Charakterystyka strukturalna i właściwości stali Ni27Ti2AlMoNb

prof. dr hab. inż. Jerzy Jeleńkowski
Instytut Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie

Artykuł zawiera charakterystykę strukturalną stali Ni27Ti2AlMoNb a ponadto: wartości temperatur krytycznych przemiany austenitu w martenzyt i przemiany odwrotnej warunkujących rodzaj otrzymywanej struktury, spodziewane właściwości wytrzymałościowe oraz przykładowe zastosowania. Stal jest umacniana przemianą martenzytyczną, przemianą martenzytyczną odkształceniową oraz starzeniem. Posiada unikatowe właściwości, a wysokie koszty jej wytwarzania odgrywają drugorzędną rolę.

Wprowadzenie

Stale na osnowie układu Fe-Ni o przybliżonym składzie Fe-25Ni-X (gdzie X oznacza jeden lub kilka metali), posiadają unikatowe właściwości przewyższające właściwości innych wysokostopowych, ultra wysokowytrzymałych i odpornych na korozję stali, na przykład stali typu maraging. Są one tańsze od stali maraging, wymagają jednak bardziej złożonej technologii wytwarzania. Stal Ni27Ti2AlMoNb, przedmiot tej publikacji, może być stosowana jako: austenityczna, dwufazowa: austenityczno-martenzytyczna typu dupleks (z porównywalnym udziałem objętościowym obu faz) lub mikrodupleks (dupleks + ziarno ultradrobne o wielkości ok. 1 μm), bądź ze znaczną przewagą jednej z faz (tabela 1). Możliwość wyboru typu struktury z dwufazową osnową, z nieodłącznym udziałem umacniających faz międzymetalicznych powoduje, że właściwości wytrzymałościowe (R_m, R_{02}, K_{Ic}, itd.) kształtuje się obróbką cieplną i/lub obróbką cieplno-plastyczną. Odpowiednio zmieniają się i pozostałe wskaźniki właściwości, przy czym większość z nich przewyższa posiadane przez stale maraging na przykład stal Ni18Co9Mo5Ti.

Stal Ni27Ti2AlMoNb jest stosowana jako konstrukcyjna lub narzędziowa (HRC~60) albo o specjalnym zastosowaniu, głównie w energetyce jądrowej. Dodatkową właściwością, rzadko wykorzystywaną jest jednokierunkowa pamięć kształtu. Można zatem zaliczyć tę stal i stale zbliżone do niej składem chemicznym, do materiałów inteligentnych. Są one wytapiane w próżni i najkorzystniej gdy są bez węglowe, wówczas nie są stalami a stopami żelaza.

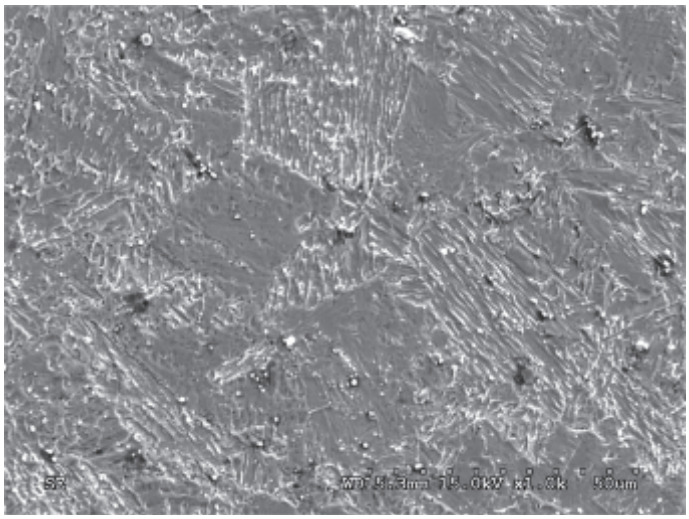
Tabela 1. Orientacyjne właściwości mechaniczne stali Ni27Ti2AlMoNb

