

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

ОДЕРЖАННЯ ТРУБНИХ ЗАГОТОВОК З МІДНО-НІКЕЛЕВОГО СПЛАВУ МНЖ 5-1 ПРИ ВИКОРИСТАННІ ІНСТРУМЕНТУ З ШТАМПОВОЇ СТАЛІ РЕГУЛЮВАННЯМ АУСТЕНІТНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Мета роботи. *Виготовлення штампового інструменту зі сталі з регулюванням аустенітного перетворення при експлуатації для підвищення рівня ресурсу експлуатації при гарячому деформуванні мідно-нікелевого сплаву.*

Методи дослідження. *Металографічний, високо-температурний рентгено-фазовий, та дилатометричний аналізи дослідної сталі.*

Одержані результати. *Представлений режим термічної обробки (неповний відпал) сталі 4Х3Н5М3Ф за температури 750 ± 20 °С, одержаної електрошлаковим переплавом, дало змогу одержати перліто-сорбітну структуру при твердості 33–34 HRC і, дозволило краще механічно обробляти різанням заготовки для виготовлення філь'єр-матриць для гарячого деформування мідного сплаву. Запропонований режим кінцевої термічної обробки (гартування 1030 ± 10 °С та відпуск 600 ± 5 °С) дослідженої сталі, дає можливість розігрівати матрицю в процесі експлуатації до температури 600 °С.*

Наукова новизна. *Термічна стійкість інструменту для гарячого деформування може бути значно підвищена при використанні сталі з регулюванням аустенітного перетворення при експлуатації. Така сталь у вихідному стані має феритну основу, а при нагріві до температур експлуатації відбувається від α -Fe до γ -Fe перетворення і, у подальшому зберігається аустенітна структура на протязі усього періоду високотемпературної експлуатації штампового інструменту. Підтверджено, що штамповий інструмент зі сталі 4Х3Н5М3Ф при пресуванні мідно-нікелевого сплаву працює в інтервалі температур, що відповідають процесу аустенізації.*

Практична цінність. *Скорочено технологічну операцію, а саме термо-деформаційну обробку (ковку) зливків, одержаних електрошлаковим переплавом. Проведено дослідно-промислове випробування штампового інструменту сталі 4Х3Н5М3Ф при виготовленні трубних заготовок $\varnothing 67 \pm 0,1$ мм з мідно-нікелевого сплаву марки МНЖ 5-1. В результаті дослідження на ВАТ «Артемівський завод по обробці кольорових металів та сплавів» (м. Бахмут, Донецька обл., Україна) за температури експлуатації 900–950 °С, матриці виготовленої зі сталі 4Х3Н5М3Ф (без деформації-кування) показали стійкість у три рази вищі, ніж матриці зі сталі 3Х3М3Ф, виготовлені на підприємстві.*

Ключові слова: *штампова сталь, склад, термічна обробка, твердість, властивості.*

Вступ

Вибір матеріалу штампових сталей на феритній основі, що використовують для пресування мідних труб з розігрівом матриць та експлуатаційними температурами вище 900 °С обумовлює швидкий знос інструмента. Звідси виникає потреба, вибору хімічного складу штампової сталі, яка повинна працювати в гомогенному аустенітному стані і, бути схильною до зміцнення у процесі експлуатації в режимі гарячого деформування. Виготовлення штампових сталей з вихідною феритною основою для роботи в аустенітному стані визначається положенням температур $\alpha \rightarrow \gamma$ – перетворення, оскільки розігрів інструмента у процесі експлуатації повинен забезпечити проходження такого перетворення при наступній тривалій роботі сталі в

аустенітному стані. Вибір сталі для матриць гарячого деформування мідних сплавів розглядалось раніше авторами [1–6]. Що було досягнуто істотне підвищення стійкості матриць в процесі експлуатації розігріву до температур 950 °С. Встановлено, що під дією високих температур та надання певного навантаження (тиску) кожному циклу пресування мідного сплаву, відбувається пластична деформація поверхневого шару інструмента. Накопичення такої деформації не зміцнює міцних характеристик властивостей штампової сталі з ОЦК граткою, але може здійснюватись при зміцненні сталей з ГЦК граткою. Тобто, у процесі роботи гарячого деформування, штампові сталі повинні в аустенітному стані мати підвищену термічну стійкість.

