

Можливості стабілізації полігонізаційної субструктури сплаву Д16

О. М. Дубовий, доктор технічних наук, професор
О. О. Жданов, О. В. Горбань

Національний університет кораблебудування ім. О. С. Макарова, Миколаїв

Досліджено можливість стабілізації полігонізаційної субструктури сплаву Д16. Встановлено, що після попереднього гартування, подальшої деформації та передрекристалізаційної термічної обробки за рахунок гальмування процесу збиральної полігонізації підвищується твердість на 12 % при температурі до 200 °С.

В роботах [1 – 3] показано, що передрекристалізаційна термічна обробка надає можливість підвищити твердість, міцність на 20 – 90 %, знизити теплопровідність деформованих металів і сплавів і напилених покриттів за рахунок фіксації полігонізаційної субструктури. Але подальше нагрівання, або витримка при температурі, близькій до температури рекристалізації, призводить до нівелювання згаданих показників через розвиток процесів збиральної полігонізації та рекристалізації. Рухливі дислокації [4] при підвищенні температури легко переміщуються на границях субзерен. При цьому збільшується розмір субзерен і, як наслідок, зменшується міцність. Проте підвищення міцності деталей машин, вузлів при підвищеній температурі має велике значення.

Ця робота присвячена пошуку можливостей збереження полігонізаційної субструктури з малим розміром субзерен, що забезпечує підвищену твердість сплаву Д16 при температурах до 200 °С.

Сплав Д16 (ГОСТ 4784) застосовується для виготовлення листів, дротів, штамповок, профілів, а також для виготовлення сепараторів, арматури, трубопроводів тощо. Він відноситься до деформівних сплавів, які зміцнюються термічною обробкою. Вироби зі сплаву Д16 піддають гартуванню і старінню, частіше штучному при 100 °С. Деталі, які використовуються при підвищених температурах (до 200 °С) піддають гартуванню (нагрівають до 495 – 505 °С) у воду і штучному старінню при 185 – 195 °С з витримкою протягом 6 годин (ГОСТ 17535), що забезпечує твердість HV сплаву – 1050 МПа. Зміцнення сплаву відбувається за рахунок виділення з розчину твердих дисперсних фаз: крім θ -фази (CuAl_2), яка містить ~ 54,1 % Cu і має об'ємноцентровану тетрагональну ґратку, ще виділяється S-фаза (Al_2CuMg) з ромбічною кристалічною ґраткою [5].

Для того, щоб тверді дисперсні фази певного розміру (такого, який забезпечує максимальні значення твердості) гальмували рух дислокацій при підвищеній температурі, потрібно обирати близькі або такі ж значення часу

витримки при старінні і передрекристалізаційній термічній обробці, а також температури нагрівання.

Для цього проведено відпал та гартування зразків із сплаву Д16 розміром $6 \times 4 \times 4$ мм, їх деформацію на 70 % та передрекристалізаційну термічну обробку при 100 °С і 200 °С з різним часом витримки.

Визначення областей когерентного розсіювання ОКР, параметр кристалічних ґраток, а також ідентифікацію фаз здійснювали за стандартними методиками на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-3,0 з використанням $\text{Cu}_{K\alpha}$ випромінювання. Твердість визначали на приладі типу Віккерс згідно ДСТУ ISO 6507-4:2008.

Твердість HV зразків Д16 після відпалу та гартування складала 450 МПа. Далі проведено штучне старіння при 100 °С з різним часом витримки. На основі отриманих даних побудовано графік залежності твердості HV гартованого сплаву Д16 від часу витримки при 100 °С (рис.1).

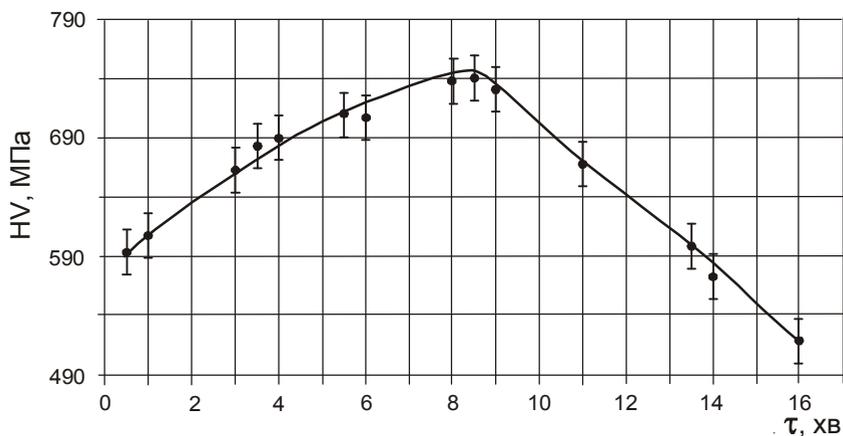


Рис. 1. Залежність твердості відпаленого та гартованого сплаву Д16 від часу витримки при 100 °С.

Максимальне підвищення твердості спостерігається при витримці 8,5 хвилин та складає 740 МПа, що значно вище, ніж після гартування (450 МПа). Відомо, наприклад [5], що таке зміцнення пояснюється виділенням згаданих вище дисперсних фаз.

