

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Нікульченка Ігоря Олександровича "ВПЛИВ НЕМЕТАЛЕВИХ
ВКЛЮЧЕНЬ НА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ
ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ З ПІДВИЩЕНИМИ МЕХАНІЧНИМИ
ВЛАСТИВОСТЯМИ В СТАЛЯХ ПРИ ЛАЗЕРНІЙ ОБРОБЦІ", поданої на
здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.16.01 – "Металознавство та термічна обробка металів"

Актуальність наукової проблеми

В сучасних умовах ринкової економіки України одним із найважливіших факторів успішної діяльності металургійних підприємств є підвищення якості їх продукції, що забезпечить успішну конкуренцію на внутрішньому та зовнішньому ринках. Сучасне машинобудування потребує високоякісного металопрокату з підвищеними механічними та експлуатаційними характеристиками. Умови роботи сучасних машин і механізмів висувають вимоги високої міцності і стійкості матеріалів в широкому температурному діапазоні при статичних, динамічних та циклічних навантаженнях. Тому в даний час гостро стоїть проблема підвищення якості сталей, що відповідають сучасним вимогам до конструкційної міцності, зносостійкості, надійності та інших характеристик.

На процеси структуроутворення в сталях суттєво впливають неметалеві включення. Розробка нових методів впливу на неметалеві включення є одним із перспективних напрямків підвищення якості сталей і, як наслідок, надійності та довговічності виробів із них. До таких методів слід віднести також і лазерну обробку. Але на сьогодні недостатньо даних про вплив неметалевих включень на неоднорідність лазерного зміцнення сталевих виробів, що не дозволяє повною мірою використовувати можливості лазерної обробки для локального зміцнення сталеві матриці поблизу включень, а також міжфазних границь включення-матриця, що забезпечить необхідний рівень механічних властивостей і тріщиностійкості сталей, а також надійності і довговічності виробів. Тому робота Нікульченка Ігоря Олександровича "Вплив неметалевих включень на

структурування та зміцнення поверхневого шару з підвищеними механічними властивостями в сталях при лазерній обробці", яка спрямована на вивчення закономірностей структурування поблизу включень і отримання зміцненого поверхневого шару з підвищеними механічними і експлуатаційними властивостями в сталях після лазерної обробки, є актуальною.

Зв'язок дисертації з державними науковими планами і програмами

Виконання дисертаційної роботи пов'язане з тематичними планами наукових досліджень Національної металургійної академії України (НМетАУ) по науково-дослідних роботах, в яких автор приймав участь в якості виконавця: «Вплив високоенергетичних обробок на закономірності розвитку пластичної деформації уздовж границь неметалевого включення-матриця сталі» (ДР № 0111U002914, Дніпро, 2012 – 2014 рр.) та «Закономірності структурування в металевих матеріалах шляхом впливу на газові пори та неметалеві включення при використанні складних фронтів кристалізації та високоенергетичних обробок» (ДР № 0115U003175, Дніпро, 2015 – 2017 рр.).

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, що виносяться на захист

Обґрунтованість наукових положень і висновків дисертації базується на фундаментальних положеннях металознавства та термічної обробки металів, а також підтверджується високою збіжністю результатів, що отримані з використанням різних методів досліджень, таких як: металографічний (оптична мікроскопія, растрова та трансмісійна електронна мікроскопія), локальний мікрорентгеноспектральний та лазерний спектральний аналізи, петрографічний метод. Наведені дані про методи і режими лазерної обробки та деформації розтягненням у вакуумі, виміру твердості, мікротвердості, випробувань на знос.

Достовірність рекомендацій підтверджується також критерієм практики – показана принципова можливість лазерного зміцнення зони викружки поверхні кочення залізничних коліс. Результати, отримані в роботі, запропоновані до використання при виготовленні залізничних коліс в умовах ТОВ «Інтерпайп менеджмент», а саме при створенні ділянки локальної лазерної обробки поверхні кочення.

Положення дисертації, що мають наукову новизну

Наукова новизна дисертаційної роботи містить наступні положення:

1. Вперше визначені закономірності швидкісного контактного плавлення і затвердіння неметалевих включень при лазерному впливі, а також особливості процесу утворення «сателітних» частинок, пов'язані з формуванням при плавленні і розчиненні включень локальних ділянок типу металевих емульсійних розплавів, збагачених компонентами включень. Раніше ці процеси не вивчалися. Це дозволяє створити передумови для цілеспрямованого впливу на границі включення-матриця, а також хімічний і фазовий склад неметалевих включень.