Методи дослідження

Хімічний склад сталі відповідав маркуванню 4X3H5M3Ф: 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. Твердість штампової сталі після проведення термічної обробки визначали за методом Роквелла на приладі ТК-2 (ГОСТ 9013-73).

Викладення основного матеріалу

Доцільно використати технологію одержання зливоків електрошлаковим переплавом при якому висока швидкість кристалізації переохолодженого розплаву надасть рівномірне розподілення дисперсної карбідної складової, що сприятиме у скороченні режиму термо-деформаційної обробки сталі. Так на підприємстві ПАТ «Рівненський науково-дослідний інститут технології машинобудування», (м. Рівне, Україна) були одержані зливки у формі (рис. 1а, б) з використанням технології електрошлакового переплаву. Розробку лігатури для до шихтовки базової сталі 3X3M3Ф, щоб одержати сталь заданим хімічним складом (4X3H5M3Ф) проводили в Інституті проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України.

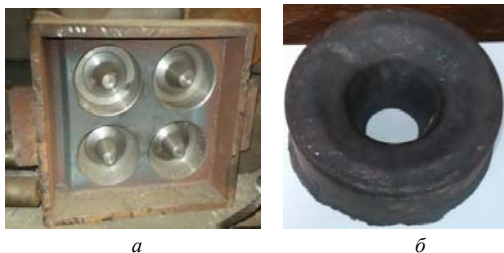


Рис. 1. Одержання зливоків (сталь 4X3H5M3Ф) з використанням технології електрошлакового переплаву: а – форма (одержання чотирьох зливоків); б – зливок масою 15 кг

В результаті дослідження методом електронної мікроскопії встановлено розподілення легуючих елементів хрому, молібдену, нікелю та ванадію по тілу зерен литої структури штампової сталі 4X3H5M3Ф [7]. Така структура та розподілення елементів виникла внаслідок високої швидкості кристалізації при підвищенні ступеню переохолодження розплаву. Такий процес призводить до виникнення значної кількості центрів кристалізації і, подавляє процес утворення карбідної евтектики грубої форми. Твердість одержаної штампової сталі зі зливка (рис. 1 б) становить 50–52 HRC [8]. Така висока твердість призводить до ускладнень при подальшій її механічній обробці. Тому, перед механічною обробкою необхідно проводити заходи по зменшенню її твердості. Це потребує розробки певного режиму відпалу заготовки. Непрямим підтвердженням високої твердості сталі у вихідному стані є наявність мартенситної структури з залишковим аустенітом [9]. Внаслідок високої дисперсності карбідної складової (мартенситної структури) литої штампової сталі, одержаної

електрошлаковим литтям та високої твердості одержаного матеріалу, маємо незадовільні властивості для подальшої механічної обробки. Виготовлення штампового інструмента потребує обробки заготовки різанням для надання необхідної форми та розмірів. Механічну обробку різанням деталей найкраще проводити при низькій твердості матеріалу, що дозволить застосовувати різальний інструмент, що забезпечить оптимальні режими різання. Розроблений для цієї сталі режим термічної обробки 4X3H5M3Ф (повний відпал та відпуск) [8], не є оптимальним для підготовки структури металу до механічної обробки різанням. Крім високої твердості матеріал має також несприятливу для різання структуру з пластинчастою карбідною складовою. Твердість після повного відпалу сталі по перетину заготовки перевищує 35 HRC. Як правило для конструкційної легованої до евтектоїдної сталі перед механічною обробкою твердість повинна становити менше 35 HRC. І тому, необхідно забезпечити в сталі перлітно-сорбідну структуру з зернистою карбідною складовою та заниженою твердістю до 35 HRC. На жаль проведення відпалу за температурою 860 °С напевне не забезпечує сфероїдизації карбідної складової. І тому, було встановлено критичні точки А1 та А3 досліджуваної сталі 4X3H5M3Ф, щоб забезпечити оптимальний режим термічної обробки (неповний відпал при температурі між критичними точками А1 та А3) [8]. Необхідно зауважити, що сфероїдизуючий відпал на практиці проводиться лише для за евтектоїдних легуваних інструментальних сталей з метою одержання сфероїдизуючої карбідної складової. В нашому випадку виникла необхідність провести сфероїдизуючий відпал для сталі 4X3H5M3Ф, одержаної електрошлаковим литтям. В роботі [8–11] було рекомендовано проводити відпал сталі за температури 730–770 °С для проходження часткової перекристалізації. В залежності від розміру зразка (заготовки) штампової сталі 4X3H5M3Ф вибирається різний час ізотермічної витримки за температури 750±20 °С. Так для заготовки типу матриці діаметром 170 мм загальна витримка повинна складати близько 5,5 год. Заготовки одержані електрошлаковим литтям, були піддані термічній обробці за режимом 750±20 °С (неповний відпал), рис. 2. Твердість сталі становила 33–34 HRC. Після цього заготовку механічно обробляли на станку 1К62, різцями з пластинами плаву Т15К6 з метою одержання матриць штампового інструмента.

