

УДК 669.15-194.3:669.15-194.54

Н.П.Зайчук

Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ АЗОТОВАНОГО ШАРУ СТАЛІ 15X16K3H2MBAB-III

У статті розглянуто процеси, що відбуваються при азотуванні поверхні осей авіаційних двигунів із мартенситних високолегованих сталей та досліджено структури, що при цьому утворюються. Встановлено взаємозв'язок структури із властивостями та виявлено структурні зони. Визначено оптимальну товщину азотованого шару та оптимальні режими термічної обробки. Сталь, термічна обробка, мікротвердість, азотування, поверхневий шар, мартенсит.

Ключові слова: мартенситні складнолеговані сталі, жароміцність, мікротвердість.

Для деталей і вузлів газових турбін і паросилових установок застосовують мартенситні складнолеговані сталі 15X11MФ 15X12BHMФ, і 15X16K3H2MBAB-III. До складу цих сталей входять Cr, W, V, Mo, Nb, Ti, які, підвищують температуру рекристалізації і утворюють карбіди типу $M_{23}C_6$, M_6C , M_2C , MC і фази Лавеса — $Fe_2W(Fe_2Mo)$, покращують жароміцність. Найбільш сильно підвищують жароміцність вольфрам і ванадій в поєднанні з молібденом. Легування сталі бором, цирконієм, церієм і азотом додатково збільшує жароміцність. Робочі температури цих сталей можуть досягати 580...600°C. Проте кількість феритоутворюючих елементів повинна бути обмежена, інакше сталь може стати напівферитною, що знизить її жароміцність.

Для отримання оптимальної жароміцності високохромисті сталі загартовують на мартенсит при температурах 1000...1060°C з охолодженням в масилі. Високі температури загартування необхідні для утворення $M_{23}C_6$ і MC в аустеніті. Більш високі температури призводять до утворення фериту в структурі, що знижує міцність. Після відпуску структура сталей – сорбітроостит.

Як відомо [1,2] дані сталі характеризуються комплексом властивостей, що відповідають широкому діапазону вимог. До цих властивостей можна віднести:

- високу жароміцність і пластичність в умовах довготривалої експлуатації;
- високу стабільність структури механічних властивостей при довготривалому старінні під час навантаження і без нього;
- хорошу релаксаційну стійкість.

Для сталі 13X11H2B2MФ рекомендується такий режим термообробки: загартування з 1000-1020°C, охолодження в маслі або на повітрі, відпуск при 540-590°C, охолодження на повітрі.

Мартенситні складнолеговані сталі 15X11MФ і 15X12BHMФ, 15X16K3H2MBAB-III мають перевагу у використанні перед жаростійкістю та жароміцністю малолегованих сталей перлітного класу та економічною недоцільністю використання аустенітних сталей. Зазвичай дані сталі мають двофазну ферито-аустенітну структуру, в якій вміст фериту складає 15...25%. Його кількість залежить від легування та термічної обробки. Виділенню надлишкового фериту сприяють такі сильнокарбідоутворюючі елементи: ніобій, титан, ванадій. Загартування з високих температур (1150...1200°C) викликає утворення максимальної кількості фериту, що в свою чергу призводить до структурної нестабільності та погіршує роботоздатність. однак дані сплави володіють високою тривалою міцністю при температурах до 600°C і відносно низькою межею повзучості. Із даних сталей виготовляють в основному сортовий прокат, поковки та виливки. Сировинний метал застосовують головним чином для лопаток, деталей кріплення, осей авіаційних двигунів, та для деталей парових турбін.

Об'єктом дослідження в даній роботі є вісь авіаційного двигуна 99.16.10.045, виготовлена зі сталі 15X16K3H2MBAB-III.

