

Analysis and development of an effective method of preheating hot forging tools

PAWEŁ WIDOMSKI*, MATEUSZ SKWARSKI*, MARCIN RYCHLIK**

* Wrocław University of Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering,
The Chair of Metal Forming and Metrology, Łukasiewicza 5 St, Wrocław, Poland, pawel.widomski@pwr.edu.pl

** Jawor Forge S.A., Kuziennicza 4 Street, Jawor, Poland, marcinrychlik@kuznia.com

Abstract: This article contains an overview of available preheating methods which are commonly used in hot forging processes. Then a comprehensive analysis of the temperature changes that occur on the surface and directly below the surface of the forging die was carried out during the preheating process. The temperature measurement was performed with fast thermal camera and a thermocouple inserted inside the tool. The temperature was measured in traditional preheating process, and its value after preheating was about 200°C, which can be acceptable, however this process was improper, because of possibility of tempering surface layer of forging tool. That's why new method of preheating tools in contact with heated billets was developed and detailed instructions for time and layout of billets were prepared. The tool temperature was measured also after application of new method presented in this manuscript, and it reached over 200°C after two preheating cycles. After three cycles of preheating also good results obtained because temperature in surface layer was about 260°C. In conclusion, method proposed by authors obtained good result, is quite efficient and prevents from tempering of forging tools. Finally, two pre-heating instructions were prepared, for the Massey 2500T press and the Massey 1300T press, which are attached at the end of the manuscript.

Keywords: preheating, forging die, temperature, tempering, billet

Analiza i opracowanie efektywnego sposobu wstępnego nagrzewania narzędzi do kucia na gorąco

Streszczenie: Artykuł obejmuje przegląd i ocenę dostępnych metod wstępnego nagrzewania narzędzi kuźniczych. Następnie zawiera kompleksową analizę zmian temperatury, jakie zachodzą na powierzchni i bezpośrednio pod powierzchnią matryc kuźniczych podczas wstępnego ich nagrzewania. Dla wybranej metody grzania wstępnego materiałem wsadowym opracowano szczegółowe wytyczne dotyczące sposobu i czasu nagrzewania wkładek matrycowych. Przygotowano również szczegółowe wytyczne grzania narzędzi na dwóch wybranych prasach.

Słowa kluczowe: nagrzewanie, matryca, temperatura, odpuszczanie, materiał wsadowy

1. Wstęp

Wśród wielu technologii przeróbki plastycznej, kucie na gorąco znajduje szerokie zastosowanie w produkcji detali dla przemysłu maszynowego, rolniczego, wydobywczego i przede wszystkim motoryzacyjnego. Obecnie główne kierunki rozwoju przemysłu kuźniczego koncentrują się wokół podnoszenia jakości odkuwek, w tym poprzez stosowanie zabiegów kucia dokładnego, polepszenia wydajności procesów kucia przez ich automatyzację, robotyzację i stosowanie zaawansowanych systemów monitorowania produkcji oraz obniżenia kosztów

produkcji. W tym zakresie dąży się do optymalizacji ilości materiału odkuwki i całego procesu kształtowania przy zastosowaniu narzędzi MES, oraz do podniesienia trwałości stosowanych narzędzi kształtujących.

Narzędzia w procesach kucia na gorąco są narażone na działanie wielu niekorzystnych czynników, wśród których najistotniejszy jest wpływ tarcia (zużycie ściernie) oraz zmiennych temperatur i nacisków (zmęczenie cieplno-mechaniczne). Występowanie tych mechanizmów niszczących jest nieuniknione i można jedynie je ograniczyć ingerując w materiał narzędziowy i technologię wytwarzania

narzędzi [1-3]. Dodatkowo w procesach kucia na gorąco podczas kontaktu narzędzia z gorącym materiałem odkuwki może dochodzić do nieprawidłowości takich jak przegrzanie lub pęknięcie na skutek nierównomiernego przyspieszonego nagrzewania się materiału narzędzia. Te problemy należy wyeliminować poprzez zastosowanie odpowiedniego chłodzenia narzędzi oraz wstępne ich podgrzewanie przed rozpoczęciem kucia, aby uniknąć nierównomiernego nagrzewania i towarzyszących mu naprężeń [4].

Celem przeprowadzonych badań była analiza temperatury matryc kuźniczych podczas wstępnego nagrzewania i podczas pierwszych cykli pracy oraz opracowanie technologii wstępnego nagrzewania zapewniającej bezpieczne warunki pracy matrycy już od pierwszego cyklu kucia.

