ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1980

Seria: HUTNICTWO z. 21 Nr kol. 654

Zygmunt RAFALSKI

Instytut Inżynierii Materiałowej
Politechnika Śląska

WYBRANE ZAGADNIENIA Z KUCIA TYTANU I JEGO STOPÓW

Streszczenie. W artykule omówiono specyfikę kucia na gorąco tytanu i jego stopów. Szczególną uwagę zwrócono na te problemy, które różnicują kucie tytanu i stali. Podano wytyczne do opracowania procesu technologicznego kucia.

1. Wprowadzenie

Obserwowany z roku na rok stały wzrost zapotrzebowania na tworzywa na bazie tytanu spowodowany jest w porównaniu z wieloma metalami ich konkurencyjnymi własnościami.

Celem niniejszego artykułu jest scharakteryzowanie pewnych specyficznych dla tej grupy tworzyw problemów związanych z kuciem na gorąco. Omówione zalecenia mogą być wykorzystane także w innych procesach obróbki plastycznej na gorąco.

Artykuł obejmuje:

1) klasyfikację stopów tytanu w zależności od struktury fazowej,

2) przygotowanie wsadu do kucia ze szczególnym uwzględnieniem nagrzewu wsadu,

3) specyfikę kucia swobodnego wlewków i innych postaci wsadu uprzednio przerobionego plastycznie,

4) specyfikę kucia matrycowego,

5) wytyczne obróbki cieplnej odkuwek,

6) wytyczne wykańczania odkuwek.

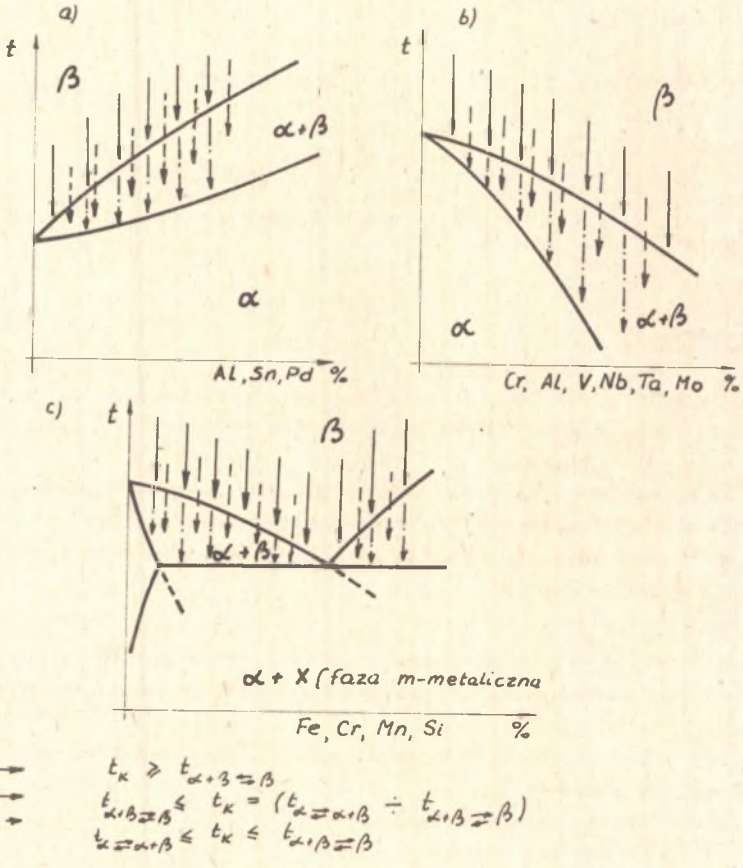
2. Stopy tytanu do obróbki plastycznej

Z punktu widzenia technologii kucia interesująca jest klasyfikacja stopów Ti ze względu na ich strukturę fazową.

Struktura fazowa w sposób istotny limituje parametry procesu kucia, jak również wpływa na własności otrzymywanych odkuwek, bowiem w zależności od zakresu temperatur kucia otrzymuje się zróżnicowaną mikrostruktu-

rę. W przypadku gdy temperatura kucia t_k znajduje się pomiędzy temperaturami przemian polimorficznych (rys. 1a)

$$t_{\alpha \rightleftarrows \alpha+\beta} \leq t_k \leq t_{\alpha+\beta \rightleftarrows \beta} \tag{1}$$



Rys. 1. Wpływ zakresu temp. kucia na rodzaj otrzymywanej struktury

otrzymuje się równoosiową strukturę drobnoziarnistą dającą bardzo wysoką plastyczność, wytrzymałość zmęczeniową i najmniejszą wrażliwość na karby.

