Ю.М. Коровайченко

СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРИ ТЕРМОЦИКЛІЧНІЙ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ, ВІДНОВЛЕНИХ НАПЛАВЛЕННЯМ

Розглянуто вплив термоциклічної обробки на стан структури, розподіл основних хімічних елементів та структурних складових по перерізу циліндричної деталі, відновленої різнорідними матеріалами.

Кристалізація розплавленого металу відновлення та його високотемпературний термодеформаційний вплив на метал відновленої деталі призводить до формування в ньому багатозонової структури з суттєвими відмінностями фізико-механічних властивостей та кристалографічних показників.

За аналогією із зварювальними процесами [1] в металі деталі, що відновлюється, можливе формування п'яти-шести зон термічного впливу. Але в реальній практиці кількість зон, при певній закономірності зміни градієнта температур по перерізу, коливається у широких межах в залежності, у першу чергу, від початкового стану мікроструктури. У більшості випадків деталі (поверхні), що відновлюються, – це метал, який пройшов в основному виробництві одну або набір штатних термічних обробок, з характерною зональністю, наприклад, цементований шар – перехідна зона – мартенсит відпуску – основний метал після нормалізації.

Вплив, у цьому випадку, термічного циклу наплавлення не ідентичний зварювальному, коли основний метал має початкову структуру поставки. Тому у перерізі наплавленої деталі можна виділити наступні зони: наплавлений метал; зона сплавлення; зона перегріву; зона загартування; зона високотемпературного відпуску; зона низькотемпературного відпуску; зона старіння. При переході до менш енергоємних методів кількість зон зменшується, а їх сумарна ширина скорочується.

Основним недоліком відновлення поверхонь деталей наплавлення є наявність структурної різнорідності по перерізу деталі, позбутися якої найчастіше намагаються термічною обробкою: віджигом, відпуском, нормалізацією з наступним відтворенням штатних термічних обробок, передбачених основною технологією. Однак при покращенні показників властивостей окремих зон усунути залишкову хімічну та структурну неоднорідність відновленої деталі не вдається [3].

Одним з ефективних засобів усунення структурно-хімічної неоднорідності термодифузійних з'єднань є термоциклічна обробка (ТЦО) [2], при якій процес перерозподілу хімічних елементів та структурної перебудови значно інтенсивніший.

Перебудова мікроструктури окремих зон відновленої деталі в процесі ТЦО починається в різних стартових умовах і, в залежності від швидкості нагрівання, здійснюється за дифузійним (помірні швидкості), бездифузійним (високі швидкості) або змішаним механізмом.

Фазові перетворення в металі різних зон ідуть за відомим механізмом [4]. Суттєвою є та обставина, що утворення метастабільного аустеніту при нагріванні в міжкритичному інтервалі температур відбувається, у межах кожного циклу, спочатку на більш великих зернах фериту зони перегріву, потім на великих дендритах наплавленого металу і в останню чергу – на більш дрібних зернах окремих зон. Крім того, спотворена, складнонапружена структура наплавленого металу і зони сплавлення більш готові енергетично до перебудови, ніж більш рівномірні структури. У сукупності з дифузійними процесами міграції хімічних елементів, зміни щільності дислокацій та інших процесів перебудови кристалічної гратки призводять до того, що зміни стану мікроструктури ідуть з різною інтенсивністю (рис. 1), приходячи проте до практично одного результату.

Аналогічна картина має місце і при бездифузійному механізмі перетворень, де визначальну роль в перлітно-аустенітному перетворенні відіграють дефекти і спотворення кристалічної гратки фериту в його прикордонних зонах. Оскільки щільність дефектів у великозернистій складнонапруженій структурі зон високотемпературного впливу вища, така кристалічна гратка більш нестійка і енергетично підготовлена до перебудови.

Рис. 1. Залежність балу зернистості мікроструктури відновленної деталі від кількості термоциклів ($n_ц$)

Утворення дрібнозернистої структури при перетвореннях за будь-яким механізмом фіксується охолодженням при температурі нижче кінця фазових перетворень, а наступні нагрівання подрібнюють великі зерна, що залишились, утворюючи в кінці рівномірну, дрібнозернисту структуру у всьому об'ємі відновленої деталі.

На рис. 2 показані зміни структурного стану окремих зон відновленої деталі із сталі 30ХГСА, наплавленої електродним дротом 10ХГСН2МТ під флюсом АН348А.