2. Materiały i metody

Wstępne nagrzewanie narzędzi odbywa się po zamontowaniu ich na agregacie kuźniczym (prasie lub młocie) lub też bezpośrednio przed ich montażem i rozpoczęciem procesu kucia. W tej dziedzinie powszechnie stosuje się następujące metody:

- grzanie palnikami gazowymi narzędzi już zamocowanych,
- grzanie matryc na palnikach zlokalizowanych osobno w otoczeniu agregatu (dotyczy głównie matryc o dużej pojemności cieplnej),
- grzanie powierzchni narzędzi przez kontakt z nagrzanym materiałem przeznaczonym do kucia w postaci ciętek z prętów umieszczonych pomiędzy narzędziami na prasie,
- grzanie narzędzi w piecu gazowym lub elektrycznym (rzadko spotykane),
- grzanie powierzchni narzędzi promiennikami podczerwieni na prasie/młocie lub wewnątrz pieca (technologia rozwijana w niektórych kuźniach) [5].

Istnieją także inne propozycje, które nie znalazły dotąd szerokiego zastosowania takie jak stosowanie wzbudników indukcyjnych lub grzałek w kształcie odkuwki umieszczanych w wykroju narzędzia.

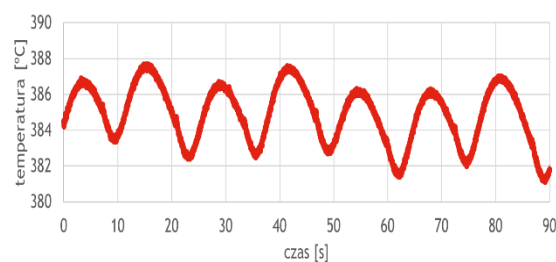
Spośród wszystkich tych technologii analizie poddano metodę grzania przy pomocy podgrzanych do kucia ciętek stanowiących w procesie przedkuwkę do pierwszej operacji spęczania. Badania prowadzono w Kuźni Jawor na prasie Massey 2500T, na której jest realizowany proces kucia na gorąco koła czołowego. Jest to proces realizowany w 3 operacjach (spęczanie, kucie wstępne i wykańczające), przy temperaturze materiału przedkuwki 1150-1180°C. Szczegółowe informacje o analizowanym procesie zawarte są w publikacji [6]. Należy zaznaczyć, że narzędzia w tym procesie są wykonane ze stali 1.2343 (WCL) oraz są poddane obróbce cieplnej przez hartowanie i podwójne odpuszczanie w piecach bez atmosfery ochronnej. Dodatkowo narzędzia wstępne i wykańczające są azotowane gazowo w celu podniesienia ich trwałości. Efektem takiego doboru

materiału i technologii jest uzyskanie narzędzi odpornych na działanie podwyższonych temperatur, zdolnych do pracy na gorąco w temperaturze narzędzia nieprzekraczającej 550°C. Zalecana temperatura pracy mieści się w zakresie 250-300°C i taką temperaturę należałoby uzyskać jako wstępną wartość przed rozpoczęciem kucia.

Wykonano szereg badań obejmujących pomiar temperatury narzędzi, materiału grzewczego i innych elementów prasy, dla różnych wariantów nagrzewania. Pomiar temperatury narzędzi realizowano przy pomocy termopary wprowadzonej przez otwór do narzędzia bezpośrednio pod wykroj roboczy na głębokość 10 mm podłączonej do autorskiego systemu pomiarowego, a także za pomocą szybkiej kamery termowizyjnej i pirometrów. W ten sposób możliwe było zweryfikowanie uzyskanych wyników i dokonanie kompleksowej analizy zagadnienia. W kolejnych rozdziałach przedstawiono uzyskane wyniki oraz sformułowane wytyczne do procesu nagrzewania narzędzi.

