УДК 621.74
Перков О.М.[1], Кузьмичов В.М.[2], Вакуленко І.А.[3]
[1] канд. техн. наук, ст. научн. сотр. ІЧМ НАНУ
[2] інженер, зав. відділом ІЧМ НАНУ
[3] д-р. техн.наук, професор ДНУЗТ, Дніпро

ЗМІНА ПЛАСТИЧНОСТІ СУЛЬФІДУ МАРГАНЦЮ ВІД ЙОГО МОРФОЛОГІЇ Й СТРУКТУРИ АУСТЕНІТУ ПРИ ГАРЯЧІЙ ДЕФОРМАЦІЇ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Дослідженню впливу параметрів кристалізації стали на дисперсність, морфологічні особливості й розподіл неметалічних включень завжди приділялася досить велика увага [1-2]. Враховуючи, що для переважної більшості сталей істотний вплив на комплекс властивостей надають сульфіди й, зокрема, сульфід марганцю, його здатність пластично деформуватися відіграє значну роль як у процесі гарячої формозміни металу, так і при формуванні комплексу службових властивостей. Однак поводження неметалічних включень у процесі деформації у величезній мері залежить від процесів структуроутворення в навколишній матриці металу.

Метою справжньої роботи виявилося дослідження впливу процесів структуроутворення в аустеніті, при гарячому деформуванні вуглецевих сталей, на здатність сульфідних включень до пластичної формозміни.

Матеріалом служили сталі промислового виробництва зі змістом вуглецю 0,08–0,87%, Mn – 0,66– 1,74%, Si – 0,22–0,7%. Склад сталей і їх розкислення вибиралися таким чином, щоб у структурі злитка при його кристалізації формувався переважно один із трьох відомих типів сульфіду марганцю. Вирізані темплети (зі злитка масою 8–12 т) нагрівалися й витримувалися протягом 15 хв перед першим проходом в обтискній кліті, перед наступними проходами – 10 хв. Обтиснення при одному проході становило 30–60%. Сумарна величина обтиснення варіювалася від 30 до 90%. Температура прокатки змінювалася від 800 до 1250^{o}C, при швидкості деформації близько 30 c^{-1}. Аналіз впливу схеми деформації на розмір зерна аустеніту вивчали на колісній сталі з 0,45% C, 0,70% Mn. Обтиснення на пресі із зусиллям 2000 т проводили при температурі 1250^{o}C зі ступенями деформації: одноразова на 30% по висоті заготівлі (використовувана технологія) і триразова з ε = 10 %, у сумі складова ті ж 30%, далі випливала прокатка залізничного колеса. Мікроструктурні дослідження здійснювали під світловим мікроскопом "Неофот" при збільшеннях 100, 400 і 800. Механічні властивості визначали при розтяганні зі швидкістю деформації $10^{-3}c^{-1}$. Ударну в'язкість і твердість – відповідно на маятниковому копрі МК – 30 і твердомірі ТБ–2.

Як треба з мікроструктурних досліджень, залежно від умов кристалізації й хімічного складу сталі спостережувані сульфіди марганцю по

зовнішній будові можна підрозділити на три основні типи[1] , яким властива різна здатність до пластичної формозміни. При малих ступенях обтиснення (до 30–40 %) досить важко виявити особливості пластичного плину сульфідних включень залежно від їхнього морфологічного типу. Починаючи від величини обтиснення при прокатці 60 %, уже стає можливим простежити розходження в зміні величини К[2], що характеризує участь частки в пластичному плині [3]. Зі збільшенням ступеня пластичної деформації стали здатність до формозміни для всіх трьох типів сульфідних включень росте. Починаючи від 900 °С, більше високим температурам прокатки відповідають знижені значення пластичності, що погодяться з раніше отриманими результатами [2, 3]. При температурі 900 °С відзначається зміна знака температурної залежності К, що особливо яскраво проявляється при максимальному ступені обтиснення 90 % (рис. 1).

