

ZESZYTY NAUKOWE WYŻSZEJ SZKOŁY PEDAGOGICZNEJ W BYDGOSZCZY
Studia Techniczne 1980 z.8

Jerzy Lisowski
Marek Olszewski
Maria Słomczyńska
Instytut Obróbki Plastycznej
Poznań

K U C I E N A C I E P Ł O

Trudności występujące przy kuciu na gorąco /utlenienie, duże zbieżności kuźnicze, duże tolerancje odkuwek itp./ oraz trudności przy kuciu na zimno /wysokie naciski, zjawisko umocnienia, operacje przygotowawcze/ były przyczyną rozwoju technologii kucia na ciepło.

Kucie na ciepło jest to proces kształtowania, podczas którego wstępniak jest nagrzewany, a proces przebiega w takich warunkach, że efekt umocnienia jest zachowany. Dla stali zakres temperatur nagrzewania wynosi od 200°C do 800°C ; inaczej niż przy obróbce plastycznej na gorąco stali, gdzie materiał jest nagrzewany do temperatury występowania austenitu i odkształcany w czasie chłodzenia z tego zakresu temperatur / $1250-1100^{\circ}\text{C}$ /. Technologia kucia na ciepło łączy zalety kształtowania na gorąco i na zimno. Umożliwia ona w stosunku do kucia na gorąco:

- zwiększenie dokładności wykonania części /osiąga się do dokładności zbliżone do uzyskiwanych przy kuciu na zimno/,
 - zwiększenie efektywności wykorzystania materiałów poprzez zmniejszenie naddatków i pochyłeń /naddatki na zgorzelinę/,
 - zmniejszenie pracochłonności obróbki wykańczającej skrawaniem,
 - obniżenie zużycia energii cieplnej przeznaczonej do grzania.
- W stosunku do kucia na zimno umożliwia:
- obniżenie nacisków kształtowania,

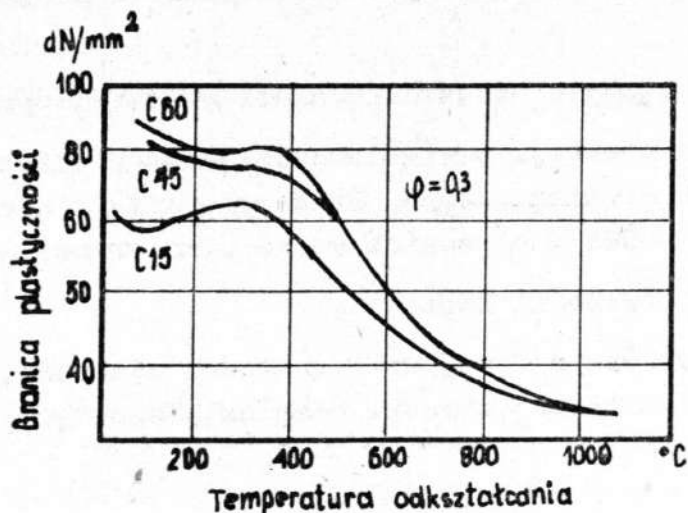
- rozszerzenie metod dokładnego kształtowania na materiały trudno odkształcalne, których kształtowanie na zimno było niemożliwe,
- zwiększenie stopnia odkształcalności w jednej operacji,
- eliminowanie operacji przygotowawczo-pomocniczych, takich jak wyżarzanie zmiękczające, bonderyzowanie międzyoperacyjne itp., co pozwala na zastosowanie pras transferowych,
- zwiększenie trwałości narzędzi,
- uzyskanie odkuwek o dużej wytrzymałości udarowościowej bez stosowania dodatkowej obróbki cieplnej, szczególnie stali węglowych.

1. M a t e r i a ł y d o k u c i a n a c i e p ł o

Kucie na ciepło jest szczególnie przydatne do kształtowania stali średniowęglowych, stali stopowych oraz nierdzewnych i żaroodpornych. Materiał wyjściowy do kształtowania na ciepło musi spełniać te same warunki jak do kucia na zimno pod względem stanu powierzchni, wtrąceń niemetalicznych i segregacji węglików. Przy kuciu powyżej 600° C stosuje się stal walcowaną na gorąco lub ciągnioną, a przy kuciu w temperaturach poniżej 600° C wymagane jest dodatkowe wyżarzanie sferoidyzujące.

Stale węglowe

Zastosowanie procesu kucia na ciepło do obróbki stali węglowych pozwala obniżyć naciski kształtowania o 20-50 % przy temperaturach 500-700° C.



