

II ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ТА ОБРОБКИ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

УДК 621.316.13

Сидорчук О. М.

канд. техн. наук, старший дослідник, старший науковий співробітник, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, м. Київ, Україна,
e-mail: sedorleg@ukr.net

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИГОТОВЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТУ З ШТАМПОВОЇ СТАЛІ 4ХЗН5МЗФ

Мета роботи. Збільшити інтервал експлуатації (вище критичної точки сталі А3 та нижче А1) штампового інструменту дослідної сталі з регулюванням аустенітного перетворення при експлуатації для гарячого деформування міді та мідного сплаву.

Методи дослідження. Металографічний аналіз дослідної сталі.

Одержані результати. Дослідно-промислові випробування матриць штампового інструменту зі сталі 4ХЗН5МЗФ для гарячого деформування (пресування) міді марки М1, показало підвищену стійкість, яка використовується на заводі «Спецлітьє» (м. Дніпро, Україна). Скорегований хімічний склад (4Х4Н5М4Ф2) та оптимізований режим термічної обробки сталі з регулюванням аустенітного перетворення при експлуатації сприяло до підвищення її теплостійкості.

Наукова новизна. Розроблено лігатуру системи Fe-Ni-Mo-V-Mn для дошихтовки базової сталі 4Х5МФ1С для одержання сталі з регульованим аустенітним перетворенням марки 4ХЗН5МЗФ. В процесі часткової перекристалізації легованої конструкційної сталі 4ХЗН5МЗФ утворюється сфероїдизована карбідна складова, що спричинює на поліпшення механічної обробки заготовки для виготовлення матриць штампового інструменту.

Практична цінність. Скорочено технологічну операцію, а саме термо-деформаційну обробку (ковку) зливків, одержаних за технологією електрошлакового переплаву. Для полегшення механічної обробки різанням заготовки при виготовленні матриць з штампової сталі 4ХЗН5МЗФ, було запропоновано провести часткову перекристалізацію, а саме неповний відпал за температури 750 ± 20 °С. Показана можливість використання штампової сталі (4ХЗН5МЗФ) з регульованим аустенітним перетворенням при експлуатації для широкого інтервалу температур експлуатації гарячого деформування міді марки М1 та мідно-нікелевого сплаву марки МНЖ 5-1 (600–620 °С та 900–950 °С, відповідно) з підвищеним ресурсом експлуатації.

Ключові слова: штампова сталь, лігатура, хімічний склад, термічна обробка, властивості, структура, фазово-структурний стан.

Вступ

Матриці для гарячого деформування кольорових металів і сплавів (переважно для гарячого деформування сплавів на основі міді та мідно-нікелевих сплавів) використовують леговані конструкційні сталі марок 3ХЗМЗФ (аналог Н10, США) і 4Х5МФ1С (аналог Н13, США). В роботі [1, 2] було показано, що проведення випробування штампової литої сталі 4ХЗН5МЗФ з регулюванням аустенітного перетворення при експлуатації для гарячого деформування мідно-нікелевого сплаву марки МНЖ 5-1 за температури 900–950 °С та отримання матриць на ВАТ «Артемівський завод кольорових металів і сплавів, м. Бахмут, Україна» та сталі марки 3ХЗМЗФ, яка використовується на цьому підприємстві, кращі експлуатаційні властивості належать дослідженій розробленій сталі. Її стійкість у порівнянні зі сталлю 3ХЗМЗФ становила в три рази вище. Актуальністю роботи представляло підвищити широкий інтервал температур експлуатації матриць з дослідженої сталі для гарячого деформування міді і мідного сплаву.