Rodzaj struktury	R_m [MPa]	R_{02} [MPa]	A_{10} [%]	Z [%]
austenit	~ 200–1600	~ 550–1150	~ 32–35	~ 35–55
austenit-martenzyt	~ 1800–1900	~ 1050–1450	~ 25–30	~ 30–45
martenzyt-austenit	~ 2050–2300	~ 1850–2000	~ 12–15	~ 20–32

Tabela 2. Skład chemiczny, wytopowy stali Ni27Ti2AlMoNb, w % masowych

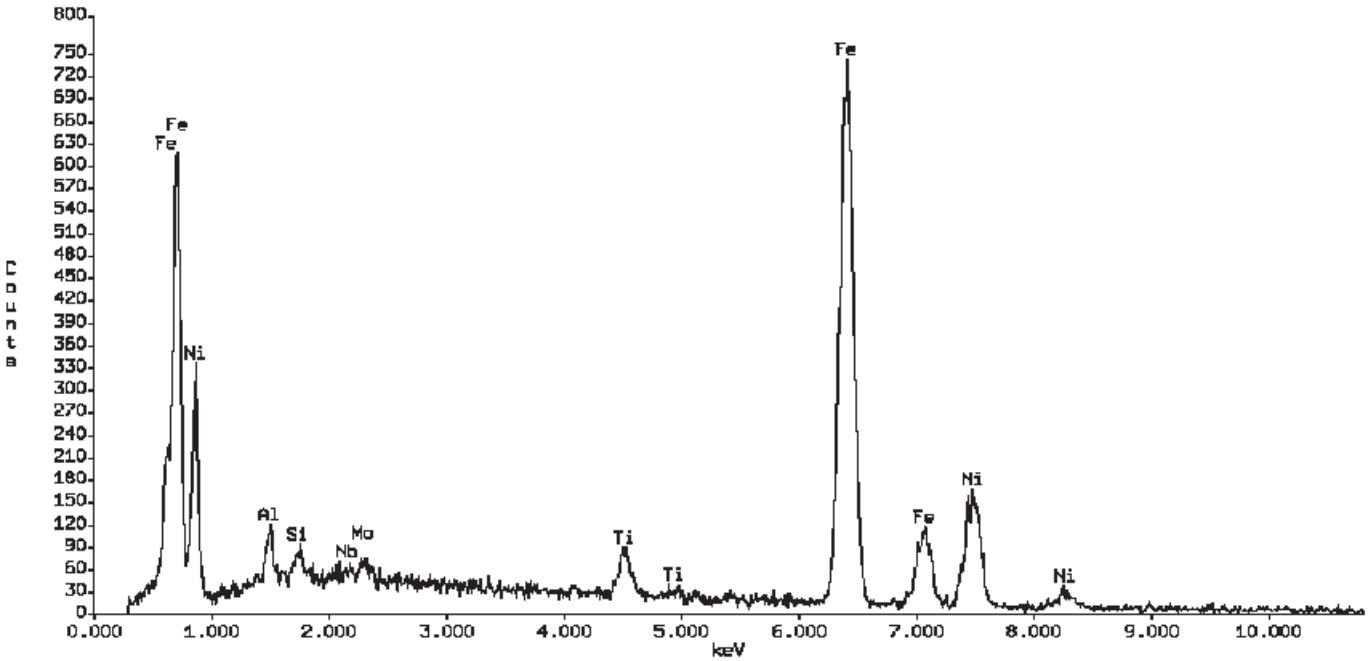
C	P	S	Mn	Si	Ni	Ti	Mo	Nb	Al
0,02	0,009	0,006	0,28	0,50	26,74	2,40	0,78	0,19	1,28