Gdy początek kucia zachodzi powyżej temperatury $t_{\alpha+\beta \rightleftarrows \beta}$ a koniec procesu kucia realizowany jest w zakresie temperatur przemian polimorficznych (rys. 1b):

$$t_{\alpha+\beta \rightleftarrows \beta} \leq t_k = (t_{\alpha \rightleftarrows \alpha+\beta} + t_{\alpha \beta \rightleftarrows \beta}). \tag{2}$$

otrzymuje się strukturę iglastą, budową przypominającą plecionkę wiklinową, charakteryzującą się bardzo wysokimi wskaźnikami żarotrwałości i pełzania przy zachowaniu wysokiej plastyczności i stabilności w podwyższonych temperaturach.

W przypadku gdy kucie przebiega w zakresie istnienia fazy β (rys. 1c)

$$t_{\alpha+\beta \rightleftharpoons \beta} < t_k \qquad (3)$$

otrzymuje się strukturę gruboziarnistą, charakteryzującą się dużymi ziarnami fazy β z wyraźnie zaznaczonymi granicami ziarn. Budowa ziarn jest gruboiglasta. Struktura charakteryzuje się obniżonymi własnościami plastycznymi, obniżoną wytrzymałością na długotrwałe obciążenia, dużą wrażliwością na działanie karbu oraz małą stabilnością w podwyższonych temperaturach. Strukturę tę można poprawić tylko przez powtórny proces obróbki plastycznej.

3. Przygotowanie wsadu do kucia

Podstawowymi postaciami wsadu do kucia są wlewki, kęsiska i kęsy kute lub walcowane, pręty kute lub walcowane oraz pręty wyciskane. Przygotowanie wsadu do kucia uzależnione jest od postaci wsadu i metody jego otrzymania i podobnie jak dla stali obejmuje:

1) sprawdzenie powierzchni wsadu i usunięcie ewentualnych wad powierzchniowych,
2) cięcie wsadu na kawałki,
3) w przypadku kucia odkuwek na odpowiednie elementy sprawdzenie wad wewnętrznych, najczęściej metodą ultradźwiękową,
4) nagrzewanie wsadu,
5) smarowanie powierzchni wsadu pokryciami szklanymi.

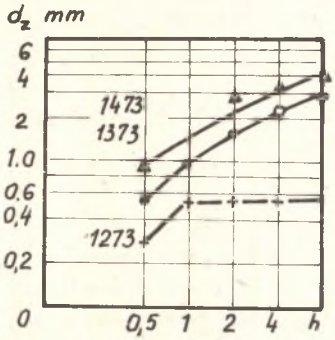
Ewentualne wady powierzchniowe, występujące najczęściej w przypadku wlewków usuwa się zwykle przez toczenie lub frezowanie. Przy czyszczeniu powierzchni wlewków nie dopuszcza się ostrych krawędzi. Winny one być zaokrąglone lub sfazowane ($R \geqslant 8$ mm; $8\text{-}45^{\circ}$).

Dzielenie wsadu na kawałki o żądanym ciężarze i długości przeprowadza się na urządzeniach stosowanych do dzielenia wsadu stalowego.

3.1. Nagrzewanie wsadu

Przemiana polimorficzna czystego Ti następuje w temperaturze 1155,5K ($882{,}5^{\circ}C$). W przypadku stopów Ti temperatura przemiany jest na ogół wyższa niż czystego Ti.

Nagrzew stopów Ti związany jest ze wzrostem ziarna (rys. 2). Poniżej temperatury rekrystalizacji ziarno praktycznie nie rośnie. Wzrost roz-

