

Mgr inż. Zygmunt GARCZYŃSKI, mgr inż. Łukasz JANKOWSKI  
Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań  
e-mail: garczynski@inop.poznan.pl

## **Innowacyjna linia produkcyjna do gięcia belek czołowych wózka jezdnego wagonu kolejowego - wpływ parametrów konstrukcyjnych i technologicznych na kształt belki giętej w dwóch płaszczyznach**

### ***Innovative production line for bending the front beam of railway wagon trolley – the influence of design and technological parameters on the shape of the beam bent in two planes***

#### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono technologię gięcia belek czołowych wózków kolejowych wdrożoną w firmie PPHU Intermech Stalowa Wola Sp. z o.o. Szczególną uwagę zwrócono na metody obliczeń numerycznych zastosowanych do wsparcia procesu projektowania geometrii narzędzi oraz na porównanie wyników symulacji komputerowych z wynikami prób technologicznych.

Symulacje wykonane w programie DeForm 3D oraz próby technologiczne potwierdziły wpływ czynników, takich jak temperatura wsadu, szybkość kształtowania oraz siła i czas docisku, jako elementów decydujących o uzyskaniu właściwej geometrii wyrobu zgodnej z przyjętymi założeniami. Układ sterowania linią pozwala na kontrolowanie parametrów pracy w procesie produkcyjnym.

#### **Abstract**

*The paper describes the technology of bending front beams of railway trolleys implemented in PPHU Intermech Stalowa Wola Ltd. Special attention has been drawn to the methods of numerical calculations applied to support the process of designing tool geometry and to the comparison of computer simulation results to the results of technological tests.*

*The simulations performed in DeForm 3D program and the technological tests have proved the influence of such factors as the charge temperature, forming speed pressing force and time as the elements determining the product geometry in accordance with the adopted assumptions. The line control system allows for monitoring the working parameters in the production process.*

**Słowa kluczowe:** wózek kolejowy, belka czołowa, gięcie przestrzenne

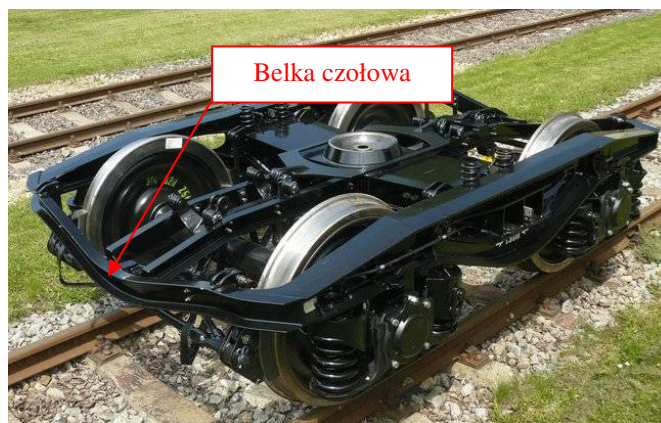
**Keywords:** railway trolley, front beam, spatial bending

## **1. WSTĘP**

Instytut Obróbki Plastycznej we współpracy z firmą PPHU Intermech w Stalowej Woli opracował innowacyjną linię produkcyjną przeznaczoną do realizacji dwupłaszczyznowego kształtowania ceowników (belek czołowych), stanowiących elementy wózków jezdnych wagonów kolejowych (rys. 1).

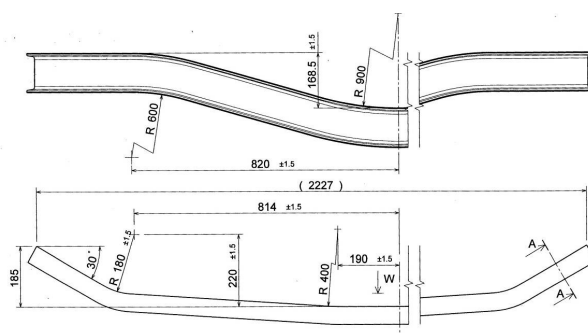
## **1. INTRODUCTION**

*The Metal Forming Institute, in cooperation with PPHU Intermech in Stalowa Wola, has developed an innovative production line for two-plane bending of channel bars (front beams) being elements of railway wagon trolleys (fig. 1).*