Rys. 1. Wpływ temperatury kształtowania na wielkość granicy plastyczności stali węglowych C60 /0,6 % C/, C45 /0,45 % C/, C15 /0,15 % C/ przy stopniu odkształcenia $\varphi = 0,3$

Na rys. 1. pokazano wpływ temperatury na wielkość granicy plastyczności stali węglowych wyższej jakości C15/wg PN15/, C45 /wg PN45/ i C60 /wg PN60/ wyciskanych współbieżnie z odkształceniem $\varphi = 0,3$ [7]. W temperaturze $300^{\circ}C$ obserwuje się lokalne podwyższenie granicy plastyczności spowodowane występującą w tej temperaturze kruchością na niebiesko.

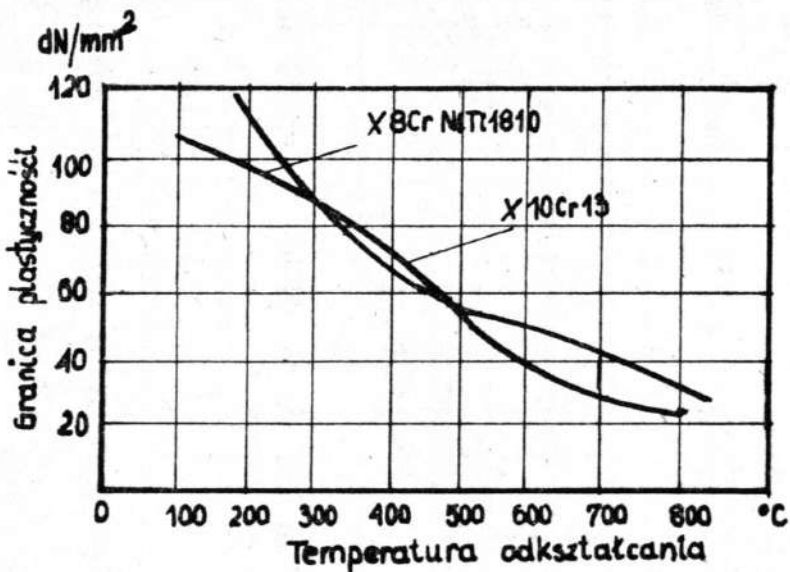
Do kształtowania na ciepło stali średnio- i wysokowęglowych wykorzystuje się zakres temperatur od $600-800^{\circ}C$, który jest najkorzystniejszy dla tych stali.

Stale stopowe

Stale stopowe wykazują w większości równomierne obniżenie się granicy plastyczności ze wzrostem temperatury. Wybór temperatury kształtowania tych stali jest uzależniony głównie od składu chemicznego oraz stopnia odkształcenia.

Stale nierdzewne

Badania prowadzone na stalach nierdzewnych typu X10 Cr 13 /wg PN1H13/ i X8 Cr Ni Ti 1810 /wg PN1H1829T/ wykazują równomierny spadek wielkości granicy plastyczności wraz ze wzrostem temperatury odkształcenia /rys. 2./ [1].