На зразках після відпалу, гартування та деформації на 70 % твердість зросла в 2,2 рази у порівнянні із твердістю після гартування і складала 1030 МПа. Далі проводили старіння при 100 °С із різним часом витримки (рис. 2).

Максимальне підвищення твердості спостерігається при витримці 8,0 хвилин та складає 1475 МПа. Це в 1,4 рази вище, ніж твердість після деформації (1030 МПа). Подальша витримка до 16 хвилин знижує твердість до значення 1030 МПа, що відповідає твердості після деформації. Це свідчить про збільшення розміру субзерен і перебіг процесу збиральної полігонізації, тобто не вдалось зафіксувати початковий процес полігонізації. Далі в експерименті підвищили температуру передрекристалізаційної термічної обробки до 200 °С, що відповідає максимальній температурі експлуатації виробів зі сплаву Д16.

Проведено відпал, гартування та старіння при 200 °С.

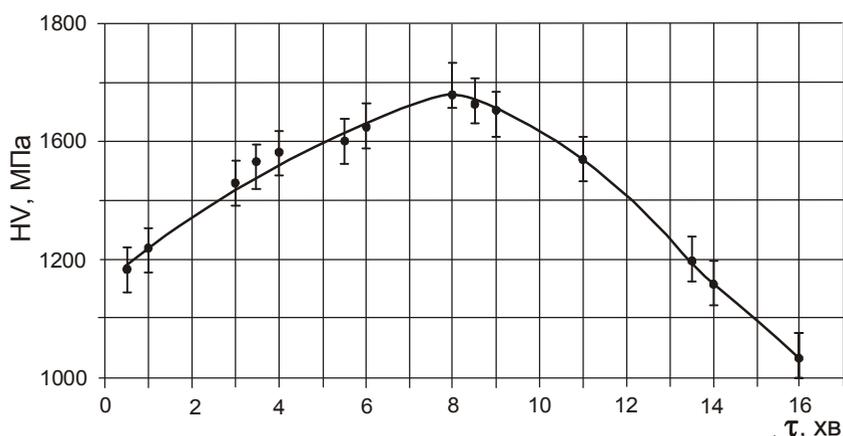


Рис. 2. Залежність твердості деформованого на 70 % після відпалу та гартування сплаву Д16 від часу витримки при 100 °С.

Максимальне підвищення твердості (рис. 3) після відпалу і старіння при 200 °С спостерігається при витримці 3 хвилини і становить 640 МПа. Після 6 хвилин витримки твердість знизилась до 370 МПа. При цьому параметр кристалічних ґраток α -твердого розчину теж знизився. Це можливо тільки у випадку розпаду твердого розчину (перестарювання). Рентгеноструктурний аналіз після 6 хвилин витримки при 200 °С зафіксував наявність фази CuAl_2 .

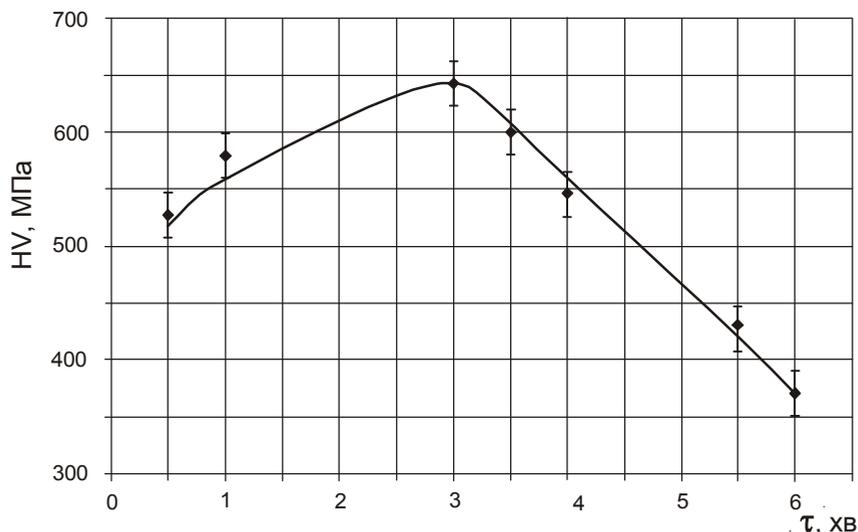


Рис. 3. Залежність твердості гартованого сплаву Д16 від часу витримки при 200 °С.

Інші зразки після гартування деформували на 70 % і піддавали передрекристалізаційній термічній обробці при 200 °С із різним часом витримки (рис. 4).