Rys. 1. Wózek kolejowy Y25 z widoczną belką czołową

Fig. 1. Y25 railway trolley with visible front beam



Rys. 2. Belka czołowa – wymiary konstrukcyjne kształtowania w dwóch płaszczyznach

Fig. 2. Front beam – design dimensions for bending in two planes

Technologię kształtowania dostosowano do istniejącego gniazda produkcyjnego obejmującego prasę hydrauliczną o nacisku 800 ton wraz z zestawem narzędzi kształtujących. Dotychczasowe stanowisko do gięcia posiadało ograniczone możliwości produkcyjne, ze względu na konieczność ręcznego przenoszenia ceowników do zestawu narzędziowego nagrzanego do temperatury 900 °C. Prace wykonywało czterech pracowników, narażonych na zagrożenia związane z manipulacją rozgrzanym detałem, ważącym 32 kg. Ponadto, technologia nie zapewniała powtarzalności kształtu i wymiarów, ze względu na niejednorodne nagrzewanie partii kilkunastu belek wsadowych w piecu gazowym i kolejne ich kształtowanie w gnieździe produkcyjnym.

Podstawową przesłanką do budowy nowej linii było opracowanie takiej konstrukcji i technologii, aby poprzez zautomatyzowanie procesu produkcyjnego, przy zachowaniu wszelkich wymogów bezpieczeństwa, ergonomii oraz wydajności, uzyskać prawidłowy wyrób zgodny z założeniami konstrukcyjnymi (rys. 2).

*The forming technology has been adapted to the existing production center including a hydraulic press of 800 ton capacity together with a set of forming tools. So far, the bending stand had limited production abilities due to the necessity of manual carrying of the channel bars to the tool set heated up to 900 °C. The work was done by four employees exposed to hazards involved in manipulating details weighing 32 kg. What is more, the technology did not ensure repeatability of the shape and dimensions due to uneven heating of a batch of over a dozen input beams in a gas furnace and subsequent forming them in the production center.*

*The basic idea of constructing the new line was to elaborate such as construction and technology as to obtain a correct product in accordance with the design assumptions (fig. 2) while meeting all requirements of safety, ergonomics and productivity by automating the production process.*

Dzięki pełnej automatyzacji linii, pracownik tylko nadzoruje prawidłowość przebiegu procesu .

*Thanks to full automation of the line, the employee just supervises the correct progress of the process.*

## 2. PRZEDMIOT BADAŃ

Przy opracowywaniu linii produkcyjnej do przestrzennego gięcia ceownika C120 (o długości 2370 mm) przyjęto, że założenia konstrukcyjne i technologiczne poszczególnych elementów linii będą sprawdzane i ewentualnie korygowane po symulacji komputerowej (analiza modelowego kształtowania ceownika przy pomocy programu DeForm). Brano przy tym pod uwagę parametry konstrukcyjne urządzeń kształtujących oraz parametry technologiczne: temperaturę nagrzewania ceownika, siłę docisku elementu kształtowanego w matrycach oraz czas realizacji poszczególnych procesów, przy zachowaniu wymagań bezpieczeństwa zawartych w obligatoryjnych aktach prawnych.

## 2. OBJECT OF THE INVESTIGATION

*When elaborating the production line for spatial bending of C120 channel bar (2370 mm long), it has been adopted that the technological and construction assumptions of the individual line elements will be checked and corrected, if necessary, after the computer simulation (analysis of model channel bar forming by means of the DeForm program). Design parameters of the forming devices and the technological parameters: channel bar heating temperature, pressing force of the formed element in the dies and time of realization of the individual processes while meeting the safety requirements specified in the obligatory legal acts have been considered in the elaboration of the production line.*