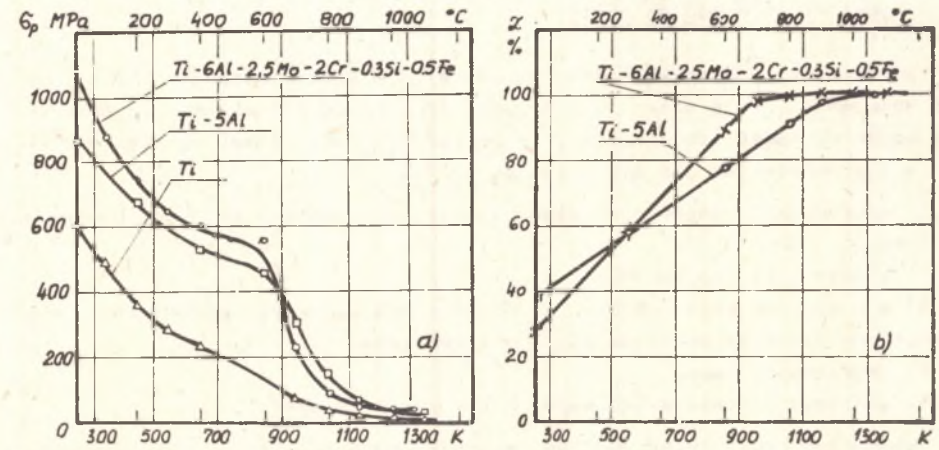


Rys. 2. Zależność średniej średnicy ziarna dla stopu Ti-5Al od temperatury i czasu nagrzewania

poczyna się po przekroczeniu temperatury rekrystalizacji. Szczególnie szybki jest wzrost ziarn, gdy nagrzew przeprowadzamy przy istnieniu fazy β.

Przykładowo dla kilku stopów Ti pokazano wpływ temperatury na naprężenie uplastyczniające σ_p (rys. 3a), na przewężenie Z w próbie jednoosiowego rozciągania (rys. 3b). Rysunek 4 pokazuje krzywe umocnienia w temperaturach kucia, zaś rys. 5 wpływ prędkości odkształcenia na naprężenie uplastyczniające dla różnych temperatur.

Charakter zmian plastyczności w zależności od temperatury jest w zasadzie ana-

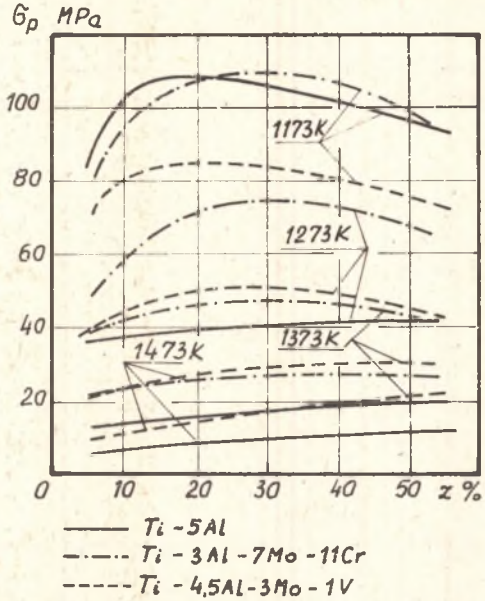


Rys. 3. Wpływ temperatury nagrzewu na naprężenia σ_p i przewężenie Z w próbie jednoosiowego rozciągania

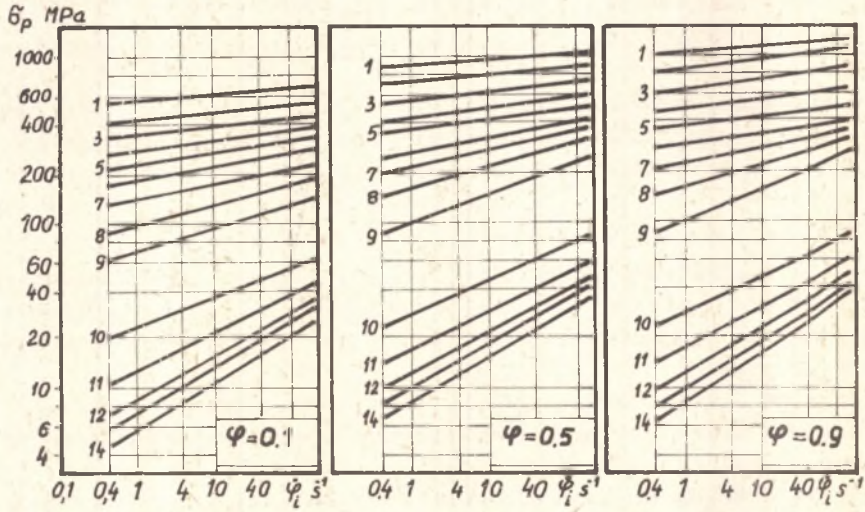
logiczny jak przy stali. Jednakże należy podkreślić duży wpływ prędkości odkształcenia $\dot{\varphi}$ na naprężenie σ_p (rys. 5), co świadczy o dużej czułości stopów tytanu na prędkość odkształcenia.

