

Сидорчук О. М.^{1,2}
Радченко О. К.¹
Миронюк Д. В.^{1,2}
Євич Я. І.¹
Мисливченко О. М.¹
Аскеров М. Г.-огли¹
Avetisyan A. I.²
Ye. Hongguang²

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛІ З РЕГУЛЬОВАНИМ АУСТЕНІТНИМ ПЕРЕТВОРЕННЯМ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ДЕФОРМУВАННЯ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

¹ Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Київ

² Ningbo IPMS research and technology center Co., Ltd. No 218, Ningbo city, China

Анотація

Штампова сталь з регульованим аустенітним перетворенням, використовується для гарячого деформування мідно-нікелевого сплаву за температур експлуатації понад 850 °С (вище критичної точки A_3). В роботі було рекомендовано розширити температурний інтервал експлуатації литої та кованої сталі з регульованим аустенітним перетворенням (марки 4Х4Н5М4Ф2) та експлуатувати її в мартенситному стані за температур експлуатації нижче критичної точки A_1 . Для цього було оптимізовано температурні режими термічної обробки. Розширення температурного інтервалу експлуатації кованої та литої сталі 4Х4Н5М4Ф2 після оптимального режиму гартування і відпуску дозволяє застосовувати інструмент для гарячого деформування міді та латуні, виготовлений з цієї сталі, до температури експлуатації 630 °С та 650 °С.

Ключові слова: сталь, термічна обробка, твердість, структура, карбідна фаза.

Abstract

Die steel with adjustable austenitic transformation, used for hot deformation of copper-nickel alloy at operating temperatures above 850 °C (above critical point A_3). In the work, it was recommended to expand the operating temperature range of cast and forged steel with adjustable austenitic transformation (grades 4Kh4N5M4F2) and operate it in the martensitic state at operating temperatures below the critical point A_1 . For this purpose, the temperature regimes of heat treatment were optimized. The expansion of the operating temperature range of forged and cast steel 4Kh4N5M4F2 after the optimal mode of hardening and tempering allows the use of tools for hot deformation of copper and brass made of this steel up to operating temperatures of 630 °C and 650 °C.

Keywords: steel, heat treatment, hardness, structure, carbide phase.

Результати дослідження

Штампи та матриці для гарячого деформування кольорових металів та сплавів (головним чином на основі міді) на сьогоднішній день виготовляють зі сталей та сплавів. Жароміцні сталі аустенітного класу для виготовлення штампового інструменту мають ряд недоліків, які обмежують їх застосування: понижену теплопровідність та високий коефіцієнт термічного розширення. Їх застосування також обмежене в силу погіршеної обробки різанням та високої вартості легуючих елементів. Тому, головним чином на підприємствах відповідного профілю використовують штамповий інструмент феритного класу теплостійких сталей марок 5ХНМ, 3Х3М3Ф, 4Х5МФ1С, 5Х5МНФС, 4Х5В2ФС, 4Х3ВМФ, 4Х4ВМФС, 4Х2В2МФС, 3Х2В8Ф, 5Х3В3МФС, 4Х2В5МФ, 3Х3В9Ф, 6ХВ6М5Ф2, 6Х4В9М1Ф і т.д. для гарячого деформування мідних сплавів. Проте, за робочих температур експлуатації штампового інструменту 600-700 °С при гарячому пресуванні міді та латуні відбувається відпускна крихкість, що призводить до виходу з ладу матриць для гарячого пресування. За температурних умов експлуатації 900-1000 °С при гарячому пресуванні мідно-