## 3. ANALIZA PROCESU KSZTAŁTOWANIA BELKI I WERYFIKACJA KSZTAŁTU NARZĘDZI

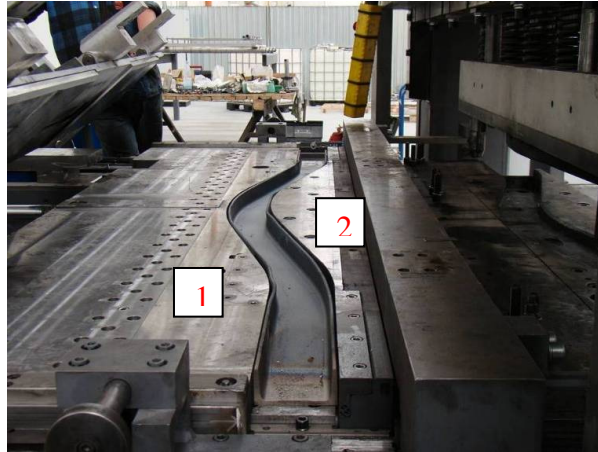
Jednym z głównych problemów technologicznych procesu kształtowania było zapewnienie wymaganej tolerancji wykonania belki. Trudność procesu związana była z gięciem przestrzennym belki i koniecznością uwzględnienia rozszerzalności cieplnej ceownika; wydłużenie ceownika o długości 2370 mm, po nagrzaniu do temp.  $850 \pm 10$  °C, przy założonej dokładności kształtu  $\pm 1,5$  mm, wynosi ponad 30 mm. Ponadto ceownik posiadał niewielką pojemność cieplną, powodującą szybki spadek temperatury. Symulacje numeryczne procesu kształtowania belki obejmowały ocenę sił technologicznych w poszczególnych operacjach kształtowania oraz posłużyły do oceny wpływu geometrii narzędzi na finalny kształt wyrobu.

Na rys. 3 przedstawiono ceownik umieszczony w narzędziach przed pierwszą operacją gięcia, w płaszczyźnie poziomej, pomiędzy suwakiem (1), a matrycą (2). Temperatura ceownika w chwili kształtowania wynosiła  $850 \pm 10$  °C.

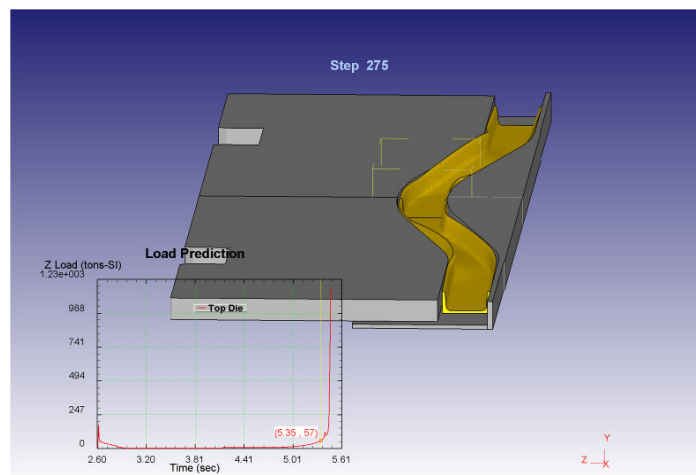
## 3. ANALYSIS OF THE BEAM FORMING PROCESS AND TOOL SHAPE VERIFICATION

*One of the major technological problems was ensuring the required tolerance of the beam execution. The difficulty of the process was related to spatial bending of the beam and the necessity to incorporate the thermal expansion of the channel bar; elongation of a 2370 mm long channel bar, when heated up to the temperature of  $850 \pm 10$  °C, with the assumed shape accuracy of  $\pm 1.5$  mm, is above 30 mm. Moreover, the bar had small heat capacity resulting in quick temperature drop. Numerical simulations of the beam forming process included the assessment of technological forces in the individual forming operations and were used for the assessment of the influence of tool geometry on the final shape of the product.*

*Fig. 3 shows the channel bar located in the tools before the first operation of bending in the horizontal plane, between the ram (1) and the die (2). The temperature of the bar at the moment of forming was  $850 \pm 10$  °C.*