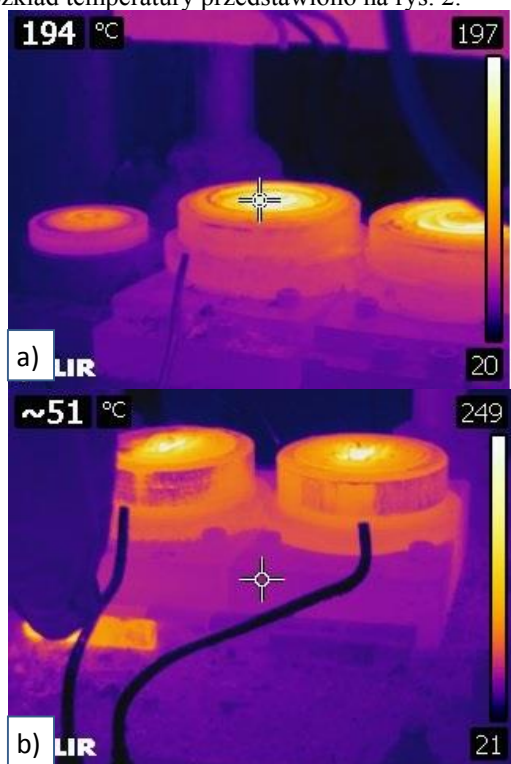
3. Wyniki (Dyskusja)

Pierwszy pomiar temperatury przeprowadzony za pomocą termopary wykonano podczas procesu kucia na gorąco koła czołowego 706007 na prasie o nacisku 2500 ton. Pierwszą operacją procesu było spęczanie na zimno bez smarowania materiału wsadowego w postaci ciętki o średnicy 60 mm. Drugą operacją było kształtowanie wstępne na gorąco z użyciem środka smarowego, a trzecią operacją było kształtowanie wykańczające, również w wysokiej temperaturze z środkiem smarującym. Zadaniem środka smarującego jest chodzenie narzędzi i zminimalizowanie skutków tarcia. W celu pomiaru temperatury narzędzia bezpośrednio pod wykrojem, w wybranym narzędziu umieszczono termoparę, która była podłączona do systemu pomiarowego, zamocowana 10 mm pod powierzchnią roboczą dolnej wkładki matrycowej wstępnej. Pomiar odbywał się w czasie rzeczywistym. Uzyskane wyniki przedstawiono na rys. 1. Widoczne skoki wartości związane są z pojedynczymi uderzeniami prasy kuźniczej.



Rys. 1 Zmiana temperatury narzędzia podczas kucia koła czołowego (10 mm pod powierzchnią roboczą)

Równolegle podczas procesu kucia wykonano pomiar temperatury na powierzchni dolnego i górnego narzędzia oraz elementu odkształcanego za pomocą szybkiej kamery termowizyjnej. Wyniki w postaci termogramu, czyli mapy kolorów pokazującej rozkład temperatury przedstawiono na rys. 2.

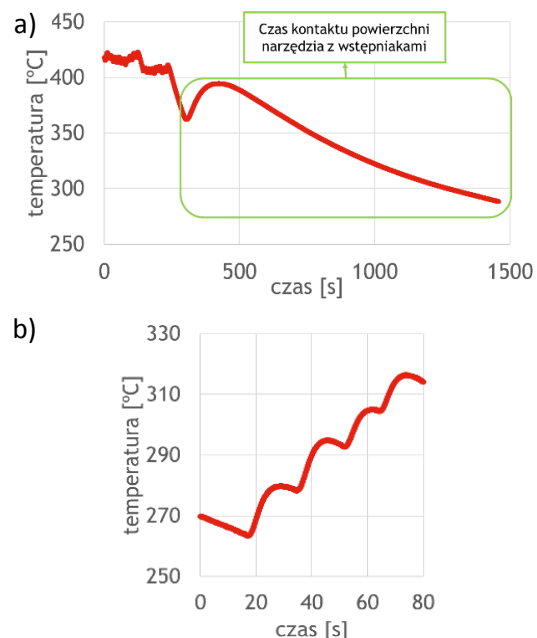


Rys. 2 a) termogram wykonany podczas kucia koła czółowego, b) termogram narzędzi do kucia widłaka

W celu zapewnienia narzędziom wykonanych ze stali 1.2343 możliwie jak najdłuższego czasu eksploatacji bez ryzyka uszkodzenia ich (według dostawców materiału i przeprowadzonych do tej pory licznych badań) zaleca się, aby podczas procesu nie doszło do przegrzania narzędzi. Zaleca się, aby temperatura narzędzi w trakcie procesu nie przekraczała 500°C, gdyż może to spowodować odpuszczenie materiału i utratę w tym miejscu własności mechanicznych. Drugim zaleceniem jest wystrzeżenie się niedogrzenia narzędzi przed ich eksploatacją, aby uniknąć nierównomiernego nagrzania materiału matrycy, co może powodować powstanie nadmiernych naprężeń prowadzących do przedwczesnego uszkodzenia i pęknięcia narzędzi.

