

Prof. dr hab. inż. Andrzej KORBEL¹⁾, prof. dr hab. inż. Robert SZYNDLER²⁾

¹⁾ Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, ²⁾ Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań

Innowacyjne rozwiązania w obszarze obróbki plastycznej – udział polskiej myśli technicznej

The new solutions in the domain of metal forming - contribution of the Polish engineering idea

Streszczenie

W pierwszej części opracowania, na przykładzie produkcji odkuwek w Polsce i na świecie, omówiono kondycję przemysłu przetwórstwa metali oraz kierunki przewyżczenia ograniczeń wynikających ze wzrostu kosztów energii i surowców czy generalnie globalnego kryzysu finansowego. Szczególną uwagę poświęcono sposobom zmniejszenia negatywnych skutków tych obiektywnych ograniczeń w aspekcie ekonomiki produkcji i zaspokojenia oczekiwań rynku. W części drugiej dany jest przykład rozwiązania technologicznego (wyciskanie metodą KOBO), które jest wynikiem wieloletnich badań poznawczych i którego walory i konkurencyjność względem obecnie wykorzystywanych technologii jest dowiedziona w skali przemysłowej.

Abstract

An impact of rising costs of energy (electricity, gas) and generally global economical crisis on the current state of the metal forming industry in Poland and in the world is the subject of the first part of the paper. Particular attention is devoted to means of reduction of these objective constraints to satisfy the demands of the market in a sense of quantity and quality of the metal forming (forging) products. The efforts to find new technological solutions concurrent to know and commonly used processes in terms of energy consumption, manufacturing costs, environment protection and quality of products are therefore in focus of the research works. In the second part of the paper the example of the metal forming technology (KOBO extrusion) which result from the fundamental research and which potential has already been proven in industrial scale is given.

Słowa kluczowe: przeróbka plastyczna, wyciskanie, kucie, prasowanie, mechanizm odkształcenia

Key words: metal forming, extrusion, forging, pressing, mechanisms of deformation

1. WPROWADZENIE

Miniony rok zapisał się w światowej gospodarce dotkliwym kryzysem finansowym, który objął w znacznej mierze również branżę produkcji i przetwórstwa metali. W Niemczech, na przykład, produkcja stali spadła do poziomu z roku 1963, a budowa statków kontenerowych z 642 sztuk w roku 2007 - praktycznie zanikła [13]. Również inne branże przemysłu metalowego odnotowały znaczny spadek produkcji. Produkcja odkuwek w 2009 roku była w Polsce niższa w stosunku do roku poprzedniego średnio o 48%, w Niemczech o 45%, a w całej Europie - w granicach 40-50%.

1. INTRODUCTION

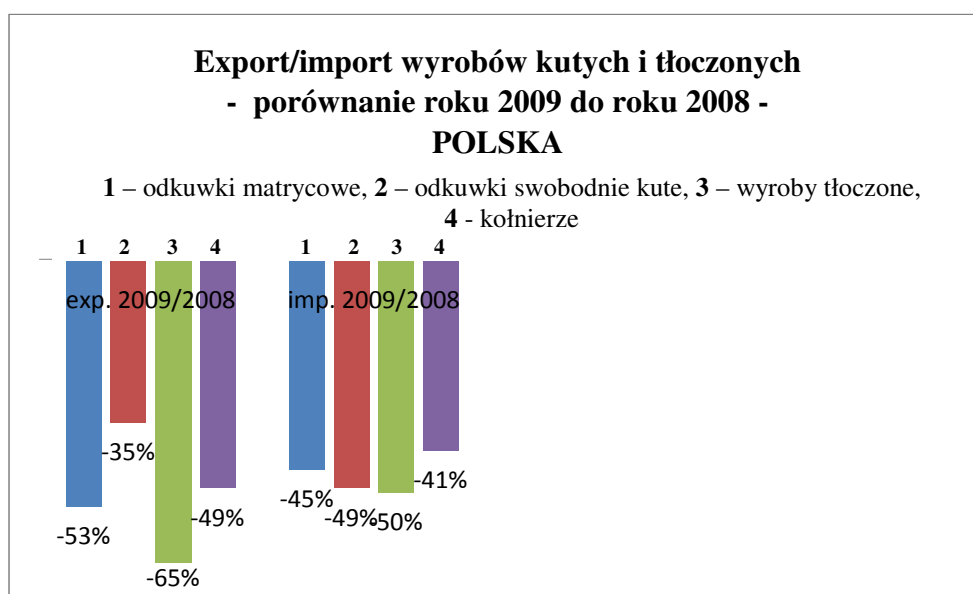
Last year has been recorded in the world economy as the one of severe financial crisis which touched the metal production and processing sector as well. In Germany, for example, production of steel decreased to the level of the year 1963 and production of container ships – 642 in the year 2007 – almost disappeared at all [13]. Other sectors of metal industry has also noticed an essential decrease. In Poland production of forgings in 2009 was lower than in previous year by 48%; in Germany by 45% and in Europe as a whole - by 40-50%.

Na rys.1 przedstawiono wielkości eksportu i importu wyrobów kutych i tłoczonych w ujęciu rok do roku 2009 do 2008. W roku bieżącym spodziewany jest powolny wzrost wielkości produkcji i zbytu wyrobów kutych (w granicach 10-20%), naturalnie pod warunkiem powrotu koniunktury gospodarczej i przystosowania się wytwórców odkuwek do nowych warunków i potrzeb rynkowych.

Znamienny jest okres bezpośrednio poprzedzający załamanie się rynków zbytu. Okres ten cechował się silnym wzrostem cen energii elektrycznej i gazu (rys. 2 i 3), co znacząco wpłynęło na koszt przeróbki plastycznej metali.