Tytan i jego stopy w wysokich temperaturach aktywnie wchodzą w związki chemiczne z O_2, N_2 i H_2. To niekorzystne działanie może być ograniczone do minimum przez:

1) stosowanie atmosfer ochronnych (zasadniczo przy kuciu matrycowym odkuwek o małej grubości),



Rys. 4. Krzywe umocnienia dla różnych temperatur kucia



Rys. 5. Wpływ prędkości odkształcenia na naprężenia uplastyczniające dla różnych temperatur

2) pokrywanie powierzchni nagrzewanego wsadu emaliami lub pokryciami szklano-ceramicznymi,

3) nagrzewanie w piecach elektrycznych,

4) nagrzewanie dwustopniowe: powolne do temperatury 920-970 K (650 - 700°C) i szybkie od temperatury 970 K (700°C) do temperatury kucia. Zastosowanie dwustopniowego nagrzewu zmniejsza czas przebywania w wysokich temperaturach.

Ponieważ stopy Ti przy nagrzewie wchodzą w reakcje ze zgorzeliną stalową, należy albo usunąć zgorzelinę z pieca, albo wysypać czy wyłożyć trzon świeżymi materiałami ogniotrwałymi, albo też podłożyć pod nagrzewany wsad arkusz blachy ze stali odpornej na korozję.

Górna temperatura nagrzewu i zakres temperatur kucia

Wybór optymalnej temperatury nagrzewu, korzystnej dla kucia konkretnego stopu jest trudny i zależy między innymi od następujących czynników:

1) rodzaju i struktury przekuwanego stopu,
2) wielkości wsadu i jego postaci,
3) rodzaju urządzenia kuźniczego, na którym będzie przerabiany wsad i metody jego kucia,
4) wielkości odkształcenia, jakiemu należy poddać wsad,
5) czasu kucia,
6) przeznaczenia odkuwki i jej własności mechanicznych.

W tablicach 1 i 2 podano zakresy temperatur kucia wybranych stopów tytanu.

Przy ustaleniu temperatur kucia należy pamiętać o tym, że zakres temperatury kucia jest zależny od aktualnej ilości dodatków stopowych i domieszek i może być zróżnicowany dla różnych wytopów tego samego gatunku.

Czas nagrzewu

Celem otrzymania drobnoziarnistej struktury oraz wysokich własności mechanicznych odkuwek należy ograniczyć do minimum czas wytrzymywania materiału w wysokich temperaturach. W związku z tym rozróżnia się nagrzew jedno- i dwustopniowy.

Nagrzew jednostopniowy stosuje się dla wymiarów mniejszych od ϕ 100. Czas nagrzewu ustala się równy 1 min na każde 2 mm maksymalnego wymiaru poprzecznego.

Przy nagrzewie dwustopniowym czas ustala się następująco: dla $t \leqslant 1123$ K (850°C) przy $t_p = 1123$ K (850°C) 1 min/2 mm dla $t_k \geqslant t \geqslant 1123$ K (850°C) przy $t_p = t_k$ 1 min/3 mm maksymalnego wymiaru poprzecznego, gdzie t_p - temperatura pieca.

Tablica 1

Zakres temperatur kucia swobodnego dla wybranych stopów Ti

Lp.	Stop	Struktura fazowa	Temp. przemiany polimorficznej w K	Kucie wlewków			Kucie materiałów uprzednio obrobionych plastycznie			
				temperatura kucia w K		ubytek przekroju za 1 nagrz. w %	grubość wsadu w mm	temperatura kucia w K		ubytek przekroju za 1 nagrzew w %
				początek	koniec			początek	koniec	
1	Ti-	α	1158-1163	1323	1023	20-30	wszystkie grubości	1223	973	40
2	Ti-5Al		1253-1303	1453	1173	30-50		1373	1123	40-70
3	Ti-5Al-2Sn		1253-1303	1453	1173	20-50		1373	1123	40-70
4	Ti-1Al-1Mn	ps.α	1123-1223	1223-1323	1023	30-50		1153-1223	973-1023	40-70
5	Ti-3,5Al-1,5Mn		1193-1213	1353	1123	30-50		1253	1073	40-70
6	Ti-6Al-2Zr-1Mo-1V		1253-1293	1453	1173	20-30		1353	1173	40
7	Ti-5Al-4V	$\alpha+\beta$	1223-1263	1373	1123	30-70	do 100	1273	1073	40-70
							ponad 100	1293	1073	40-70
8	Ti-6Al-2,5Mo-2Cr-0,3Si-0,5Fe		1233-1273	1453	1123	40	do 100	1273-1253	1093	40-50
							ponad 100	1373-1293	1123	40-50
9	Ti-4,5Al-3Mo-1V		1193-1233	1373	1123	30-50	wszystkie grubości	1343-1253	1073	40-70
10	Ti-4,5Al-2Mo-4,5V-0,6Fe-1Cr		1113-1153	1453	1123	30-50	"	1293	1073	40-70