Rys. 3. Ceownik na narzędziach przed pierwszą operacją kształtowania  
 Fig. 3. Channel bar on the tools prior to the first operation of forming



Rys. 4. Widok ceownika giętego w” modelu” symulacyjnym  
 Fig. 4. A view of the channel bar bent in a simulation “model”

Podczas gięcia ceownik w środkowej części dociskany był wzornikiem (niewidocznym na zdjęciu), na odcinku o szerokości 120 mm. Zastosowanie wzornika wewnątrz profilu belki jest zabezpieczeniem przed niekontrolowanym podnoszeniem ceownika w trakcie procesu gięcia i jego zwichrowaniem w płaszczyźnie prostopadłej do środka. Z drugiej strony, stanowi on zabezpieczenie ścianek ceownika przed fałdowaniem. Rys. 4 przedstawia widok belki ukształtowanej wg symulacji w programie DeForm.

Zgodnie z obliczeniami, według programu, siła niezbędna do ukształtowania ceownika podczas pierwszej operacji gięcia utrzymała się na założonym poziomie, 60 ton. Przystąpiono do „szczegółowej” konstrukcji korpusu urządzenia oraz pozostałych części koniecznych do

*During bending, the middle part of the bar was pressed down with a templet (invisible in the photograph) in a 20 mm wide section. The application of the templet inside the beam profile prevents uncontrolled lifting of the channel bar during the bending process and its warping in the plane perpendicular to the web. It also prevents corrugation of the channel bar walls. Fig. 4. shows a view of a beam formed according to the DeForm program simulation.*

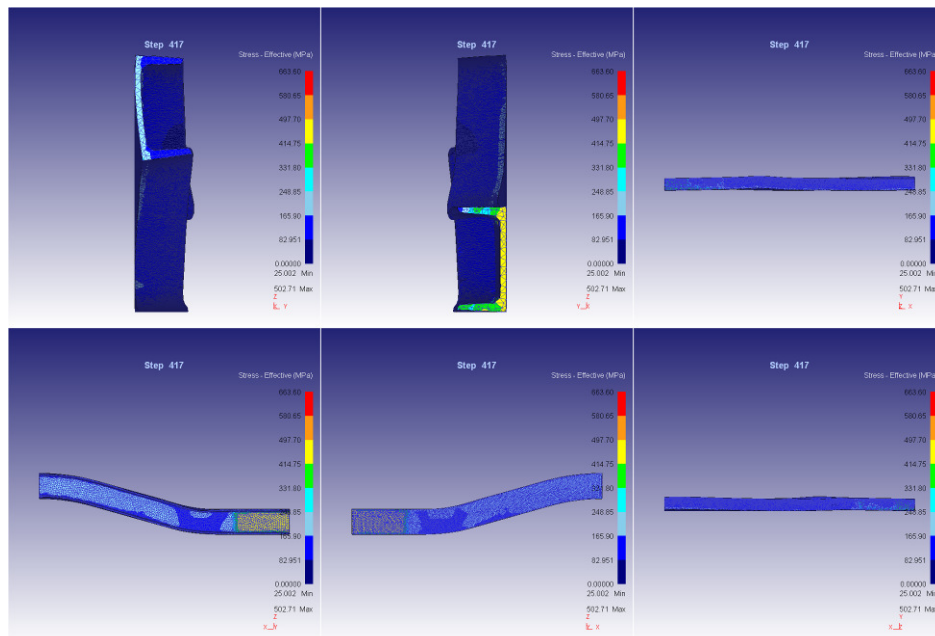
*In accordance with the calculations, according to the program, the force necessary to form the channel bar during the first bending operation was at the assumed level of 60 tons. Now, “detailed” design of the device body and other parts necessary to provide the correct rigidity and strength of the whole machine.*

zapewnienia prawidłowej sztywności i wytrzymałości całej maszyny. Równolegle przygotowana została pierwsza wersja symulacji procesu kształtowania z uwzględnieniem założonej wartości siły i temperatury na powierzchni kształtowanego ceownika. Wyniki tej symulacji przedstawiono na rys. 5. Następnie w firmie Intermech, wykonano elementy linii i ustawiono je na stanowisku pracy oraz przeprowadzono serię prób technologicznych celem określenia wpływu poszczególnych parametrów kształtowania na błędy kształtu belki.