Наплавлений метал у цьому випадку має вигляд хаотичної великоголчастої ферито-перлітної структури, близької до структури типу "відманштет". Аналогічна структура має місце в зоні сплавлення з елементами мартенситної та мартенситно-бейнітної структур у вигляді великих пластин.

Зона перегріву має характерні великі зерна перліту, оточені феритною сіткою і певною кількістю складових як результат мартенситних перетворень.

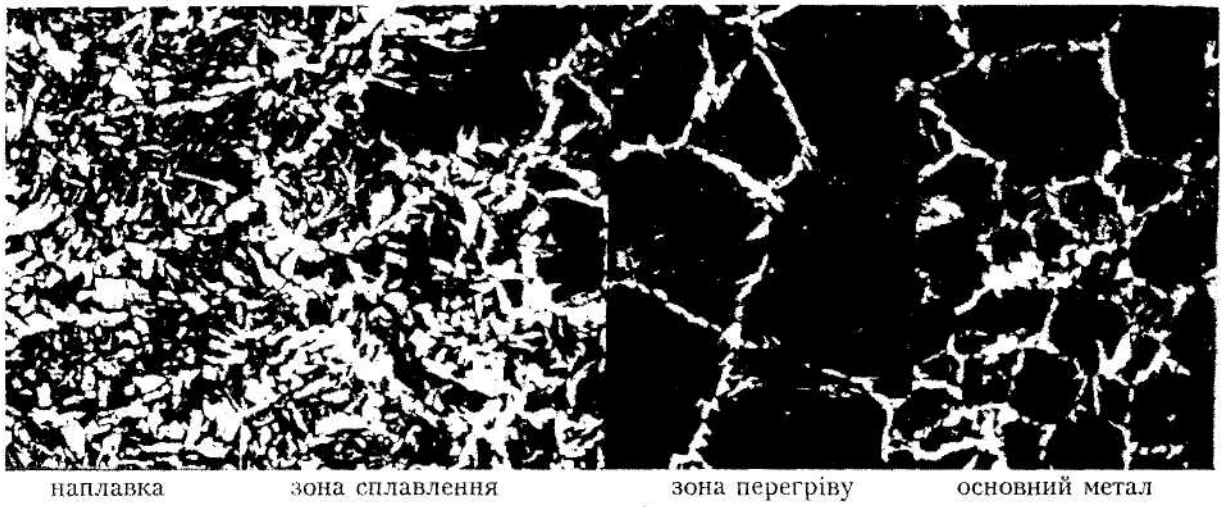
Інші зони деталі мають в певному ступені спотворену термічним циклом наплавлення структуру деталі після основної термічної обробки.

В процесі виконання перших термоциклів (для середньовуглецевих та легованих сталей – 3, ..., 5) структурна неоднорідність зон зберігається, хоча і на значно нижчому рівні, що пояснюється складністю протікання дифузійних процесів між зонами, різною інтенсивністю структурної перебудови початкового стану і градієнтом температур нагрівання та охолодження по перерізу деталі за часом.

Однак при подальшому термоциклюванні відставання темпів структурної перебудови нестійких структур до стабільних скорочується і вирівнюється. Тому у випадку, що розглядається при виконанні 10, ..., 11 термоциклів середньотемпературної ТЦО, утворюється однорідна дрібнозерниста структура із залишковою неоднорідністю за вмістом хімічних елементів (рис. 2,*б*). Мікроструктура у цьому випадку складається з доевтоктоїдного фериту, який випав по кордонах аустенітних зерен, трооститу та продуктів проміжкового перетворення (бейніту), при цьому ділянки трооститу більші в порівнянні з перлітом та феритом. В міру віддалення від металу наплавлення кількість міжпластинчатих складових в перліті стає меншою, а можливість утворення бейніту стає мінімальною.

Отримані результати мікроструктурних досліджень підтверджуються результатами вимірювання твердості по перерізу відновленої деталі (рис. 3,*а*), при цьому твердість структурних складових знаходиться у межах: фериту – 180, ..., 220HV; трооститу – 250, ..., 270HV; бейніту – 300, ..., 350HV. Як видно з рис. 3, максимальна твердість у початковому стані спостерігається в зоні загартування з переважно троостійно-бейнітною структурою.

