



РАЗДЕЛ II ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.77

Кобелєв О. А.
Єфімов М. В.
Лобанов О. І.
Панов В. В.

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ЗАГОТІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ТА ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Розвиток всіх галузей машинобудування економічно доцільно спрямовувати вбік збільшення потужності та розмірів кожного окремого агрегату, що в свою чергу вимагає значного збільшення випуску великих поковок. Удосконалення їхнього виробництва на промислових підприємствах з метою підвищення точності і продуктивності кування пов'язане з рішенням низки технологічних і організаційних завдань, найважливішими з яких є:

– впровадження маловідходних та енергозберігаючих технологій за рахунок поліпшення якості вихідного злитка і удосконалення технологічних схем та режимів кування, розробка нових конструкцій ковальського інструмента;

– інтенсифікація процесів кування на основі максимальної механізації і автоматизації операцій кування, впровадження кувального устаткування із програмним керуванням;

Виготовлення великих поковок із високими механічними властивостями і однорідністю їхньої структури має істотні труднощі, пов'язані зі значним розвитком внутрішніх пороків вихідного злитка. Неоднорідність структури і властивостей великих поковок залежить від кількості й характеру розподілу газів і неметалічних включень у вихідних злитках. Регулювання вмісту газів у рідкій сталі є одним з основних завдань для підвищення рівня механічних властивостей і зменшення внутрішніх дефектів – флокенів, міжкристалітних тріщин, пористості, неметалічних включень та ін.

Метою даної роботи є аналіз наявного технологічного досвіду з виготовлення великогабаритних виробів особливо відповідального призначення та огляд шляхів вирішення проблем, що виникають при їх виробництві.

Досвід роботи сталеплавильних і ковальсько-пресових цехів свідчить про те, що одержати економію металу і підвищити якість поковок можна як за рахунок впровадження маловідходних і енергозберігаючих технологій з використанням злитків високої якості, що забезпечують підвищений коефіцієнт використання металу (КВМ), так і за рахунок удосконалення схем і режимів ковальської технології.

Основна тенденція розвитку енергетичного і важкого машинобудування на сучасному етапі - збільшення питомої потужності стаціонарних і пересувних енергетичних установок, що вимагає зростання маси вихідних злитків до 420 тон і вище. Збільшення виробництва унікальних поковок з надвеликих злитків, особливо характерних для атомного і енергетичного машинобудування, вимагає вирішення наступних основних проблем:

– виплавка, та розливка злитків необхідної маси із забезпеченням їх високої якості;

– розробка технологічних процесів, що використовують різноманітні поєднання термомеханічних і геометричних параметрів кування, що мають на меті одержання якісної структури і необхідних фізико-механічних та експлуатаційних властивостей великих поковок;

– граничне використання силових і геометричних параметрів устаткування на всіх стадіях виготовлення поковок при виконанні як традиційних, так і нових прогресивних процесів кування.

Основні напрямки розвитку технології виробництва великих поковок визначені у «Стратегії розвитку атомної енергетики Росії до 2030 року і на період до 2050 р.» і стратегією розвитку металургійної промисловості Росії та України.

Зараз базовим проектом для атомної енергетики Росії та України є еволюційний проект «АЕС-2006» на основі реакторної установки ВВЕР (водо-водяний енергетичний реактор) підвищеної потужності 1200 МВт. Перші енергоблоки цього проекту будуються на Нововоронежський і Ленінградський АЕС-2 і повинні бути введені у 2012–2014 рр. відповідно. У стані розробки знаходиться новий проект – ВВЕР-ТОІ. Принципово новим кроком у розвитку металургії для атомного машинобудування є розробка матеріалів класу АА з особливо низьким вмістом домішок, таких що видаляються при виплавці (S, P) і таких що не видаляються (Cu, Co, Sn, Sb, As, Bi, Pb); розробка комплексної технології плавлення, позапічної обробки й розливання таких сталей. Застосування при плавленні первородних особливо чистих матеріалів дало потужний поштовх до розвитку металургії при виготовленні найбільш відповідальних виробів як у конвенціональній енергетиці (ротора, диски, вали гідротурбін) так і у важкому машинобудуванні (спеціальні надвеликі вали листозгинальних машин та ін.).