Tablica 2

Zakres temperatur kucia matrycowego dla wybranych stopów Ti

Lp.	Stop	Struktura fazowa	Temperatura przemiany polimorficznej w K	Kucie matrycowe na prasach hydraulicznych			Kucie matrycowe na młotach		
				temp. kucia w K		odkszt. za 1 nagrzew w %	temp. kucia w K		odkszt. za 1 nagrzew w %
				początek	koniec		początek	koniec	
1	Ti	α	1158-1163	1163	923	40-50	1193	973	40-50
2	Ti-5Al		1253-1303	1293	1123	40-70	1373	1173	40-70
3	Ti-5Al-2Sn		1253-1303	1293	1123	40-70	1373	1173	40-70
4	Ti-1Al-1Mn	ps α	1123-1223	1153-1223	973-1073	40-70	1073-1123	1023	40-70
5	Ti-3,5Al-1,5Mn		1193-1213	1133-1163	923	40-70	1143-1223	973	40-70
6	Ti-6Al-2Zr-1Mo-1V		1253-1293	1243-1273	1173	40-50	1263-1293	1123-1173	40-50
7	Ti-5Al-4V	$\alpha+\beta$	1223-1263	1213	1023	40-70	1243	1073	40-70
8	Ti-6Al-2,5Mo-2Cr-0,3Si-0,5Fe		1233-1273	1203-1223	1073	40-60	1213-1253	1123	40-60
9	Ti-4,5Al-3Mo-1V		1193-1233	1203-1233	1073	40-70	1193-1213	1023	40-70
10	Ti-4,5Al-2Mo-4,5V-0,6Fe-1Cr		1113-1153	1113	1023	20-50	1223	1073	40-70

Inne zalecenia

1. Temperatura pieca przy ładowaniu wsadu zimnego nie powinna przekraczać 1123 K (850°C).

2. Maksymalny czas przebywania wsadu przy temperaturze kucia nie powinien przewyższać wartości podanych w tablicy 3.

Tablica 3

Maksymalny czas przebywania wsadu w piecu przy górnej temperaturze kucia

Lp.	Wymiar poprzeczny wsadu mm	Maksymalny czas przebywania w godz.
1	do 50	1,0
2	50 - 70	1,5
3	70 - 140	2,0 x)
4	140 - 200	2,5
5	200 - 250	3,0
6	250 - 350	4,0

x) Przy przebywaniu wsadu w piecu powyżej 2 h temp. pieca należy obniżyć do 1273 K.

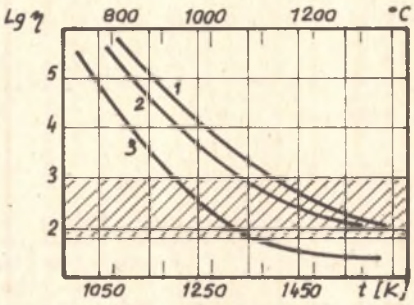
3. W przypadku krótkotrwałej przerwy w pracy kuźni temperaturę pieca należy obniżyć do temperatury 1123 K (850°C), a po jej zakończeniu podnieść znowu do temperatury pracy. Jeżeli przerwa w pracy jest długotrwała, należy wsad wyciągnąć z pieca.

3.2. Smarowanie

W warunkach kucia na gorąco na powierzchni styku metalu z narzędziem występujące siły tarcia w przypadku Ti powodują przywieranie kutych stopów do narzędzia oraz zgrzewanie się z jego powierzchnią.

Przywieranie stopów następuje w przypadku istnienia tarcia suchego. Zgrzewanie następuje w przypadkach, gdy po powierzchniach styku przemieszczają się stosunkowo duże objętości przekuwanego metalu, np. przy kuciu matrycowym odkuwek o wysokich żebrach, przy spęczaniu z dużym stopniem odkształcenia. Bardzo często zgrzewanie jest tak silne, że doprowadza do utraty spójności wewnątrz kutego stopu.