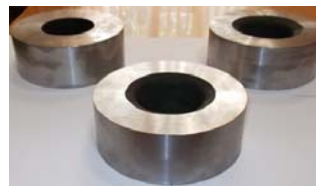


Рис. 2. Заготовки (сталь 4X3H5M3Ф), одержані після термічної обробки (відпал 750±20 °С) та механічної обробки

Для одержання кінцевих властивостей сталі, механічно-оброблену заготовку (виготовленого інструменту) піддають гартуванню за температурою 1030 ± 10 °С та відпуску 600 ± 5 °С. Після цього твердість сталі становила 42 HRC [12].

На підприємстві ВАТ «Артемівський завод з обробки кольорових металів» (м. Бахмут, Донецька обл., Україна) використовують для штампового інструменту (філь'єри-матриці) сталь марки 3Х3М3Ф (ГОСТ 5950–2000). Така сталь застосовується для виготовлення матриць для гарячого деформування на кривошипних пресах та горизонтально-кувальних машинах. Як правило дрібний інструмент з цієї сталі у процесі роботи піддається інтенсивному охолодженню. Також вона використовується для виготовлення прес-форм для лиття під тиском мідних сплавів. На цьому підприємстві було проведено дослідно-промислове випробування штампового інструменту (матриць) (рис. 3) з литої сталі 4Х3Н5М3Ф при гарячому деформуванні мідно-нікелевого сплаву марки МНЖ 5-1 (аналог С70400, США) за температури 900–950 °С (виготовлення трубних заготовок діаметром $\varnothing 67 \pm 0,1$ мм). Матрицю (сталь 4Х3Н5М3Ф) нагрівали до температури 350 °С та 600 °С, а в процесі експлуатації температура її робочої частини в отворі (матриці), розігрівалось за температури вище 900 °С, де були відпресовані трубні заготовки.

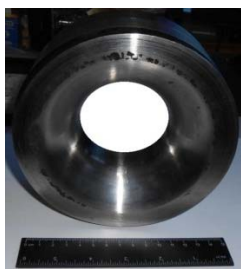


Рис. 3. Штамповий інструмент (філь'єри-матриці) з литої сталі 4Х3Н5М3Ф після гарячого деформування мідно-нікелевого сплаву марки МНЖ 5-1

У роботі [9] було показано, що досліджена сталь (4Х3Н5М3Ф) працює в процесі аустенізації (рис. 4), що характеризується як сталь з регулюванням аустенітного перетворення при експлуатації. Твердість сталі (філь'єри-матриці) після експлуатації становила 31,5 HRC. Порівняльна характеристика матриць для гарячого деформування мідно-нікелевого сплаву МНЖ 5-1 при виготовленні трубних заготовок показала, що використання литої сталі марки 4Х3Н5М3Ф продемонструвало підвищену у три рази ресурс експлуатації, у порівнянні зі сталлю марки 3Х3М3Ф, яка використовувалась раніше на підприємстві. Крім того, стійкість матриці зі сталі з РАПЕ підвищилася у п'ять (або шість), після проведення механічної обробки – переточки на більший отвір та термічної обробки (гартування та відпуску). Для матриці зі сталі з РАПЕ різке підняття температури вище 850 °С (критична точка АС3) не

виникали появи дефектів, а саме розгарних тріщин.