В машинобудуванні прями вали чи осі виготовляють переважно з вуглецевих і легованих сталей. У нашому випадку для дослідження обрано вісь авіаційного двигуна із високолегованої сталі особливого призначення 15X16K3H2MBAB-III. Дана вісь слугує для кріплення лопаток ротора та статора. Працює в умовах підвищених температур (500...900°C), вібрацій та піддається газовій і пінтинг корозії внаслідок обтікання гарячими газами.

Вимірювання мікротвердості проводили на приладі ПМТ-3. Основою для проведення структурного аналізу служила оптична металографія. Дослідження проводились з допомогою оптичних мікроскопів: МИМ-8, МИМ-10. Вивчення мікроструктури сталі 15Х16К3Н2МВФАБ-Ш проводилось на мікрошліфах з осей після азотування. Вивчення мікроструктури мікрошліфів першочергово проводилось на травленій поверхні. Структура металічної матриці сплавів вивчалась після хімічного травлення шліфів. Травлення шліфів проводилось реактивом "Васильєва" [3].

Дослідження якості азотованого шару та його структури.

Структура сталі має великий вплив на зносостійкість і міцність деталей, які працюють при терті, вібраціях та можуть піддаватись пitting-корозії. В зв'язку з чим основним завданням зміцнюючої термообробки було отримання структури стійкої до зношування та з максимальною міцністю. Для дослідження структури було взято зразки деталей, які піддавались азотуванню за різних режимів витримки, які визначались за типовими технологічними процесами для даної групи сталей та при використанні обраної печі для азотування. Витримка становила в межах від 4 до 8 год.

Мікроструктурний аналіз після проведення азотування показав, що на поверхні деталі знаходиться азотований шар товщиною близько 0,2мм. При нормі за кресленнями деталі та згідно ГОСТу – 0,15-0,35мм. По периметру зразка в окремих деталях, де витримка була меншою, товщина шару нерівномірна, а в окремих зонах товщина складає всього 0,010мм (рис.1). Нормальна структура азотованого шару складається із азотованого мартенситу.

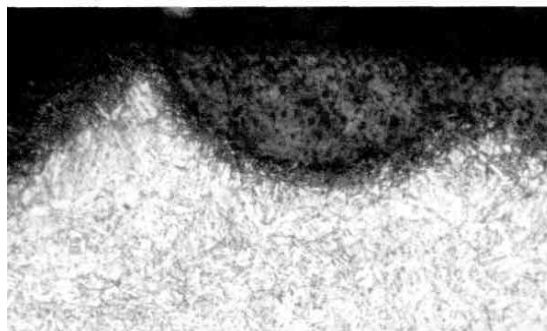


Рис. 1 Мікроструктура азотованого шару. х 200

При дослідженні мікроструктура азотованого шару в інших деталях було виявлено, що він являє собою азотований мартенсит (рис.2), на поверхні прослідковується ϵ -фаза (FeN_2), присутність якої значно підвищує втмну міцність поверхні. Шар є рівномірним та суцільним, його глибина складає приблизно 0,2мм. Азотований шар має високі механічні властивості завдяки присутності в сталі сильних нітридоутворюючих елементів: хрому, ванадію, молібдену та ін. Тонкий білий шар на поверхні азотованого шару складається із залишкового легованого азотом аустеніту з невеликою кількістю мартенситу, що підтверджено проведеними раніше дослідженнями за допомогою електронного мікроскопа.

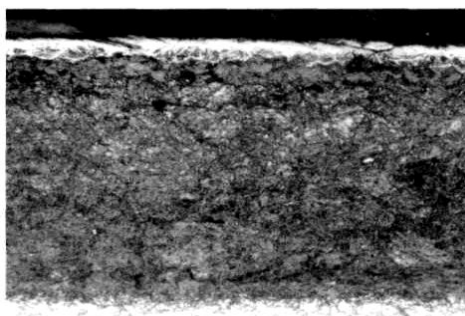


Рис. 2 Мікроструктура азотованого шару. х 400

Дослідження серцевини показали, що мікроструктура серцевини збереглась і є мартенситом відпуску (рис.3).