2. Вперше визначені закономірності формування локальної структури зон насичення сталеві матриці поблизу включень при лазерному впливі, що визначають рівень зміцнення і пов'язані з формуванням градієнтних і мікрокомпозитних шарів різного типу (шаруватих з ліквацийним каскадним і «плямистим» розподілом елементів, а також «тунельних» і дисперсних). Раніше був відомий лише факт утворення зон насичення сталеві матриці поблизу включень. Це дозволяє прогнозувати рівень і стабільність лазерного зміцнення сталевих виробів різного призначення.

3. Вперше визначені закономірності формування локальної структури зон насичення включень при лазерному впливі, пов'язані з формуванням градієнтних і мікрокомпозитних шарів різного типу (шаруватих з каскадним ліквацийним розподілом елементів, «тунельні», а також дисперсні з різними типами другої фази); встановлені особливості локального відновлення оксидів в процесі контактної взаємодії зі сталеві матрицею. Раніше був відомий лише факт утворення зон насичення включень елементами сталеві матриці при лазерній обробці. Це дозволяє прогнозувати структурні і механічні характеристики неметалевих включень в сталях після лазерної обробки.

4. Вперше систематизовані і науково обґрунтовані закономірності зміцнення і трансформації границь включення-матриця при різних режимах лазерного впливу, що супроводжуються гетерогенізацією їх структури, пов'язаної з

формуванням градієнтних і мікрокомполітних зон в сталевій матриці і на поверхні включень; встановлений інтервал енергій лазерного імпульсу (18 ... 25 Дж), що сприяють максимальному зміцненню цих границь. Раніше ці процеси не вивчалися. Це дає можливість отримувати границі включення-матриця з різною структурою і рівнем когезивної міцності.

5. Отримали подальший розвиток уявлення про особливості утворення і зростання тріщин на границях включення-матриця в процесі деформації при різних температурно-швидкісних умовах, в тому числі після лазерної дії по різних режимам. Розробка відрізняється врахуванням впливу енергії лазерного імпульсу, тривалості впливу і температурно-швидкісного режиму пластичної деформації на зародження тріщин, а також впливу градієнтних і комполітних структур поблизу включень на розвиток тріщин. Це дає можливість шляхом регульованого режиму лазерної обробки впливати на тріщиностійкість сталевих виробів при наступних механічних навантаженнях в різних умовах.

Наукове значення роботи

Наукове значення роботи визначається, у першу чергу, тим, що проведено теоретичне обґрунтування і запропоновано нове вирішення науково-технічної задачі, яка полягає у встановленні закономірностей зміцнення сталей в результаті формування градієнтних і мікрокомполітних зон поблизу неметалевих включень і трансформації границь включення-матриця при лазерному впливі, в експериментальних дослідженнях процесу виникнення і росту тріщин при різних температурно-швидкісних умовах деформації, а також у вивченні можливості лазерного зміцнення зони викружки залізничних коліс.

У розділі 3 досліджено процеси взаємодії неметалевих включень і сталевій матриці при лазерній обробці.

З точки зору дислокаційної теорії плавлення досліджено особливості контактного плавлення неметалевих включень і міжфазних границь включення-матриця, вивчена структура неметалевих включень після швидкісного затвердіння, для якої характерні ультрадрібнозернистість, стовбчаста форма зерен, в також наявність зон зсуву. Показано, що імовірність розчинення, оплавлення і

розплавлення включень залежить від їх типу. Глибина зони розчинення включень залежить від режиму лазерної обробки: чим більше енергія імпульсу W_{imp} і час впливу τ_{imp} , тим вона більше. Вивчено процес утворення «сателітних» частинок, пов'язаний з формуванням при плавленні і розчиненні вихідних включень локальних ділянок типу металевих емульсійних розплавів.

Досліджено особливості формування зон контактної взаємодії в сталевій матриці, а також в поверхневих шарах неметалевих включень при лазерному впливі, встановлені закономірності локального зміцнення цих ділянок в результаті їх легування. Показано, що в сталевій матриці поблизу включень створюються ліквідаційні зміцнені зони, що представляють собою градієнтні і мікрокомпозитні шари різного типу: шаруваті з каскадним і «плямистим» розподілом елементів і нанотвердості, дисперсні з різним типом зміцнюючих фаз. Виявлено, що у включеннях при лазерному впливі формуються градієнтні і композитні ділянки шаруватого типу з каскадним ліквідаційним розподілом елементів, «тунельні», а також дисперсні з різними типами другої фази, формування якої пов'язано з розпадом рідкого або твердого розчину, або з частковим відновленням оксидів.