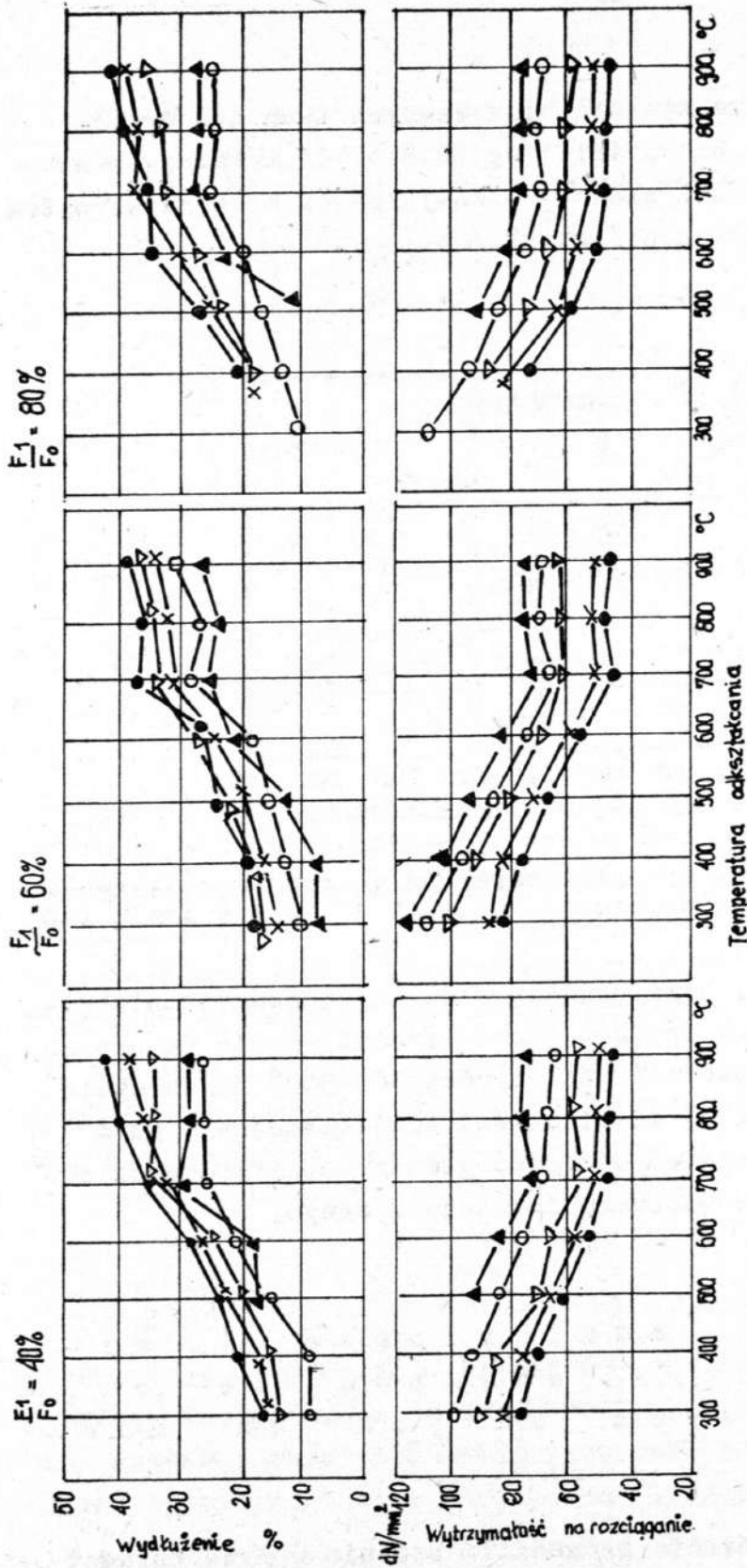


Rys. 2. Wpływ temperatury odkształcenia na granicę plastyczności stali nierdzewnej X8 Cr Ni Ti 1810 i stali X10 Cr 13

Jak wynika z rys. 2. przy obróbce stali nierdzewnych nie zaobserwowano lokalnych spadków plastyczności. Kucie na ciepło tych stali można prowadzić już powyżej 300-500° C /zależnie od składu chemicznego i od wielkości odkształcenia/, gdyż w tym zakresie temperatur wielkość granicy plastyczności obniża się o 40-50 % w stosunku do stanu zimnego.

