

УДК 621.762.793:669.15

Кононов В.В.¹, Шищенко А.В.², Діденко А.А.², Скрипнік Г.В.²,
Воздраганова А.Ю.², Кононов Г.В.³

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. М-112м НУ «Запорізька політехніка»

³ студ. гр. М-111сп НУ «Запорізька політехніка»

МЕТОДИ ОТРИМАННЯ ОТВОРІВ МАЛОГО ДІАМЕТРУ

Відповідальні деталі газотурбінних двигунів складаються з деталей (турбінні й соплові лопатки), що працюють в екстремальних умовах при температурах, близьких до температури плавлення самого жароміцного сплаву. Для забезпечення довговічної і надійної експлуатації, лопатки перфоровані отворами малого діаметру від 0,3 мм до 1 мм з допуском на діаметр отвору в межах 0,05–0,10 мм. Через ці отвори продувається повітря, що охолоджує поверхні, схильні до теплового впливу.

1. Отримання отворів литтям по виплавлюваних моделях.

В даний час лиття по виплавлюваних моделях (в оболонкові форми) є єдиним методом, який дозволяє в промисловому масштабі найбільш економічно отримувати заготовки охолоджуваних лопаток турбіни, котрі мають потреби в подальшій обробці. Високоякісні виливки з жароміцних сплавів отримують в вакуумних індукційних печах. Після охолодження металу в формах і видалення оболонкової форми проводять вилугування стрижнів. Контроль лопаток здійснюють для виявлення дефектів лиття, перевірки цілісності каналів охолодження, а також геометричних параметрів лопатки.

2. Отвори, одержувані механічною обробкою.

Механічною обробкою отвори формують свердлінням, зенкням, розго-ртанням, а також розточування. Для отримання отворів малого діаметра використовують свердління. Однак, використання цього методу обмежено якістю і стійкістю свердел, а також відсутністю високочутливого сверильного обладнання. Розрізняють основні важливі фактори, що впливають на свердління: биття свердла і шпинделя обладнання, характер і плавність подачі, а також характеристики конструкції інструменту. Кожен фактор може привести як до поломки свердла так і зниження точності отвору.

3. Електроерозійна прошивка отворів.

Електроерозійні методи ефективно використовуються для отримання паів і отворів в деталях газотурбінних двигунів (ГТД) з жароміцних і титанових сплавів. Технологічні показники цього методу полягають в практичній незалежності фізико-механічних характеристик оброблюваних матеріалів і обробка здійснюється без помітних силових впливів. При цьому, застосування класичної електроерозійної обробки для отримання отворів малого діаметру, особливо з великим значенням відношення L / D , викликане технологічними труднощами. При прошивці отворів суцільним електродом-інструментом (дротом) всі його геометричні дефекти (похибка форми в поперечному і поздовжньому перетинах, відхилення від прямолінійності осі) будуть позначатися на якості одержуваних отворів. Це пов'язується з ускладненням евакуації продуктів ерозії, тому необхідний правильний вибір технологічної схеми і режимів ЕЕО. Для перфорації охолоджуючих отворів в лопатках доцільно застосування струменевого методу ЕЕО. Сутність цього методу полягає в обертанні трубчастого електроду-інструменту (EI), через внутрішню порожнину якого прокачується робоча рідина під великим тиском. В якості робочої рідини застосовується дистильована вода або спеціальні рідини, що містять вуглеводи. Струменева ЕЕО забезпечує високу продуктивність і якість обробленої поверхні, однак не виключає зміння поверхневого шару. При отриманні охолоджуючих отворів в лопатках необхідно використовувати спеціальну технологічне оснащення, яке дозволяє орієнтувати лопатку під певний кут (наприклад, по вхідній кромці). Багатоелектродна елект-

роерозійна обробка ефективно вирішує завдання отримання отворів малих діаметрів, а також створити якісно нові конструкції деталей, що поліпшують основні показники сучасних авіаційних двигунів.

4. Отримання отворів електрохімічної обробкою.