Opracowana i stosowana do tej pory przez Kuźnię Jawor metoda nagrzewania narzędzi zakłada, że narzędzia powinny zostać wstępnie podgrzane (przed procesem kucia) do temperatury 200-250°C, co zabezpiecza je przed powstaniem niekorzystnych naprężeń i powoduje stabilizację temperatury narzędzia w pierwszych cyklach kucia. Metoda polega na podgrzaniu wsadów o dowolnej geometrii do temperatury 1150°C i ułożeniu ich na powierzchni dolnego narzędzia. Następnie następuje docisk suwaka z górnymi narzędziami. Oprócz tego, na oprawie dolnych wkładek matrycowych układa się

nagrzane wstępniaki. Również podczas przerwy (zmiana brygady, awaria, itp.) postępuje się podobnie w celu podtrzymania temperatury narzędzia. Przebieg zmian temperatury narzędzia zmierzony termoparą podczas przerwy pokazany jest na rys. , natomiast na rys. 3b pokazano przebieg zmian temperatury podczas kucia 4 odkuwek bezpośrednio po przerwie technologicznej.



Rys. 3 Zmiany temperatury narzędzia podczas a) dogrzewania w przerwie technologicznej, b) kucia pierwszych 4 odkuwek

Obecnie stosowana metoda nie zapewnia długiej trwałości i czasu eksploatacji narzędzi. Podczas jej wykonywania, pracownicy mogą popełnić wiele błędów, m. in.: układanie zbyt gorących wstępniaków, co przy długim kontakcie z rozgrzanym materiałem powoduje odpuszczenie materiału narzędzia; stosowanie docisku zwiększającego kontakt materiału z narzędziem potęgując efekt odpuszczenia, a układanie różnych rodzajów wsadów powoduje niepowtarzalny rozkład temperatury na narzędziu.

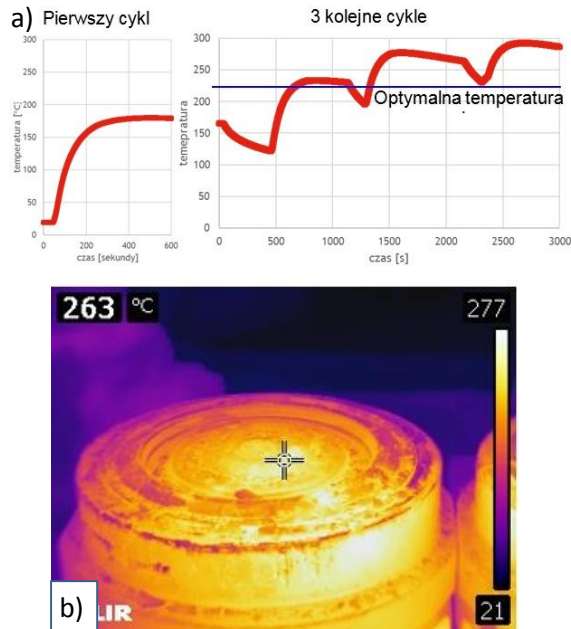
W celu poprawienia stabilności i rozkładu temperatury na narzędziach opracowano nową metodę ich nagrzewania, która zapewnia jednorodny rozkład temperatury na narzędziu i powtarzalne, bezpieczne ich nagrzewanie.

4. Wnioski

Przedstawione wyniki obejmują szczegółową analizę zmian temperatury na powierzchni i w warstwie wierzchniej matryc kuźniczych podczas ich wstępnego nagrzewania i eksploatacji. Na podstawie badań temperatury opracowano szczegółowe procedury wstępnego nagrzewania materiałem wsadowym narzędzi na prasie o nacisku 2500T i 1300T. Uzyskano wyniki, które potwierdziły

zasadność dwukrotnego nagrzewania z użyciem nagrzanego materiału wsadowego.

Zasadność dwukrotnego grzania została potwierdzona zarówno wynikami z systemu pomiarowego (rys. a) jak i kamery termowizyjnej (Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.b).