Wyżej wymienione zjawiska mogą być ograniczone przez smarowanie. Dla stopów Ti najlepszymi środkami smarującymi są pokrycia oparte na szkle (μ = 0,04-0,06), w skład których wchodzą tlenki SiO_2, K_2O, Na_2O, CaO, Al_2O_3, Li_2O, B_2O_3, BaO, MgO i PbO. Najlepszymi smarami są smary charakteryzujące się optymalną lepkością w wysokich temperaturach (rys. 6). Zaleca się stosowanie przy kuciu w temperaturze 1123-1223 K (850 - 950°C) następujących smarów:



Rys. 6. Zależność lepkości pokryć szklano-ceramicznych od temperatury
1) $61SiO_2$ - $3Al_2O_3$ - $12B_2O_3$ - $15Na_2O$ - 6CaO
2) $40SiO_2$ - $5Al_2O_3$ - $35B_2O_3$ - 5 Na_2O - 5CaO
3) (57-61)SiO_2 - (17-18)B_2O_3 - (18-20)Na_2O - (4-5)CaO

1) $54SiO_2$ - $5Al_2O_3$ - $8,5B_2O_3$ - $27,5Na_2O$ - 5CaO,
2) $61SiO_2$ - $3Al_2O_3$ - $12B_2O_3$ - $15Na_2O$ - 6CaO,

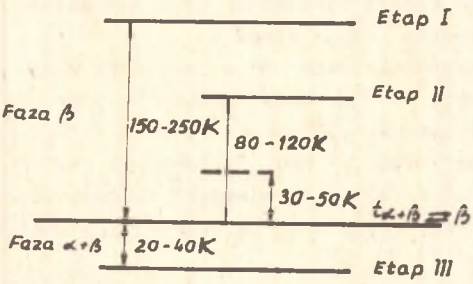
a przy kuciu w temperaturze 1073 K - 1353 K (800-1080°C) mieszaninę dwu smarów:

1) $55SiO_2$ - $14Al_2O_3$ - $13B_2O_3$ - $2Na_2O$ - 16CaO (80%),
2) $34SiO_2$ - $17Al_2O_3$ - $35B_2O_3$ - $17Na_2O$ - 7,5CaO - 4,8MgO (20%)

4. Kucie swobodne stopów tytanu

4.1. Przekuwanie wlewków

Celem uniknięcia utraty spójności przekuwanych wlewków oraz uzyskania w miarę jednorodnej struktury zaleca się przekuwać wlewki w trzech etapach (rys. 7).



Rys. 7. Etapy wstępnego przekuwania wlewków

E t a p I. Kucie należy zaczynać z temperatur 150-250 K większych od temp. przemiany $t_{\alpha+\beta \rightleftarrows \beta}$. Pierwsze uderzenia, dopóki nie zostanie rozdrobniona struktura pierwotna, co następuje przy 20-30% ubytku przekroju, winny być słabe. W tym etapie wlewkom nadaje się żądany przekrój i tnie się na odpowiednie długości.

E t a p II. Etap II rozpoczyna się z temperatur 80-120 K powyżej $t_{\alpha+\beta \rightleftarrows \beta}$ i polega na dwu-trzykrotnym przemiennym spęczaniu i wydłużaniu do wymiaru wyjściowego.

E t a p III. Rozpoczyna się z temperatur 20-40 K poniżej temperatury $t_{\alpha+\beta \rightleftarrows \beta}$ lub gdy kuty kęs jest przeznaczony do dalszego przerobu z temperatur 30-50 K wyższej od $t_{\alpha+\beta \rightleftarrows \beta}$. Celem tego etapu jest dalsze wszechstronne przekucie wlewka.

4.2. Wielkości stosowanych odkształceń

Optymalne odkształcenie z jednego nagrzewu lub dogrzewu w przypadku kucia w zakresie istnienia fazy $\alpha+\beta$ wynosić winno 40-50%, a w zakresie fazy β 70%. Bardziej szczegółowe dane podano w tablicy 1.

4.3. Wytyczne doboru urządzeń do kucia swobodnego

Kucie stopów Ti zaleca się prowadzić na prasach hydraulicznych, dobierając ich nacisk do wielkości kutych odkuwek wg tych samych zasad co i dla stali.

Natomiast w tablicy 4 zestawiono w zależności od przekroju kutego materiału masę części spadających młota.