Методи дослідження

Хімічний склад сталі відповідав маркуванню 4ХЗН5МЗФ: 0,40–0,44 % С; 2,80–3,00 % Cr; 4,70–5,50 % Ni; 2,44–2,60 % Mo; 1,34–1,36 % V; 0,34–0,35 % Si; 0,25–0,28 % Mn; 0,004–0,005 % S; 0,003–0,004 % P. Метод відбору проб для сталі проводили за ГОСТ 7565–81. Хімічний склад сталі визначали за методом спектрального аналізу [3–5]. Вміст вуглецю у сталі встановлювали за допомогою експрес-аналізаторів АН 7560М та АН 7529М. Досліджували мікрошліфи сталі після травлення травником: 10 %-ний розчин азотної кислоти в етиловому спирті з добавкою пікринової кислоти за методикою [6] та ГОСТ 10243–75. Твердість сталі після проведення термічної обробки визначали за методом Роквелла на приладі ТК-2 (ГОСТ 9013–73).

Викладення основного матеріалу

Для виготовлення дослідно-промислової партії матриць для гарячого деформування міді марки М1 використовували установку електрошлакового переплаву на заводі «Спецлітьє» (м. Дніпро, Україна).

Отримані зливки (маса одного зливка становило 100 кг) зі сталі 4ХЗН5МЗФ (рис. 1а, б). Під час виплавки електрошлакового переплаву для виготовлення дослідної сталі, було прийняте рішення використовувати лігатуру системи Fe-Ni-Mo-V-Mn і відходи штампової сталі марки 4Х5МФ1С. Лігатуру системи Fe-Ni-Mo-V-Mn виплавляли в індукційній печі і розливали в кокіль в результаті чого були отримані зливки (лігатури) масою 25 кг. Масовий склад шихти (лігатури) наведено у табл. 1, результати розрахунку шихтового матеріалу – табл. 2. Лігатуру виготовляли з урахуванням температури розплаву в печі перед випуском 1550 °С, тривалість рафінування не перевищувала 20 хв.

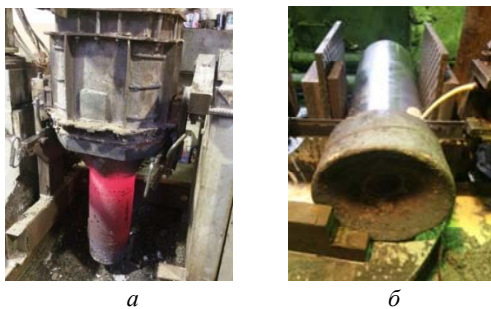


Рис. 1. Отримання зливка штампової сталі (масою 100 кг) за технологією електрошлакового переплаву на заводі «СпецЛітьє» (м. Дніпро, Україна): установка електрошлакового переплаву (а); зливков (розміром – Ø 170 мм і довжиною 700 мм (б))

Таблиця 1 – Масовий склад шихти (лігатура системи Fe-Ni-Mo-V-Mn) для сталі марки 4Х5МФ1С

Ni (Н-1)	FeMo (60 %Mo)	FeV (45 %V)	Mn (96 %Mn)	Чавун (3,8 %С)	Армо-залізо	Загальна маса, кг
22,20	14,6	11,2	0,4	22,2	29,4	100

Таблиця 2 – Розрахунок розробленої в ІПМ ім. І. М. Францевича НАНУ лігатури системи Fe - Ni - Mo - V - Mn для введення в базу сталі 4Х5МФ1С (% по масі)

Компоненти шихти	Ма са, кг	Хімічні елементи, кг							
		C	Ni	Mo	V	Mn	Cr	Si	Fe
Лігатура									
Ni(Н-1)	3,85		3,85						
FeMo(60%Mo)	2,60			1,53					1,07
FeV(45%V)	3,30				1,50				1,80
Mn(96%Mn)	0,16					0,16			
Чавун(3,8%С)	5,20	0,20							5,00
Армо-залізо	9,80								9,80
Загальна маса	ч	0,20	3,85	1,53	1,50	0,16	-	0,69	17,7
Базовий матеріал									
Сталь 4Х5МФ1С	100%	0,40	0,20	1,30	0,50	0,40	5,00	0,80	91,40
	~75%	0,30	0,15	0,97	0,37	0,30	3,75	0,60	68,50
Лігатура та базовий матеріал									
Загальна маса	100кг	0,51	5,70	3,17	1,77	0,42	3,75	0,62	84,04