2. Właściwości mechaniczne i mikrostruktura wyrobów ze stali węglowych kutech na ciepło

K. Yuasa i Y. Murata prowadzili badania wpływu parametrów technologicznych, takich jak temperatura i stopień od-

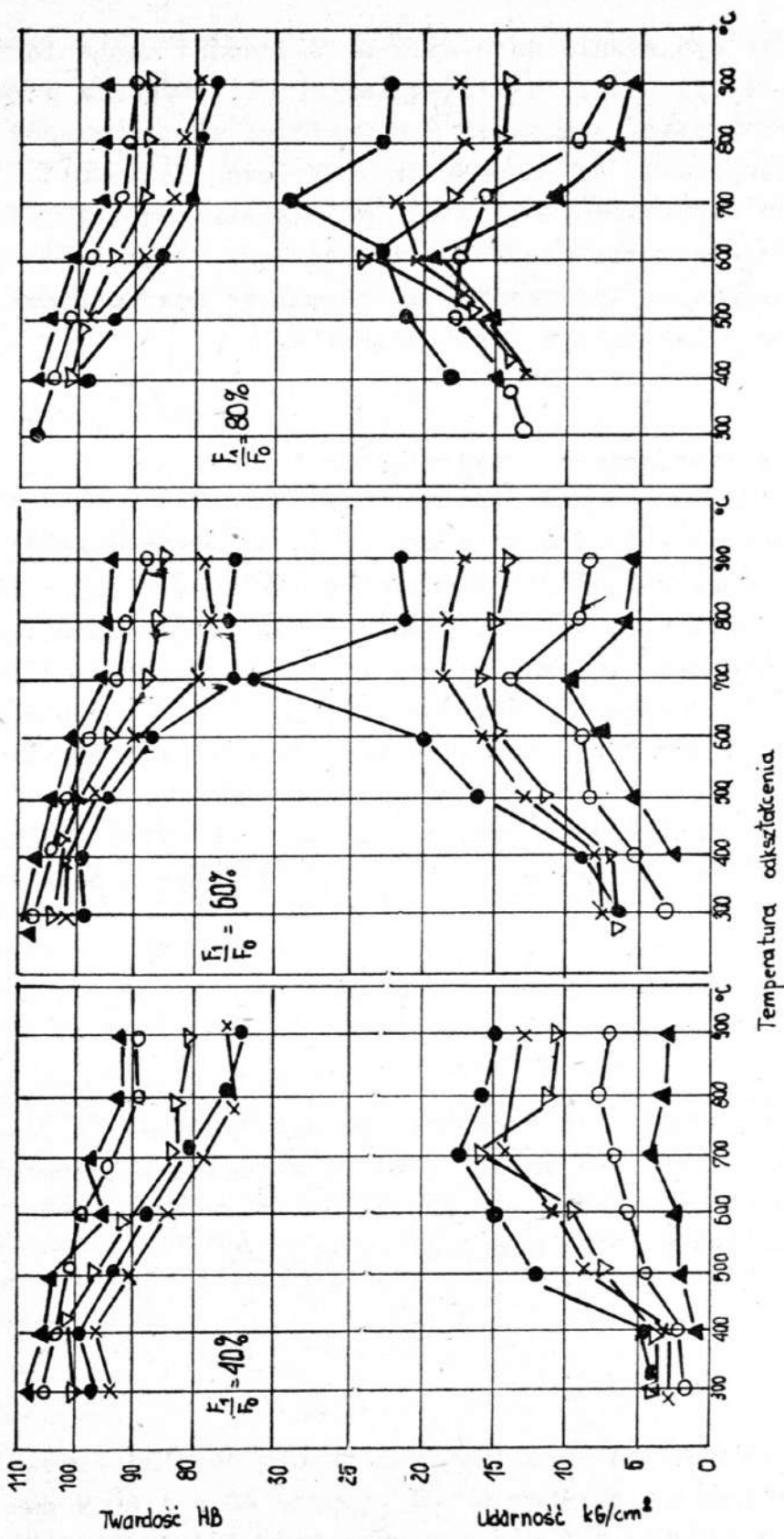


Wg PN stale konstrukcyjne wyższej jakości:
 1 20; 2 25; 3 35; 4 40; 5 50

Rys. 3. Wpływ temperatury i stopnia odkształcenia na wytrzymałość, na rozciąganie i wydłużenie stali węglowych

Stal typu

- - S20
- × - S25
- ▽ - S35
- - S43
- ▲ - S53



Wg PN stale konstrukcyjne wyższej jakości:
 1 20; 2 25; 3 35; 4 40; 5 50

Rys. 4. Wpływ temperatury i stopnia odkształcenia na udarność i twardość stali węglowych

Stal typu	-	S20 G2	0,2 % C,	0,23 % Si,	0,48 % Mn,	0,015 % P,	0,017 % S/
	-	S25 C3	0,28 % C,	0,26 % Si,	0,46 % Mn,	0,016 % P,	0,022 % S/
	-	S35 C4	0,35 % C,	0,27 % Si,	0,76 % Mn,	0,02 % S,	0,016 % P/
	-	S43 C5	0,44 % C,	0,3 % Si,	0,79 % Mn,	0,010 % P,	0,02 % S/
	-	S53 C	0,53 % C,	0,32 % Si,	0,76 % Mn,	0,017 % P,	0,023 % S/

kształcenia przy wyciskaniu na ciepło na własności mechaniczne i mikrostrukturę wyrobów ze stali węglowych [8]. Badania prowadzono dla grupy stali węglowych o zawartości węgla 0,2-0,53 % w przedziale temperatur od temperatury pokojowej do 1000° C przy wyciskaniu współbieżnym ze stopniem odkształcenia 20, 40, 60, 80 %. Określono takie własności mechaniczne, jak: wytrzymałość na rozciąganie, wydłużenie, wytrzymałość udarnościową w próbie Charpy i twardość w skali Brinella.

Wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenie

Na rys. 3. pokazano wpływ temperatury kucia na wytrzymałość na rozciąganie oraz wydłużenie badanych stali przy różnych odkształceniach przekroju. Wytrzymałość na rozciąganie stopniowo maleje ze wzrostem temperatury odkształcenia, przy czym po obróbce w 700° C obserwujemy minimum wytrzymałości, a następnie niewielki jej wzrost. Wydłużenie wzrasta wraz z temperaturą obróbki osiągając maksimum po obróbce 700° C. Wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenie badanych stali zachowują tę samą wartość niezależnie od wielkości stopnia odkształcenia.

Twardość

Twardość wyrobu zmienia się podobnie jak wytrzymałość na rozciąganie, a więc stopniowo maleje wraz ze wzrostem temperatury kształtowania. Nie stwierdza się natomiast istotnego wpływu stopnia odkształcenia na tę własność /rys. 4./.

Udarność

Udarność wzrasta wraz ze wzrostem temperatury obróbki /rys. 4./, osiąga max. wartość po obróbce w 700° C przy 40 % i 60 % odkształceniach przekroju dla stali nisko- i średniowęglowych.