Tablica 4

Rodzaje stosowanych zabiegów obróbki cieplnej dla stopów Ti

Lp.	Wymiar poprzeczny wsadu w mm	Masa części spadających kg
1	do 40	250
2	40 - 70	500
3	60 - 100	750
4	80 - 150	1000
5	100 - 180	1500
6	130 - 200	2000
7	150 - 250	2500
8	200 - 300	3000
9	250 - 450	3500

5. Specyfika kucia matrycowego

Odkuwki cechujące się wysokimi własnościami wytrzymałościowymi i plastycznymi otrzymuje się, jeżeli podczas ich matrycowania przestrzega się trzech zasad:

1 - odkształcenie lokalne po każdym nagrzewie czy dogrzewie w dowolnym obszarze odkuwki winno być większe od 30%,
2 - temperatura kutego stopu w dowolnym obszarze odkuwki nie powinna przekroczyć temperatury przemiany $t_{\alpha+\beta \rightleftarrows \beta}$
3 - rozkład odkształceń lokalnych i temperatur w objętości matrycowanej odkuwki winien być możliwie równomierny.

Dotrzymanie tych warunków w praktyce jest bardzo utrudnione, ponieważ:

1) odkształcanie stopów Ti poniżej temperatury przemiany $t_{\alpha+\beta \rightleftarrows \beta}$ cechuje się wysokimi oporami kształtowania, które mogą przewyższać 2 - 3 razy opory kształtowania stali,

2) obniżenie temperatury matrycowania powoduje gwałtowny wzrost oporu kształtowania,

3) niska przewodność cieplna stopów Ti powiększa nierównomierność istniejącego pola temperatur i niejednorodność odkształcenia w objętości odkuwki,

4) duży współczynnik tarcia pomiędzy kutym metalem a powierzchnią narzędzi zwiększa nierównomierność odkształcenia.

Na równi ze strefami intensywnego płynięcia przy matrycowaniu odkuwek występują obszary o utrudnionym płynięciu, prowadzące do zróżnicowania wielkości ziarn. Intensywne płynięcie metalu powoduje lokalny przyrost temperatury w obszarach, w których ono przebiega. Obszary te mogą osiągnąć temperaturę przekraczającą wartość $t_{\alpha+\beta \rightleftarrows \beta}$, czyli ulec miejscowemu przegrzaniu. Również obszary o utrudnionym płynięciu odkształcone gniotem krytycznym (2-10%) mogą osiągnąć w czasie matrycowania lub bezpośrednio po nim temperaturę wyższą od $t_{\alpha+\beta \rightleftarrows \beta}$ dającą nadmierny rozrost ziarn.

Odkuwki o złożonych kształtach cechują się więc dużym rozrzutem własności mechanicznych.

5.1. Wsad do matrycowania

Wsadem do matrycowania są przedkuwki swobodnie kute, pręty kute, walcowane lub wyciskane. Dla większości kutych odkuwek metoda produkcji wsadu nie ma istotnego znaczenia, bowiem przez matrycowanie można naprawić ewentualne wady strukturalne wsadu. Wyjątek stanowią odkuwki, których pewne części nie są przerabiane (np. odkuwki z trzonem, kute na kuźniarkach). Do tego typu odkuwek przy produkcji wsadu winien być przestrzegany reżim technologiczny.

5.2. Przygotowanie matryc do kucia

Zaleca się przy kuciu na młotach podgrzewać matryce do 523-573 K (250--300°C) a przy kuciu na prasach i kuźniarkach do temp. 573-723 K (300 - - 450°C).

5.3. Uwagi o konstrukcji wykrojów

Przy kuciu wielowykrojowym stosuje się te same wykroje co i dla stali, skonstruowanych wg zaleceń stosowanych dla stali, z uwzględnieniem większych pochyleń i promieni zaokrągleń oraz w przypadku wykroju rokującego mniej intensywne przemieszczania wsadu.

6. Wytyczne obróbki cieplnej odkuwek

Rodzaj obróbki cieplnej zależy od postaci i przeznaczenia odkuwki oraz od rodzaju stopu. Rodzaje zabiegów cieplnych odkuwek zestawiono w tablicy 5.