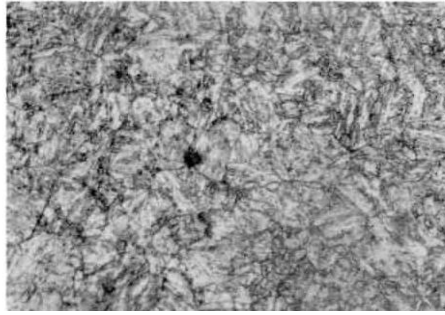


Рис. 3 Мікроструктура серцевини деталі. х 400

Утворені структури будуть задовольняти вимогам щодо роботи деталі в ГТД, структура має потрібні механічні властивості. Дана сталь містить певну кількість хрому та молібдену, що знижує чутливість до відпускнуї крихкості та підвищує міцність серцевини, молібден також подрібнює зерно. Для деталей, що працюють при знакозмінних навантаженнях та при постійному тиску, при підвищених температурах допускається вміст залишкового аустеніту в дифузійному шарі до 25% при товщині шару 0,5...0,7 мм. При такому вмісті залишкового аустеніту твердість поверхневого шару не повинна бути нижче 58HRC [4]. В такому випадку дифузійний шар не протискується і не піддається піттингу.

Після вимірювання мікротвердості було встановлено що на поверхні вона складає $H_{\mu 15} = 93,5$ МПа при нормі для таких сталей ≥ 88 МПа. Твердість серцевини складає 46...48 HRC, що теж задовольняє вимогам.

Висновки. Виходячи із проведених досліджень було встановлено, що при виконанні азотування на жароміцних, корозієстійких сталях та сплавах особливого призначення важливе значення має дотримання технологічного процесу та вимог щодо експлуатації даних виробів. Азотування таких сталей дозволяє скоротити процес до декількох годин, особливо, якщо застосовувати азотування з використанням суміші аміаку та азоту. При використанні інших технологій тривалість процесу зростає у декілька разів. Однак, як видно із мікроструктурних досліджень, недотримання технології, часу витримки та необхідних температур товщина азотованого шару не відповідатиме ГОСТу та буде нерівномірною.

Як видно з результатів досліджень, твердість сталі на поверхні $H_{\mu 15} = 93,5$ МПа, а твердість серцевини складає 46...48 HRC, отже після проведення азотування зростуть зносостійкість та межа витривалості, що дасть можливість продовжити ресурс роботи сталі. Поверхневий шар азотованого зразка відповідає необхідній структурі та вимогам, які ставляться до азотованих деталей виготовлених із жароміцних корозієстійких сталей. Зокрема, структура азотованого шару складається з типових зон:

- азотованого мартенситу (близько 0,2мм);
- на поверхні прослідковується ϵ -фаза (FeN_2), присутність якої значно підвищує втомну міцність поверхні;
- серцевина, що становить собою відпущений мартенсит

Процес азотування дозволяє поєднати дві важливі характеристики – ударну в'язкість і твердість, що дозволяє деталям працювати при динамічних знакозмінних навантаженнях. Даний процес є ефективним і широко використовується у виробництві, так як дозволяє зберегти кількість деталей, які не будуть руйнуватись та призведе до економії витрат сталі високої вартості, які володіють необхідними властивостями

1. Абраимов Н.В., Елисеєв Ю.С., Крылов В.В. Авиационное материаловедение и технология обработки металлов: Учебное пособие для вузов – М.: Высшая школа, 1998. – 444с.
1. 2.Гецов А.Б. Детали газовых турбин. – Л.: Машиностроение, 2002.– 296 с.
2. Металлографические реактивы. Справочное издание. Коваленко В.С.-3-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1981. – 120с.
3. Жаропрочные стали и сплавы. Справочное издание. Масленков С.Б. – М: Металлургия, 1983. – 192с.