

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, Україна

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ЦИРКОНІЮ ТИСКОМ НА ВИРОБНИЦТВІ

Вступ. Цирконій у теперішній час в житті України повинен займати одне з першорядних значень. Відомо, що за запасами цирконієвої рудної сировини Україна займає одне з ведучих місць у світі. Крім цього, металевий цирконій є основою конструкційних матеріалів активної зони ядерних реакторів. Прогнозується, що у перспективних атомних і термоядерних реакторах майбутнього цирконієві сплави нового покоління будуть відігравати визначальну роль.

Хімічне машинобудування може стати другою після ядерної енергетики областю застосування цирконію, що пов'язане з його винятковою корозійною стійкістю в агресивних середовищах. Заміна дефіцитних дорогоцінних та тугоплавких металів і нержавіючих сплавів цирконієвими матеріалами у хімічному апаратобудуванні, харчовій і фармацевтичній промисловості не тільки економічно вигідне, а в більшості випадків технічно доцільне.

Традиційним є використання цирконію в металургії чорних і кольорових металів для підвищення експлуатаційних характеристик конструкційних сталей та їх модифікування, підвищення якості мідних, алюмінієвих, магнієвих і інших сплавів та у ряді випадків для заміни дефіцитних і токсичних лігатур.

Перспективне використання цирконію і його сполук в електротехніці, електроніці, волоконній оптиці та медицині. І, нарешті, із застосуванням цирконію і його сполук пов'язується розвиток нових екологічно чистих джерел енергії альтернативних ядерної. Це насамперед воднева енергетика, де сплави на основі цирконію застосовуються для очищення і нагромадження водню та його ізотопів, пряме перетворення теплової енергії в електричну, де використовується явище іонної провідності оксидів цирконію високої чистоти [1-3].

У зв'язку з цим доцільним є створення в країні повного циклу виробництва цирконію. Технології виробництва і обробки цирконію та його сплавів характеризуються великою складністю і вимагають особливого підходу, а також ретельного вивчення.

Повний металургійний цикл від цирконового концентрату до готових виробів мають чотири великих компанії: AREVA NP, обсяг виробництва приблизно 2200 т цирконієвої губки в рік; АТ ТВЕЛ, обсяг виробництва приблизно 900 т цирконію в рік; Westinghouse, обсяг виробництва приблизно 800 т цирконію в рік, Teledyne Wah Chang, США, обсяг виробництва приблизно 1000 т цирконію в рік. Повний металургійний цикл має також державна компанія NFC (Індія) з обсягом виробництва близько 250 т цирконію в рік [2].

Таким чином, вивчення технології виробництва цирконієвої готової продукції з подальшим впровадженням (будівництвом, реконструкцією підприємств) на території України є актуальною задачею.

Постановка задачі. Метою даної роботи є аналіз особливостей технології обробки цирконію тиском (гаряча, холодна прокатка листа, виготовлення труб та прутків, волочіння дроту) на виробництві.

Результати роботи. До основних методів обробки цирконію тиском відносяться: гаряча та холодна прокатка, пресування, протягування, волочіння, видавлювання, витяжка, листове штампування та ротаційна ковка.

Гаряча та холодна прокатка листа. З метою створення кращих умов обробки, цирконієві зливки розміщуються у герметичні сталеві оболонки. Це дозволяє вести обробку при температурах більш високих, ніж у випадку, якщо метал не має захисної оболонки.

Зливок в оболонці нагрівають у відкритій печі до температури 850 °С і проковують на плоскому ковадлі у прямокутник товщиною приблизно 50 мм. Якщо необхідно здійснюється повторне нагрівання до 850 °С. Відкована у такий спосіб плоска заготовка, залишаючись у захисній оболонці при цій же температурі, піддається прокатці.

Важливо, щоб при гарячій обробці цирконію в оболонці температура не перевищувала 850 °С, оскільки, у протилежному випадку, можливе утворення цирконієво-залізної евтектики, яка має температуру плавлення 935 °С. Це утрудняє відокремлення оболонки від цирконію і призводить до забруднення металу залізом. Крім того, є навіть небезпека утворення рідкого сплаву, що може бризкати з оболонки при прокатці, створюючи небезпеку для працюючих.

При листовій прокатці цирконію обтиснення за прохід залежить від діаметра валків і може складати 10–15 % і навіть 30 %. Після відпалу оболонка знімається, причому сторони листа попередньо ріжуться ножицями. Після цього лист прокатують при 650 °С, не піддаючи сильному окисленню, якщо така температура впливає на нього обмежений час. Після того як товщина листа досягає заданої величини, його поверхня зачищається для остаточної холодної прокатки. Окисли важко видаляються з поверхні, тому гарячу прокатку у захисній оболонці необхідно продовжувати до тих пір, поки це є можливим. Момент видалення оболонки і переходу до остаточної холодної прокатки можна визначити зовсім точно. Перед остаточною холодною прокаткою бажано очистити цирконій шляхом травлення у розведеній азотній кислоті, яка містить кілька відсотків плавикової кислоти.