Rys. 5 a) temperatura wewnątrz narzędzia podczas 3 kolejnych cykli grzania materiałem wsadowym, b) termogram narzędzia, gotowego do pracy pogrzanego zgodnie z instrukcją z tab. 1

Po podgrzaniu narzędzi wykonuje się próbne odkuwki w celu pomiarów. Wykazano, że próbne kucie jednej lub kilku odkuwek połączone z regulacją stołu prasy mimo dłuższych chwil bezczynności nie spowodują niebezpiecznego schłodzenia narzędzi, ponieważ jeden cykl kucia wystarcza, aby podnieść temperaturę narzędzi o 20°C, co równoważy postój prasy przez 100s i postępujące w tym czasie ich chłodzenie.

Zaproponowana metoda zapewnia uzyskanie temperatury ok. 200-250°C na całej powierzchni narzędzi dolnych i górnych, co oznacza ich gotowość do prowadzenia procesu kucia. Jednocześnie zabezpiecza przed przegrzaniem narzędzi i ich powierzchniowym odpuszczeniem.

Załączniki

W załącznikach zamieszczono opracowane sposoby nagrzewania narzędzi przy pomocy materiału wsadowego.

- A. Zalecany sposób nagrzewania narzędzi na prasie 2500T poprzez odpowiednie układanie nagrzanego materiału wsadowego przedstawiono za pomocą tab. 1.
- B. Podobne pomiary przeprowadzono analogicznie dla narzędzi zamocowanych na prasie 1300T i opracowano następujący sposób postępowania przedstawiony w tab. 2.

Finansowanie

Badania zostały sfinansowane przez Kuźnię Jawor S. A. w ramach projektu „Opracowanie linii badawczo rozwojowej dla zaawansowanej obróbki cieplnej i monitorowania wpływu poszczególnych parametrów procesu na własności zmęczeniowe i wytrzymałościowe widłaków” nr. POIG.01.04.00-02-056/13.



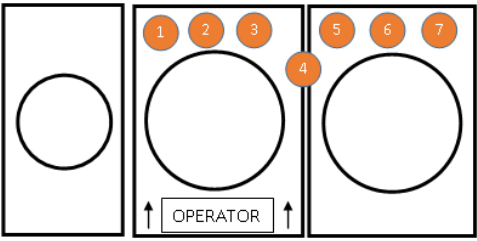

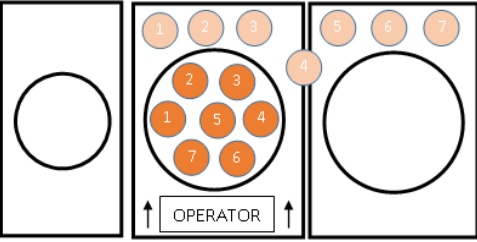

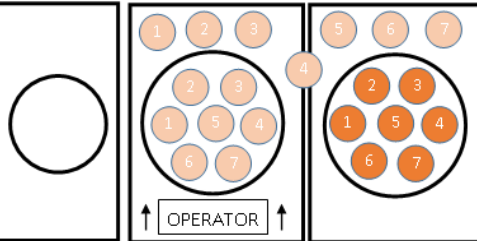
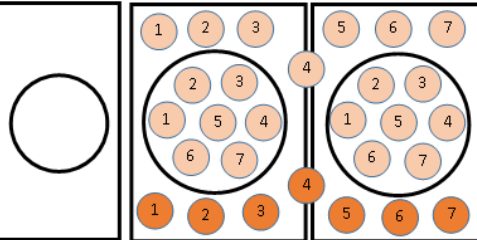
Literatura

- [1] M. Hawryluk, Z. Gronostajski, M. Kaszuba, S. Polak, P. Widomski, J. Smolik, J. Ziemia. Analysis of the wear of forging tools surface layer after hybrid surface treatment. International Journal of Machine Tools & Manufacture 114 (2017) : 60-71.
- [2] M. Kaszuba, P. Widomski. Application of ZeroFlow Nitriding Method in Improvement of Durability of Forging Tools. Proceedings of 26th International Conference on Metallurgy and Materials - METAL 2017 Brno, Czech Republic.
- [3] M. Hawryluk. Review of selected methods of increasing the life of forging tools in hot die forging processes. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 16 (2016), pp. 845–866.
- [4] M. Hawryluk, P. Widomski, J. Ziemia. Analysis of the causes of rapid damage of forging tools. Obróbka Plastyczna Metali 28, nr 1 2017: 75-92.
- [5] C. A. Blue, V. K. Sikka, E. K. Ohriner, and P. G. Engleman. Infrared Heating of Forging Billets and Dies, [online]: www.forging.org
- [6] Z. Gronostajski, M. Hawryluk, M. Kaszuba, P. Widomski, J. Ziemia. Application of the reverse 3D scanning method to evaluate the wear of forging tools divided on two selected areas. International Journal of Automotive Technology 18, nr 4 (2017): 653-662.