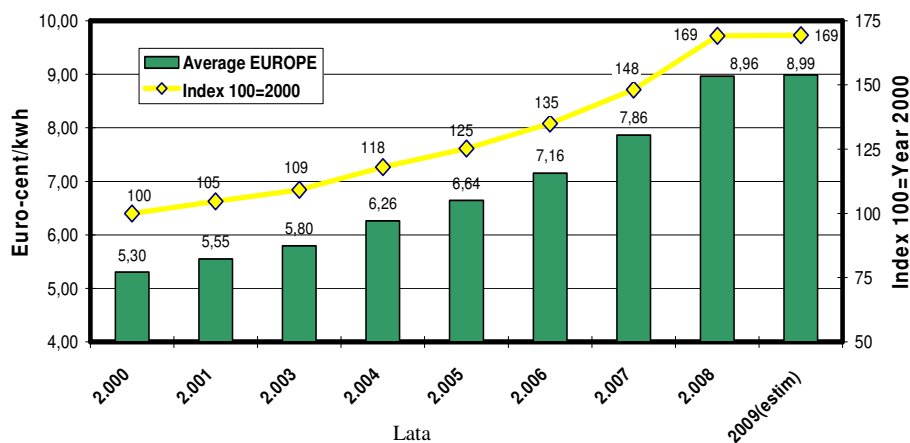
Diagram 1 in Fig. 1 presents of export and import of forged and press-formed products in the year 2008 and 2009. This year, a slow increase of production and sale of forged products is expected (roughly by 10 to 20%), provided however that better economic situation will come back and manufacturers can adapt themselves to the new market conditions and needs.

The period directly preceding the collapse of the market is significant. There was high increase of price of electricity and gas (Figs. 2 and 3) which greatly influenced the costs of plastic forming of metals.



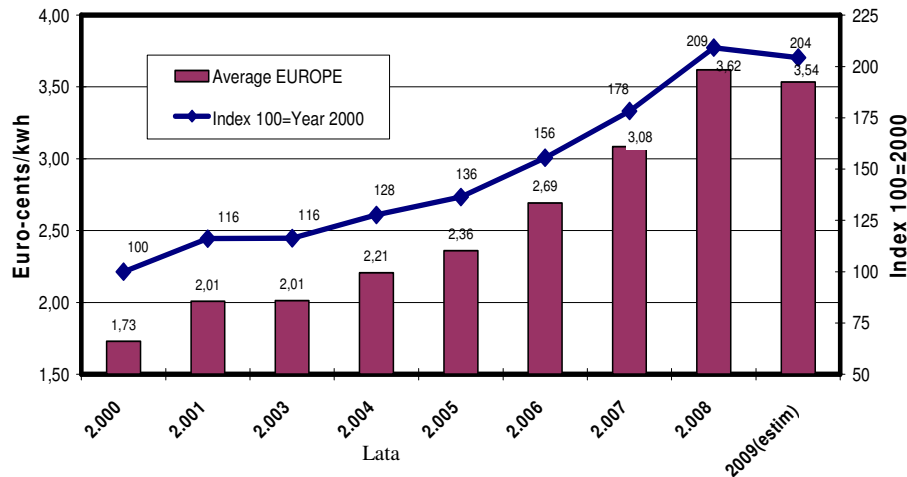
Rys. 1. Zmiana wielkości eksportu i importu wyrobów kutych i tłoczonych [14]

Fig. 1. Polish export/import 2009/2008 [14]



Rys. 2. Średnie ceny energii elektrycznej w europejskim przemyśle kuźniczym w latach 2000-2009 [15]

Fig. 2. Average electricity prices & trends in the European Forging Industry 2000-2009 [15]



Rys. 3. Średnie ceny gazu w europejskim przemyśle kuzniczym w latach 2000-2009 [15]

Fig. 3. Average gas prices & trends in the European Forging Industry 2000-2009 [15]

W aktualnej światowej sytuacji rynkowej, do perspektywicznych i silnie rozwijających się działów gospodarki należeć będą w najbliższych latach głównie sektory: energetyczny, środków transportu i ochrony środowiska naturalnego. Stąd też pod potrzeby tych sektorów gospodarek narodowych należy spodziewać się intensywnego wzrostu zapotrzebowania na różnego rodzaju półwyroby i wyroby metalowe.

W sektorze energetycznym potrzeby wynikać będą z racji konieczności budowy i rozbudowy wszelkich typów elektrowni, w tym elektrowni nuklearnych i wiatrowych. Wzrastać więc będzie zapotrzebowanie na elementy konstrukcyjne w postaci odkuwek swobodnie kutych, szczególnie o dużych masach jednostkowych i o szczególnych właściwościach użytkowych, stosowanych głównie w generatorach prądotwórczych, turbinach i różnego rodzaju wytwornicach pary.

W sektorze produkcji środków transportu popyt ukierunkowany jest i będzie przede wszystkim na tzw. konstrukcje lekkie, energooszczędne, ekologiczne i przyjazne dla środowiska. Będą to głównie wysokiej jakości odkuwki matrycowe i wyłoczki ze stali konstrukcyjnych, metali nieżelaznych oraz z różnych stopów lekkich, przeznaczone na części maszyn i urządzeń wytwarzanych przez wszystkie gałęzie przemysłu.

In the present world market circumstances, it seems three sectors: electrical power industry, production of transport means and natural environmental protection will be the most developing ones. Since they will need various products and semi-products of metal industry, a rapid growth of orders from those sectors is expected in national economies of many countries.

As power industry is concerned, their orders will result from necessity of erection and enlarging of power plants of all kind, including nuclear and wind ones. So, need for structure elements - free forging - will increase undoubtedly. Particularly, the need for large-weight and special characteristics products which are used in power generators, gas generators and turbines.

In transport means sector, demand is and will be concentrated on so-called light, power saving, ecological and environment-friendly products. First of all, it will focus on high quality matrix forgings and pressed elements made of structural steel, non-ferrous metals, and light alloys used in production of parts of machines and other equipment manufactured by all industry sectors.

Istnieje więc potrzeba i konieczność wprowadzenia do praktyki przemysłowej innowacyjnych rozwiązań techniczno technologicznych, umożliwiających efektywną, energooszczędną i tanią produkcję kuźniczą. Naprzeciw tym wyzwaniom wychodzą nowe, niekonwencjonalne technologie, takie jak np. technologia przeróbki plastycznej materiałów w warunkach cyklicznie zmiennej drogi odkształcenia plastycznego (metoda KOBO).

2. METODA KOBO

Na poziomie zakładu produkcyjnego, omówiony wcześniej aspekt gospodarczy przetwórstwa metali i stopów na drodze „obróbki plastycznej” konkretyzuje się w koszcie wytworzenia i własnościach wyrobu.

