

Секція 2. НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ І МАТЕРІАЛИ В СУДНОВОМУ МАШИНОБУДУВАННІ, ЯК СКЛADOVA ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ОБОРОНОЗДАТНОСТІ УКРАЇНИ

УДК 67.017:621.785

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ДЕФОРМОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ З ПІДВИЩЕНИМИ ФІЗИКО–МЕХАНІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Дубовий О. М.

*доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри матеріалознавства і технології металів
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
oleksandr.dubovyy@nuos.edu.ua*

Макруха Т. О.

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри прикладної механіки та інформаційних технологій,
Економіко-технологічний інститут імені Роберта Ельворті,
м. Кропивницький, Україна,
tmakruha@gmail.com*

Анотація: У роботі показано, що підвищення фізико–механічних властивостей матеріалів, зокрема збільшення твердості та зменшення теплопровідності, можливо здійснити за допомогою передрекristалізаційної термічної обробки за рахунок здрібнення полігонізаційної субструктури до наномасштабного розміру. Доведена можливість термічної стабілізації полігонізаційної субструктури сталей комбінованим деформуванням, що забезпечує практичне застосування передрекristалізаційної термічної обробки для регулюючих пружин мембранних клапанів трубопроводів зі сталі 70.

Ключові слова: передрекristалізаційна термічна обробка; фізико–механічні властивості сталей, термічна стабілізація, полігонізаційна субструктура.

В останні десятиріччя якість прокатних і кованих виробів підвищували переважно шляхом формуванням полігонізаційної субструктури сталей. Але сам процес відпау при температурі близької до температури первинної рекristалізації з витримкою протягом 30 хвилин і більше унеможливорює отримання наномасштабної субструктури, яка забезпечує підвищення фізико–механічних властивостей.

Отримання наномасштабної структури забезпечує підвищення фізико-механічних властивостей металів та сплавів за умови фіксування моменту появи найбільшої кількості центрів первинної рекristалізації, розмір яких буде найменшим. Цей ефект досягається, якщо швидкість формування таких центрів буде значно перевищувати швидкість їх росту. Реалізувати це можливо при припиненні процесу первинної рекristалізації в момент досягнення зародками розмірів, які забезпечують проявлення наномасштабного ефекту, шляхом достатньо швидкого охолодження деформованого металу чи сплаву до температури навколишнього середовища. Швидкість охолодження складає не менше 5 °C/c [1, с. 2] для уникнення подальшого росту зерен (субзерен). Дуже важливо, щоб час витримки складав не більше 0,5...10 хв, так як саме в цей період нагрівання і відбувається формування нових центрів первинної рекristалізації.

Запропонований спосіб передрекristалізаційної термічної обробки (ПТО) забезпечує формування здрібненої субструктури та підвищення фізико-механічних властивостей металів і сплавів.

Мета роботи: експериментальне встановлення можливості застосування деформованих матеріалів зі здрібненою (наномасштабною) субструктурою у промисловості.

Результати впливу ПТО на твердість нікелю, технічно чистого заліза, сталей У8; 30ХГСА, бронзи БрАМц9-2 [1, с. 3-5] показали підвищення твердості (HV_5) у межах 20...90% за рахунок здрібнення субструктури, а саме областей когерентного розсіювання рентгенівських проєктів (ОКР), який ототожнюють з розміром субзерна. За допомогою ПТО можна підвищити твердість на 70% та зменшити коефіцієнт теплопровідності на 30% напилених покриттів плазмовим методом із порошкового нікелю [2, с. 2].

В роботі [3, с. 52] експериментально підтверджено можливість підвищення фізико-механічних властивостей градієнтних плазмових порошкових теплозахисних покриттів з $ZrO_2-7\%Y_2O_3$ передрекristалізаційною термічною обробкою. Визначено оптимальний режим ПТО покриття з $ZrO_2-7\%Y_2O_3$, який полягає у нагріванні до температури 1300 °С, витримці протягом 15 хв та охолодженні на повітрі, забезпечує підвищення твердості на 13% та зниження теплопровідності керамічного шару на 15% у порівнянні зі станом після наплення за рахунок субструктурних змін.