W stali Ni27Ti2AlMoNb o składzie chemicznym podanym w tabeli 2, tytan, molibden, aluminium i niob są dodane w celu umocnienia wydzieleniowego (starzeniem) zarówno martenzytu (α') i austenitu (γ). Pierwiastki te obniżają ponadto temperaturę austenityzowania, co pozwala łatwiej uzyskać potrzebne przesycenie bez obawy rozrostu ziarna. Wadą stali jest to, że granice przemiany austenitu w martenzyt ($\gamma \rightarrow \alpha'$) i przemiany odwrotnej ($\alpha' \rightarrow \gamma$) nie są ściśle sprecyzowane ze względu na destabilizację austenitu nawet przez bardzo małe ilości atomów międzywęzłowych (C, N) oraz silny wpływ odkształcenia plastycznego. Przy szybkim nagrzewaniu przemiana odwrotna może być przemianą martenzytyczną odwracalną zapewniającą jednokierunkową pamięć kształtu.



Rys. 1. SEM. Mikrostruktura austenityczno-martenzytyczna i wydzielenia dyspersyjnych węglikoazotków. Martenzyt występuje w postaci pakietów listew

Austenit w stanie nieumocnionym lub częściowo umocniony starzeniem, gdy celowo lub wskutek zewnętrznego obciążenia zostanie odkształcany plastycznie, może przemienić się w martenzyt zwany przez to martenzytem odkształceniowym (α'_d). Najwyższa temperatura, w której taki proces zachodzi (efekt TRIP; *TRansformation Induced Plasticity*), zwana jest temperaturą M_d (rys. 1). Stal Ni27Ti2AlMoNb jest dzięki temu efektowi posiada wysoką odporność na pękanie.



Rys. 2. Widmo EDS po dwukrotnym wyżarzaniu ujednorodniającym

Pozostałe temperatury występujące na wykresie dylatometrycznym (rys. 1: M_s jest temperaturą początku, a M_f – temperaturą końca przemiany martenzytycznej atermicznej ($\gamma \rightarrow \alpha'$). Ważna cechą badanej stali jest to, że martenzyt atermiczny (α') jest stabilny do temperatury A_s (rys. 1) natomiast odkształceniowy (α'_d) stabilny do temperatury ok. 500°C.

Celem kilku eksperymentów przeprowadzonych z użyciem stali Ni27Ti2AlMoNb było m.in. wykorzystanie efektu TRIP do azotowania poprzez wywołanie odkształceniem plastycznym (zgniotem) przemiany austenitycznej warstwy wierzchniej w martenzyt (α'_d). Pozwoliło to na skrócenie czasu azotowania, ponieważ martenzyt, ze względu na rodzaj struktury krystalograficznej (RPC), azotuje się łatwiej niż austenit (RSC), azot ponadto stabilizuje fazę austenityczną.