W przypadku obróbki plastycznej metali, o koszcie nadania kształtu decyduje zależna od temperatury zdolność do odkształceń plastycznych (plastyczność) i opór plastyczny metalu. Ta zależność wykorzystana została w operacjach kształtowania plastycznego „na gorąco” i spowodowała że deformacja plastyczna przy wysokich temperaturach stała się podstawowym sposobem obróbki plastycznej metali i stopów i jest jedynym sposobem kształtowania plastycznego metali trudno odkształcalnych.

Możliwość kształtowania plastycznego przy wysokich temperaturach nie jest jednak tożsama z zapewnieniem oczekiwanych (klient) właściwości wyrobu (trudno ją również uznać za ekologicznie korzystną). Zadaniem operacji przetwórstwa jest więc nie tylko nadanie żądanego kształtu ale również uformowanie (przetworzenie) wewnętrznej struktury metalu decydującej o jego finalnych właściwościach.

Przedstawione poniżej rozwiązanie – metoda KOBO [1] - łączy wymogi niskiego kosztu operacji i możliwość sterowania strukturą (własnościami) metalu. Przesłankami, które legły u podstaw metody, były wyniki badań mechanizmów deformacji plastycznej metali, w szczególności mechanizmu indukowanego w warunkach „zmiany drogi odkształcenia” [2].

So, there is a need and necessity to implement innovative technical and technological solutions into forging practice; such ones which make production more effective, energy saving and cheap. These challenges are met by new, non-conventional technologies, such as plastic processing technology in the cycle-changeable way of plastic deformation (KOBO method) for example.

2. KOBO METHOD

On the level of a metallurgical plant the economical aspect of plastic forming of metals and alloys has a reflection in costs of manufacturing and quality (properties) of products. In particular costs of metal forming is a function of metal plasticity and its resistance to plastic deformation (flow stress, strain hardening) which in turn depend upon the temperature.

Because of this dependency plastic forming operations of metals and alloys at high temperatures became a basic if not the only way of shaping hardly deformable metals.

It is obvious, however, that the possibility to achieve the desired shape is not equivalent yet with achieving requested properties of formed products (a customer demand). Thus, another task of forming operation is in generating appropriate internal structure (microstructure) of metal, which guaranties wanted properties.

These two demands, one concerning a chance and cost of plastic forming and the second concerning the properties of products cannot be fulfilled in a single forming operation. Additional treatment (heat treatment) of a product is then necessary in a technological line, what results in rise of global costs of production.

Presented below technological solution of metal forming – KOBO method [1] satisfies both demands: low costs of manufacturing and control of the metal substructure (properties) is single operation. The premises which led at the background of the method were the results of the experimental studies of mechanisms of plastic deformation and in particular the mechanism of deformation which can be induced under “strain path change” conditions [2].

Doświadczalnie dowiedziona, następująca wówczas zmiana sposobu płynięcia plastycznego metalu z krystalograficznie determinowanego poślizgu dyslokacyjnego na transziarnowe, zlokalizowane ścięcie (pasma ścinania) i towarzyszący jej obniżenie globalnego efektu umocnienia odkształceniowego przełożyły się na praktyczne rozwiązanie, którego istotę (na przykładzie wyciskania metali) i zalety zilustrują kolejne rysunki.

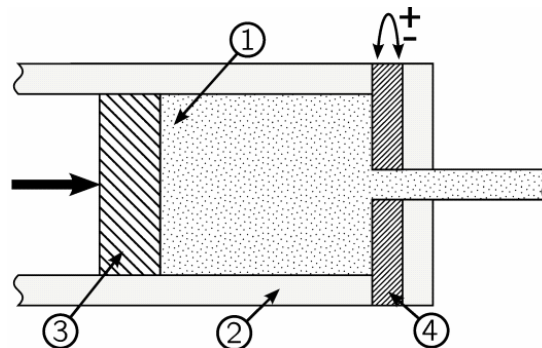
Rysunek 4 przedstawia schemat wyciskania, w którym zmianę schematu odkształcenia uzyskuje się poprzez rewersyjne skręcanie matrycy. Kąt i częstość skręcania są dodatkowymi parametrami procesu umożliwiającymi pełną jego kontrolę i sterowanie strukturą (właściami) wyrobu.

Rysunek 5 przedstawia charakterystyki wyciskania w warunkach laboratoryjnych modelowego materiału (ołów) i pokazuje jak dalece można obniżyć siłę wyciskania, zastępując wyciskanie konwencjonalne (krzywa A) przez wyciskanie z rewersyjnie skręcaną matrycą (krzywa B). Prawie siedmiokrotne obniżenie siły wyciskania uzasadniło budowę prototypowej prasy o nacisku 1MN (rys. 6), umożliwiającej ocenę proponowanego rozwiązania technologicznego w warunkach półprzemysłowych. Powyższe urządzenie pozwala na prowadzenie badań, które można zaliczyć do ekstremalnych (niska temperatura, bardzo duży stopień przerobu, stopy trudno odkształcalne).

Appearing then the change of the mode of plastic flow from crystallography determined slip of dislocations into trans-granular localized shear (shear banding) and associated decrease of the global hardening of metal has been practically exploited in the KOBO method the idea of which and its features (in the case of extrusion) are illustrated in subsequent figures.

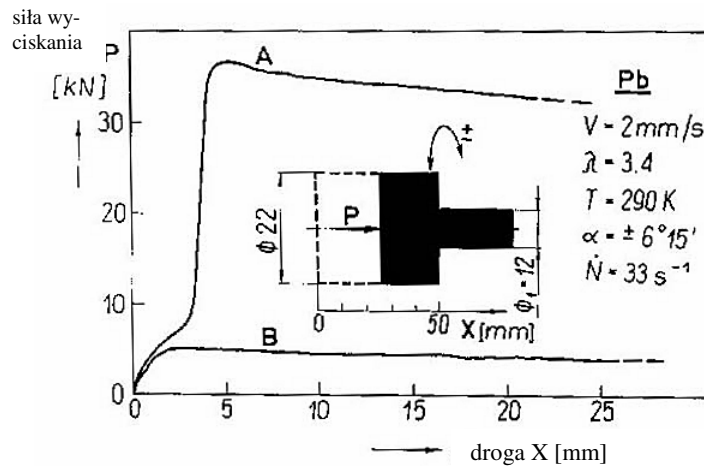
Figure 4 shows schematically the way of extrusion in which the effects of "strain path change" is received due reversible twist of die in an oscillating manner. The addition extrusion parameters with respect to commonly know extrusion process and which allow to control metal structure (properties) are the angle and frequency of die oscillations.

