

9. Sizonenko O., Prokhorenko S., Torpakov A., et al. The metal-matrix composites reinforced by the fullerenes. *AIP Advances*. 2018. 085317. DOI: 10.1063/1.5031195.

10. Sizonenko O.N., Grigoryev E. G., Pristash N. S., et al. Plasma methods of obtainment of multifunctional composite materials, dispersion-hardened by nanoparticles. *High Temperature Materials and Processes*. 2017. Vol. 36, No 9. P. 891–896. DOI: 10.1515/htmp-2016-0049.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-109-1-6>

**ВПЛИВ ПЕРЕДРЕКРИСТАЛІЗАЦІЙНОЇ
ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ
ТА ЩІЛЬНІСТЬ ДИСЛОКАЦІЙ СТАЛЕЙ**

Макруха Т. О.

*кандидат технічних наук,
асистент кафедри матеріалознавства і технології металів
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова*

Бобров М. М.

*кандидат технічних наук,
викладач кафедри матеріалознавства і технології металів
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова*

Карпеченко А. А.

*кандидат технічних наук, доцент,
викладач кафедри матеріалознавства і технології металів
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

Сучасне машинобудування характеризується підвищеною інтенсивністю режимів експлуатації деталей машин і механізмів. Це вимагає постійного вдосконалення вузлів і агрегатів щодо забезпечення достатньої їх надійності та довговічності. Експлуатаційні

характеристики деталей машин в цілому, їх ресурс роботи визначаються переважно фізико-механічними властивостями здебільшого металів і сплавів, з яких вони виготовляються. Високі фізико-механічні властивості сталей досягаються наноструктуруванням. Тому актуальним завданням сучасного матеріалознавства є розробка методів отримання об'ємних наномасштабних металевих матеріалів з унікальними фізико-механічними властивостями. Досягається це переважно подрібненням структури (субструктури). В даний час найбільш поширеними металевими матеріалами залишаються сплави на основі заліза – сталі. Тому подрібнення структури конструкційних сталей є ефективним напрямком підвищення експлуатаційних властивостей техніки.

Подрібнення зеренної (субзеренної) структури до нанокристалічного стану здійснюють переважно найпоширенішими методами інтенсивної пластичної деформації (ПД). Однак наноструктурування деталей великого розміру методами ПД викликає значні технічні та технологічні труднощі і не є економічно доцільним. В останні десятиріччя розроблені і використовуються способи механотермічного і термомеханічного оброблення, що уможливають підвищити якість прокатних і кованих виробів шляхом формування переважно полігонізаційної субструктури. Для формування полігонізаційної субструктури використовується і фазовий наклеп (подвійне гартування). Ці способи забезпечують підвищення міцнісних характеристик сталей до 60%. Одержання полігонізаційної субструктури у високовуглецевих сталях за допомогою високотемпературного термомеханічного оброблення (ВТМО) при 1050 °С забезпечує підвищення міцності на 30%, а ударної в'язкості ~ у 2 рази. Можливості такого формування субструктури використовуються далеко не повністю через процеси динамічної і збиральної полігонізації, що мають місце при порівняно тривалому часу витримки за високої температури.

Крім того, на сьогодні відомі способи деформаційно-термічного оброблення металів і сплавів, які забезпечують підвищення твердості деформованих обтискуванням металів і сплавів. Суть методів полягає у формуванні полігонізаційної субструктури шляхом нагрівання металів та сплавів до температури початку первинної рекристалізації з короткочасною (до 10 хв) витримкою та наступним охолодженням до температури навколишнього середовища зі швидкістю, яка унеможливає ріст субзерен. Але залишаються невирішені задачі: отримання термічної стабільності сталей; збільшення кута розорієнтування субзерен; збільшення кількості наноструктурних елементів в сталях.