Tabela 3. Skład chemiczny (% wag.) pręta określony metodą EDS

Ni	Ti	Mo	Al	Si	Nb
26,54	2,49	0,83	1,05	0,44	0,28
26,43	2,40	0,78	1,29	0,58	0,24

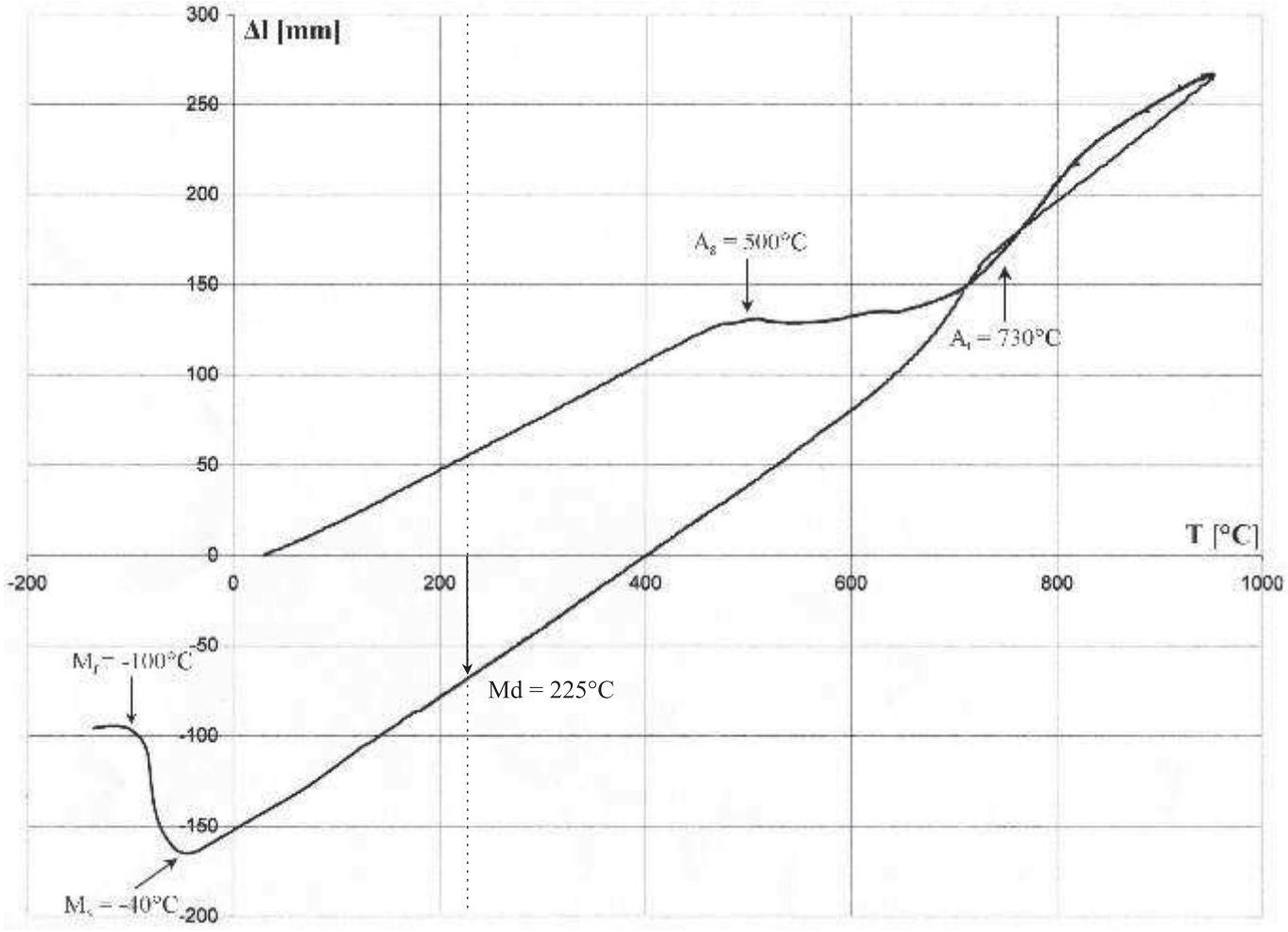
Eksperyment

Wlewek 15-to kilogramowy wytopiono w piecu indukcyjnym próżniowym i przekuto na pręty o przekroju 12×12 mm. Wytopowy skład chemiczny zamieszczono w tabeli 2.

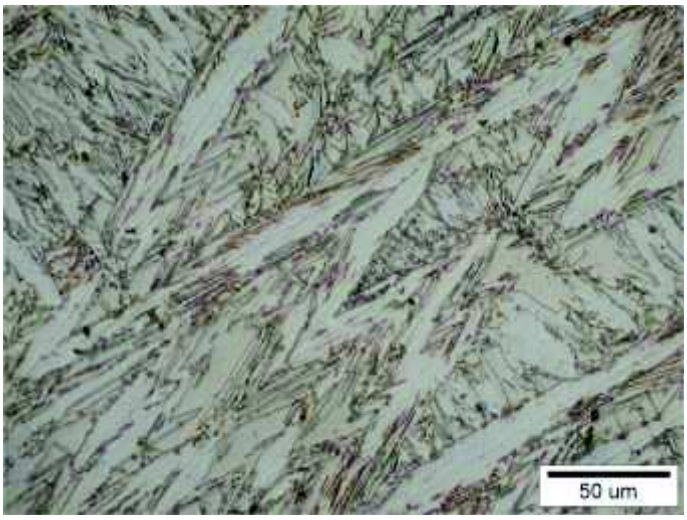
Strukturę austenityczną otrzymano po 24 godzinnym wyżarzaniu prętów w atmosferze argonu przy temperaturze 1250°C. Pręty schładzano do temperatury 600°C z piecem, a następnie w powietrzu. Niektóre pręty wykazywały bardzo słabe właściwości ferromagnetyczne, o obecności martenzytu i świadczące o braku ujednorodnienia składu chemicznego i fazowego (rys. 1), powtórzono wyżarzanie przy tych samych warunkach. Skład chemiczny w prętach ujednorodnionych, określono metodą EDS (rys. 2), w dwu losowo wybranych próbkach, zamieszczono w tablicy 2.