Przy 80 % odkształceniach przekroju stale średniowęglowe osią-
gają maksymalną wartość udarnościową po obróbce w temperaturze
600° C, a niskowęglowe po obróbce w 700° C. Po przekroczeniu
maksimum obserwujemy gwałtowny spadek własności udarnościowych.
Wartości udarnościowe stali średniowęglowych odkształconych
w temperaturze 400 i 500° C oraz przy 80 % odkształceniu są
wyższe niż dla wyrobów kształtowanych w 800° C i 900° C.

Mikrostruktura

Badania mikroskopowe stali węglowych [8], poddanych obróbce
kształtowania plastycznego na ciepło /wyciskanie/, wykazują
istnienie struktury włóknistej składającej się z wydłużonych
w kierunku wyciskania ziarn ferrytu i perlitu. Ziarna ferrytu
są zrekrystalizowane, a w perlicie występuje cementyt sfero-
idalny. Z obserwacji struktur materiałów poddanych wyciskaniu
w zakresie temperatur od 300-700° C i przy 40 %, 60 % i 80 %
stopniu odkształcenia wynika, że wraz ze zwiększeniem stopnia
odkształcenia temperatura rekrytalizacji ferrytu i przemiany
cementytu płytkowego zawartego w perlicie kulkowym obniża się.
Np. dla stali węglowej o zawartości węgla 0,35 % przy 40 %
stopniu odkształcenia przekroju rekrytalizacja ferrytu zacho-
dzi w temperaturze powyżej 600° C, przy 60 % odkształceniu
w 600° C, a przy 80 % już w 500° C. Struktura włóknista skła-
dająca się z ziarn zrekrystalizowanego ferrytu i cementytu
kulkowego zapewnia utrzymanie wysokich własności udarności-
owych stali węglowych. Poprzez optymalizację parametrów obrób-
ki plastycznej na ciepło można w wielu wypadkach wyeliminować
obróbkę cieplną wyrobów konieczną przy innych technologiach
obróbki plastycznej w celu podniesienia własności udarności-
owych.

3. Narzędzia do kucia na ciepło

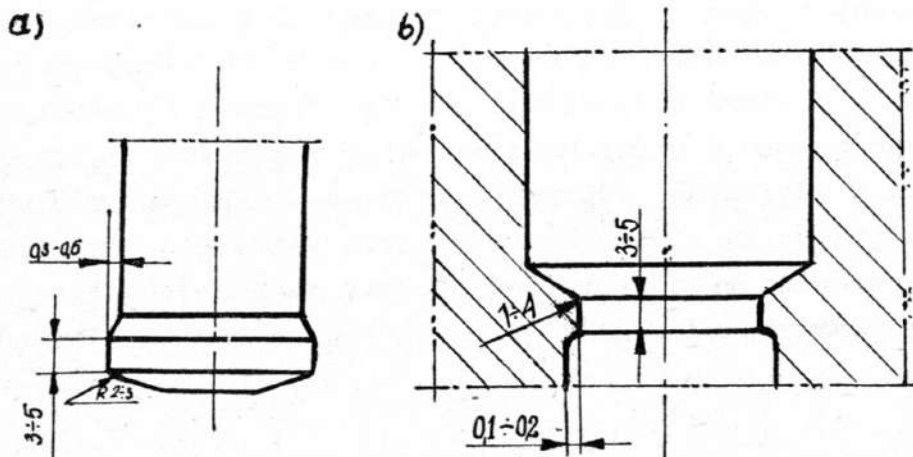
Narzędzia do kucia na ciepło konstruuje się wg takich samych zasad jak do obróbki na zimno uwzględniając jednak rozszerzalność cieplną odkuwek.

Na rys. 5. [3] pokazano geometrię części roboczych stempla do wyciskania przeciwbieżnego i matrycy do wyciskania współbieżnego na ciepło.

Do kucia w zależności od wysokości zastosowanych temperatur zaleca się:

- 200-400° C - stosowanie do stempli i matryc stali szybko-
tnącej wykorzystywanej do narzędzi do kucia na
zimno;
- 400-700° C - stosowanie do stempli stali szybko-
tnącej, a do matryc stali narzędziowej do pracy na gorąco;
- 700-800° C - stosowanie do stempli i matryc stali narzędzi-
owej do pracy na gorąco.

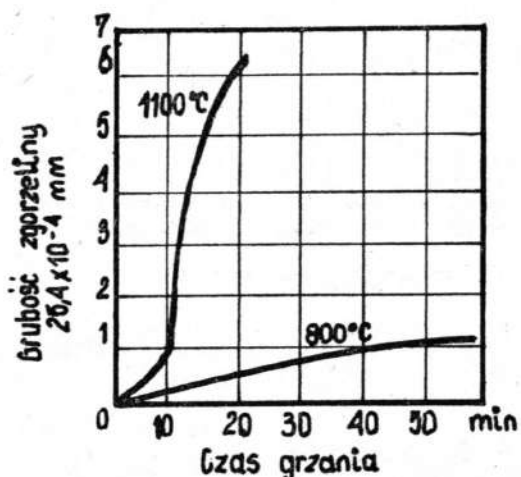
W celu zabezpieczenia narzędzi przed gwałtownymi zmianami temperatur należy stosować wstępne ich podgrzewania do około 150° C.