нікелевого сплаву, штампові сталі феритного класу мають низький ресурс експлуатації. Встановлено, що під дією високих температур та певного навантаження (тиску) при кожному циклі пресування мідного сплаву, відбувається пластична деформація поверхневого шару інструменту. Накопичення такої деформації не зміцнює міцності штампової сталі з ОЦК граткою, але може зміцнювати сталі з ГЦК граткою. Запропонований новий клас сталі який при кімнатній температурі відносяться до феритного класу, а при експлуатаційній температурі переходить в аустенітну область. Така сталь, була названа як сталь з регульованим аустенітним перетворенням при експлуатації (РАПЕ) [1, 2]. Відповідно до [1-4] для виготовлення філь'єр-матриць, що використовують при гарячому деформуванні (температура експлуатації 900-950 °С) мідно-нікелевого сплаву марки МНЖ 5-1, успішно використовується сталь з РАПЕ марки 4Х3Н5М3Ф. Режими термічної обробки (гартування 1030±10 °С та відпуску 560±10 °С), що задовольняло експлуатувати вироби з неї в процесі аустенізації (за температур вище 860 °С). Проте, для її використання за температури нижче критичної точки дослідженої сталі А₁ (α-Fe область), потребувало скорегувати хімічний склад (4Х4Н5М4Ф2) та розробити новий режим кінцевої термічної обробки [4-8], що дало змогу підвищити її теплостійкість.

Правильний вибір хімічного складу сталі та технології термічної обробки можливий лише за рахунок встановлення як природи впливу легуючих компонентів на фізико-механічні властивості, так і на сутність процесів, які відбуваються у сталі, легованій різними компонентами при нагріві вище критичної точки А_{с3} (при гартуванні) та нижче – А_{с1} (при відпуску). Для цього необхідно розробити оптимальні параметри кінцевої термічної обробки (гартування та відпуск) дослідженої сталі з РАПЕ. Раніше у проведеній роботі [3] температура гартування дослідженої сталі 4Х3Н5М3Ф становила 1030±10 °С і, при відпуску 615 °С її твердість становила 40 HRC (за кімнатної температури). Для того, щоб підвищити теплостійкість сталі, було прийняте рішення підвищувати температуру гартування, у супереч всіх літературних посилань при одержанні балу зерна № 10. Бал зерна у структурі металу зменшувався в процесі термічної обробки (гартування). Встановлено, що за температури гартування дослідженої сталі (вище 1110 °С), відбувається процес первинної рекристалізації, що унеможливило проведення термічної обробки (укрупнення зерна та зниження механічних властивостей). Таким чином було прийняте рішення проводити гартування дослідженої литої та кованої сталі 4Х4Н5М4Ф2 за температури 1095±5 °С [7], твердість якої співпадає на рівні 56 HRC, бал зерна № 4 та № 7 за ГОСТ 5639-65 (в литому та кованому стані, відповідно). Теплостійкість сталі було підвищено до 650°С в литому стані [5-7] та кованому 630 °С [7, 8] при 40 HRC (за кімнатної температури). Підвищення температури гартування сталі дало змогу більше розчинити карбідну фазу в процесі аустенізації на основі якого є хром. Оскільки такий карбід виділяється при відпуску, коагулює та знижує теплостійкість сталі. Показано, що після термо-деформаційної обробки (кування) гартованої сталі, зменшується розмір зерна (підвищено у два рази бал зерна від № 8 до № 7, ГОСТ 5639-65). Це сприяло до підвищення ударної в'язкості сталі (у п'ять разів) при відпуску у порівнянні з литим станом. Штамповий інструмент при гарячому деформуванні міді, або латуні проводиться за температурою експлуатації 600 °С і вище. Результати досліджень показують, що при зміні хімічного складу дослідної сталі (4Х4Н5М4Ф2) та підвищення її температури гартування на 70 °С (1095±5 °С), вдалось підвищити теплостійкість на 35 °С при 650 °С (40 HRC) в литому стані та на 15 °С при 630 °С (40 HRC) в кованому.