Tablica 5

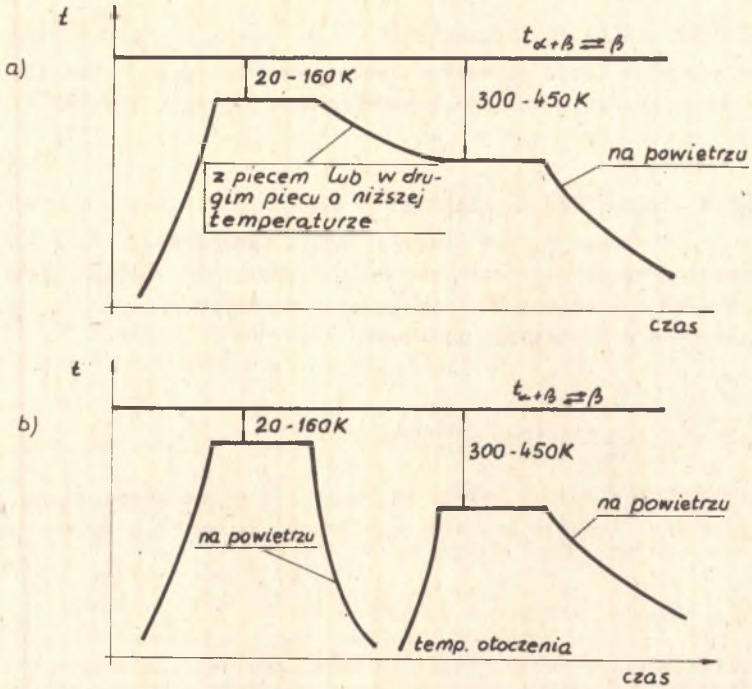
Rodzaje stosowanych zabiegów obróbki cieplnej dla stopów Ti

Rodzaj obróbki cieplnej	Struktura fazowa			
	α	ps α	$\alpha+\beta$	β
Wyżarzanie odprężające	+	+	+	+
zupełne	+	+	+	+
izotermiczne			+	
podwójne			+	
Hartowanie i odpuszczania			+	+

Temperatura wyżarzania zupełnego jest wyższa od temperatury rekrystalizacji ale niższa od $t_{\alpha+\beta \rightleftharpoons \beta}$

Przebieg wyżarzania izotermicznego i podwójnego przedstawiono na rysunku 8.

Hartowanie polega na nagrzaniu do temperatury istnienia fazy β ($t > t_{\alpha+\beta \rightleftharpoons \beta}$ i szybkim ochłodzeniu (H_2O), po którym powstaje niestabilna faza β i martenzytyczne fazy α' i α''. Kończącą operację jest odpuszczanie, przy którym następuje rozpad fazy β.



Rys. 8. Przebieg wyżarzania izotermicznego (a) i podwójnego (b)

7. Wykańczanie odkuwek

Oprócz usuwania wad powierzchniowych odkuwki podlegają czyszczeniu ze zgorzeliny, z pokryć ochronnych i warstwy nasyconej azotem.

Grubość zgorzeliny sięga do 0,15 mm; zgorzelinę można oczyszczać na drodze chemicznej i mechanicznej. Również warstwę pokryć ochronnych, sięgającą zwykle 0,1 mm, usuwa się na drodze chemicznej i mechanicznej.

Usuwanie warstwy nasyconej azotem odbywa się za pomocą trawienia.

8. Zakończenie

Podane zalecenia nie wyczerpują w pełni wszystkich specyficznych parametrów kucia tytanu i jego stopów, temat to bowiem zbyt szeroki do przedstawienia w jednym artykule. Autor ma nadzieję, że podkreślił osobliwości kucia i zwrócił uwagę na niektóre zjawiska charakterystyczne dla tej grupy tworzyw, występujące w procesie kucia i w operacjach pomocniczych.

LITERATURA

[1] NIKOLSKIJ Ł.A. i inni: Gorjaczaja sztampowka i pressowanije titanowych spławow. Maszinostrojenie, Moskwa 1975.

[2] Kowka i sztampowka cwietnych mietałłow - sprawocznik. Maszinostrojenie, Moskwa 1975.

[3] GAZIOGLU i inni: Umformung, Gefügeausbildung und mechanische Eigenschaften der Titanlegierung TiAl6V4. Z. Metallkunde, Bd 67 (1976) H.4.

ИЗБРАННЫЕ ВОПРОСЫ СВЯЗАННЫЕ С КОВКОЙ ТИТАНА И ЕГО СПЛАВАМИ

Р е з ю м е

В статье рассматривается специфика горячей ковки титана и его сплавов. Особое внимание уделяется вопросам, которые отличают ковку титана от ковки стали. Приводятся указания для разработки технологического процесса ковки.

SELECTED PROBLEMS OF FORGING TITANIUM AND ITS ALLOYS

S u m m a r y

The problem of hot forging of titanium and its alloys are analysed. Special attention has been paid to the problems that differ titanium from steel forging. Guidelines for developing the technological process of forging are given.