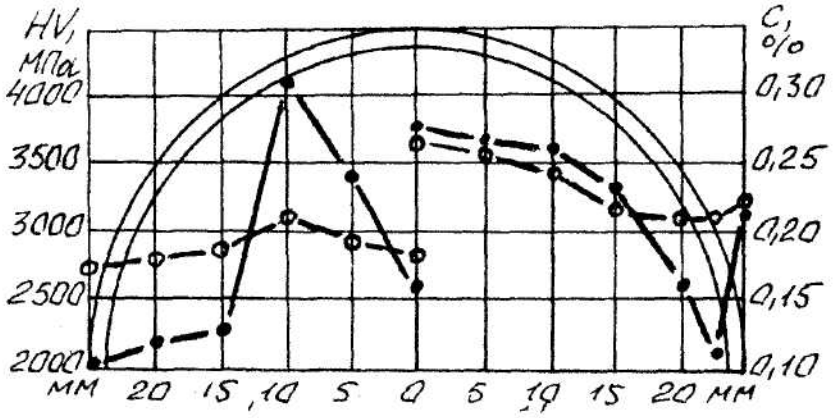
Після ТЦО твердість окремих зон нівелюється по відношенню до деякої середньої величини, що у більшості випадків задовольняє експлуатаційним вимогам, які пред'являються до деталі. Якщо отриманої твердості недостатньо, то після ТЦО необхідно виконати нормалізацію, загартування з відпуском тощо.



а)

б)

Рис. 2. Мікроструктура деталі, відновленої наплавкою: а – початковий стан; б – після ТЦО (х500)



а) б)

Рис. 3. Розподіл твердості (а) та вмісту вуглецю (б) по перерізу відновленої деталі у початковому стані (•) і після ТЦО (о)

Дуже важливим показником структурної перебудови окремих зон термічного впливу в процесі ТЦО є перерозподіл хімічних елементів між зонами та всередині них. Особливо це важливо при відновленні деталей різнорідними матеріалами.

Добре відомо, що більш тугоплавкі елементи дифундують назустріч тепловому потоку, а менш тугоплавкі – попутньо. Це призводить до появи у зоні сплавлення зневуглецьованої зони, збідненої також елементами з високою температурою плавлення. Виключення становлять випадки відновлення деталей, поверхні яких при виготовленні піддавались цементуванню або іншим видам поверхневого зміцнення карбідоутворюючими елементами. Характер хімічної неоднорідності деталі із сталі 30Х2Н2М, що відновлялась дротом 10ХГСН2МТ, який визначався за допомогою мікроаналізатора КАМЕКА, наведений на рис. 3,*б* (крива 1).

ТЦО призводить до суттєвої зміни зернистості різних зон, що докорінно змінює положення первинних та вторинних кордонів зерен у наплавленому металі і прилягаючих ділянках, змушуючи найважливіші хімічні елементи, в основному розташовані на кордонах, мігрувати в енергетично найбільш сприятливі зони, які збіднені за хімічних складом.

Безумовно, що в результаті формування субструктури підвищується коефіцієнт дифузії, а пластична деформація в мікрооб'ємах, що виникає в процесі ТЦО, підвищує дифузійну проникливість гратки. Все це призводить до суттєвої зміни характеру розподілу хімічних елементів по зонах, як це показано на рис. 3,*б* (крива 2).

Висновок

ТЦО призводить до суттєвої структурної перебудови зон термічного впливу, забезпечуючи рівномірний розподіл структурних складових, хімічних елементів і показників фізико-механічних властивостей.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Грабин В.Ф., Денисенко.* Металловедение сварки низко- и среднелегированных сталей. – К.: Наукова думка, 1978. – 276 с.
2. *Коровайченко Ю.М.* Термоциклічна обробка зварних з'єднань // Препринт. – К: УМКВО, 1993. – 48 с.
3. *Макара А.Н., Егорова С.В.* и др. Термообработка в интервале температур АС1–АС3 соединений, выполненых электрошлаковой сваркой // Автомат. сварка, 1969. – № 12. – С. 1–5.
4. *Федюкин В.К., Смагоринский М.Е.* Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. – Л.: Машиностроение, 1989. – 255 с.

КОРОВАЙЧЕНКО Юрій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, докторант Кіровоградського інституту сільськогосподарського машинобудування.

Наукові інтереси:

– зміцнення і відновлення деталей машин високотемпературними термодифузійними методами та їх термообробка.