Podczas prób technologicznych stwierdzono, że wzornik przytrzymujący ceownik w pierwszej operacji kształtowania jest zbyt wąski, co powoduje ugięcie się ścianek ceownika (rys. 6 i 7). Analiza przyczyn wsparta symulacją komputerową wykazała, że ugięcie spowodowane jest założeniem zbyt dużego luzu na wzorniku, który podczas procesu kształtowania ulegał przesunięciu w kierunku ścianki matrycy. Nadmierny luz od strony stempla spowodował fałdowanie ścianki wyrobu w obszarze środkowego promienia (rys. 6) i wypiętrzenia ścianki po stronie stempla, w okolicy promieni wygięcia ramion (rys. 7).

*In parallel, the first version of the process simulation incorporating the predetermined value of the force and temperature on the surface of the formed channel bar has been prepared. The results of that simulation can be found in fig. 5. Next, Intermech company has made the line elements, located them in the working stand and performed a series of technological tests in order to determine the influence of the individual forming parameters on the beam shape errors.*

*During the technological tests, the templet supporting the channel bar in the first forming operation was found to be too narrow, which results in deflection of the channel bar walls (fig. 6 and 7). Analysis of the reasons supported by a computer simulation has shown that the deflection is due to the assumption of too big clearance on the templet which moved towards the die wall during the process of forming. Too big clearance on the punch side has caused corrugation of the product wall in the area of the middle radius (fig. 6) and wall uplifts on the punch side, in the vicinity of arm bending radii (fig. 7).*



Rys. 5. Wady wyrobu kształtowanego bez wzornika (symulacja - model obliczeniowy przedstawia połowę ceownika)

*Fig. 5. Defects of a product made without the templet (simulation – calculating model presents a half of the channel bar)*



Rys. 6. Wady wyrobu po kształtowaniu ze zbyt wąskim wzornikiem

*Fig. 6. Defects of product after forming with a too narrow templet*

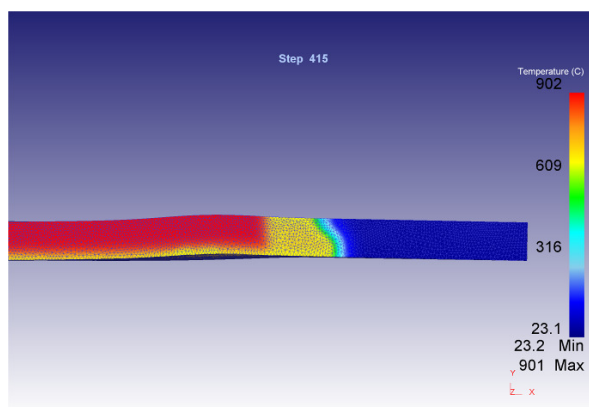


Rys. 7. Widok na zwichrowaną ściankę boczną ceownika będącą wynikiem kształtowania z wąskim wzornikiem

*Fig. 7. A view of a warped side wall of a channel bar resulting from forming with a narrow templet*