The experimental characteristics of the extrusion of model material (lead) which is shown in Fig.5 indicates how far it is possible to decrease the extrusion forces in conventional forward extrusion (curve A) if the die is brought to reversible oscillations about the extrusion direction (curve B). Decrease of the extrusion force by factor of seven gave the motivation to design and built the experimental 1 MN capacity press enabling verification the idea under semi-industrial conditions (Fig. 6). The results experiments which were carried out on this experimental stand will be illustrated by examples of the extrusion performed under the conditions which can be considered as extreme (low temperature, severe plastic deformation, hardly deformable metal).



Rys. 4. Schemat wyciskania z cyklicznie oscylującą matrycą (metoda KOBO):
1 - materiał, 2 - pojemnik, 3 - stempel, 4 - oscylująca matryca

Fig. 4. Scheme of metal extrusion throughout the oscillating die (KOBO method):
1 - billet, 2 - container, 3 - punch, 4 - oscillating die



Rys. 5. Charakterystyka siłowa wyciskania ołowiu: A – wyciskanie tradycyjne współbieżne, B – wyciskanie KOBO [3]
 Fig. 5. Load vs. punch displacement characteristics of the extrusion of lead.: A - conventional forward extrusion, B - KOBO extrusion [3]



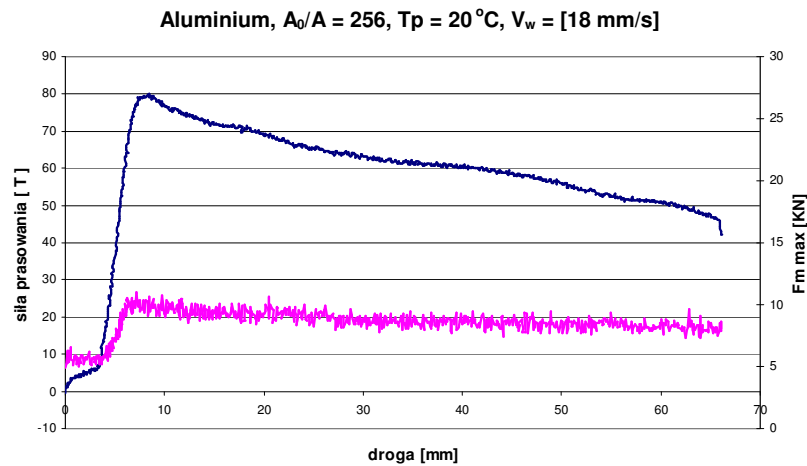
Rys. 6. Prototypowa prasa typu KOBO o maksymalnym nacisku 1 MN
 Fig. 6. Semi-industrial 1 MN KOBO press

Na rys. 7 pokazana jest charakterystyka wyciskania na zimno aluminium o średnicy początkowej $\phi 40$ mm ze stopniem przerobu $\lambda = 256$ na prasie o maksymalnym nacisku zaledwie 1 MN. W znanych operacjach wyciskania, proces taki musi być prowadzony na gorąco i to ze znacznie mniejszym stopniem przerobu.

Jak pokazano na rys. 8, nacisk 1 MN okazał się wystarczający do „wyciśnięcia na zimno” aluminium z 700-krotną redukcją przekroju wsadu.

Figure 7 shows the load vs. punch displacement characteristics of extrusion of “cold” Aluminium (billet dia. 40 mm) with cross section reduction $\lambda = 256$. It is worth of mentioning that in industrial practice Aluminium is extruded at high temperatures and with much smaller values of λ .

As it is shown in next figure (Fig. 8) the load of the order of 1MN appeared sufficient to cold - extrusion of aluminium with 700 times cross section reduction of the billet.



Rys. 7. Zależność siły wyciskania (górną krzywą) i maksymalnego momentu skręcającego matrycę od drogi stempla, zarejestrowana dla wyciskania na zimno aluminium ze stopniem przerobu 256

Fig. 7. Load and torque vs. punch displacement characteristics for aluminum extruded at room temperature with 256 time cross section reduction



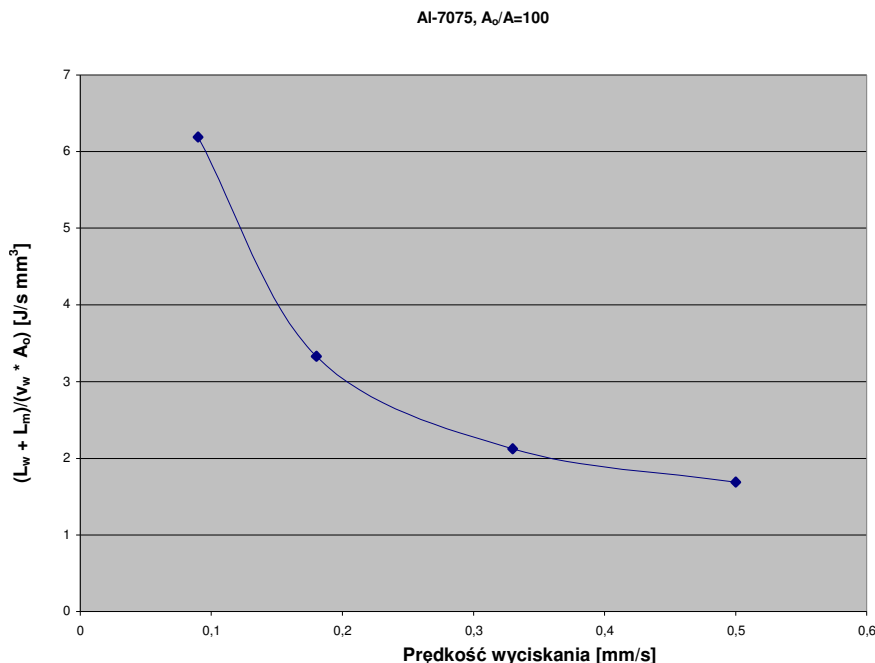
Rys. 8. „Piętka” i produkt wyciskania zimnego aluminium ze stopniem przerobu 700

Fig. 8. Pattern of the aluminum rest and wire. Extrusion ratio 700

Pomiary parametrów siłowych procesu KOBO (siła, moment skręcający) pozwoliły na ocenę energochłonności procesu. Rysunek 9 pokazuje zależność mocy pobieranej dla zapoczątkowania procesu (maksymalny pobór mocy) na jednostkę objętości wyciskanego metalu od prędkości wyciskania. Charakter zależności dla trudno-odkształcalnego stopu Al7075 (rys. 9) jest ilustracją potencjalnych możliwości zmniejszenia pracy odkształcenia plastycznego przy równoczesnym zwiększeniu wydajności procesu. Globalny efekt obniżenia energochłonności metody ujawnia się przy uwzględnieniu faktu, że proces nie wymaga nagrzania metalu powyżej temperatury rekrytalizacji.