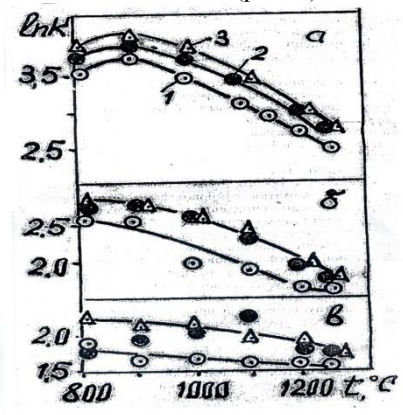


Рисунок 1 - Зміна К від температури прокатки, ступеня обтиснення (а - 90, б - 75, в - 60 %) і типу включень I-I, II -2, III – 3

Для пояснення екстремальної залежності пластичності сульфідних включень розглянемо поводження вуглецевої сталі в процесі гарячого деформування. Насамперед, необхідно відзначити, що для виділення як об'єкт дослідження тільки якогось одного типу сульфідів, були спеціально

[1] Сульфиди I типу мають глобулярну форму, II тип – евтектичні включення, представляють собою розгалужений скелет, зростаючий з єдиного центру [3], III тип – сульфіди обмеженої форми.

[2] К = 1/b, де 1 – максимальне подовження включення, b – товщина частки.

відібрані, сталі з різним хімічним складом. Так, для аналізу поводження сульфідів марганцю I типу використовували маловуглецеві сталі зі змістом вуглецю порядку 0,08 % і Mn 1,74 %, для II типу сталь із 0,4–0,5 % C и Mn 0,7–0,9 % і для III типу – сталь із 0,78–0,87 % C, Mn – 0,91– 0,92 %. Таким чином, можна з упевненістю думати, що деформування неметалічних включень буде неминуче залежати від структурних змін при деформації аустеніту сталей з різним складом.

Зі збільшенням температури деформації відносне подовження (як параметр пластичності) мало- і середньовуглецевої сталей змінюється по екстремальній залежності, у той час як для сталі з 0,87 % C відзначається тільки монотонний ріст. При цьому, як величина зниження пластичності назад, так і рівень значень подовження - прямопропорційні змісту вуглецю в сталі. Наведене співвідношення обумовлене не тільки залежністю температурного інтервалу α–γ – перетворення від складу стали, але й пов'язане з розміром зерна аустеніту.

Відомо, що при температурах, що наближаються до моменту початку α–γ - перетворення відзначається різкий приріст пластичності сталі, досягаючи максимуму при найбільш високих температурах існування феритної матриці металу [4]. Поява аустенітної фази супроводжується зниженням зазначеної характеристики [5]. При цьому зміст вуглецю впливає на характер зміни відносного подовження досліджуваних сталей. Дійсно, якщо звернутися до потрійної діаграми стану залізо-вуглець-марганець [6] можна виявити, що температура появи аустеніту приблизно однакова для досліджуваних сталей і становить інтервал 680–700 ^{o}C. Однак температура досягнення повністю аустенітної структури у великій мері залежить від складу металу. Так, для низьковуглецевої сталі температура поліморфного перетворення становить 840–850 ^{o}C, а для сталі з 0,8 % C трохи нижче – 800 ^{o}C, визначаючи тим самим довжину інтервалу перетворення. Тому й величина падіння пластичності сталі з 0,47 % C у 2-2,5 рази менше, ніж для низьковуглецевого металу.