Temperatury krytyczne przemiany austenitu (γ) w martenzyt (α') ($\gamma \rightarrow \alpha'$) i przemiany odwrotnej ($\alpha' \rightarrow \gamma$) wyznaczone metodą dylatometryczną ilustruje rysunek 3. Temperatura M_s (początek przemiany austenitu w martenzyt) ma wartość ok. −40°C, temperatura końca tej przemiany M_f wynosi ok. −100°C, natomiast A_s (początek przemiany odwrotnej, martenzytu w austenit) ok. 500°C. W stali zahartowanej w parach ciekłego azotu (LN2) w strukturze pozostawało ok. 32−35% austenitu szczątkowego mimo teoretycznie (wykres) przekroczonej temperatury M_f. Zawartość martenzytu i austenitu określano rentgenograficznie metodą homologicznych par linii interferencyjnych i magnetycznie – ferrytomierzem. Wartość temperatury M_d określona w kilku próbach dała średni wynik ok. 225°C. Temperaturę M_d można też oszacować z wzoru empirycznego $(A_s + M_s)/2$.

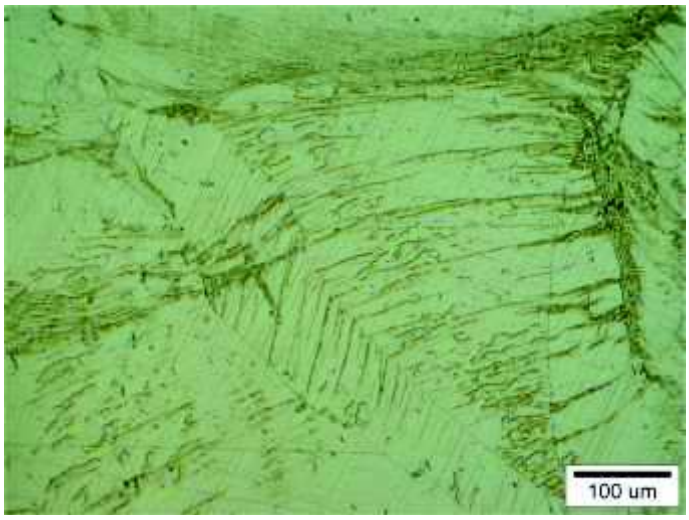
Niezależnie od realizacji celu pracy, przeprowadzono próby azotowania jarzeniowego stali o strukturze austenitycznej oraz martenzytyczno-austenitycznej otrzymanej po hartowaniu w parach ciekłego azotu (LN2). Azotowanie prowadzono w temperaturze 450°C.