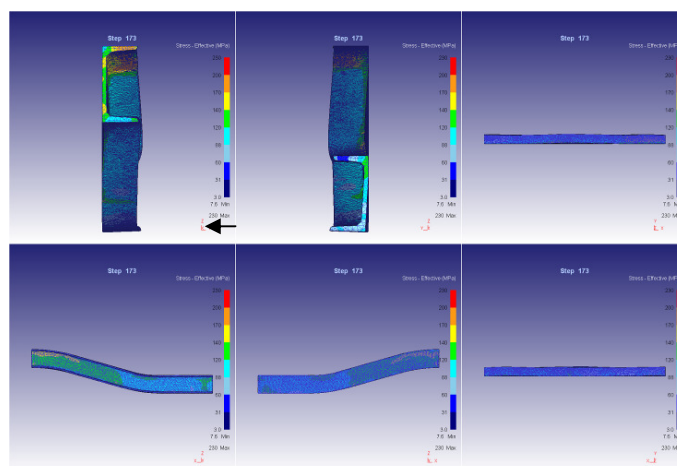
Na rys. 8 przedstawiono wynik symulacji odpowiadający rzeczywistemu widokowi ceownika pokazanemu na rys. 7. Widoczna jest na nim wada, podobna jak w przypadku kształtowania rzeczywistego z użyciem zbyt wąskiego wzornika. Wartość wypiętrzenia ścianki przy rzeczywistym kształtowaniu wyniosła 8 mm, a przy symulacji - 7,5 mm. Na rys. 9 przedstawiono widoki kształtowanego w symulacji ceownika z zastosowaniem zbyt wąskiego wzornika. Wykazano, że na wielkość fałdowania ścianki wpływa geometria wsadu. W przypadku, gdy jedna ze ścianek ceownika była wygięta do wnętrza, wystąpiły nieprawidłowości podczas dociskania ceownika do matrycy urządzenia kształtującego. Takie wygięcie pojawiało się w przypadku ok. 20% ceowników.

*In fig. 8 one can see the result of simulation corresponding to the actual view of the true channel bar shown in fig. 7. A defect, similar to that in the case of actual forming with a too narrow templet, is visible in it. The value of the wall uplift in real forming was 8 mm; in simulation - 7.5 mm. Fig. 9 shows the views of a channel bar formed in simulation with a too narrow templet. It has been proved that the magnitude of the wall corrugation is influenced by the charge geometry. In the case when one of the channel bar walls was deflected towards the inside, incorrectness has taken place during pressing the channel bar to the die of the forming device. Such deflection has been found in about 20% of the channel bars.*



Rys. 8. Symulowane kształtowanie ceownika ze zbyt wąskim wzornikiem

*Fig. 8. Simulated forming of a channel bar with a too narrow templet*



Rys. 9. Ceownik kształtowany podczas symulacji z użyciem zbyt wąskiego (pierwotnego) wzornika

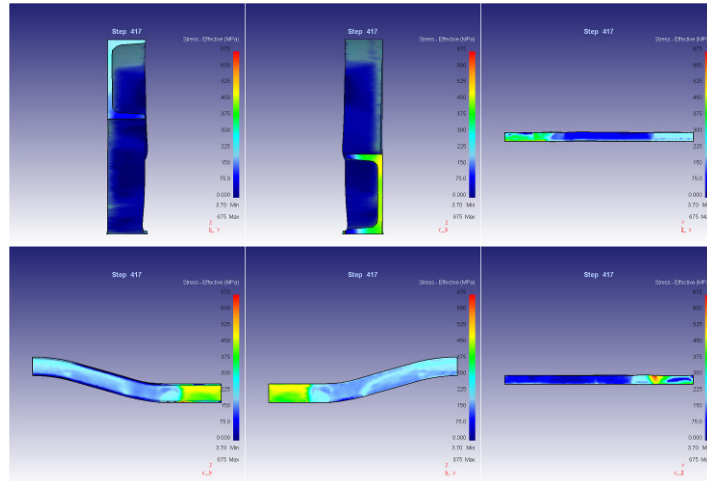
*Fig. 9. A channel bar formed in a simulation with the use of too narrow (primary) templet*

W celu wyeliminowania błędów kształtu, skorygowano geometrię wzornika, aby lepiej wypełniał przestrzeń pomiędzy ściankami ceownika, wprowadzono selekcję materiału wsadowego i obowiązek takiego jego układania na wózku urządzenia załadowniczego, aby podczas kształtowania, wygięta do wnętrza ścianka wsadu przylegała do powierzchni stempla, a nie do matrycy. To spowodowało poprawę warunków gięcia i uzyskanie prawidłowego kształtu wyrobu. Wynik symulacji kształtowania belki czołowej z użyciem prawidłowej geometrii wzornika przedstawiono na rys. 10.