Застосування сучасних особливо чистих економічних вихідних матеріалів, оптимальні технології та сучасне устаткування для плавлення і позапічної обробки дозволили кардинально підвищити якість металу: зменшити зміст шкідливих домішок – сірки – менш 0,003 %, фосфору – менш 0,004 %. Розроблені технології дозволяють абсолютно точно забезпечити ультра вузькі межі по вмісту основних елементів сталі (у межах роздільної здатності хімічного аналізу), знижують вміст газів (водню менш 0,0001 %, кисню менш 0,0010 %). Застосування методу вимірювання активності кисню дозволяє сформулювати умови для створення оригінальної морфології неметалічних включень. Внаслідок цього з'явилася можливість знизити ліквіацію, дисперсію властивостей, і температуру нульової пластичності T_{KO} до $-50... -80$ °С, а також підвищити міцність сталей на 10–15 % [1].

До теперішнього часу накопичено великий обсяг експериментальних даних по термічному старінню (ТС) сталей марок 15X2НМФА, 15X2НМФА-А, 15X2НМФА клас 1, включаючи результати випробувань теплових зразків-свідків. Вони вказують на певний вплив процесів ТС при температурі до 350 °С на опір крихкому руйнуванню корпусної сталі, що набуває особливої актуальності у випадках обґрунтування працездатності реакторних установок з ресурсом до 60 років і більше.

На базі випробувань промислового металу, а також теплових зразків-свідків встановлено, що термічне старіння практично не впливає на механічні властивості сталей 15X2НМФА, 15X2НМФА-А й 15X2НМФА клас 1 та їх зварних з'єднань. Прогнозовані значення механічних властивостей цих сталей та їх зварних з'єднань після термічного старіння протягом ресурсу 60 років і більше зберігаються в межах вимог технічних умов.

Для корпусів парогенераторів типу ПГВ-1000, у тому числі й для ПГВ-1000МКП проекту АЕС-2006, застосовувалася і застосовується сталь 10ГН2МФА по ТУ 0893-014-00212179-2004 (замість ТУ 108-766-78). Підвищення міцності даної сталі на необхідний рівень (у проекті ВВЕР-ТОІ закладене підвищення на 10–15 %) фактично означає перехід на іншу категорію міцності, тобто з категорії КП 30 на категорію КП 33 або КП 34. При цьому, на вимогу конструктора характеристики пластичності і в'язкості сталі з категорією міцності КП33 або КП 34 повинні бути не нижче, ніж для категорії міцності КП 30. Для досягнення поставленої мети в НВО «ЦНДІТМаш» були розроблені рекомендації технологічного характеру, спрямовані на підвищення міцності сталей.

Проведене промислове випробування розроблених рекомендацій підтвердило можливість забезпечення стабільного виробництва заготовок для корпусів парогенераторів нового покоління ПГВ-1000МКП (проект ВВЕР ТОІ) зі сталі 10ГН2МФА з категорією міцності КП 33.

Висока чистота та «стандартний» (хімічний склад, домішки, активність кисню, температура) стан рідкої сталі, оптимізація теплової роботи великих злитків і технологічних процесів розливки дозволяють не тільки забезпечити високу якість і рівномірність властивостей металу самих злитків, але й готових виробів з них, незалежно від їхніх габаритних розмірів. Поліпшення якості великих ковальських злитків є основою для переходу до одержання збільшених заготовок для реактора типу ВВЕР ТОІ. Одночасно з поліпшенням якості можна відзначити істотне, не менш чим на 15 %, зменшення витрат металу.

Кування великих поковок, особливо таких унікальних, як для атомного енергетичного машинобудування, вимагає ретельних розрахунків технологічних параметрів кування на основі керування макропотокami металу в осередку деформації, як при проектуванні технологічного процесу, так і при формозміні заготовки, що прирівнює кування до мистецтва, заснованого на досвіді вчених і наукових шкіл.

Розробка теоретичних основ розрахунку процесів кування включає розрахунки в системі поковка-інструмент у кожній точці осередку пластичної деформації компонент тензора напружень залежно від локального зовнішнього навантаження і визначення через тензор деформацій середніх напружень з урахуванням зміцнення матеріалу і термічних напружень внаслідок нагрівання. Це дає можливість оцінити характер напруженого й деформованого стану осередку деформації в процесі пластичної формозміни заготовки. Оптимізація технологічних параметрів в осередку деформації дозволяє проектувати технологічні процеси одержання якісного металу ковальсько-пресових заготовок.

Фахівцями НВО «ЦНДІТМаш» розроблено основні положення теорії і практики обробки металів тиском при виготовленні атомного енергоустаткування з використанням потужних автоматизованих кувальних комплексів і штампувальних пресів. Значним досягненням було створення оригінальної технології штампування патрубків, що забезпечило значне спрощення технології виготовлення корпусів реакторів і підвищення надійності всього комплексу атомної енергетичної установки.