Rys. 3. Wykres dylatometryczny stali Ni27Ti2AlMoNb



Rys. 4. Struktura martenzytyczno-austenityczna po hartowaniu w LN2, ok. −180°C, z ok. 65% zawartością martenzytu



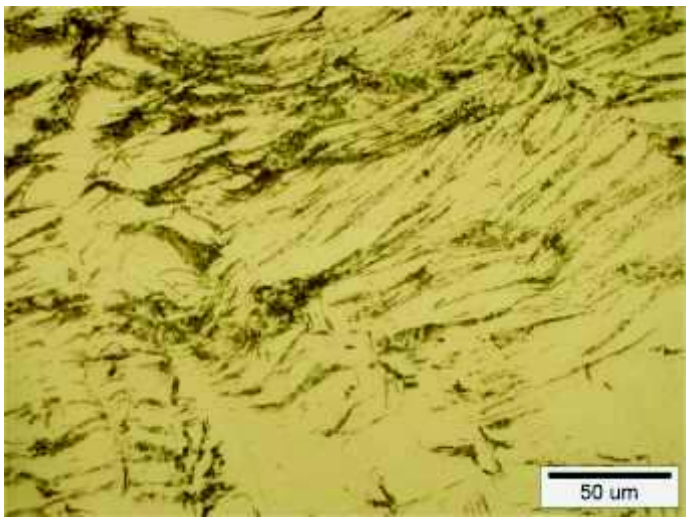
Rys. 6. Stal austenityczna po 50% zgniocie. Widoczne listwy martenzytu (α'_d) utworzone w pasmach poślizgu i na granic ziaren austenitu

Uzyskane wyniki weszły w skład rozprawy doktorskiej obronionej na Wydziale Inżynierii Materiałowej PW. Autor artykułu był opiekunem naukowym Doktoranta, z którym opublikował ponad 20 artykułów, na które powoływał się Autor rozprawy.

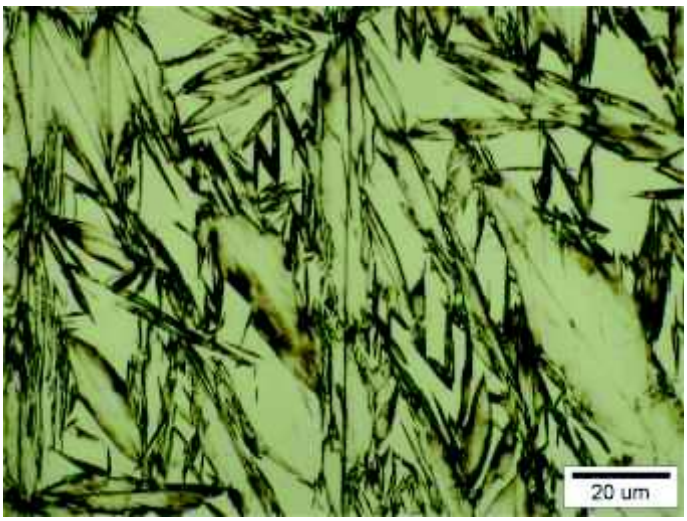
Morfologia martenzytu

Na rysunkach od 4 do 8 zobrazowano struktury po hartowaniu (rys. 4 i 5) i austenitu po 50% zgniocie (rys. 6) oraz zgniocie i wyżarzaniu (rys. 7 i 8). W próbkach hartowanych austenit, przy udziale objętościowy ok., 30% jest fazą nierozróżnialną morfologicznie składnikiem zdominowanym przez kryształy martenzytu o morfologii soczewkowej i płytkowej. W przypadku próbek z 50% odkształceniem, wytworzony martenzyt (α'_d) listwowy w występuje w znacznie mniejszej ilości.