Під час досліджень сталі 4ХЗН5МЗФ було встановлено, що рекомендований для неї режим термомеханічної обробки [7, 8] не є оптимальним (рис. 2, а). Твердість після повного відпалу сталі по перетину заготовки перевищує 35 HRC. Крім високої твердості матеріал має також несприятливу для

механічної обробки структуру з пластинчастою карбідною складовою. На жаль проведення відпалу за температурою 860 °С не забезпечує сфероїдизації карбідною складовою. Відпуск сталі за температури 680 °С проводити не доцільно, оскільки при відсутності фазових перетворень не змінює структурну карбідну складову. Твердість після повного відпалу сталі по перетину заготовки перевищує 35 HRC. Крім високої твердості матеріал має також несприятливу для різання структуру з пластинчастою карбідною складовою. Для зменшення жорсткості та полегшення механічної обробки різанням, при виготовленні матриць з штампової сталі, було запропоновано провести часткову перекристалізацію, а саме неповний відпал. Оскільки тільки в процесі часткової перекристалізації сталі утворюється сфероїдизована карбідна складову, що спричинить на поліпшення механічної обробки заготовки для виготовлення матриць штампового інструменту. Для встановлення критичних точок А₁ і А₃ штампової сталі 4ХЗН5МЗФ проводився дилатометричний аналіз. За результатами дослідження [9, 10] були встановлені критичні точки сталі: А₁ = 700 °С, А₃ = 850 °С, що дозволяє рекомендувати в проведенні сфероїдизуючого (неповного) відпалу за температурою нагріву 750±20 °С [2, 9] (рис. 2, б). Якщо провести неповний відпал легованої конструкційної сталі 4ХЗН5МЗФ, її твердість становить 33–34 HRC перлітно-сорбідної структури (α-Fe) з сфероїдизуючої карбідною складовою, що дозволило з полегшенням проводити механічну обробку для виготовлення штампового інструменту. Залежно від розміру зразка (заготовки) штампової сталі 4ХЗН5МЗФ вибирається різний час ізотермічної витримки при температурі 750±20 °С. Так для заготовки типу матриці діаметром 170 мм загальна витримка повинна становити близько 5,5 годин. Заготовку отриману електрошлаковим переплавом, піддавали термічній обробці за режимом 730–770 °С (неповний відпал). Твердість сталі становила 33–34 HRC. Після цього заготовку механічно обробляли різанням, різцями з пластинами сплаву Т15К6 з метою отримання матриць штампового інструменту.

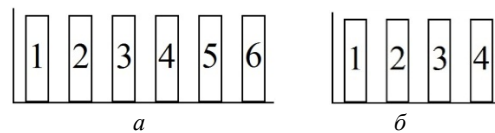


Рис. 2. Схеми технологічних операцій обробки сталі 4ХЗН5МЗФ: а – за технологією [7, 8] (1 – отримання зливків за традиційною технологією лиття, 2 – відпал за температури 860 °С з подальшим охолодженням до 350 °С, 3 – відпал за температури 680 °С з подальшим охолодженням до 400 °С, 4 – кування при 1180 °С, 5 – гартування 1020±10 °С, 6 – відпуск 570±10 °С); б – запропонована технологія (1 – отримання зливків електрошлаковим переплавом, 2 – відпал 750±20 °С, 3 – гартування 1030±10 °С, 4 – відпуск 590±10 °С)

Використання технології електрошлакового переплаву при отриманні зливків, дає можливість скоротити енергоємну технологічну операцію – ковку

(рис. 2а, б). Встановлено [1], що для литої сталі 4Х3Н5М3Ф оптимальні режими гартування і відпуску відповідає 1030±10 °С і 590±10 °С, відповідно (рис. 2б).