On the basis of simultaneous measurements of the extrusion force and the die twisting torque it was possible to evaluate the power consumption of the process and its dependence upon the extrusion rate.

Figure 9 shows the relation between the process power consumption for the unite volume of extruded metal at the beginning of the extrusion (the maximal power consumption in the process) and the velocity of the punch displacement. The form of this dependency for hardly deformable aluminium 7075 alloy (Fig. 9) illustrates high potential of the method in diminishing plastic work of the process at simultaneous increase of its efficiency. In an attempt to evaluate the global effect of energy saving of the KOBO process one should take into account that there is not need to heat a metal to high temperature as in the case of conventional metal extrusion.



Rys. 9. Zależność maksymalnej mocy pobieranej przy wyciskaniu trudno odkształcalnego stopu aluminium (7075) od prędkości wyciskania [3]

Fig. 9. Plot of the maximal power consumption at the beginning of the process versus extrusion rate for aluminum 7075 alloy [3]

Badania kinetyki procesu wyciskania wykazały, że w badanych warunkach odkształcania, deformacja plastyczna metali ujawnia cechy płynięcia „lepkiej cieczy” (liniowa zależność prędkości odkształcenia od naprężenia) o współczynniku lepkości rzędu $10^7 \text{Pa}\cdot\text{s}$ [2,3]. Jedną z metod weryfikacji takiego właśnie charakteru deformacji były próby radialnego (bocznego) wyciskania metali (rys. 10), które nie wymagały wyższej siły niż wyciskanie współbieżne.

Możliwości jakie oferuje metoda KOBO do kształtowania plastycznego „na zimno” stopów trudno odkształcalnych i stabilnego przetworzenia ich struktury wewnętrznej, nawet do poziomu nanometrycznego, zilustrowane zostały na przykładzie stopu brązu Cu-8Sn (rys. 11) i stopu magnezu AZ31, a także odlewniczego stopu magnezu AZ91.

Ważne jest jednak, aby w tym miejscu wspomnieć, że szansę na podwyższenie własności wytrzymałościowych materiałów metalicznych upatruje się właśnie w bardzo silnym rozdrobnieniu struktury ziarnowej na drodze deformacji plastycznej.

Studies of the kinetics of the KOBO process have shown that plastic deformation possess the features of viscous liquid flow (linear relation between plastic strain rate and stress) with viscosity parameter of the order of $10^7 \text{Pa}\cdot\text{s}$ [2,3]. This conclusion received the verification in experiments. The tests on radial flow (flow perpendicular to the applied force – „side” extrusion) performed on hardly deformable aluminium and magnesium alloys (Fig. 10) showed no increase of the extrusion force relative to the forward extrusion force.

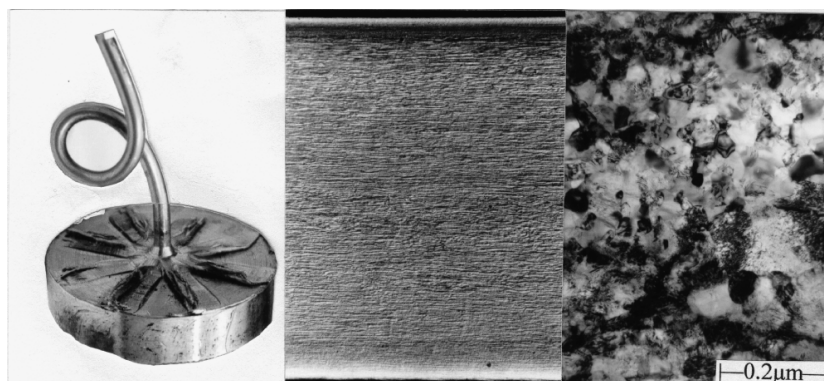
The KOBO method appeared also as a tool of metal structure control. Large plastic deformation and low temperature of the process favour formation of stable nano-metric elements of metal substructure. This feature of the method is illustrated in figure 11, which shows the product of extrusion (wire) of Cu-8Sn alloy and its macro and micro (TEM) structure.

It seems to be important at this point to mention that a chance to improve (increase) mechanical properties of metallic materials is seek just in refinement of the grain size of metals to nano-size dimensions.



Rys. 10. Wypraski różnych metali, uzyskane drogą „bocznego wyciskania” na zimno metodą KOBO na prasie o nacisku 1 MN

Fig. 10. Flat extrudates of the KOBO radial extrusion of cold billets by using 1MN load capacity press



Rys. 11. „Plastyczna” prasówka z trudno-odkształcalnego brązu cynowego Cu-8Sn oraz makro i mikro-struktura (TEM)

Fig. 11. Ductile extrudate (wire) of hardly deformable Cu-8Sn alloy and its macro and micro structure (TEM picture)

Określenie „sever plastic deformation” – SPD jest używane dla podkreślenia, że wymagana jest w tym celu duża deformacja plastyczna. Dodatkowo, proces odkształcania musi być prowadzony przy niskich temperaturach aby zapewnić stabilność przetworzonej mikrostruktury metalu.

Obszernie eksponowana w literaturze metoda ECAP–Equal Channel Angular Pressing [4], w przypadku materiałów trudno odkształcalnych nie spełnia oczekiwań. Rys. 12 pokazuje efekt „przeciskania” metodą ECAP próbki ze stopu magnezu AZ31 przez kanał kątowy w temperaturze pokojowej [7].

Kruchość stopu w warunkach deformacji na zimno jest przyczyną, że uzyskanie na tej drodze silnie rozdrobionej struktury ziarnowej metalu staje się niemożliwe. Podjęta próba wyciśnięcia z dużym stopniem przerobu tego stopu metodą KOBO wykazała, że deformacja

In the case of bulk metals the way of grains refinement is plastic deformation provided, however, that deformation is very high. The term “sever plastic deformation - SPD” is commonly used to emphasis this fact. Moreover, the deformation must be performed at low temperature to ensure stability of refined this way metal structure.