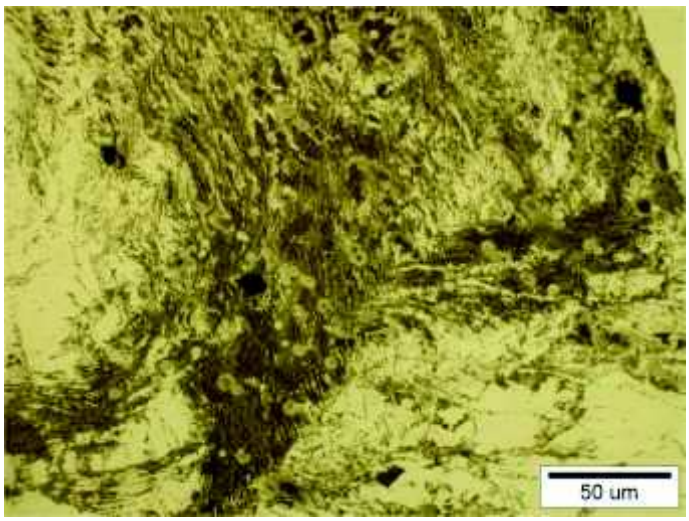
Zastosowanie do obserwacji mikroskopowych gruboziarnistego materiału zwłaszcza w próbkach z martenzytem (α'_d), wykorzystano do zbadania podatności stali do azotowania



Rys. 7. Stal po 50% zgniocie i po wyżarzaniu w 450°C, struktura jak wyżej. Martenzyt (α'_d) pozostaje w strukturze, istnieje zatem możliwość przeprowadzenia procesu azotowania.



Rys. 5. Struktura jak wyżej po wyżarzaniu w temperaturze 450°C. Przy większym powiększeniem widoczne są midriby mikrobliźniaki (tu kreski) połowiące kryształy martenzytu).



Rys. 8. Austenit i martenzyt (α'_d) w stali po 50% zgniocie i po wyżarzaniu przy temperaturze 550°C. W tej temperaturze listwy martenzytu (α'_d) przemieniaja się w austenit, przy czym, listwy martenzytu ulegają sferoidyzacji.

Czy Twój dostawca CAD/CAM/CAE zapowiada

KONIEC BEZTERMINOWYCH LICENCJI?

Czy możesz już tylko oprogramowanie... WYNAJĄĆ?
Czy po okresie wynajmu licencje się... WYŁĄCZĄ?

Przejdź na rozwiązania CAD/CAM/CAE wyższego rzędu, oparte na STAŁYCH licencjach, oferowane przez profesjonalistów! Przygotowaliśmy specjalną ofertę! Szczegóły na:

www.licencja24.pl

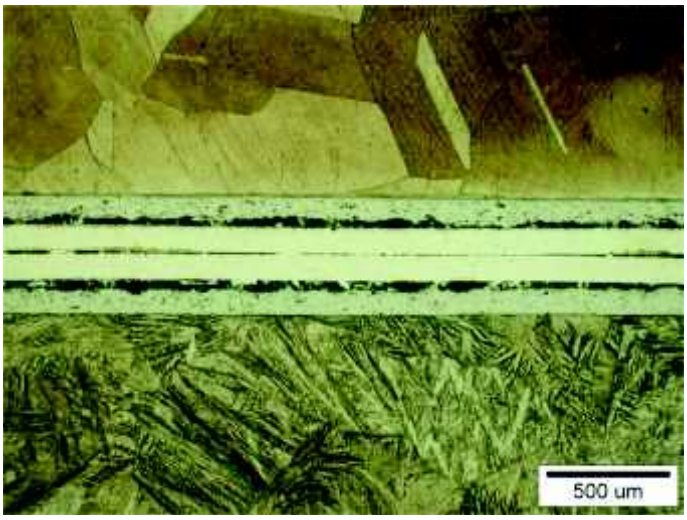
CAMdivision

Our Solutions for Your Vision

Oferujemy kompleksowe rozwiązania CAx/PLM, z pełnym wdrożeniem, postprocesorami i wsparciem technicznym, w oparciu o oprogramowanie SIEMENS PLM. Posiadamy największe doświadczenie w Polsce we wdrożeniach pakietów NX CAD/CAM i specjalistycznych aplikacji do konstrukcji form (Mold Design) i wykrojników (Progressive Die Design).