Експлуатаційні властивості сталі 4Х5МФ1С на заводі «Спецлитель» (м. Дніпро, Україна) при гарячій пластичній деформації міді марки М1 (профіль виробу має розміри 6×102 мм) є недостатньо високими. Основними причинами низької експлуатаційної стійкості матриці і кришки утримувача пов'язано з литим станом, а саме відсутність їх пластичного деформування та відсутність оптимальних режимів термічної обробки сталі. Дослідження мікроструктури сталі 4Х5МФ1С в литому стані показало її неоднорідність, наявність сітки дендритної структури і ділянок евтектики. Мікроструктура металу з матриці штампового інструменту зі сталі 4Х5МФ1С складається з сорбідної структури зі значною карбідною неоднорідністю: присутність ділянок підвищеної травимості (збагачених домішками) у вигляді сітки дендритної структури. Погіршення литої структури сталі 4Х5МФ1С пов'язано з отриманням зливків за традиційною технологією ливарного виробництва. Після термічного зміцнення (гартування 1040±10 °С і відпуску за температурою 600 °С) має місце карбідна складова великих розмірів. Використання технології електрошлакового переплаву для отримання зливків при високій швидкості кристалізації дозволить покращити литу структуру і підвищити механічні властивості штампової сталі. Так, в роботі [11] показано рівномірний розподіл легуючих компонентів по тілу зерен, а також відсутність карбідної евтектики грубої форми сталі 4Х3Н5М3Ф. З розробленої литої сталі 4Х3Н5М3Ф для якої були встановлені оптимальні режими термічної обробки, був виготовлений штампований інструмент (матриці) для пресування металу міді марки М1. Розміри профілю заготовок прямокутного перетину становило 6×130 мм. Розроблені матриці встановлювалися в стандартне обладнання для волочіння кольорових металів. У порівнянні з матрицями штампового інструменту зі сталі 4Х5МФ1С (отриманої за традиційною технологією ливарного виробництва), яка використовується на заводі «Спецлитель» (м. Дніпро, Україна) виготовлені за розробленою технологією матриці зі сталі 4Х3Н5М3Ф мали велику стійкість. Особливістю волочіння міді з використанням матриці штампового інструменту зі сталі 4Х5МФ1С є те, що в разі появи домішок інших металів відбувається різке збільшення температури яке впливає на матеріал матриці штампової сталі, на її поверхні утворюються мікротріщини. Це призводить до передчасного виходу з ладу штампового інструменту. Використовуючи розроблену сталь вдається уникнути появи такого виду браку штампового інструменту, тому що структура матеріалу дозволяє стабільно його використовувати при більш високих температурах. Для підвищення теплостійкості дослідженої сталі, було прийняте рішення скоригувати хімічний склад, що відповідало

марки 4Х4Н5М4Ф2 (по масі, %): 0,40–0,42 С; 3,80–3,90Cr; 5,00–5,10Ni; 3,70–3,80Mo; 1,70–1,80V; 0,014–0,016Al; 0,040–0,043W; 0,010–0,013Co; 0,018–0,020Nb; 0,065–0,067 Cu; 0,002–0,003 Ca; 0,003–0,005N; 0,072–0,075Si; 0,23–0,24Mn; 0,004–0,005S; 0,003–0,004P [12]. А також підвищити температуру гартування дослідженої сталі до первинної рекристалізації. Було встановлено, оптимальну температуру гартування сталі 4Х4Н5М4Ф2 – 1100±10 °С та відпуску – 590±5 °С [12]. Первинна рекристалізація сталі виникає за температури 1110 °С. Встановлено, що теплостійкість досліджуваної сталі 4Х4Н5М4Ф2 підвищилася на 30 °С (при 650 °С, HRC 40 за кімнатної температури) у порівнянні зі сталлю 4Х3Н5М3Ф.