Highly exposed in the literature method ECAP - Equal Channel Angular Pressing [4] is the case of hardly deformable metals does not meet the expectations. As is shown in Fig. 12 the attempt to use it for magnesium based alloy – AZ31 at room temperature lead to fracturing of the metal [7].

This experiments shows, therefore, that because of cold-shortness of the alloy refinement of its structure this way becomes impossible undertaken attempt to extrude the alloy at room temperature by using KOBO method

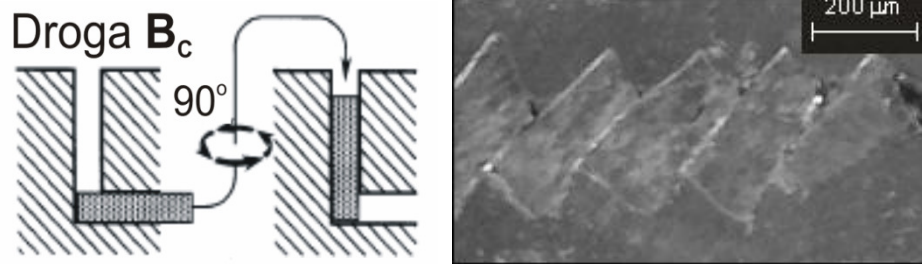
w schemacie cyklicznie zmiennej drogi deformacji staje się sposobem silnego uplastycznienia kruchego metalu. Charakterystykę siłową wyciskania „na zimno” metodą KOBO stopu AZ31 przedstawia rys.13.

Wielkość rzeczywistego odkształcenia, w tym przypadku równa 4.6, lokuje je we wspomnianym obszarze SPD z równocześnie uformowanym gotowym wyrobem (w tym przypadku drut).

Porównawczo, własności wyrobu po tradycyjnym wyciskaniu (przy temperaturze 300 °C) i po wyciskaniu KOBO pokazują wykresy rozciągania na rys.14, a rozdrobnienie struktury z poziomu około 30 mikrometrów (stan po wyciskaniu przy 300 °C) do kilku mikrometrów (rys.15).

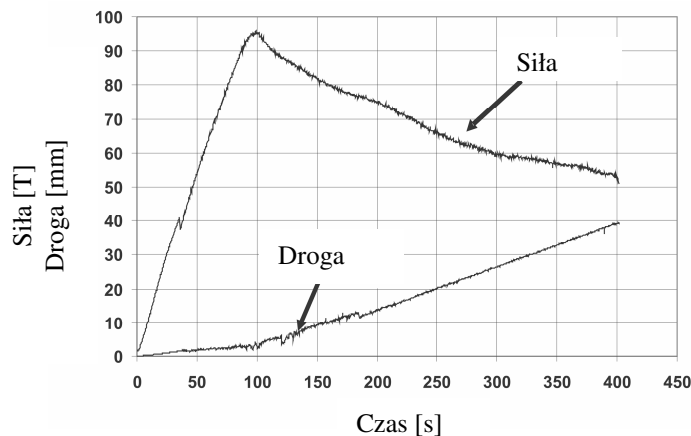
appeared successful. It showed that plastic deformation in cyclically changing “strain path” highly increases ductility of otherwise brittle metal. Fig. 13 shows the characteristics of the KOBO cold extrusion of magnesium alloy AZ31.

The value of extrusion true strain equal 4.6 ($\ln 100$) is in the range of sever plastic deformations and, what is important, gives finite product (wire in this case). For a comparison in Fig. 14 are shown tensile characteristics of KOBO wires with that of conventional forward extrusion at 300 °C (denoted “prior KOBO”), while on the next figure (Fig. 15) is shown the macro and micro (TEM) pattern of the grain structure in KOBO wire. The refinement of the grain size from 30 μm as in hot extruded alloy to the level of a few micrometers in KOBO extruded samples has been found.



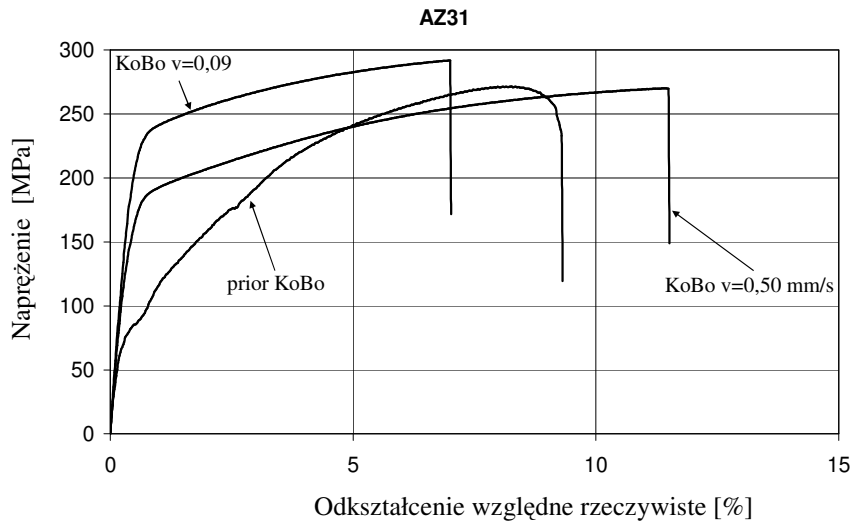
Rys. 12. Schemat odkształcania metalu metodą ECAP i skutek takiej operacji w przypadku stopu magnezu AZ31 przeciskanego przy temperaturze pokojowej [7]

Fig. 12. Scheme of the ECAP deformation and effect of the attempt to use this technique for magnesium AZ31 alloy at room temperature [7]