Аналіз характеру залежності відносного подовження сталей і величини K сульфідних включень (рис. 1) від температури деформування дозволяє припустити про існування взаємозв'язку між ними. Дійсно, після формального, друг проти друга, нанесення значень зазначених характеристик, виявляється обернено пропорційний зв'язок. Із цього треба, що чим пластичніше аустеніт, тим меншої пластичної деформації піддається сульфідне включення. Виконання наведеного співвідношення вказує на температурну залежність натягу плину аустеніту, що побічно пов'язане з розміром зерна й ступенем дефектності його кристалічної будови. При низьких температурах прокатки (до 900 ^{o}C) збільшення ступеня обтиснення супроводжується монотонним здрібнюванням аустенітної структури, а темп зниження кількості дефектів кристалічних решіток указує на часткове

збереження стану гарячого наклепу. Наведені дані вказують, що структура аустеніту формується в результаті протікання як динамічної рекристалізації, так і статичної після закінчення деформації. З іншого боку, деформування при підвищених температурах починає супроводжуватися вже розвитком процесу динамічної полігонізації, у результаті розмір зерна аустеніту міняється менш істотно. Наведені дані підтверджуються й дослідженням впливу схеми деформації на розвиток процесів структуроутворення в аустеніті. На прикладі деформування (1250 ^{o}C) колісної заготівлі виявлено, що тільки піддаючи метал дробовій (триразовій) деформації по 10 %, замість однократної 30 % при незмінних інших параметрах виробництва залізничних коліс, досягається приріст пластичності й тріщиностійкості готових виробів. Обумовлено наведену зміну властивостей металу сполученням розвитку динамічних і статичних процесів формування тонкокристалічної будови аустеніту. Спостережуване здрібнювання зерна аустеніту в процесі ізотермічних витримок після деформації вказує на розвиток повторної рекристалізації. Однак, з ростом температури гарячої деформації, зменшуваний рівень накопиченої енергії системи, що є стимулом розвитку рекристалізації, може бути компенсований початком протікання процесів динамічної полігонізації [3]. У результаті одержуємо стан аустеніту із практично незмінним зерном.

Дійсно, як треба з рис. 2, підвищення температури деформування супроводжується прогресуючим ростом величини Δ, знаменуючи тим самим прискорюваний приріст пластичності аустеніту в порівнянні із сульфідним включенням.

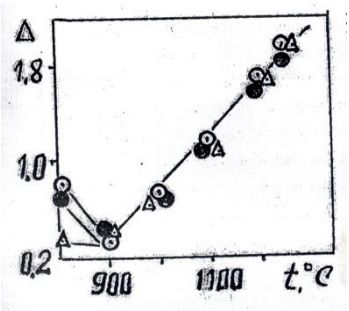


Рисунок 2 - Зміна Δ (Δ = 1nδ-1nK, де δ - подовження сталі) від температури прокатки й типу сульфідного включення. Позначення ті ж, що на рис. 1

Відсутність впливу типу включення на зміну Δ може бути непрямим доказом незмінності структурного стану в процесі деформування матриці й сульфідної частки. Як тільки з'являться ознаки зміни структурного стану яких–то із згаданих фаз, повинен змінитися й характер співвідношення значень їхньої пластичності. Прикладом правочинності таких міркувань

може служити зміна Δ для температурного інтервалу 800–900 ^{o}C (рис. 2). Так, залежно від ступеню завершення процесів поліморфного перетворення спостерігається й різне відхилення від залежності (Δ - t), що відповідає повністю аустенітній структурі.

Таким чином, можна думати, що ступень участі сульфідних включень у процесі гарячого деформування сталі в значній мірі (за винятком хімічного складу самого включення) обумовлена пластичністю аустеніту, що у свою чергу визначається результуючим процесом структуроутворення: зміна рівня накопичених дефектів кристалічної будови при деформації або розміру й форми зерна аустеніту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бельченко Г.И., Губенко С.И. Неметаллические включения и качество стали. – К.: *Техника*. – 2000. – 168 с.

2. Малиночка Я.Н., Ковальчук Г.З. Сульфиды в сталях и чугунах. – М.: *Металлургия*. – 2008. – 248 с.

3. Куйбышев О.А. Сверхпластичность промышленных сплавов. – М.: *Металлургия,* – 2004. – 264 с.