Встановлено, що в результаті взаємного легування в системі включення-матриця створюються мікрокомпозитні шари, які мають гетерогенну будову, що свідчить про трансформацію границь включення-матриця, пов'язану з гетерогенізацією їх структури. Виявлено різні типи структури границь включення-матриця в залежності від характеру процесів, що призвели до їх трансформації при лазерному впливі.

Виявлені нові чинники, що визначають вплив неметалевих включень і границь включення-матриця на зміцнення сталей при лазерному впливі, які пов'язані з утворенням мікрокомпозитних ділянок різних типів; зменшенням середніх розмірів і об'ємної частки включень; зсувним сполученням решіток включення і матриці; електронною взаємодією включення і матриці; утворенням «сателітних» і граничних фаз, а також трансформацією границь включення-матриця. Показано, що поєднання лазерної обробки з мікролегуванням локальних ділянок сталевій матриці від внутрішніх джерел - неметалевих включень дозволяє зменшити їх середні розміри і

забрудненість сталі в зоні обробки на 30...50%, а також відкриває можливості формування міжфазних границь включення-матриця з заданими властивостями шляхом штучного регулювання ступеня розчинення вихідних включень і рівня насичення прилеглих ділянок матриці елементами включень, а також характеру структури цих зон при зміні режиму лазерного впливу.

У четвертому розділі досліджено вплив лазерної обробки на утворення і розвиток тріщин поблизу включень при різних режимах пластичної деформації.

Вивчено особливості утворення тріщин поблизу включень в інтервалах температур деформації 25...900 і 1000...1250 °С без попередньої лазерної дії. Показано, що в різних температурних інтервалах деформації вплив швидкості деформації на критичний ступінь деформації $\epsilon_{кр}$, при якому утворюються тріщини поблизу включень, визначається співвідношенням процесів деформаційного зміцнення і динамічного знеміцнення сталевोї матриці, а також можливістю протікання динамічних релаксаційних процесів в границях включення-матриця в результаті просковзування. Встановлено вплив температурно-швидкісного режиму деформування на утворення тріщин при деформації після лазерної дії, а також енергії лазерного імпульсу і тривалості впливу на параметри зародження і розвитку крихких розшарувань уздовж міжфазних границь включення-матриця. Значення $\epsilon_{кр}$ зростають з підвищенням температури деформації при всіх режимах лазерного впливу у порівнянні з деформацією без ЛТО, однак, максимально підвищуються при енергії лазерного імпульсу $W_{імп}$ 18...25 Дж, що вказує на наявність умов лазерної обробки, при яких досягається максимальне лазерне зміцнення сталевої матриці поблизу включень. Показано, що зі збільшенням часу попереднього лазерного впливу величина $\epsilon_{кр}$ зростає завдяки більш ефективному лазерному зміцненню границь включення-матриця.

Встановлено, що лазерний вплив призводить до своєрідної поведінки границь включення-матриця при гарячій деформації: просковзування-пластичної релаксації напружень, і крихкого розшарування - крихкої релаксація напружень. Це обумовлено швидкісним лазерним зміцненням границь включення-матриця, що виявляється у стримуванні просковзування і зародження мікроруйнування шляхом

крихкої декогезії. Показано, що при комбінованій обробці сталі ЛТО + високотемпературна деформація реалізуються два механізми зміцнення міжфазних границь включення-матриця: високошвидкісне термічне і деформаційне.

Визначено вплив структури градієнтних, плямистих і дисперсних мікрокомполімерних зон насичення сталеві матриці на гальмування тріщин, що поширюються від включень, яке обумовлено зміною швидкості і напрямку їх розвитку завдяки наявності ділянок з різним хімічним складом, подрібнення структури матриці в результаті швидкісної рекристалізації, а також наявності дисперсних «сателітних» частинок.

У п'ятому розділі вивчена можливість лазерного зміцнення зони викружки на поверхні ковзання залізничних коліс. Дослідження зношених в процесі експлуатації залізничних коліс, що мають різний профіль поверхні кочення, показало, що протікання інтенсивних пластичних зрушень призводить до інтенсивного зносу в зоні викружки. При лазерній обробці в режимі безперервного випромінювання можна отримати бейнітну структуру лазерно-зміцненого шару, яка сприятлива для умов експлуатації. Встановлено, що перспективним є режим з потужністю безперервного лазерного променя 600 Вт і швидкістю його переміщення 5...15 мм/с, особливо у поєднанні з традиційною термічною обробкою. Застосування зміцнюючої лазерної технології дозволить не тільки підвищити зносостійкість поверхні кочення залізничних коліс, а й знизить ризик подрізу гребнів в процесі експлуатації.