Висновки

Показано можливість використання штампової сталі з регульованим аустенітним перетворенням для широкого інтервалу температур (вище критичної точки А₃ і нижче А₁) експлуатації для гарячого деформування міді і мідного сплаву з підвищеним ресурсом експлуатації у порівнянні з традиційними легуваними конструкційними сталями на феритній основі.

Список літератури

1. Сидорчук О. М. Одержання трубник заготовок з мідно-нікелевого сплаву МНЖ5-1 при використанні інструменту з штампової сталі регулюванням аустенітного перетворення при експлуатації / Сидорчук О. М. // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, Запорізький національний технічний університет. – 2021. – № 1. – С. 24–28.
2. Пат. № 94746 Україна UA, МПК С21/ D 8/00. Спосіб термічної обробки сталі для гарячого пресування / Гогаєв К. О., Сидорчук О. М., Радченко О. К., Лук'яничук В. В. ; заявник і патентовласник Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України. – № u201407076 ; заявл. 23.06.2014 ; опубл. 25.11.2014, Бюл. № 22/2014.
3. Бабушкин А. А. Методы спектрального анализа / Бабушкин А. А., Бажулин П. А., Королев Ф. А. ; под ред. Р. Л. Левшина. М. : Изд-во Московского ун-та, 1962. – 509 с.
4. Петров В. И. Оптический и рентгеноспектральный анализ / Петров В. И. – М. : Металлургия, 1973. – С. 217 – 218.
5. Дубок В. А. Усовершенствование методов химического анализа тугоплавких соединений и металлических сплавов / Дубок В. А., Корнилова В. И., Печентковская Л. Е. – К. : Наук. думка, 1988. – 40 с.
6. Лаборатория металлографии / Панченко Е. В., Скаков Ю. А., Кример Б. И. и др. – М. : Металлургия, 1965. – 440 с.
7. Озерский А. Д. О выборе стали для матриц горячего прессования медных сплавов / Озерский А. Д., Кругляков А. А., Данилов А. Н. // Цветные металлы. – 1981. – № 8. – С. 83–84.
8. Озерский А. Д. Упрочнение стали ЭП930 для матриц горячего прессования медных сплавов / Озерский А. Д., Кругляков А. А. // Цветные металлы. – 1984. – № 10. – С. 76–78.

9. Штампова сталь для горячего деформирования с регулируемым аустенитным перетворением, одержана электрошлаковым литием / Гогаев К. О., Сидорчук О. М., Радченко О. К. и др. // *Металлознавство та обробка металів*. – 2014. – № 1. – С. 40–45.

10. Структура та властивості загартованої сталі 4X3H5M3Ф, одержаної електрошлаковим перетопленням за високих температур / Гогаев К. О., Сидорчук О. М., Радченко О. К. и др. // *Металлофизика и новейшие технологии*. – 2015. – № 12 (37). – С. 1653–1661.

11. Литая сталь с регулируемым аустенитным перетворением под час эксплуатации, одержана электрошлаковым переплавом / Сидорчук О. М., Мамонова А. А., Лук'яничук В. В. и др. // *Успіхи матеріалознавства*. – 2020. – № 1 (01). – С. 77–85.

12. Пат. № 141447 Україна UA, МПК C22/C38/00. Штампова сталь / Гогаев К. О., Радченко О. К., Сидорчук О. М., Миронюк Д. В.; заявник і патентовласник Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України. – № u201909670; заявл. 05.09.2019; опубл. 10.04.2020, Бюл. № 7/2020.

Одержано 21.09.2021

Сидорчук О. Н. Технологические основы изготовления инструмента с штамповой стали 4X3H5M3Ф

Цель работы. Увеличить интервал эксплуатации (выше критической точки стали A_3 и ниже A_1) штампового инструмента исследуемой стали с регулируемым аустенитным превращением при эксплуатации для горячего деформирования меди и медного сплава.