У процесі холодної обробки цирконій дуже швидко піддається наклепу.

Магнієтермічний цирконій [4] можна прокатувати з обтисненням не більше 10 % за один прохід і сумарним обтисненням між відпалами – 35 %; прутки йодидного цирконію можна піддавати холодній прокатці з сумарним обтисненням 99 % без проміжних відпалів. Цирконієвий лист можна різати на заготовки за допомогою звичайного устаткування.

Типова технологія прокатки цирконію, виплавленого у графітовому тиглі у захисній оболонці на стані «250», полягає у наступному.

Гаряча прокатка ведеться з обтисненням 10–15 % і підігрівом до 850 °С між проходами. Вона триває до тих пір, поки товщина біметалічного листа, що прокатується, не досягне 3,5 мм. Потім захисна оболонка знімається, у результаті чого товщина цирконієвого листа стає рівної 2,5 мм.

Далі метал піддається холодній прокатці, перед яким він травиться у кислоті. Холодна прокатка триває до товщини в 0,5 мм, після чого лист відпалюється у вакуумі при 850 °С. Після цього лист остаточно прокатується до товщини 0,125 мм. Холодна прокатка здійснюється з досить малими обтисненнями. Для обтиснення листа з 2 мм до 0,125 мм необхідно 80–90 проходів.

Описана вище технологія виключає гарячу прокатку цирконію без захисної оболонки внаслідок труднощів очищення окисленого металу, особливо призначеного до прокатки на тонкий лист.

Гаряча прокатка цирконію без захисної оболонки можлива, однак обов'язковою умовою є видалення поверхневих окислів перед холодною прокаткою для одержання необхідної поверхні готового листа.

Заготовки для прокатки піддаються піскоструминному очищенню, травленню у суміші азотної і плавикової кислот і шліфуванню для видалення місцевих дефектів. Сляби товщиною 62 мм нагріваються 40–60 хв. у газовій або електричній печі і потім прокатуються. Прокатку необхідно закінчувати без повторного нагрівання, щоб зменшити забруднення металу.

Для цирконієвих сплавів необхідно або зменшувати величину обтиснення за один прохід, або підвищувати температуру прокатки.

Виготовлення труб та прутків. Труби із зовнішнім діаметром 15 мм і товщиною стінки 0,7 мм виготовляються з йодидного цирконію шляхом протягування пресованої заготовки з зовнішнім діаметром 38 мм і внутрішнім – 32 мм.

Цирконій, отриманий магнієтермічний процесом, застосовується для виплавки цирконієвих сплавів, що йдуть на виготовлення труб зовнішнім діаметром 9 мм і товщиною стінки 0,75 мм або зовнішнім діаметром 9,5 мм і товщиною стінки 0,75 мм методом холодного волочіння.

У якості змащення застосовується суспензія дисульфиду молібдену.

З магнієтермічного цирконію, виплавленого у графітовому тиглі, шляхом витяжки і наступного холодного волочіння виготовлялися труби з товщиною стінки 0,05 мм. Вони можуть виготовлятися також дуговим зварюванням у захисній атмосфері аргону або гелію.

Цирконієві прутки виготовляються шляхом пресування або кування з наступним холодним штампуванням або протягуванням. Для цирконієвих сплавів температура гарячої обробки становить 980 °С або вище, у той час як йодидний цирконій обробляється при температурі не більше 815 °С.

Магнієтермічний цирконій після холодного обтиснення на 35 % вимагає проміжного відпалу при 790 °С, у той час як йодидний цирконій може оброблятися без відпалу, якщо обтиснення не перевищує 20 % за один прохід.

Всі ці операції вимагають обробки поверхні металу для кращого прилипання змащення. Ця обробка полягає в зануренні цирконію у водяний розчин, що містить 0,1–0,5 % плавикової і 1 % ортофосфорної кислот (за обсягом). Отримане у результаті цього фосфатне покриття служить як основа для звичайного технічного змащення, наприклад, хлороване мастило або мильна емульсія.

До цирконієвих труб висувуються високі вимоги, оскільки руйнування оболонок твелів може призвести до дуже серйозних наслідків, що обумовлює особливості технології їх виробництва.

Основні вимоги наступні [2]:

– малий переріз захоплення теплових нейтронів оболонкою, що визначається вмістом домішок та товщиною стінки труб;

– достатня міцність та пластичність оболонки, що визначається міцністю та пластичністю матеріалу в осьовому та особливо тангенціальному напрямках, орієнтацією гідридів та відсутністю дефектів у трубах;

– високий опір корозії у середовищі теплоносія, що залежить він низького вмісту домішок у сплаві, його відповідної структури, якості поверхні труб та їх очищення, особливо від фторидів;

– герметичність протягом тривалого строку служби;

– висока точність геометричних (діаметр, товщина стінки) розмірів;

– відсутність дефектів у стінці труб.