Rys. 5. Geometria części roboczej stempla i matrycy do wyciskania na ciepło:
a/ przeciwbieżnego
b/ współbieżnego

4. Nagrzewanie do kucia na ciepło

Do kucia na ciepło najbardziej korzystne jest stosowanie nagrzewania elektrycznego indukcyjnego lub oporowego ze względu na szybkość nagrzewania, minimalnie tworzoną zgorzelinę i łatwość automatyzacji procesu grzania. Dzięki niższym temperaturom stosowanym przy kształtowaniu na ciepło uszkodzenia powierzchni związane z powstawaniem zgorzeliny wyeliminowane są prawie całkowicie. Rys. 6. przedstawia grubość warstwy zgorzeliny tworzącej się na powierzchni podczas nagrzewania do temp. 1100°C /temperatura obróbki plastycznej na gorąco/ i do 800°C /najwyższa temperatura obróbki plastycznej na ciepło/ w zależności od czasu nagrzewania [4].



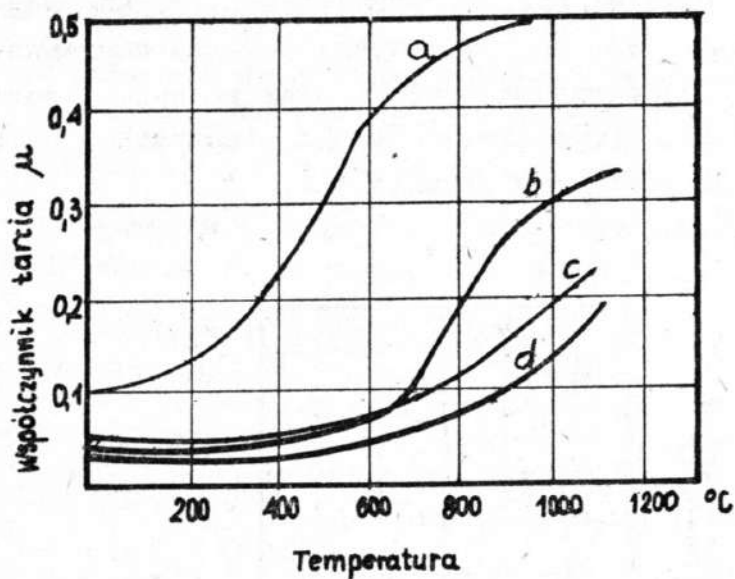
Rys. 6. Wpływ czasu nagrzewania stali w temp. 1100°C i 800°C na grubość wytworzonej warstwy zgorzeliny

5. Smarowanie w procesach kucia na ciepło

Nacisk przy kuciu na ciepło można obniżyć stosując środki smarne. Dobór środka smarnego uzależniony jest od rodzaju materiału i temperatury kucia. Na rys. 7. przedstawiono zmianę współczynnika tarcia w zależności od temperatury i rodzaju

środka smarnego [6].

W zakresie temperatur do 400° C zaleca się stosować grafit lub dwusiarczek molibdenu, który nakłada się na przedmiot obrabiany, można także fosforanować powierzchnię przedkuwki. W temperaturach od 400-800° C stosuje się roztwór wodny grafitu, a do stali nierdzewnych miedzianowanie powierzchni lub szczawianowanie.



Rys. 7. Wpływ temperatury kształtowania na wielkość współczynnika tarcia:

- a/ bez smarowania
- b/ smarowanie MoS_2 + olej
- c/ olejem maszynowym
- d/ grafitem

6. P r a s y d o k u c i a n a c i e p ł o

Do kucia na ciepło zalecane są prasy korbowe lub kolanowe. Prasy te powinny mieć dużą szybkość uderzenia w dolnym zwrotnym położeniu w celu zmniejszenia czasu kontaktu narzędzia z kutą częścią, a przez to zabezpieczenia narzędzi przed przegrzaniem.

Zaleca się stosować prasy hydrauliczne o prędkościach ruchu roboczego powyżej 40 mm/sek i czasie przetrzymania suwaka w dolnym zwrotnym położeniu poniżej 0,2 sek [5]. Prasy te powinny być wyposażone w układ wypychaczy o napędzie mechanicznym, które zapewniają szybkie usuwanie części z wykrojów. Sztywność i dokładność prowadzenia suwaka powinny odpowiadać parametrom charakteryzującym prasy do wyciskania na zimno.