Методы исследования. Металлографический анализ исследовательской стали.

Полученные результаты. Опытные-промышленные испытания матриц штампового инструмента из стали 4X3H5M3Ф для горячего деформирования (прессование) меди марки М1, показали повышенную устойчивость, которая используется на заводе «Спецлитъё» (г. Днепр, Украина). Скорректированный химический состав (4X4H5M4Ф2) и оптимизирован режим термической обработки стали с регулируемым аустенитным превращением при эксплуатации способствовало к повышению теплостойкости.

Научная новизна. Разработана лигатура системы Fe-Ni-Mo-V-Mn для дошихтовки базовой стали 4X5MФ1С для получения стали с регулируемым аустенитным превращением марки 4X3H5M3Ф. В процессе частичной перекристаллизации легированной конструкционной стали 4X3H5M3Ф образуется сфероидизованная карбидная составляющая, что вызывает на улучшение механической обработки заготовки для изготовления матриц штампового инструмента.

Практическая ценность. Сокращенно технологическую операцию, а именно термо-деформационную обработку (ковку) слитков, полученных по технологии электрошлакового переплава. Для облегчения механической обработки резанием заготовки при изготовлении матриц со штамповой стали 4X3H5M3Ф, было предложено провести частичную перекристаллизацию, а именно неполный отжиг при температуре 750 ± 20 °С. Показана возможность использования штамповой стали (4X3H5M3Ф) с регулируемым аустенитным превращением при эксплуатации для широкого интервала температур эксплуатации горячего деформирования меди марки М1 и медно-никелевого сплава марки МНЖ 5-1 ($600-620$ °С и $900-950$ °С соответственно) с повышенным ресурсом эксплуатации.

Ключевые слова: штамповая сталь, лигатура, химический состав, термическая обработка, свойства, структура, фазово-структурное состояние.

Sydorchuk O. Technological bases of tool making from die steel 4X3H5M3Ф

Purpose. It is necessary to increase the service interval (above the critical point of steel A_3 and below A_1) of the stamping tool of the experimental steel with adjustment of austenitic transformation during operation for hot deformation of copper and copper alloy.

Research methods. Metallographic analysis of experimental steel.

Results. Experimental and industrial tests of die dies made of steel 4X3H5M3Ф for hot deformation (pressing) of copper grade M1, showed increased stability, which is used at the plant "Spetslityo" (Dnipro, Ukraine). The adjusted chemical composition (4X4H5M4Ф2) and the optimized mode of heat treatment of steel with regulation of austenitic transformation during operation helped to increase its heat resistance.

Scientific novelty. A ligature of the Fe-Ni-Mo-V-Mn system was developed for shredding the base steel 4X5MФ1С to obtain steel with adjustable austenitic transformation of the 4X3H5M3Ф brand. In the process of partial recrystallization of alloyed structural steel 4X3H5M3Ф a spheroidized carbide component is formed, which leads to the improvement of machining of the workpiece for the manufacture of dies of the stamping tool.

Practical value. Abbreviated technological operation, namely thermo-deformation processing (forging) of ingots obtained by electroslag remelting technology. To facilitate machining by cutting the workpiece in the manufacture of dies from die steel 4X3H5M3Ф, it was proposed to conduct a partial recrystallization, namely incomplete annealing at a temperature of 750 ± 20 °С. Possibility of use of die steel (4X3H5M3Ф) with adjustable austenitic transformation at operation for a wide range of operating temperatures of hot deformation of copper of the M1 brand and a copper-nickel alloy of the МНЖ 5-1 brand ($600-620$ °С and $900-950$ °С accordingly) is shown resource of operation.

Key words: die steel, ligature, chemical composition, heat treatment, properties, structure, phase-structural state.