

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
Національного технічного університету України
"Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського"



АНОТОВАНИЙ ЗВІТ
про виконану роботу у 2020 році в рамках реалізації проєкту
із виконання наукових досліджень і розробок
**«Нові високопластичні надміцні сталі Fe-Mn-Al-C: вплив технологічних параметрів на
формування їх структури та фізико-хімічні властивості»**

Назва конкурсу: «Підтримка досліджень провідних та молодих учених»
Реєстраційний номер Проєкту: 2020.02/0283

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок 2020.02/0283
«Нові високопластичні надміцні сталі Fe-Mn-Al-C: вплив технологічних параметрів на
формування їх структури та фізико-хімічні властивості»

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу «Підтримка досліджень провідних та молодих учених» протокол від «16-17» вересня 2020 року № 21

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Тривалість виконання Проєкту
Початок – дата укладання Договору про виконання наукових досліджень і розробок;
Закінчення – 2022 рік.

Загальна вартість Проєкту,
4,103,519 грн (чотири мільйони сто три тисячі п'ятсот дев'ятнадцять гривень)
Вартість Проєкту по роках, грн.:
1-й рік 513,819 грн (п'ятсот тринадцять тисяч вісімсот дев'ятнадцять гривень)
2-й рік 1,907,300 грн (один мільйон дев'ятсот сім тисяч триста гривень)
3-й рік 1,682,400 грн (один мільйон шістсот вісімдесят дві тисячі чотириста гривень)

2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту буде залучено 6 виконавців, з них:
доктори наук 2
кандидати наук 4;
інші працівники -

3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(Ї) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ

Грантоотримувач:
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Міністерство освіти і науки України

ЄДРПОУ 02070921

Код КВЕД: 72.19 – Дослідження й експериментальні розробки у сфері інших природничих і технічних наук

Стратегічні напрями наукової діяльності:

1. Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави. 2. Інформаційні та комунікаційні технології. 3. Енергетика та енергоефективність. 4. Раціональне природокористування. 5. Науки про життя, нові технології профілактики та лікування найпоширеніших захворювань. 6. Нові речовини і матеріали.

Адреса: просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056

Телефон: (+38 044) 204-82-82

Адреса електронної пошти: mail@kpi.ua

Посилання на веб сторінку установи: <http://www.kpi.ua>

Субвиконавці на даному етапі виконання Проєкту не залучались.

4. ОПИС ПРОЄКТУ

4.1. Мета Проєкту

Дослідження впливу легуючих елементів на механізми зміцнення Fe-Mn-Al-C високоентропійних сталей і вибір оптимальної концентрації Mn, Al та C. Забезпечення високих показників міцності, пластичності та корозійної стійкості.

4.2. Основні завдання Проєкту

Дослідження теплових умов кристалізації новітніх високоміцних сталей на основі Fe-Mn-Al-C, ефекту зерноподрібнюючих домішок на процесі кристалізації та формування дрібнозернистої структури сплавів, умов виділення к-карбідів при охолодженні, впливу термічної обробки на мікроструктуру нано-карбідних виділень у Fe-Mn-Al-C сталі, що, головним чином, впливають на деформаційне зміцнення.

4.3. Детальний зміст Проєкту:

Сучасний стан проблеми

Визначено, що актуальним для дослідження є властивості високоміцних сталей на основі заліза, марганцю і алюмінію легованих C та Si. Поєднання механічних властивостей таких сталей, а саме високої міцності на розрив одночасно з високою пластичністю робить ці сплави привабливими для застосування в медицині, автомобільній, військовій, аерокосмічній та гірничій промисловостях.

Новизна Проєкту

Головним завданням проєкту є дослідження впливу хімічного складу і ролі легуючих елементів на механізми деформаційного зміцнення високоентропійних сталей в системі Fe-Mn-Al-C. Проєкт передбачає також вивчення впливу теплових умов кристалізації аустенітних сталей з високим вмістом марганцю, легованих рідкоземельними елементами, на утворення дрібнозернистої структури злитків.

Методологія дослідження

Дослідження поділено на три етапи. В двох перших етапах дослідження проводяться за участю розплаву: вибір метода та розробка оснастки для плавки Fe-Mn-Al-C сталей, кристалізація зразків сталей при різних умовах охолодження, рафінування і повторний перепплав, механічні і корозійні випробування. На третьому етапі дослідження зразки сталі різного хімічного складу будуть термо-механічно оброблені та досліджені за допомогою растрової електронної мікроскопії. За хімічним складом заплановано виплавити три сплави, що головним чином відрізняються вмістом алюмінію, вуглецю і легуючих елементів.