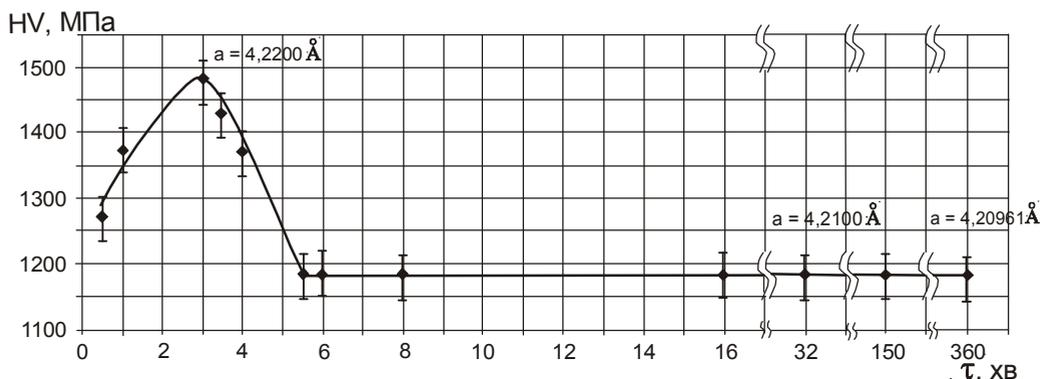


Рис. 4. Залежність твердості гартованого і деформованого на 70 % сплаву Д16 від часу витримки при 200 °С.

Одержані результати свідчать про те, що передрекристалізаційна термічна обробка при 200 °С деформованих на 70 % зразків, забезпечує максимальне підвищення твердості до 1480 МПа після витримки протягом 3 хвилин. Подальша витримка до 6 годин призводить до зниження твердості до 1180 МПа. Це означає, що спостерігається гальмування процесу збиральної полігонізації ймовірно завдяки виділенням на дислокаціях (субграницях) дисперсних частинок CuAl_2 . Підтвердженням цього є вірогідне зменшення параметра кристалічної ґратки α -твердого розчину. Зменшення параметра кристалічної ґратки α -твердого розчину означає, що розчин розпадається і ймовірно утворюється фаза CuAl_2 , але рентгеноструктурним аналізом вона достовірно не ідентифікується.

Визначення розмірів областей когерентного розсіювання (ОКР) для оцінювання розмірів субструктури методом рентгеноструктурного аналізу показали, що розмір ОКР зразка після гартування та старіння при 100 °С (8,5 хв) склав 416 нм, відпалу, гартування та деформації на 70 % – 427 нм, а у зразках після відпалу, гартування деформації на 70 % та витримці протягом 3 хвилин при 200 °С – склав 371 нм, 360 хвилин – 403 нм. Підвищення твердості забезпечується меншим розміром субзерен.

Таким чином, передрекристалізаційна термічна обробка, яка приводить до подрібнення субзерен та підвищення твердості сплаву Д16 до 1180 МПа, заважає протіканню процесу збиральної полігонізації і стабілізує полігонізаційну субструктуру при 200 °С.

Встановлена можливість стабілізації полігонізаційної субструктури сплаву Д16 при температурах до 200 °С, забезпечує підвищення твердості на 12 % в порівнянні з традиційною термічною обробкою.

Наведені дані можуть бути використані у виробництві деталей зі сплаву Д16, що експлуатуються при підвищених температурах.

Література

1. Патент а 2010 02248 Україна, МІЖ С2Ш 8/00 С22F 1/00. Спосіб деформаційно-термічної обробки металів та сплавів / О. М. Дубовий, Т. А. Янковець, Н. Ю. Лебедева, Ю. О. Казмиренко, О. О. Жданов, М. М. Бобров – Бюл. «Промислова власність». – 2011. – № 14.

2. Дубовий О.М. Дослідження можливостей підвищення фізико-механічних властивостей деформованих металів і сплавів термічною обробкою // Зб. наук. праць НУК (Миколаїв). – 2010. – № 3 (432). – С. 69 – 79.
3. Дубовий О.М. Вплив передрекристалізаційної термічної обробки на субструктуру і твердість деформованих кольорових металів і сплавів та напиленних покриттів // Зб. наук. праць НУК (Миколаїв). – 2012. – № 3. – С. 47 – 53.
4. Горелик С.С. Рекристаллизация металлов и сплавов. – М.: МИСИС, 2005. – 432 с.
5. Мальцев М.В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1970. – 363 с.
6. Семененко В.Е. Влияние термообработки на кинетику старения естественного микрокомпозита Al-CuAl₂ // Journal of Kharkiv University. Physical series «Nuclei, Particles, Fields». – 2012. – № 991. – С. 90 – 94.

Одержано 14.10.13

А. Н. Дубовой, А. А. Жданов, А. В. Горбань

Возможность стабилизации полиганизационной субструктуры сплава Д16

Резюме

Исследована возможность стабилизации полигонизационной субструктуры сплава Д16. Установлено, что после предварительной закалки с последующей деформацией и передрекристаллизационной термической обработки за счет торможения процесса собирательной полигонизации происходит повышение твердости при температуре до 200 °С.

A. Dubovyi, A. Zhdanov, A. Gorban'

Possibilities of stabilization of poliganization structure of Д16 alloy

Summary

The possibility of stabilizing polygonization substructure of Д16 alloy. It is found that after pre-hardening with the deformation and heat treatment prior recrystallization due to inhibition of the process of collecting polygonisation an increase in hardness at temperatures up to 200 °C take place.