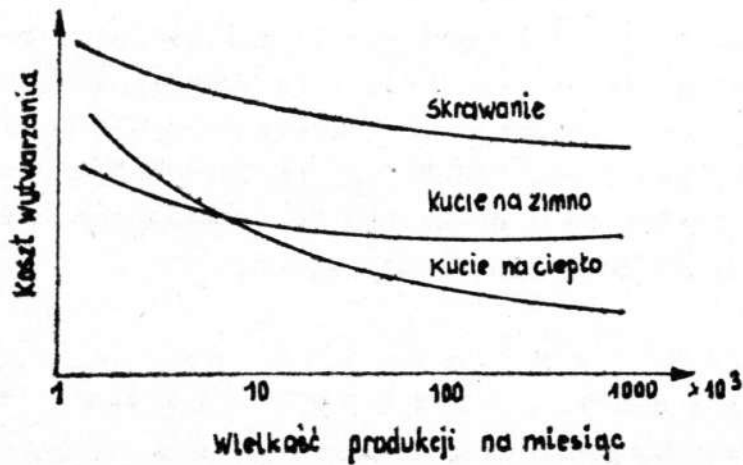
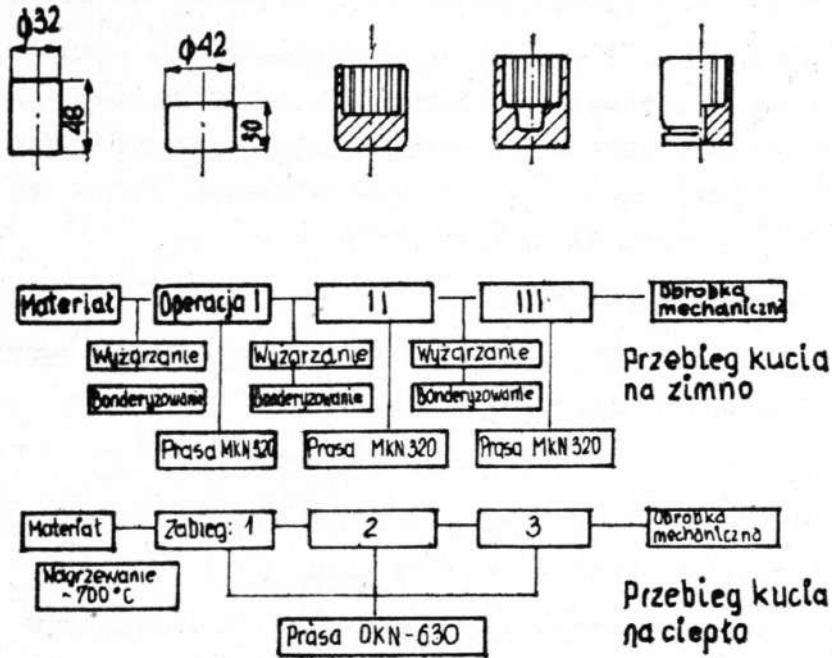
Aby przeprowadzać kucie na ciepło rozwinięto ostatnio konstrukcję pras transferowych pionowych, których budowę oparto na bazie pras do wyciskania na zimno, uwzględniając możliwości kształtowania w przyrządach z 3-4 stanowiskami. Prasy te charakteryzują się następującymi cechami:

- a/ długim prowadzeniem suwaka,
- b/ możliwością obciążenia w pewnych granicach suwaka wypadkowym obciążeniem nieosiowym,
- c/ dużą sztywnością i dokładnością wykonania,
- d/ odpowiednio dużą przestrzenią roboczą ułatwiającą automatyzację i mechanizację procesów,
- e/ zastosowaniem 3-4 wypychaczy o napędzie mechanicznym i długim skoku, umieszczonych na stole i w suwaku.

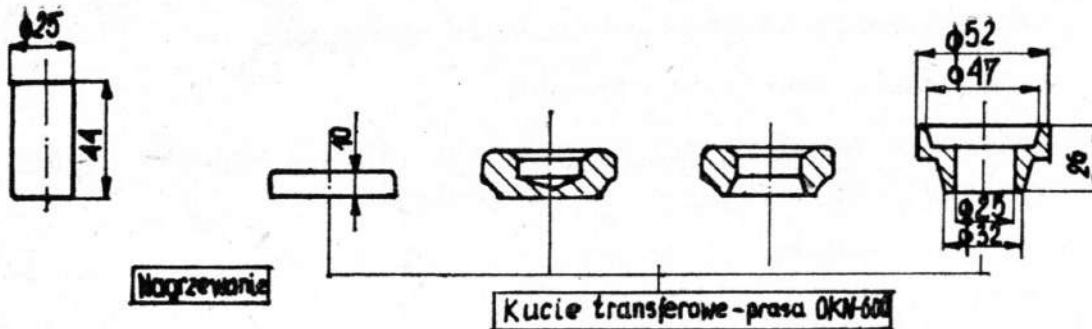
Prasy mechaniczne transferowe z możliwością stosowania ich do kucia na ciepło produkowane są obecnie między innymi przez: firmę KOMATSU /Japonia/ - prasy typu OKN o nacisku od 320 KN - 1600 KN, firmę VEB Erfurt /Erfurt NRD/ - prasy korbowe o nacisku 630 KN i skoku 250 mm pozwalające kuć części o średnicy do 52 mm w trzech zabiegach.