5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ в поточному році

5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проекту

Одержано зразки високоміцної аустенітної сталі різного хімічного складу в системі Fe-20Mn-xAl-C, що були виплавлені методом аргоно-дугового переплаву. Зокрема, розроблено спеціальну оснастку для плавильної печі МІФІ-9-3. Вміст алюмінію у цих сплавах був у межах 5-12 мас.%, а вміст вуглецю близько 1.0 мас.%. Також був виплавлений ще один сплав Fe-20Mn-12Al-1C мас.%, що був легований лантаном (0.12 мас.%). Зразки сплавів отримані в умовах швидкої і повільної кристалізації при охолодженні зі швидкістю 250-500 °C/сек та 80 °C/сек відповідно. Хімічний склад сплавів визначено методом РФА і аналізатором на вуглець. Фазовий наліз сталей вивчено за допомогою растрової електронної мікроскопії (РЕМ) та енергодисперсійного рентгенівського мікроаналізу (ЕДРМА). Результати порівняно з термодинамічними розрахунками, що були зроблені за допомогою програми *FactSage 7.3* з базою даних SGPS і SGTE 2019. Сплави, що містять низьку концентрацію алюмінію Fe-20Mn-5Al-1C демонструють однофазну структуру з включеннями оксидів/нітридів і фосфідів по границям зерен аустенітну. Результати РЕМ/ДРМА показали, що ці включення мають складну будову і містять у своєму складі різні елементи сплаву. Навпаки сульфідні домішки знаходяться всередині зерен, що вказує на гетерогенне зародкоутворення аустеніту. Встановлено, що сульфідні включення формуються на частинках оксидів або нітридів алюмінію у вигляді глобул.

| Елемент | Концентрація елементів, мас.- %. | | |
|---------|----------------------------------|--------------|-------------------|
| | Fe20Mn5Al1C | Fe20Mn12Al1C | Fe20Mn12Al0,1La1C |
| Fe | осн. | осн. | осн. |
| Mn | 22,24 | 20,73 | 21,02 |
| Al | 4,93 | 12,23 | 12,75 |
| C | 0,91 | 0,93 | 0,93 |
| Si | 0,46 | 0,19 | 0,31 |
| Ni | - | 0,17 | 0,09 |
| La | - | - | 0,12 |

Домішки: S=0,02-0,04, P=0,01, Cu=0,05-0,08

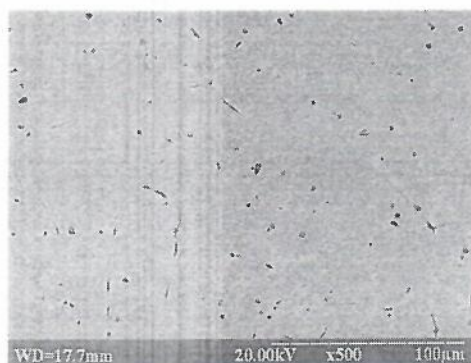


(а)

(б)

Рисунок 5.1 – Хімічний склад виплавлених Fe-Mn-Al-C сталей (а) і зовнішній вигляд злитків Fe-20Mn-12Al-1C сталі (б)

Швидкість охолодження розплаву має вирішальне значення при формуванні мікроструктури сталі. Наприклад, зразки що були охолоджені повільно, мають крупнозернисту мікроструктуру з розміром 80-120мкм на 25-40 мкм, а зразки сталі охолоджені з більш високою швидкістю навпаки характеризуються досить рівномірною дрібнозернистою мікроструктурою в межах 30-50 мкм з поодинокими витягнутими зернами довжиною не більше 80-100 мкм.



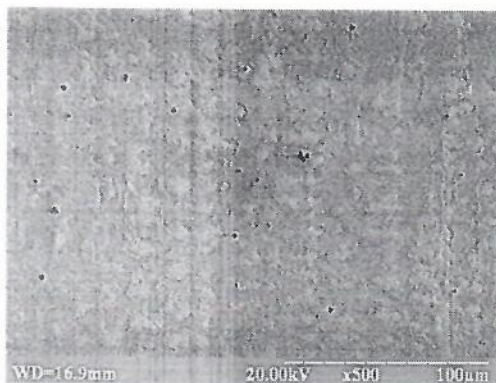
(а)



(б)

Рисунок 5.2 – Мікроструктура зразка сталі Fe-20Mn-5Al-1C, одержаного при швидкості охолодження розплаву 500 °C/сек (а) та 250 °C/сек