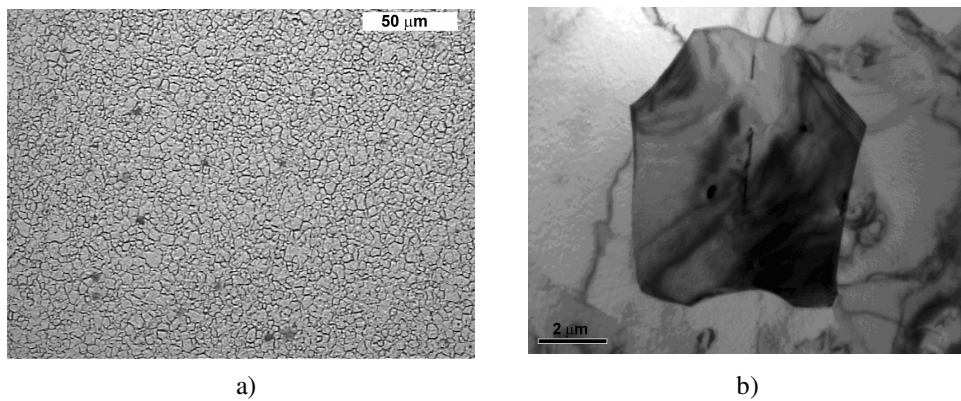
Rys. 13. Charakterystyka siłowa wyciskania na zimno stopu magnezu AZ31 metodą KOBO ze stopniem przerobu 100

Fig. 13. Load vs. punch displacement characteristics of magnesium AZ31 alloy extruded at room temperature with cross section reduction ratio 100



Rys. 14. Krzywe rozciągania stopu AZ31 w stanie po wyżarzeniu (dolna krzywa) i po wyciskaniu metodą KOBO zimnego metalu ze stopniem przerobu 100 [7]

Fig. 14. Tensile test curves of magnesium AZ31 alloy before (lower curve) and after KOBO extrusion. Cross section reduction ratio 100 [7]



Rys. 15. Struktura ziarnowa prasówki KOBO ze stopu AZ 31: a) obraz w mikroskopie metalograficznym , b) obraz w mikroskopie elektronowym

Fig. 15. Grain structure of KOBO extrudate of AZ31 alloy: a) optical, b) TEM pictures

Badania charakterystyki wyciskania metali i ich post-deformacyjnych właściwości mechanicznych ujawniły dodatkowe ważne i korzystne cechy prasówki KOBO. Obok wysokiej granicy plastyczności i wytrzymałości na rozciąganie, trwałość termiczną tych cech należy uznać za całkowicie nową i nieoczekiwaną [11, 12]. Trudno odkształcalne stopy aluminium (np. Al-7075) czy magnezu (AZ31, AZ91) w podwyższonych temperaturach stają się przy tym nadplastyczne (rys.16).

Ujawnione w próbie rozciągania cechy nadplastyczne prasówki zweryfikowano w próbach technologicznych tłoczenia i prasowania. Na rys. 17 pokazane są fotografie „wytlóczek”

Studies of mechanical properties of extruded metals revealed additional important features of KOBO products. Especially worth of mentioning is unexpected thermal stability of their mechanical properties. Tensile characteristics and in particular flow stress and ultimate tensile stress are not affected by heating in temperatures in which recovery processes usually lead to softening [11, 12]. Moreover, hardly deformable alloys of aluminium (e.g. Al-7075) and magnesium (AZ31, AZ91) after KOBO extrusion become super-plastic at elevated temperature (Fig. 16).

Super plastic flow of these alloys has been verified in technological tests of deep pressing

ze stopu Al7075 oraz AZ31 i AZ91. Uzyskano je z prasówki (płaskownik) pokazanej na rys. 10. Rysunek 18 przedstawia wynik prasowania matrycowego „śmigła” z wyciśniętego pręta.

Praktycznie nie limitowaną możliwość uzyskania dowolnego kształtu wyprasek z trudno odkształcalnych materiałów w warunkach wyciskania „na zimno”, dobrze ilustruje rys. 19, przedstawiający rurkę ze stopu AZ91 uformowaną na prasie 1 MN.



Rys. 16. Obrazy dokumentujące nadplastyczny charakter deformacji próbki ze stopu AZ91 (stop odlewniczy) w warunkach rozciągania przy temperaturze 350 °C [12]

Fig. 16. The pattern of tensile samples of flat magnesium alloy AZ91 KOBO extrudate showing the (super-plastic behavior of this not-deformable alloy) if tensile deformed at 350 °C [12]



Rys. 18. Wypraski ze stopów Al7075 i AZ91 uzyskane z prasówek KOBO przez szybkie prasowanie odpowiednio przy 450°C (stop Al) i 350°C [12]

Fig.18. Result of the fast pressing (forging) of Al-7075 and AZ91 extrudates at temperature 450 °C and 350 °C respectively [12]

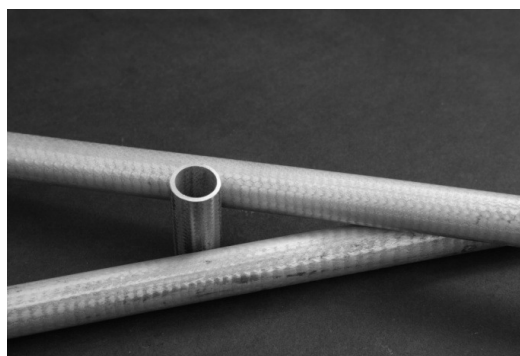
and forging. Figure 17 shows the drawpieces of aluminium 7075 and magnesium AZ31 and AZ91 alloys made from flat KOBO extrudates while in Fig. 18 are examples of airscrews received by die stamping of rod like extrudates.

Experiments on extrusion of hardly deformable metallic materials showed practically no limits in getting a desired shape of extrudates under “cold deformation” conditions. Figure 19 gives the example of tube of AZ91 magnesium alloy extruded at room temperature on 1 MN capacity press.



Rys. 17. Wytłoczki ze stopów Al-7075, AZ31 i AZ91 uzyskane z prasówki KOBO przez szybkie tłoczeni odpowiednio przy temperaturze 450 °C (stop aluminium) i 350 °C (stopy magnezu) [12]

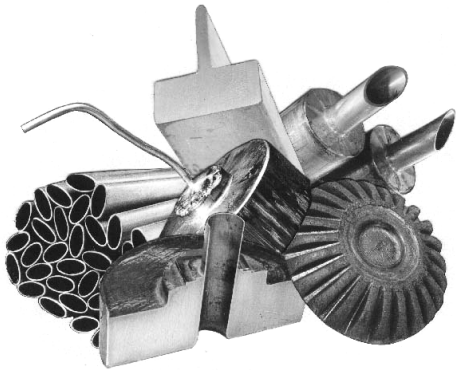
Fig. 17. Results of the deep pressing of flat extrudates of aluminium (7075) and magnesium AZ31 and AZ91 alloys. Pressing temperature 450 °C and 350 °C respectively [12]



Rys. 19. Rurka ze stopu magnezu AZ91 wyciśnięta na prototypowej prasie 1 MN

Fig. 19. Fine tube of magnesium AZ91 alloy extruded at room temperature by using 1 MN load capacity press

Szerokie możliwości doboru parametrów procesu (ma pięć stopni swobody) pozwalają na wykorzystanie omawianej metody do kształtowania wyrobów z różnych metali o zadanym kształcie i własnościach. Weryfikacji tego stwierdzenia dostarczyły badania w warunkach półprzemysłowych i przemysłowych. Przykładami niech posłużą rysunki 20 i 21.