7. P r z y k ł a d y z a s t o s o w a n i a k u c i a n a c i e p ł o

Firma Bethelm Burns specjalizująca się w kształtowaniu na zimno części, głównie wałków, które mają zastosowanie w skrzyniach biegów i mechanizmach różnicowych, wprowadza spęczanie na ciepło zgrubień na wałkach. Przykładem może być



Rys. 8. Porównanie przebiegu kucia klucza nasadowego na ciepło i na zimno oraz kosztów wytwarzania



Rys. 9. Przebieg technologii kucia na ciepło pierścieni łożyskowych

wałek napędzający o ciężarze 5 kg i średnicy 105 mm ze stali, na którym zgrubienie pod koło zębate stożkowe jest spęczane na ciepło. Tolerancje wymiarów uzyskiwane po obróbce na ciepło wynoszą 0,05-0,075 mm [2]. Firma Komatsu rozwija proces kucia na ciepło stosując prasy pionowe transferowe. Zastosowanie pras transferowych pozwala na wyeliminowanie zabiegów międzyoperacyjnych, takich jak np. bonderyzowanie czy wyżarzanie międzyoperacyjne.

Na rys. 8. i 9. pokazano proces kucia na ciepło nasadki klucza oraz pierścieni łożyska stożkowego. Porównując koszt wykonania klucza nasadkowego metodą kucia na ciepło, kucia na zimno i skrawaniem z prętu, najbardziej ekonomiczne w warunkach Japonii okazało się kucie na ciepło, gdy miesięczna produkcja przekraczała 6000 sztuk [5].

8. P o d s u m o w a n i e

Zastosowanie technologii kucia na ciepło umożliwia:

- uzyskiwanie dużych dokładności wymiarowych zbliżonych do otrzymywanych przy kuciu na zimno przy stosowaniu znacznie niższych nacisków kształtowania,
- wyeliminowanie wyżarzania zmiękczającego, bonderyzowania i wyżarzania międzyoperacyjnego, dzięki czemu zmniejsza się

- ilość operacji kucia,
- kształtowanie wyrobów o większych wymiarach,
 - zwiększenie trwałości narzędzi,
 - wpływanie na własności mechaniczne wyrobów poprzez dobór odpowiednich parametrów kształtowania.

B i b l i o g r a f i a

- [1] Burgdorf M., Extrusion of steel in the temperature range between 20 and 700° C, Metal Forming 1971, nr 3, s. 76-79.
- [2] Cold and warm forgings this big? Metal Progres 1977, nr 2, s. 22-23.
- [3] Guidelines for warm working of steels, Metallurgia and Metal Forming 1975, nr 11, s. 366-367.
- [4] Rogers S. E., Problems of preheating for warm forging, Metallurgia and Metal Forming 1976, nr 2, s. 36-39.
- [5] Prospekt firmy Komatsu. Transfer Forming presses OKN - Servis, Targi Poznańskie 1977.
- [6] Saga I Study on lead monooxide as lubricant for warm forging of steels, Metallurgia and Metal Forming 1972, nr 9, s. 323-324.
- [7] Schlowag E., Pöhlmann W., Woruntersuchungen zum Fliespressen von Stahl zwischen Raum-und Warmformgebung-temperatur, Masehinenbau 1969, nr 7, s. 289-294.
- [8] Yuasa K., Murata Y., Mechanical propertiss a. mikrostructure of warm extruded carbon steels, Metallurgia and Metal Forming 1974, nr 10, s. 290-298.

W A R M F O R G I N G

Summary

The authors presented a survey of numerous papers dealing with warm steel forging. Graphical results showing how such typical parameters as: flow stress, hardness, strength and elongation vary under the influence of the preheat temperature of the billet over the warm forging range were presented. The discussion deals with the influence of the warm forging temperature and strain ratio on the material microstructure. The authors gave some indication for tools geometry, materials, methods of heating and selection of presses for warm forging.

ТЕПЛАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА

Резюме

В настоящей статье представлен просмотр литературы, касающейся теплой объемной штамповки. Графически представлено влияние температуры подогрева заготовки в диапазоне теплой штамповки на напряжение течения, ударную вязкость, твердость и удлинение материала после штамповки. Обсуждается также влияние температуры и деформации на микроструктуру и ударную вязкость материала. Подаются указания для конструирования инструмента, подбора материала, способа нагрева и выбора пресс для теплой штамповки.