Практичне значення роботи

Практичне значення роботи полягає в тому, що було розроблено науково обґрунтований підхід до підвищення ефективності зміцнюючої лазерної обробки, заснований на реалізації потенційних можливостей локального легування сталеві матриці від внутрішніх джерел - неметалевих включень, а також трансформації і зміцнення границь включення-матриця.

Показана принципова можливість лазерного зміцнення зони викружки поверхні кочення залізничних коліс зі структурою бейніту, яка володіє запасом пластичності, що призводить до здатності прироблятися і пластичної релаксації

напружень при експлуатації, а також до підвищення зносостійкості і надійності коліс внаслідок зниження ризику підрізу гребнів. Результати, отримані в роботі, запропоновані до використання при виготовленні залізничних коліс в умовах ТОВ «Інтерпайп менеджмент», а саме при створенні ділянки локальної лазерної обробки поверхні ковзання. Результати роботи також впроваджені в навчальний процес на кафедрі матеріалознавства НМетАУ.

Повнота подання результатів роботи в опублікованих працях

Результати досліджень, що представлені в дисертації, надруковані в 17 публікаціях у спеціалізованих наукових виданнях, з яких 6 таких, що опубліковані у фахових виданнях за переліком МОН України, 1 з яких – у закордонному виданні, також 11 видань, які додатково висвітлюють результати дисертації, включаючи 1 навчальний посібник та 2 закордонні статті, що не включені до переліку фахових. Публікації відповідають вимогам, а їхня кількість достатня для захисту кандидатської дисертації. Основні результати роботи повною мірою відбиті в публікаціях.

Зміст автореферату цілком відповідає основним положенням дисертаційної роботи.

Апробація матеріалів дисертації

Основні результати дисертаційної роботи повідомлені й обговорені на міжнародних науково-технічних конференціях у Польщі (м. Ченстохова), Болгарії (м. Варна), а також в Україні (в Дніпрі, Києві, Запоріжжі, Івано-Франківську). Робота була заслухана на науковому семінарі кафедри матеріалознавства НМетАУ.

Зауваження по роботі

1. В роботі вивчали неметалеві включення різного хіміко-мінералогічного складу, але відсутній аналіз типів включень в різних сталях.
2. На кількісні показники утворення тріщин поблизу неметалевих включень впливає структура металевої матриці. В роботі відсутній порівняльний аналіз цього впливу. У той же час з кількісних даних, що наведені в роботі, очевидна наявність такого впливу.

3. Не проведені дослідження механізму просковзування уздовж міжфазних границь включення-матриця при різних температурно-швидкісних умовах деформації.
4. Є незначна кількість опечаток як у авторефераті, так і у рукопису дисертації. Ці зауваження не знижують загальної високої оцінки дисертаційної роботи Нікульченка І.О.

Рекомендації щодо подальшого використання результатів роботи

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані при розробці технологічних параметрів локального зміцнення зони викружки в процесі відновлення профілю поверхні кочення залізничних коліс на підприємствах Укрзалізниці.

Оцінка мови, стилю й оформлення дисертації

Логічно дисертаційна робота побудована коректно. Мова і стиль дисертації забезпечують доступність сприйняття викладення матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій.

Дисертація й автореферат написані та оформлені відповідно до вимог до кандидатських дисертацій.

Відповідність змісту дисертації спеціальності

Зміст дисертації цілком відповідає спеціальності 05.016.01 – металознавство та термічна обробка металів. Автореферат відповідає змісту дисертації.

Висновок на відповідність дисертації установленим вимогам

Дисертаційна робота Нікульченка І.О, що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, є закінченою науково-дослідною роботою.

Нові наукові і практичні результати, що отримані в дисертаційній роботі, забезпечили вирішення важливої науково-практичної задачі, яка полягає у встановленні закономірностей зміцнення сталей в результаті формування градієнтних і мікрокомполітичних зон поблизу неметалевих включень і трансформації границь включення-матриця при лазерному впливі, в експериментальних дослідженнях зародження і росту тріщин при різних температурно-швидкісних умовах деформації, а також у вивченні можливості лазерного зміцнення зони викружки залізничних коліс.

В цілому, дисертаційна робота Нікульченка Ігоря Олександровича "Вплив неметалевих включень на структуроутворення та зміцнення поверхневого шару з підвищеними механічними властивостями в сталях при лазерній обробці" виконана на високому професійному рівні. Зауваження, що зроблені, не знижують високу оцінку роботи. Дисертація відповідає вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів», який був затверджений Постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р. і нормативним документам Департаменту атестації кадрів МОН України щодо кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.01 – металознавство та термічна обробка металів.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник,
директор Інституту чорної металургії ім.
З.І. Некрасова НАН України



Бабаченко О.І.