У цей час при виготовленні основного обладнання реакторної установки ВВЕР-1200 зі сталі марок 15Х2НМФА та 10ГН2МФА на провідних заводах атомного енергомашинобудування використовуються високоефективні технологічні процеси кування, штампування й термічної обробки, розроблені фахівцями НВО «ЦНДІТМаш» спільно з фахівцями ПАТ «ЕМСС».

До числа таких процесів насамперед варто віднести:

- технологію і конструкцію штампувального пристрою для формоутворення патрубків Ду 850 на обичайках зони патрубків корпусу реактора;
- технологічні процеси й технологічне оснащення для штампування безшовних днищ корпусу реактора та еліпсоїда кришки верхнього блоку;
- технологію та штампове оснащення для одержання біметалічних безшовних колін головного циркуляційного трубопроводу (ГЦТ) Ду850, а також колін Ду850 корпусу головного циркуляційного насоса ГЦНА-1391 (сталь 06Х12Н3Д);
- технологію, ковальське й штампове оснащення для одержання сферичного елемента корпусу насоса ГЦНА без центрального зварного шва;
- технологічні режими попередньої (режим ізотермічного відпалу) і остаточної (загартування й високий відпуск) термічної обробки, поєднаної з ізотермічним відпалом, які дозволяють різко знизити температуру крихко-в'язкого переходу, підвищити характеристики міцності, а також одночасно виконувати функції антифлокенової обробки.

Технології й оснащення впроваджені в ОМЗ «Спецсталь» і у ВАТ «Іжорські заводи», ТОВ «Енергомаш (Волгодонськ)-Атоммаш». В останні роки виконано великий обсяг робіт з освоєння вище зазначених технологій на Краматорському заводі ПАТ «ЕМСС».

Розроблені й широко впроваджені у виробництво технології дозволяють скоротити кількість або повністю виключити з відповідальних елементів атомного енергоустановування зварні шви, що забезпечить насамперед істотне підвищення якості і надійності роботи, а в ряді випадків значне зниження собівартості виробів.

Перспективні розробки устаткування АЕС на базі реактора ВВЕР передбачають подальше укрупнення елементів корпусу реактора шляхом скорочення кількості зварних швів і виводу їх із зони інтенсивного радіоактивного впливу.

Так, у проекті ВВЕР ТОІ пропонується скоротити кількість зварних швів корпусу реактора з 7-ти до 5-х або 3-х за рахунок збільшення обичайок зони патрубків і обичайки активної зони, що дозволить винести зварні шви за межі активної зони і за межі зони опромінення флюенсом 1×10^{18} н/см². При цьому верхня обичайка зони патрубків поєднується із фланцем корпусу, а нижня – обичайка зони патрубків із частиною опорної обичайки.

Згадані укрупнені поковки можливо виготовити за розробленими технологічними процесами уже зараз при мінімальній модернізації ковальсько-пресового, термічного устаткування і оснащення ПАТ «ЕМСС». Всі три збільшені поковки планується виготовляти за нижченаведеною загальною операційною схемою: плавлення, розливка злитка; білетування, вирубка і осадка блоку, прошивка; попередня розкатка; протяжка на оправці; остаточна розкатка; механічна обробка заготовки; штампування 4-х патрубків (у випадку виготовлення обичайок зони патрубків).

Найбільш ефективним щодо скорочення витрат металу і зниження трудомісткості й виробничого циклу виготовлення є варіант виготовлення корпусу із трьома швами при моноблочному виконанні кришки корпусу із фланцем.

Техніко-економічний ефект істотно збільшиться, якщо укрупнення елементів корпусу реактора здійснювати в поєднанні з розробкою й впровадженням нових прогресивних технологій кування, штампування та термічної обробки. Маються на увазі запропоновані НВО «ЦНДІТМаш» технології кування східчастих заготовок – із внутрішніми і зовнішніми стовщеннями (фланцями); секційного кування-штампування днищ зі злитка без видалення центральної зони й розгорнення трубної заготовки в плиту; використання універсального пристрою для штампування патрубків на укрупнених заготовках.

Реалізація згаданих заходів дозволяє при 3-х шовному варіанті зменшити масу злитків у порівнянні з корпусом ВВЕР за проектом АЕС-2006 приблизно на 350 тон, а тривалість ковальсько-штампувального циклу на 33-35 діб.

Комп'ютерним моделюванням з використанням програми QForm-3D підтверджена реальність запропонованих технологій.