За технологічною ознакою електрохімічне прошивання схоже з електроерозійним. Однак, видалення металу при розмірній електрохімічній обробці відбувається під дією електричного струму в середовищі електроліту без посереднього контакту між інструментом і заготівкою. При прошивці порожнин і отворів електрод-інструмент має один робочий рух – поступальний до деталі. Міжелектродний зазор підтримується постійним. Через міжелектродний зазор прокачують електроліт. За цією схемою прошивають пази і отвори на пері лопаток турбін. За цією ж схемою отримують отвори струменевим методом. Електрод-інструмент складається з токоподводу, що омивається потоком електроліту. Токоподвод знаходиться всередині корпусу з ізоляційного матеріалу. Електроліт створює струмопровідний канал між струмопідведенням і заготівкою. У місці контакту електроліту з оброблюваною поверхнею матеріал заготовки розчиняється і утворюється поглиблення.

5. Хімічне витравлювання отворів.

Витравлювання – це видалення шару металу хімічним шляхом. Розрізняють рідинне і сухе витравлювання. У основі рідинного витравлювання лежить хімічна реакція рідкого травильника і твердого тіла. Для забезпечення заданої швидкості витравлювання підбирають хімічний склад, концентрацію і температуру травильника. Витравлювання може бути ізотропним і анізотропним. Ізотропне витравлювання йде з однаковою швидкістю в усіх напрямів. Анізотропію витравлювання кількісно оцінюють відношенням швидкостей витравлювання в різних напрямках. Сухе анізотропне витравлювання робиться у вакуумній установці в плазмі газового розряду. Розрізняють іонне витравлювання, витравлювання плазмохімічне витравлювання і реактивне іонне. Для витравлювання поверхонь виробів з нержавіючих і жароміцних сталей застосовують водний розчин наступного складу у вагових частинах: сірчана кислота – 14, соляна кислота – 13, азотна кислота – до 9. Робоча температура – до 85 ОС.

Цей метод в основному застосовується при отриманні отворів в тонких листах.

6. Отримання отворів лазерним променем.

Лазерна обробка отворів є продуктивнішим процесом, хоча по питомій витраті енергії вона перевищує механічні і електрофізичні методи. Лазерне свердління отворів характеризується такими фізичними явищами, як: нагрів, випар і плавлення матеріалу. Для отримання отворів малого діаметру використовують лазери з короткими імпульсами. Існує декілька методів лазерного свердління: свердління одиничним імпульсом, внаслідок чого виходить отвір.

Велике значення у формуванні отворів при обробці плавких матеріалів одиничним імпульсом має перерозподіл рідкої фази до моменту твердіння. В результаті форма отвору відрізняється від тієї, яка була після закінчення імпульсу. Таким чином, істотно знижується ефективність і точність свердління одиничним імпульсом. Ударне свердління отримують під впливом декількох лазерних імпульсів. При багатоімпульсній обробці отвір росте в глибину поступово за рахунок пошарового випару матеріалу кожним імпульсом. Остаточна глибина отвору визначається сумарною енергією імпульсів, а його діаметр – усередненими параметрами окремого імпульсу випромінювання в серії. Використання для багатоімпульсної обробки імпульсів малої тривалості дозволяє отримувати отвори в крихких матеріалах.

7. Електронно-променевий спосіб отримання отворів. Електронно-променева прошивка здійснюється електронними гарматами, які формують потік прискорених електронів, а також надають електронному промінню до заготовки необхідних відносних переміщень. Основні стадії формування пучка електронів: отримання потоку вільних електронів; прискорення електронів і звузнення їх в промінь; управління положенням електронного променя. Електронно-променевий спосіб характеризується високою швидкістю і точністю, а також безкислевими процесами при отриманні отворів, проте, температурна дія на матеріал викликає структурні зміни в поверхневому шарі. А враховуючи використання вакуумної камери, здорожує технологічний процес прошивання отворів.

8. Імпульсний гідроабразивний метод прошивки отворів. Гідроабразивна обробка є процес, при якому матеріал обробляється тонким струменем суміші води і абразиву, що випускається з високою (надзвуковою) швидкістю і під високим тиском. Процес є ерозійним руйнуванням під дією робочого струменя, при якій дрібні частинки абразиву знімають шар мікростружки, а вода, евакуує їх із зони різання. В якості абразиву використовують загострені подрібнені мінерали з величиною зерна від 0,1 до 0,3 мм. Залежно від оброблюваного матеріалу і товщини кількість використовуваного абразиву складає від 100 до 600 г/хв.

Таким чином, отримання отворів малого діаметру при перфорації лопаток турбін є важливою проблемою в авіабудуванні. Розглядаючи усі перераховані способи прошивання отворів в лопатках турбін, найбільш оптимальним варіантом є електроерозійне прошивання.