У зразках сталі Fe-20Mn-5Al-1C не виявлено утворення κ-карбідів або інших дисперсних фаз, що виконують роль зміцнювачів. Для дослідження особливостей утворення зміцнюючих фаз κ-карбідів та формування первинного δ-фериту були виплавлені сталі з вмістом алюмінію близько 12 мас. %, які знаходяться в трьохфазній області відповідно до наших термодинамічних розрахунків. Також був виплавлений сплав модифікований добавками лантану Fe-20Mn-12Al-1C-0,1La. Кристалізація цих сплавів так само, як і у попередньому випадку відбувалась з різними швидкостями охолодження. Мікроструктура цих сталей після охолодження характеризується дендритною будовою. Відповідно до локального хімічного аналізу дендритам відповідає δ-ферит (рисунк 5.3). Дослідження κ-карбідів у сплавах з високою концентрацією алюмінію показали, що вони утворюються на межах δ-дендритів та аустеніту. Це вказує на дифузійний механізм утворення карбідів та можливість їх додаткового виділення після термічної обробки виливків.



(a)



(б)

Рисунок 5.3 – Мікроструктура зразків сплавів, що кристалізувались при швидкості охолодження розплаву 250 °C/сек Fe-20Mn-12Al-1C (a) та Fe-20Mn-12Al-1C-0,1La (б)

Таким чином Fe-20Mn-12Al-1C сплави характеризується в литому стані дендритною будовою δ-фериту та тонкими виділеннями κ-карбідів розмірами 1-2 мкм. Зі зменшенням швидкості кристалізації дендрити первинної фази набувають більшої довжини, а товщина їх гілок суттєво зменшується. Модифікований лантаном сплав Fe-20Mn-12Al-1C відрізняється ступінню легуваності його δ-фериту, дрібнішою та більш рівноважною структурою від немодифікованого аналогу, а κ-карбіди частіше розташовуються в структурних зонах, що нагадують евтектоїд. При сповільненні швидкості охолодження розплаву з ~500 до ~250 °C/сек дендритна структура стає більш чітко вираженою, а κ-карбіди виділяються навколо дендритів, подібно до немодифікованого стану. Неметалеві включення в багатих на алюміній сплавах мають схожість зі зразком Fe-20Mn-5Al-1C, а саме локалізацією сірки біля частинок оксидів або нітридів алюмінію. Відрізняються включення лише значно меншими розмірами та концентрацією домішкових елементів.

Висновки:

1. Виплавлено зразки однофазного Fe-20Mn-5Al-1C та трифазного сплавів Fe-20Mn-12Al-1C (базового та модифікованого лантаном) за різних умов охолодження розплаву (500 та 250 °C/сек).
2. Трифазні сплави Fe-20Mn-12Al-1C характеризується в литому стані дендритною будовою δ-фериту та виділеннями κ-карбідів між феритною і аустенітною фазами.
3. Досліджено особливості утворення та розподілення неметалевих включень в цих сплавах.

5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами

Одержання науково-технічної продукції на даному етапі виконання Проекту не було заявлено.

5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства

Результати, одержані в ході виконання даного етапу проєкту показати, що аргоно-дуговий переплав доцільно використовувати при виготовленні зразків високої якості Fe-Mn-Al-C сталей. Аргоно-дугова піч має зручну конфігурацію, просту систему управління та вимірювання, експлуатаційні витрати значно менші у порівнянні з іншим обладнанням для переплаву сталей, як наприклад, електронно-променевого або індукційного. Виплавку сталі проводили в широкому діапазоні тиску інертного газу (1.05-1.2 атм), що дозволяє цілеспрямовано здійснювати: рафінування та дегазацію розплаву, пригнічувати випаровуваність найбільш активних елементів сплаву.

5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.

Одержання нових знань про формування кристалічної структури надміцних сталей системи Fe-Mn-Al-C, що є органічною частиною лекційного курсу «Структуроутворення металів і сплавів», який викладається для студентів рівня PhD і є важливою складовою формування майбутнього фахівця в галузі металургії.

При виконанні проєкту була запропонована і апробована методика виплавки Fe-Mn-Al-C сталі аргоно-дуговим способом, розроблена методика отримання зразків сплавів з різною швидкістю кристалізації і термомеханічної обробки. Означені методики та підходи можуть бути окремо опубліковані в фахових виданнях і використані в подальших дослідженнях не тільки нових сталей, але й інших високоміцних та легких сплавів, до яких також можна віднести нові сплави та основи титану та алюмінію.

Всі наукові результати та методики напрацьовані при виконанні запланованих проєктом досліджень сформулюють підґрунтя для освоєння виробництва найбільш сучасних сплавів для подвійного використання за рахунок чого підвищиться загальний рівень української металургії і значно зросте її конкурентоспроможність.

Науковий керівник Проєкту

Ст. викладач

Шемет Володимир Жданович

(підпис)