Po drugiej operacji kształtowania, podczas której następuje również dobicie ceownika z siłą 400 ton, zostaje on ułożony na palecie i stygnie. Cały proces kształtowania ceownika, w zależności od nastaw, trwa około 5-6 minut. Decyduje o tym dynamika grzania urządzenia oporowego, a przede wszystkim średnia temperatura obróbki.

*In order to eliminate the shape deviations, the geometry of the templet has been corrected so as to better fill the space between the channel bar walls, selection of the charge material has been introduced, as well as the obligation to arrange it on the feeding device carriage so that the wall of the charge deflected to the inside adheres to the punch surface, not to the die. This has resulted in better conditions of bending and obtaining the correct shape of the product. The result of simulation of the front beam forming with the use of correct templet geometry has been shown in fig. 10.*

*After the second forming operation, in which the channel bar is pressed with the force of 400 tons, it is placed on a pallet to cool down. The whole process of forming the channel bar takes about 5-6 minutes, depending on the settings. It is determined by the heating rate of the resistance device and, first of all, by the average temperature of processing.*



Rys. 10. Ceownik kształtowany na skorygowanym (końcowym) wzorniku  
*Fig. 10. A channel bar formed on a corrected (final) templet*



Rys. 11. Prawdłowo ukształtowany ceownik po procesie technologicznym obejmującym wykonanie otworów i śrutowanie

*Fig. 11. A correctly made channel bar after the technological process including execution of holes and shot blasting*

Prawdłowo ukształtowany wyrób po obróbce wykończającej przedstawia rys. 11. Ceownik po kształtowaniu przycięto na końcach, wykonano w nim otwory technologiczne do montażu oraz ośrutowano.

*A correctly formed product after finishing working can be seen in fig. 11. After forming, the channel bar has been cut at the ends, provided with technological holes for assembling and shot blasted.*

#### 4. PODSUMOWANIE

- Uruchomiona w ramach projektu innowacyjna linia do kształtowania ceownika w dwóch płaszczyznach jest efektem wielomiesięcznych prac zespołu konstrukcyjno-technologicznego Instytutu Obróbki Plastycznej w Poznaniu oraz przedstawicieli przedsiębiorstwa PPHU Intermech Sp. z o.o. w Stalowej Woli.

#### 4.SUMMARY

- *The innovative line for forming channel bar in two planes, launched within the project, is an effect of many months of work of the designing and technological staff of the Metal Forming Institute in Poznań and the representatives of the PPHU Intermech Ltd in Stalowa Wola.*



- Projekt jest nowatorskim rozwiązaniem technicznym, umożliwiającym realizację procesu gięcia belek na gorąco, w cyklu automatycznym.
  - Symulacje wykonane w programie DeForm 3D oraz próby technologiczne potwierdziły wpływ czynników, takich jak temperatura wsadu, szybkość kształtowania oraz siła i czas docisku wzornika jako decydujących do uzyskania właściwej geometrii wyrobu.
  - Linia gięcia belek czołowych, jest obsługiwana przez jednego operatora, a sterowanie odbywa się z centralnego pulpitu, wg zadanego cyklu produkcyjnego.
  - Układ sterowania linią do gięcia pozwala na kontrolowanie parametrów pracy w procesie produkcyjnym, a jego precyzja i złożoność pozwala także na realizację prac badawczych dotyczących technologii gięcia.
- *The project is an innovative solution enabling the process of hot bending of beams in two planes to be realized in an automatic cycle.*
  - *Simulations performed in the DeForm 3D program and technological tests have proved the influence of such factors as the charge temperature, forming speed, templet pressing force and time as the decisive ones for obtaining the correct product geometry.*
  - *The beam bending line is controlled by one operator and the control is effected from the central console according to the preset production cycle.*
  - *The bending line control system enables the working parameters to be monitored in the production process; its precision and complexity allows also for realization of investigation works in the field of bending technology.*