Rys. 20. Przykłady prasówek uzyskanych metodą KOBO w warunkach doświadczalnych i przemysłowych.

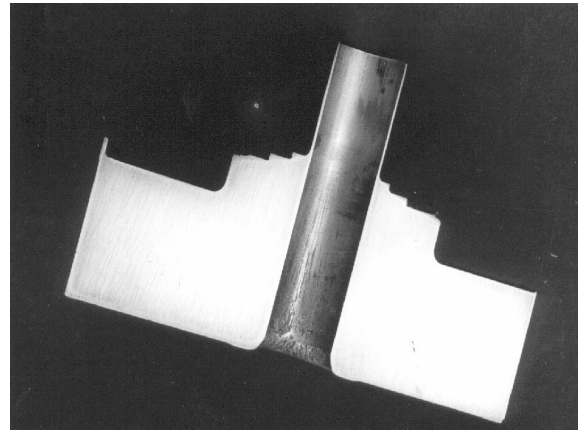
Widoczne na rys. 20 stożkowe koło zębate uzyskano w wariacie kucia matrycowego

Fig. 20. Examples of the KOBO extrusion and KOBO forging products received in semi-industrial and industrial conditions

3. PODSUMOWANIE

Z konieczności skrótowe przedstawienie nowego rozwiązania, nie obejmuje pełnego obszaru, zweryfikowanych pozytywnie jego zastosowań jako sposobu nadawania kształtu i formowania struktury (właściwości) materiałów metalicznych i kompozytowych. Mamy jednak nadzieję, że już w takiej formie metoda KOBO zostanie odebrana jako dobrze korelująca się z oczekiwaniami na technologie innowacyjne. Dotychczasowe doświadczenia uzyskane w badaniach laboratoryjnych, a także w warunkach przemysłowych (w Zakładzie Doświadczalnym IMN w Gliwicach, Hucie Będzin, Walcowni Metali w Czechowicach) ujawniają nie tylko zalety metody, jako rozwiązania energooszczędnego i ekologicznie korzystnego, ale w pełni uzasadniają przekonanie o możliwości ich wykorzystania do wytwarzania materiałów o unikalnych właściwościach użytkowych.

As many as five degrees of control of the KOBO processes give a very unique possibility to get the extrusion products having desired shape and properties. Chosen examples of KOBO extrusion and forging products are shown in Figs. 20 and 21.



Rys. 21. Cienkościenne rura wyciśnięta metodą KOBO na przemysłowej prasie 8 MN z mosiężnego wlewka o średnicy ϕ 135 mm

Fig. 21. Thin wall Cu-Zn brass tube made of ϕ 135 mm in dia. billet by using 8 MN industrial press adapted for KOBO technology

3. SUMMARY

This of necessity brief description of the KOBO technology does not comprise full range of possible variants and applications of the idea of metal forming (e.g. forging, rolling) and metal structure control (e.g. metal matrix composites). Let us hope, however, that the idea and experimentally and industry verified results fit well to the expectations for innovative solutions in metal forming. So far gained experience and especially that of industrial plants (INMET - Gliwice, Metallurgical Plant - Będzin, Metal Rolling Plant - Czechowice) proved not only the energy and ecologically saving features of the technology. It also give strong support to the conviction that the technology can give product of unusual physical properties.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Korbel A., Bochniak W., European Patent N° 071120, U.S. Patent N°573959.
- [2] Korbel A., "Mechanical instability of metal structure – catastrophic flow in single and polycrystals", Int. Symposium on Advanced Crystal Plasticity Canadian Institute of Mining and Metallurgy, 42-68, Kingston 1992.
- [3] Korbel A., Bochniak W., The structure-based design of metal forming operations. Mater. Process. Technol., 53, 229-237 (1995)
- [4] Korbel A., Bochniak W., Błaż L., Submitted for publication in Metallurgical Transactions.
- [5] Bochniak W., Teoretyczne i praktyczne aspekty plastycznego kształtowania metali – Metoda KoBo. Wydawnictwa AGH, Kraków 2009
- [6] Segal V.M., Sci. Eng. A197, 157 (1995).
- [7] Korbel A., Bochniak W., Refinement and control of metal structure elements by plastic deformation. Scripta Materialia, 51, (2004), pp 755- 759.
- [8] Korbel A., Bochniak W., The KOBO method of metal structure refinement. Aluminium and its Alloys, Septembre 2005, pp. 136-139
- [9] Pospiech J., Korbel A., Bonarski J., Bochniak W., Tarkowski L., Microstructure and texture of Mg-based AZ alloy after heavy deformation under cyclic strain path change conditions. Materials Science Forum, 584-586, pp. 565-570 (2008)
- [10] Korbel A., Pospiech J., Bochniak W., Tarasek A., Ostachowski P., Bonarski J., The structural and mechanical features of hexagonal materials after room temperature extrusion by KoBo method. Submitted for publication in Materials Science and Engineering.
- [11] Pięła K., Bochniak W., Ostachowski P., Błaż L., Korbel A., Skutki mechaniczne i strukturalne wyciskania cynku metodą KOBO. Rudy i Metale Nieżelazne, 54, 356 (2009).
- [12] Bochniak W., Teoretyczne i praktyczne aspekty plastycznego kształtowania metali metodą KoBo, Wydawnictwo AGH, Kraków 2009.
- [13] Aly H., Umformtechnik, Tagungsband, 25.ASK, 2010, Aachen.
- [14] GUS, export/import, 2010.
- [15] EUROFORGE, Hagen, 2009.