Таким чином, сталь з РАПЕ (марки 4Х4Н5М4Ф2), котра була рекомендована працювати при високих температурах експлуатації (900-950 °С) гарячого деформування мідно-нікелевого сплаву марки МНЖ 5-1, здатна працювати і при температурах нижче критичної точки А₁ (Т_{А1}=700 °С), а саме до температури 630 °С в кованому та 650 °С в литому стані для гарячого деформування міді та латуні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гогаєв К. О., Сидорчук О. М., Радченко О. К. Інструментальні штампові сталі для гарячого деформування (огляд) // Металознавство та обробка металів. – 2016. – № 3. – С. 18 – 24.
2. Сидорчук О.М. Властивості штампової сталі 4Х4Н5М4Ф2 для гарячого деформування кольорових металів та сплавів // Науковий «Вісник Вінницького політехнічного інституту, м. Вінниця». № 1. –2021. – С. 108-112.
3. Гогаєв К. О., Радченко О. К., Сидорчук О. М., Лук'яничук В. В. Технологія виготовлення штампової сталі 4Х3Н5М3Ф для гарячого деформування // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації

конструкцій, споруд та машин. Збірник наукових статей за результатами, отриманими в 2013–2015 рр. Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України. – 2015. – С. 669 – 672.

4. Гогаєв К. О., Сидорчук О. М. Штампова сталь з регулюванням аустенітного перетворення для гарячого деформування мідно-нікелевого сплаву // Наука і інновації – 18 (3). – 2022. – С.23-27.

5. Сидорчук О.М., Миронюк Д.В., Радченко О.К., Гогаєв К.О., Хонггуанг Є. Підвищення теплостійкості та властивостей штампової сталі з регулюванням аустенітного перетворення при експлуатації // Металознавство та обробка металів. – № 2. – 2019. – С. 19-25.

6. Гогаєв К.О., Радченко О.К., Сидорчук О.М., Миронюк Д.В. Штампова сталь // Патент 141447 Україна, МПК С22С 38/00/ № u2019 09670; заявл. 05.09.2019; опубл. 10.04.2020. Бюл. № 7.2020. – 2 с.

7. Сидорчук О.М. Вплив термічної обробки на штампову сталь 4Х4Н5М4Ф2 та встановлення її фізико-механічних властивостей // Вісник Національного технічного університету «ХПІ», серія «Нові рішення в сучасних технологіях». №1. – 2021. – С. 34-38.

8. Сидорчук О. М., Мисливченко О. М., Гогаєв К. О., Хонггуанг Є. Структура та властивості кованої сталі з регулюванням аустенітного перетворення, після термічної обробки та експлуатації коліс екструдерів для гарячого деформування міді // Фізико-хімічна механіка матеріалів – 2022 р. – № 1. – С. 112-118.

Сидорчук Олег Миколайович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу "Диспергування матеріалів та пластичної деформації прокатки" Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, вул. Кржижановського, 3, 03142, Київ, Україна, sedoroleg@ukr.net

Радченко Олександр Кузьмич – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, відділ "Диспергування матеріалів та пластичної деформації прокатки" Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, вул. Кржижановського, 3, 03142, Київ, Україна

Миронюк Денис Валерійович – кандидат фізико-математичних наук (Фізика твердого тіла), старший науковий співробітник відділу "Фізика і технології фотоелектронних та магнітоактивних матеріалів" Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, вул. Кржижановського, 3, 03142, Київ, Україна

Євич Ян Іванович – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник відділу "Фазових перетворень" Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, вул. Кржижановського, 3, 03142, Київ, Україна

Мисливченко Олександр Миколайович – кандидат технічних наук, науковий співробітник відділу "Фізичної хімії неорганічних матеріалів" Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, вул. Кржижановського, 3, 03142, Київ, Україна

Аскеров Мукафат Гейбат-огли – кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник, відділ "Диспергування матеріалів та пластичної деформації прокатки" Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, вул. Кржижановського, 3, 03142, Київ, Україна

Avetisyan A. I. – науковий співробітник Центру досліджень і технологій Нінбо ШМ., перехрестя шляху Фенгшан та вул. Кіаотоу Ху, 218, 315600, повітове місто Нінхай, місто Нінбо, провінція Чжецзян, Китайська Народна Республіка

Ye. Hongguang – виконавчий директор Центру досліджень і технологій Нінбо ШМ., перехрестя шляху Фенгшан та вул. Кіаотоу Ху, 218, 315600, повітове місто Нінхай, місто Нінбо, провінція Чжецзян, Китайська Народна Республіка, 13911609821@139.com