Процес рекристалізації є структурно чутливим, тому спосіб деформації, діючи на дислокаційну структуру металів та сплавів, буде визначати і схильність до рекристалізації. Відомо, що різниця в структурі, отриманої при різних швидкостях деформації, проводить до того, що при одній і тій же величині деформації початок рекристалізації зі збільшенням швидкості деформування протікає інтенсивніше.

Використання динамічної деформації дозволяє отримати у обробленому металі вищу у $\sim 1,3$ рази щільність дислокацій, ніж при використанні статичної деформації.

З іншого боку, формування областей із високою щільністю дислокацій при наступній термічній обробці дозволяє ініціювати процеси полігонізації, які приводять до формування субзерен нанорозмірного діапазонів, що в свою чергу дозволяє значно підвищити механічні властивості обробленої сталі. Тому найкращі властивості металу після деформації і наступної термічної обробки мають спостерігатись у матеріалі, який після деформації має високу щільність деформацій, які при цьому рівномірно розподілені за його об'ємом.

Відомо, що використання статичної деформації дозволяє досягнути рівномірного розподілу дислокацій у матеріалі.

З огляду на це, перспективним видається наноструктурування виробів, які в процесі виготовлення піддаються двостадійній комбінованій деформації, яка складається із динамічної деформації та наступної статичної деформації, що дозволить створити максимально високу щільність дислокацій у сталях з їх рівномірним розподілом з метою уникнення явищ рекристалізації.

Мета роботи – встановлення закономірностей формування термічно стабільних полігонізаційних наномасштабних субзерен сталей з підвищеними фізико-механічними властивостями.

Для пошуку оптимального виду деформації проведено наступні дослідження комбінування: холодне прокатування та статичне деформування; динамічне деформування на з наступним статичним деформуванням під кутом 90° ; статичні деформації під кутом 90° одна відносно одної; холодне динамічне та статичне деформування, гаряче динамічне деформування при температурі 880°C та статичне деформування, тепле динамічне деформування при температурі 300°C та статичне деформування. Найкращих результатів по приросту механічних властивостей (твердості від 10%, міцності – від 15%) та стабілізації полігонізаційної субструктури дав спосіб комбінованого деформування холодної динамічної деформації на 30% з наступною статичною деформацією на 30%, тому його обрано оптимальним.

Результати дослідження механічних властивостей (твердість, міцність, пластичність) наведено в роботі [1, с. 8-10].

Оскільки збільшення щільності дислокацій та їх перерозподіл призводить до збільшення зсувних напруг, і, як наслідок, до зміцнення металів та сплавів, тому далі досліджували зміну величини щільності дислокацій по границях субзерен до та після передрекристалізаційної термічної обробки. Результати дослідження зміни щільності дислокацій у деформованих технічно чистому залізі та сталях до та після передрекристалізаційної термічної обробки наведено у роботі [1, с. 14].

Наведені дані свідчать про те, що у всіх досліджених матеріалах комбіноване деформування та ПТО, що забезпечує максимальні значення твердості, приводить до значного зростання щільності дислокацій порівняно із станом після комбінованої деформації, оскільки короткотривала витримка передрекристалізаційної термічної обробки призводить до кінетично неспокійного стану металу, внаслідок чого з'являються нові дислокації різного знаку, тоді як вже наявні дислокації ще не зазнали анігіляції.

Збільшення тривалості витримки ПТО призводить до суттєвого зниження щільності дислокацій, що, ймовірно, пов'язано з початком протікання процесів полігонізації та рекристалізації, які супроводжуються анігіляцією дислокацій різного знаку.

Таким чином, встановлено, що стабілізація полігонізаційної субструктури забезпечується комбінуванням одновісних деформацій на стискування, а саме динамічної на 30% та статичної на 30%, з наступною передрекристалізаційною термічною обробкою при температурі початку первинної рекристалізації, а це забезпечує підвищення міцнісних характеристик на 10...30% при достатній пластичності, при цьому щільність дислокацій сталей після передрекристалізаційної термічної обробки збільшується у 2-3 рази відносно деформованого стану.

Література:

1. 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. Херсон, 2020. 23 с.