Результати дослідження властивостей та розміру ОКР сталей 20; 20Х13 (табл.1) показали, що суттєве поліпшення фізико-механічних властивостей деформованих сталей відбувається після ПТО завдяки здрібненню субструктури до наномасштабного діапазону (зменшення розмірів ОКР). Однак при збільшенні витримки до 60 хв ці дані показники падають, що унеможливує використання цього способу для габаритних деталей. Це спонукало до дослідження можливостей підвищення термічної стійкості полігонізаційної субструктури

Встановлено [4, с. 10], що комбінована деформація стискуванням, яка полягає у попередній холодній динамічній деформації на 30% та наступній статичній деформації на 30%, підвищує термічну стабільність полігонізаційної субструктури. Така обробка сприяє утворенню середньокуткових субграниць. Очевидно що додаткова деформація збільшує кількість структурних недосконалостей у вигляді дислокаційних перехрещень. Це утруднює рух дислокацій і підвищує термічну стійкість субструктури. У табл. 2 наведені механічні властивості сталей залежно від виду обробки.

Табл. 1. Значення фізико-механічних властивостей та розміру областей когерентного розсіювання сталей залежно від виду обробки

Марка сталі	Сталь 20			Сталь 20Х13		
	Відпал	Деформація 60 %	Деформація 60 %, ПТО 1,5 хв	Відпал	Деформація 60 %	Деформація 60 %, ПТО 2 хв
σ_B , МПа	360	624	784	833	1162	1300
δ , %	16	3	4	6	1	2
Ψ , %	57	9	15	43	18	26
$\delta_{ср.}$, %	2,5	4,1	5,7	2,2	3,2	4,9
λ , Вт/(м•К)	51	31	16	26	23	19
$\rho \times 10^{-7}$, Ом•м	1,91	2,9	3,68	5,14	7,47	8,14
ОКР, нм	338	139	87	421	123	94

Табл. 2. Значення механічних властивостей сталей залежно від виду обробки

Сталь	Вид обробки	HV ₅ , ГПа	σ_b , ГПа	σ_y , ГПа	δ , %	ψ , %	E, ГПа
Ст3	Комбінована деформація	1,8	0,3	0,29	1,0	74	198
	Комбінована деформація, ПТО 2 хв	2,3	0,6	0,34	5,3	75	200
	Комбінована деформація, ПТО 60 хв	2,0	0,4	0,28	7,5	59	157
X12	Комбінована деформація	3,6	1,0	1,01	3,3	37	132
	Комбінована деформація, ПТО 2 хв	4,2	1,6	1,78	2,3	41	844
	Комбінована деформація, ПТО 60 хв	3,9	1,4	1,1	2,6	33	837

З наведених даних у табл. 2 видно, що твердість та тимчасовий опір руйнування після ПТО протягом 2 хв збільшується відносно комбінованого деформованого стану, однак ці показники при витримці 60 хв дещо падають, але залишаються вищими, ніж після деформації, що надає можливість використовувати цей спосіб деформування та термічної обробки у промислових умовах.

Можливості комбінованого деформування визначили на сталі 70, яка застосовується для виготовлення пружин та ресор. Порівнювали значення твердості (HRC) після традиційної термообробки (гартування з відпуском) і комбінованого деформування з наступною ПТО протягом 60 хв. при температурі 500°C. Встановлено, що твердість сталі 70 після комбінованого деформування вища, ніж після традиційної обробки, що дозволяє використовувати запропоновану обробку для виготовлення пружин та ресор із сталі 70. Результати дослідження впроваджені на підприємстві ТОВ «САКЕНА».

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що передрекристалізаційна термічна обробка забезпечує високі показники фізико-механічних властивостей деформованих металів і сплавів за рахунок здрібнення субструктури до наномасштабного розміру, твердість підвищується до 90% незалежно від типу матеріалів.

