

УДК 621.3

Гуляєва Т.В.¹, Федорченко Н.О.²

¹ канд. тех. наук, доц. ЗНТУ

² студ. гр. Е-114м ЗНТУ

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ СТАЛІ ДЛЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Електротехнічна сталь – сплав заліза зазвичай з кремнієм, іноді легований алюмінієм, готовий продукт випускається у вигляді тонких листів товщиною від 0,05 до 2 мм. Магнітомягкий феромагнітний матеріал. Має поліпшені феромагнітні властивості для застосування в знакозмінних магнітних полях. Використовується при виготовленні магнітопроводів різного електротехнічного обладнання - електромагнітів, трансформаторів, генераторів, електродвигунів, дроселів, магнітопроводів реле, ферорезонансним стабілізаторів напруги та ін.

Залежно від необхідних властивостей, електротехнічна сталь містить різну кількість кремнію. Залежно від технології виробництва електротехнічні сталі поділяють на холоднокатані (ізотропні або анізотропні; кількість кремнію до 3,3%) і гарячекатані (ізотропні; кількість кремнію до 4,5%). Нерідко в якості легуючої добавки в електротехнічній сталі може міститися алюміній (до 0,5%). Іноді електротехнічні сталі умовно поділяють на динамну (ізотропну), трансформаторну (анізотропну), релейну (ізотропну, нелеговану).

Електромагнітні властивості. Як правило, електротехнічні сталі намагаються виконати:

- з максимально високою магнітною проникністю;
- з максимально низькою коерцитивною силою і з вузькою петлею гистерезиса;
- з максимально високим питомим електричним опором для зниження втрат на нагрівання сердечника внаслідок ефекту вихрових струмів.

Відносна магнітна проникність μ/μ_0 електротехнічної сталі сильно залежить від величини прикладеного поля. Наприклад, сталь електротехнічна сірчиста Е43 в слабких полях має $\mu/\mu_0 = 600 \dots 1000$, в середніх полях - до 11000.

Найбільше застосування в електротехніці отримала листова електротехнічна сталь. Ця сталь є сплавом заліза з кремнієм, зміст якого в ній 0,8...4,8%. Такі сталі, в які вводяться в малій кількості будь-які речовини для поліпшення їх якості, називаються легованими.

Кремній вводиться в залізо у вигляді феросиліцію (сплав сілціда заліза FeSi з залізом) і знаходиться в ньому в розчиненому стані. Кремній реагує з найбільш шкідливою (для магнітних властивостей заліза) домішкою -

киснем, відновлюючи залізо з його оксидів FeO і утворюючи кремнезем SiO_2 , який переходить частково в шлак. Кремній також сприяє виділенню вуглецю із з'єднання Fe_3C (цементит) з утворенням графіту. Таким чином, кремній усуває хімічні сполуки заліза (FeO і Fe_3C), які викликають збільшення коерцитивної сили і збільшують втрати на гістерезис. Крім того, наявність кремнію в залізі в кількості 4% і більше збільшує питомий електричний опір в порівнянні з чистим залізом, в результаті чого зменшуються втрати на вихрові струми.

Незважаючи на те, що індукція насичення B_S заліза зі збільшенням кремнію в ньому значно підвищується і досягає при 6,4% кремнію великий величини ($B_S = 2800$ гс), все ж кремнію вводять не більше 4,8%. Збільшення вмісту кремнію більше 4,8% призводить до того, що стали набувають підвищену крихкість, тобто, механічні властивості їх погіршуються.

Процес виробництва листової електротехнічної сталі

Виплавляється електротехнічна сталь в мартенівських печах (рис. 1). Листи виготовляють прокаткою сталевого злитка в холодному або гарячому стані. Тому розрізняють холодно і гарячекатану електротехнічну сталь.



Рисунок 1. Процес виробництва листової електротехнічної сталі

Залізо має кубічну кристалічну структуру. За дослідженням намагнічування виявилось, що воно може бути неоднаково за різними напрямками цього куба. Найбільшим намагнічуванням кристал має в

напрямку ребра куба, меншим - по діагоналі грані і найменшим - по діагоналі куба. Тому бажано, щоб все кристалики заліза в листі вишикувалися в процесі прокатки в ряди по напрямку ребер куба. Це досягається повторною прокаткою листів сталі, з сильним обтисненням (до 70%) і подальшим відпадом в атмосфері водню. Це сприяє очищенню сталі від кисню і вуглецю, а також укрупнення кристалів і орієнтуванні їх таким чином, щоб ребра кристалів збігалися з напрямком прокатки. Такі сталі називаються текстуровані. У них магнітні властивості у напрямку прокатки вище, ніж у звичайної гарячекатаної сталі. Листи текстурованої сталі виготовляються холодної прокаткою. Магнітна проникність їх вище, а втрати на гістерезис менше, ніж у гарячекатаних листів. Крім того, у холоднокатаної сталі індукція в слабких магнітних полях зростає сильніше, ніж у гарячекатаної, тобто, крива намагнічування в слабких полях розташовується значно вище кривої гарячекатаної сталі.

Слід, однак, відзначити, що в результаті орієнтування зерен текстурованої сталі у напрямку прокатки магнітна проникність по інших напрямках менше, ніж у гарячекатаних. Так, при індукції $B = 1,0$ Тл в напрямку прокатки магнітна проникливість $\mu_m = 50000$, а в напрямку перпендикулярно прокатці $\mu_m = 5500$. У зв'язку з цим при складанні Ш-образних сердечників трансформаторів застосовують окремі смуги сталі, вирізані вздовж прокатки, які потім шихту так, щоб напрямок магнітного потоку збігалося з напрямком прокатки сталі або становило б з ним кут 180° .