Тому виготовлення оболонок твелів здійснюється на спеціалізованих підприємствах. Це пов'язано зі специфічними умовами виробництва: використання спеціалізованих вакуумних печей, правильних машин, травильних установок тощо.

Технологічний процес виготовлення цирконієвих труб включає:

- отримання металевго цирконію;
- плавлення та отримання зливків;
- виготовлення трубних заготовок зі зливків методами гарячої деформації або механічної обробки;
- гаряче видавлювання товстостінних (5–8 мм) труб;
- виробництво труб методами холодної деформації у поєднанні з різними проміжними операціями.

Принципальну схему виробництва труб з цирконієвих сплавів наведено на рис. 1.



Рисунок 1 – Схема виробництва труб з цирконієвих сплавів

Волочіння дроту. При волочинні дроту нормальне обтиснення за один прохід становить 16%. Дріт без утруднення протягується до діаметра 0,25 мм, а при дотриманні певних умов – до 0,12 мм і тонше. Відпал здійснюється нагріванням у вакуумі до 850 °С; у деяких випадках цілком задовільний відпал при 700 °С протягом 1 хв. на повітрі. Окисна плівка, що утворюється під час відпалу на повітрі, запобігає при волочинні налипанню металу на філь'єру і є основою для змащення. У якості змащення застосовується твердий натуральний віск. Виробництво дроту цим методом має два недоліки:

– окисна плівка, наявність якої важливо для запобігання прилипання металу до матриці, викликає у той же час підвищене зношування останньої;

– дуже важко видалити окисну плівку без псування поверхні готового дроту; якщо ж перед нагріванням дроту до високих температур плівка не видалена, вона розчиняється у металі, що робить його крихким.

Подолати ці недоліки можна шляхом застосування сталеві або краще мідної захисної оболонки, яка розчиняється у кислоті після волочіння.

Висновки. Металевий цирконій має дуже широке застосування на виробництві. Основними галузями його споживання є атомна енергетика, виробництво хіміко-технологічного устаткування і аерокосмічна промисловість, чорна металургія і виробництво різноманітних сплавів.

Враховуючи, що за запасами цирконієвої руди Україна займає одне з ведучих місць у світі, то є доцільним створення в країні повного циклу виробництва цирконію.

Проаналізовано основні технологічні особливості гарячої та холодної прокатки цирконієвого листа, виробництва труб та прутків, а також волочіння дроту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Stephens W. W. Extractive Metallurgy of Zirconium – 1945 to the Present / W.W.Stephens // Zirconium in the Nuclear Industry:Sixth International Conference, ASTM STP 824, D. G. Franklin and R. B. Adams, Eds., American Society for Testing and Materials. – 1984. – P. 5–36.
2. Цирконий и его сплавы: технологии производства, области применения / В. М. Ажажа, П. Н. Вьюгов, С. Д. Лавриненко [и др.]. – Харьков : ННЦ ХФТИ, 1998. – 89 с.
3. Современное состояние и перспективы развития производства циркония и его сплавов и изделий из них / А. К. Шиков, А. Д. Никулин, В. А. Никулина [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2001. – № 6. – С. 5–14.
4. Пилипенко Н. Н. Получение циркония ядерной чистоты / Н. Н. Пилипенко // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (92). – Харьков : ННЦ ХФТИ. – 2008. – № 2. – С. 66–72.

УДК 621.771.25

САМОХВАЛ В. М., к.т.н., доцент
МАКСИМЕНКО О.П., д.т.н., професор
ШТОДА М. М. к.т.н., доцент

Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙ РОБОЧИХ КЛІТЕЙ СТАНІВ ДОВГОМІРНОГО ПРОКАТУ ТА ТЕНДЕНЦІЇ ЇХ РОЗВИТКУ

Вступ. За даними Всесвітньої Асоціації сталі [1] в 2015 році з загального обсягу гарячекатаної сталі у 1 599 340 тис. т, більше половини (51 %) було виготовлено у вигляді довгомірного прокату. В структурі довгомірного прокату, як показано на рис. 1, переважають профілі простої форми: арматура, катанка, прутки (круг, шестигранник, стрічка). Стабільне нарощування обсягів виробництва довгомірного прокату спостерігалось протягом останніх двадцяти років і відбувалось переважно за рахунок введення у дію нових прокатних станів в Китаї, Індії, Туреччині та інших країнах. Лише починаючи з 2016 року суттєвого збільшення виробництва гарячекатаного прокату не відмічається через виведення з експлуатації станів з застарілим обладнанням та технологією.