970, 13 (65), s. 1358-1365.