CAMdivision Sp. z o.o., Park Przemysłowy Źródła-Błonie k/Wrocławia, ul. Sosnowa 10, tel.: +48 71 780 30 20, mob.: +48 600 902 903

www.camdivision.pl



Rys. 9. Struktura dwu naazotowanych jarzeniowo próbek stali; u góry warstwą azotków na podłożu austenitu; u dołu warstwa azotków na podłożu martenzytyczno-austenitycznym. Azotowano, w obu przypadkach, prowadzono przy temperaturze ok. 450°C. Widoczne są dwie przekładki nietrawiące się, które umożliwiły otrzymać prawidłowy obraz warstw azotków

stali austenitycznej i dwufazowej martenzytyczno-austenitycznej z martenzytem hartowania (atermicznym) (rys. 9).

Podsumowanie

Stal Ni27Ti2AlMoNb podobnie jak i inne stale z układu Fe-25Ni-X ma wiele wyróżniających się właściwości rzadko spotykanych w innych stalach wysokostopowych. Cechy mikrostruktury, możliwość wybiórczego zastosowania przemian fazowych, pozwalają uzyskiwać wysoką odporność na pękanie, na korozję i na promieniowanie. Niewątpliwą wadą stali jest jej cena i metastabilność stanów strukturalnych w przypadkach, gdy nie jest stosowana w stanie wysokowytrzymałym.

Literatura

1. Sagaradze V.V.: An ultrafine grain structure formed as a result of cyclic $\gamma \rightarrow \alpha \rightarrow \gamma$ Ti alloys. Acta metall. and mater. 5(1997) v. 37, pp. 1123-1128.

2. Qin W., Chen Z. H.: Stability of the austenitic phase in ultrafine particles of Fe-based alloys. J. of Alloys and Compounds 322(2001), pp. 286-289.

3. Jeleńkowski J.: Kształtowanie struktury stali Fe-26Ni-2Ti z wykorzystaniem przemiany martenzytycznej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2005.

4. Jeleńkowski J. Wpływ szybkości i temperatury odkształcania na temperaturę M_d, morfologię martenzytu i właściwości mechaniczne stali N26J2T3Nb. Archiwum nauki o materiałach 4(1995), t. 16, s. 294-310.

5. Suzuki T. Trans. Iron Steel Inst. Jap. 3(1974), v. 14, pp. 67-81.

6. Borowski T.: Kształtowanie struktury i właściwości stali wysokoniklowych w procesach azotowania jarzeniowego z wykorzystaniem przemiany martenzytycznej. PW Wydział Inżynierii Materiałowej, Rozprawa doktorska, 2008.

reklama

4METAL.PL
Ponad 2000 podwykonawców z całego świata
[katalog firm] PONAD 2000 FIRM Z CAŁEGO ŚWIATA PODZIELONYCH NA KATEGORIE
[giełda pracy] OGŁOSZENIA PRACOWNIKÓW I PRACODAWCÓW Z BRANŻY
NEW
[giełda materiałów] OGŁOSZENIA KUPNA I SPRZEDAŻY, SZCZEGÓŁOWO PODZIELONE NA GATUNKI I KSZTAŁTY MATERIAŁÓW
[giełda maszyn] PONAD 2300 AKTUALNYCH OGŁOSZEŃ KUPNA I SPRZEDAŻY
[wydarzenia] LISTA TARGÓW I IMPREZ BRANŻOWYCH ZE ŚWIATA
[aktualności] TECHNOLOGIE, WYWIADY, SPRAWOZDANIA, WSZYSTKO CZEGO POTRZEBUJESZ
[media] INFORMACJE O CZASOPISMACH BRANŻOWYCH Z CAŁEGO ŚWIATA
[video] RELACJE, WYWIADY, PREZENTACJE
2005 2006 2007 2008 2009 2010
GET THE MEMBERSHIP

narzedziownia.org
Portal branży narzędziowej
Baza firm Katalog produktów Wiadomości Księgarnia Reklama
Zostaw nam swoją ofertę
Daj się znaleźć...
Skontaktuj się z nami:
www.metale.org
e-mail: redakcja@metale.org
85-766 Bydgoszcz, ul. Fordońska 393
tel. 52 343 73 35, fax 52 561 02 37