Не менш важливим напрямком робіт є створення нової технології кування-штампування моноблочні (безшовної) кришки верхнього блоку. Розроблена принципова технологія також є різновидом секційного кування-штампування за кілька виносів з використанням простого штампового оснащення.

Разом з підприємствами Державної корпорації Росатом, ЗАТ «АЕМ-технології» і ВАТ НВО «ЦНДІТМаш» ПАТ «ЕМСС» освоїв випуск всіх кованих виробів для АЕС-2006, при цьому розроблені й освоєні нові технології кування і штампування заготовок для сферичного корпусу головного циркуляційного насоса, технологія виготовлення труб ГЦТ довжиною до 8500 мм і згинання колін ГЦТ і ГЦН.

Здійснено виготовлення моделі подовженої обичайки активної зони реактора ВВЕР ТОІ при куванні трубної заготовки зі злитка масою 205 тон (розміри поковки: $D_{нар} = 2450$ мм, $D_{вн} = 1650$ мм, $L = 6500$ мм).

Найбільш перспективним напрямком у розробці інноваційних технологій виробництва корпусного устаткування енергетичних установок є використання порожнистих великих злитків (вагою більше 50 тон), що одержують за традиційною металургійною технологією, що є загальносвітовою тенденцією розвитку атомного й енергетичного машинобудування [2], тому що дозволяє при використанні злитків рівної ваги одержувати порожнисті

вісесиметричні вироби масою на 20 % вище. На користь розвитку цього напрямку говорить і той факт, що МАГАТЕ не схвалює прямого, без додаткової термодетонаційної обробки використання, литих заготовок при виготовленні корпусів устаткування.

Фахівцями ПАТ «ЕМСС» і ВАТ НВО «ЦНДІТМаш» останнім часом проведено ряд теоретичних і практичних робіт, що дозволяють уже в 2012 р. одержати позитивні результати в питанні виготовлення якісних малопробутованих порожнистих злитків і виробів з них.

Накопичений ученими і підприємствами-виготовлювачами більш ніж за 40 років практичний досвід виготовлення корпусного устаткування з використанням розроблених сталей і їх модифікацій на вітчизняних і закордонних підприємствах дозволяє одержувати поковки з регламентованими характеристиками якості, що задовольняють технічним і експлуатаційним умовам роботи деталей, які успішно експлуатуються на десятках АЕС, що дозволяє на цій основі проектувати, розробляти й застосовувати все більш перспективні технологічні процеси виготовлення відповідальних виробів для енергетичного і важкого машинобудування.

ВИСНОВКИ

Головним напрямком удосконалення металургійних процесів виготовлення сталей для корпусних деталей атомних енергетичних установок є застосування комплексної технології плавлення, позапічної обробки і розливання з використанням первородних особливо чистих вихідних матеріалів із наднизьким вмістом шкідливих домішок.

Розроблені й випробовуються на практиці технологічні процеси виготовлення поковок для збільшених деталей корпусів ядерних реакторів та реакторного обладнання.

Встановлено і практично доведено економічну доцільність використання порожнистих злитків для виготовлення корпусів реакторного обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Перспективные направления развития технологии производства крупных изделий для энергетического и тяжелого машиностроения* / Дуб А. В., Дурынин В. А., Дуб В. С., Кобелев О. А., Куликов А. П., Ромашко Н. И., Юханов В. А. // *Материалы научно-практической конференции «Инновационные материалы и технологии для атомного, энергетического и тяжелого машиностроения»*, Москва, 2011. – С. 8.

2. *Hollow Ingots: Thirty Years of Use to Control Segregation and Quality for Nuclear and Petrochemical Large Shells.* / G. Girardin, D. Jobard, F. Perdriset, P. Tollini, I. Poitraul, A. Gingell. // *18th International Forgemasters Meeting.* – Pittsburgh, PA, USA, 2011. – P. 170–174.

Кобелев О. А. – д-р техн. наук, головний спеціаліст НВО «ЦНДІТМаш»;

Єфімов М. В. – ген. директор ПАТ «ЕМСС»;

Лобанов О. І. – канд. техн. наук, нач. відділу ПАТ «ЕМСС»;

Панов В. В. – нач. управління ПАТ «ЕМСС».

НВО «ЦНДІТМаш» – Науково-виробниче об'єднання «Центральний науково-дослідний інститут технології машинобудування», м. Москва, Росія.

ПАТ «ЕМСС» – Публічне акціонерне товариство «Енергомашспецсталь», м. Краматорськ.

E-mail: lobanov@emss.dn.ua

Стаття надійшла до редакції 06.03.2012 р.