2. Досліджено можливість поліпшення фізико-механічних властивостей металевих та керамічних покриттів за допомогою ПТО, в результаті якої твердість підвищується до 73%, а коефіцієнт теплопровідності знижується до 33%.

3. Встановлено, що стабілізація полігонізаційної субструктури при температурі початку первинної рекристалізації протягом 60 хв забезпечується комбінуванням одновісних деформацій стискуванням на 60% (динамічної на 30% та статичної на 30%), що надає можливість підвищити твердість сталі 70 на 30% та впровадити цю обробку у виробництво.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Пат. 95378 Україна, МПК (2011.01) C21D 8/00. Спосіб деформаційно-термічної обробки металів та сплавів / О. М. Дубовий, Т. А. Янковець, Н. Ю. Лебедева, Ю. О. Казимиренко, О. О. Жданов, М. М. Бобров: заявник і патентовласник Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. – № 95378; заявл. 01.03.2010; опубл. 25.07.2011, бюл. № 14.
- [2] Пат. 88755 Україна, МПК (2006.01) C23C 4/18. Спосіб нанесення покриттів / О. М. Дубовий, Т. А. Янковець, А. А. Карпеченко: заявник і патентовласник Національний

університет кораблебудування ім. адм. Макарова. – № 88755; заявл. 23.03.2009; опубл. 10.11.2009, бюл. № 21.

[3] Дубовий О. М. Дослідження можливості підвищення фізико-механічних властивостей плазмових порошкових теплозахисних покриттів з $ZrO_2-7\%Y_2O_3$ передрекристалізаційною термічною обробкою / О. М. Дубовий, С. І. Шкурат, А. А. Карпеченко, М. М. Бобров, Є. Ю. Неделько // ВІСНИК НТУ "ХПІ" № 7 (1229). – 2017. С. 49–54. ISSN 2079-5459 (print), ISSN 2413-4295 (online). URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/29425>

[4] Макруха Т. О. Підвищення фізико-механічних властивостей сталей формуванням полігонізаційних наномасштабних субзерен: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук.: спец. 05.02.01 – Матеріалознавство / Макруха Тетяна Олександрівна. – Херсон, 2020. – 242 с.

Prospects for the Application of Deformed Materials with Increased Physical and Mechanical Properties

Aleksandr M. Dubovoy, Tetiana O. Makruha

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Robert Elvorti Economics and Technology Institute

Abstract: The paper shows that increasing the physical and mechanical properties of materials, in particular increasing the hardness and decreasing the thermal conductivity, can be achieved with the help of pre-recrystallization heat treatment due to the grinding of the polygonal substructure to the nanoscale size. The possibility of thermal stabilization of the polygonal substructure of steels by combined deformation has been proven, which ensures the practical application of pre-recrystallization heat treatment for the regulating springs of membrane valves of pipelines made of steel 70 (2CS67).

Keywords: pre-recrystallization heat treatment; physical and mechanical properties of steels, thermal stabilization, polygonization substructure.

УДК 621.791.037/011

LABORATORY COMPLEX UPE-500 FOR DETERMINING WELDING AND TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF COATED ELECTRODES

Olexander Kostin¹, Yurii Yaros², Volodymyr Martynenko³

¹*Welding Department*

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolayiv, Ukraine

kostin.weld@gmail.com

²*Chief Engineer*

"AMITI" LLC

Mykolayiv, Ukraine

yaros.amity.mk.ua@gmail.com

³*Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics*

Mykolayiv National Agrarian University

Mykolayiv, Ukraine

martynenko@mnau.edu.ua

Abstract: The article presents the methodology of a quantitative assessment of welding and technological characteristics of covered electrodes using UPE-500 complex, which provides high stability of the process of control welding in all spatial positions in automatic mode. The complex is equipped with the PicoScope 4444 measuring system with PicoScope 6 software that traces and