Załącznik A

Zalecany sposób nagrzewania narzędzi na prasie 2500T poprzez odpowiednie układanie nagrzanego materiału wsadowego przedstawiono za pomocą poniższej instrukcji – tab. 1.

Tab. 1 Sposób nagrzewania narzędzi na prasie o nacisku 2500 ton


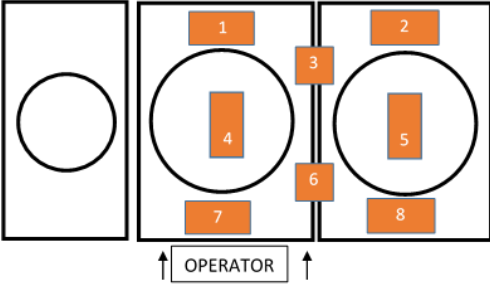
nr	Czynność	Ilustracja	Uzasadnienie i czas operacji
1	Pobrać kolejno 7 nagranych (1150°C) ciętek i ułożyć obok w rzędzie.		Podczas układania ciętki stygną osiągając optymalną temperaturę. (czas 1:45)
2	Ułożyć kolejny (drugi) rząd z 7 nagranych ciętek.		W tym czasie pierwszy rząd stygnie. (czas 1:45)
3	Przełożyć pierwsze 7 ciętek (z punktu 1) na tylną powierzchnię opraw za narzędzia.		Z tyłu układamy najpierw – to naturalna kolejność. Ustawienie ciętek z przodu i z tyłu powoduje znacznie lepszy i szybszy efekt nagrzania. (czas 0:45, realizacja równoległe z punktem 4)
4	Ułożyć kolejny (trzeci) rząd z nagranych 7 ciętek.		W tym czasie poprzedni rząd stygnie. (czas 1:45)
5	Przełożyć drugie 7 ciętek (z punktu 2) na narzędzie do kucia wstępnego.		(czas 0:45, realizacja równoległe z punktem 6)
6	Ułożyć kolejny (ostatni) rząd z 7 nagranych ciętek.		W tym czasie poprzedni rząd stygnie. (czas 1:45)
7	Przełożyć trzecie 7 ciętek (z punktu 4) na narzędzie do kucia wykańczającego		(czas 0:45)
8	Przełożyć ostatnie 7 ciętek (z punktu 6) na przednią powierzchnię opraw przed narzędzia.		(czas 0:45)

Następnie należy opuścić suwak prasy BEZ DOCISKANIA ułożonych ciętek, i pozostawić na 10 minut, aby doszło do wymiany ciepła, potem zdjąć cały materiał wsadowy. Całą sekwencję czynności należy wykonać dwu, lub trzykrotnie dla osiągnięcia optymalnej temperatury ok. 250°C. Czas dwukrotnego grzania- 33 minuty.

Załącznik B

Podobne pomiary przeprowadzono analogicznie dla narzędzi zamocowanych na prasie 1300T i opracowano następujący sposób postępowania przedstawiony w tab. 2.

Tab. 2 Sposób nagrzewania narzędzi na prasie o nacisku 1300 ton

nr	Czynność	Ilustracja	Uzasadnienie i czas
1	Pobrać 8 nagranych ciętek z o przekroju kwadratowym o boku 80 mm lub okrągłych o przekroju 70 mm i przetransportować na prasę		Podczas układania i transportu ciętki stygną osiągając optymalną temperaturę. (czas 3:00)
2	Przełożyć 8 ciętek (z punktu 1) na powierzchnię narzędzi wstępnych i wykańczających oraz oprawę narzędzi wg. schematu.		Z tyłu układamy najpierw – to naturalna kolejność. Ustawienie ciętek z przodu i z tyłu powoduje znacznie lepszy i szybszy efekt nagrzania.
Następnie należy opuścić suwak prasy BEZ DOCISKANIA ułożonych ciętek, i pozostawić na 10 minut, aby doszło do wymiany ciepła. Następnie należy zdjąć cały materiał wsadowy. Procedurę wykonać dwukrotnie.			