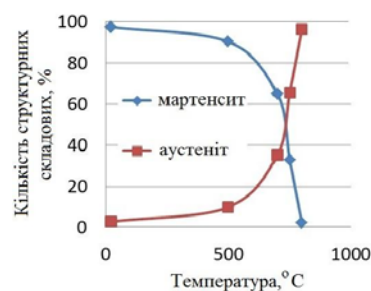


Рис. 4. Зміна кількості аустенітної і мартенітної складових, розрахованих за Рітвельдовою методикою, від температури в загартованій сталі 4Х3Н5М3Ф [9]

Висновок

Використанням технології електрошлакового переплаву, дає можливість скоротити енергоємну технологічну операцію (ковку), оскільки при високій швидкості кристалізації розплаву не сприяє утворенню карбідної евтектики грубої форми. Проводячи неповний відпал сталі 4Х3Н5М3Ф за температури 750 ± 20 °С, дозволяє покращити механічну обробку різанням заготовки (одержаної електрошлаковим переплавом) при виготовленні штампового інструменту. В результаті проведення дослідно-промислових випробувань філь'єр-матриць з дослідженої литої сталі (4Х3Н5М3Ф), встановлено, що за температури експлуатації 900–950 °С при отриманні трубних заготовок з мідно-нікелевого сплаву, ресурс експлуатації у три рази був вищий, ніж у філь'єр-матриць штампового інструменту зі сталі 3Х3М3Ф.

Список літератури

1. 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.
2. Озерський А. Д., Кругляков А. А. Упрочнение стали ЭП930 для матриц горячего прессования медных сплавов // Цветные металлы. – 1984. – № 10. – С. 76–78.
3. Позняк Л. А. Инструментальные стали. – К. : Наук. думка, 1996. – С. 333–341.
4. Перепьолкіна М. М. Вибір ефективного легування нових штампових сталей з аустенітним перетворенням при експлуатації / М. М. Перепьолкіна, В. Я. Грабовский // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2016. – Т. 1. – С. 11–15.
5. Лебедева Н. В. Повышение стойкости инструмента для прессования труднодеформируемых цветных сплавов из сталей с регулируемым аустенитным превращением при эксплуатации : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.01 «Материаловедение (машиностроение)» / Н. В. Лебедева. – СПб., 2005. – 18 с.

6. Лебедева Н. В. Современные штамповые стали для горячего деформирования / Лебедева Н. В. // Балтийские металлы. – 2003. – № 1. – С. 7–9.

7. Литая сталь з регульованим аустенітним перетворенням під час експлуатації, одержана електрошлаковим переплавом / Сидорчук О. М., Мамонова А. А., Лук'янчук В. В. и др. // Успіхи матеріалознавства. – № 1. – 2020. – С. 77–85.

8. Сидорчук О. М. Фазово-структурний стан сталі 4X3H5M3Ф в процесі перекристалізації. Современные проблемы физического материаловедения / Сидорчук О. М. – Вып. 22, – К., 2013. – С. 186–188.

9. Структура та властивості загартованої сталі 40X3H5M3Ф, одержаної електрошлаковим перегреванням за високих температур / Гогаєв К. О., Сидорчук О. М., Радченко О. К. и др. // Металлофизика и новейшие технологии. – 2015. – № 12. – С. 1653–1661.

10. Штампова сталь для горячего деформирования з регульованим аустенітним перетворенням, одержана електрошлаковим литтям / Мамонова А. А., Коваль О. Ю., Лук'янчук В. В. // Металознавство та обробка металів. – 2014. – № 1. – С. 40–45.

11. Спосіб термічної обробки сталі для горячего пресування / Гогаєв К. О., Сидорчук О. М., Радченко О. К. // Патент, № 94746, Україна UA, МПК (2014.01) C21 D 8/00. – 25.11.2014 р.

12. Дослідження режимів термічної обробки штампової сталі 4X3H5M3Ф / Гогаєв К. О., Сидорчук О. М., Радченко О. К. // Современные проблемы физического материаловедения. Труды института проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины. Серия «Физико-химические основы технологии порошковых материалов». – Вып. 25. – К. – 2016. – С. 105–108.

Одержано 19.04.2021

Сидорчук О. Н. Получение трубных заготовок из медно-никелевого сплава МНЖ 5-1 при использовании инструмента с штамповой стали регулируемым аустенитным превращением при эксплуатации

Цель работы. Изготовление штампового инструмента из стали с регулируемым аустенитным превращением при эксплуатации для повышения уровня ресурса эксплуатации при горячем деформировании медно-никелевого сплава.

Методы исследования. Металлографический, высоко-температурный рентгено-фазовый и dilatометричный анализы исследовательской стали.

Полученные результаты. Представлен режим термической обработки (неполный отжиг) стали 4X3H5M3Ф при температуре 750 ± 20 °С, полученной электрошлаковым переплавом, позволило получить перлитно-сорбитную структуру при твердости 33–34 HRC и позволило лучше механически обрабатывать резанием заготовки для изготовления фильеры-матрицы для горячего деформирования медного сплава. Предложенный режим конечной термической обработки (закалка 1030 ± 10 °С и отпуск 600 ± 5 °С) исследованной стали, дает возможность разогреть матрицу в процессе эксплуатации до температуры 600 °С.

Научная новизна. Термическая стойкость инструмента для горячего деформирования может быть значительно повышена при использовании стали с регулируемым аустенитным превращением при эксплуатации. Такая сталь в исходном состоянии имеет ферритную основу, а при нагревании до температур эксплуатации происходит от α -Fe в γ -Fe преобразование и, в дальнейшем сохраняется аустенитная структура на протяжении всего периода высокотемпературной эксплуатации штампового инструмента. Подтверждено, что штамповый инструмент из стали 4X3H5M3Ф при прессовании медно-никелевого сплава работает в интервале температур, соответствующих процессу аустенизации.

Практическая ценность. Сокращенно технологическую операцию, а именно термо-деформационную обработку (ковку) слитков, полученных электрошлаковым переплавом. Проведены опытно-промышленные испытания штампового инструмента стали 4X3H5M3Ф при изготовлении трубных заготовок $\varnothing 67 \pm 0,1$ мм из медно-никелевого сплава марки МНЖ 5-1. В результате исследования на ОАО «Артемовский завод по обработке цветных металлов и сплавов» (г. Бахмут, Донецкая обл., Украина) при температуре эксплуатации 900–950 °С, матрицы изготовленной из стали 4X3H5M3Ф (без деформации-ковки) показали устойчивость в три раза выше, чем матрицы из стали 3X3M3Ф, изготовленные на предприятии.

Ключевые слова: штамповая сталь, состав, термическая обработка, твердость, свойства.

Sydorchuk O. Obtaining tube blanks from copper-nickel alloy МНЖ 5-1 when using a tool made of die steel adjustable austenitic transformation during operation

Purpose. Production of die tool from steel with regulation of austenitic transformation during operation to increase the level of service life during hot deformation of copper-nickel alloy.

Research methods. Metallographic, high-temperature X-ray phase and dilatometric analyzes of research steel.

Results. The mode of heat treatment (incomplete annealing) of steel 4X3H5M3Ф at a temperature of 750 ± 20 °С,

obtained by electroslag remelting, allowed to obtain a perlite-sorbitol structure at a hardness of 33–34 HRC and allowed better machining by cutting the workpiece alloy. The proposed mode of final heat treatment (hardening 1030 ± 10 °C and tempering 600 ± 5 °C) of the investigated steel, makes it possible to heat the matrix during operation to a temperature of 600 °C.

Scientific novelty. The thermal stability of the tool for hot deformation can be significantly increased when using steel with adjustable austenitic transformation during operation. Such steel in the initial state has a ferrite base, and when heated to operating temperatures occurs from α -Fe to γ -Fe conversion and, subsequently, the austenitic structure is preserved throughout the period of high-temperature operation of the stamping tool. It is confirmed that the stamping tool made of steel 4X3H5M3 Φ when pressing a copper-nickel alloy works in the temperature range corresponding to the austenitization process.

Practical value. Abbreviated technological operation, namely thermo-deformation processing (forging) of ingots obtained by electroslag remelting. Experimental-industrial tests of the die tool of steel 4X3H5M3 Φ in the manufacture of tube blanks of $\varnothing 67 \pm 0,1$ mm from a copper-nickel alloy of the MHЖ 5-1 brand are carried out. As a result of research “Artemovsk plant for processing of non-ferrous metals and alloys” (Bakhmut, Donetsk region, Ukraine) at an operating temperature of 900–950 °C, matrices made of steel 4X3H5M3 Φ (without deformation-forging) showed stability in three times higher than the matrices from steel 3X3M3 Φ made at the enterprise.

Key words: die steel, composition, heat treatment, hardness, properties.