

З рівняння видно, що екрануюча дія може збільшуватися або через підвищення товщини екрана, або за рахунок зростання добутку відносної магнітної проникності на відносну провідність матеріалу.

Одним з найбільш перспективних напрямків створення захисних екранів – локалізаторів електромагнітних полів розповсюдження інформативних сигналів від різних джерел – є використання спеціальних аморфізованих покриттів, інтерес до яких обумовлюється, насамперед, їхніми унікальними магнітом'якими властивостями, зокрема, високими показниками початкової та максимальної магнітної проникності.

Ефективність застосування аморфізованих покриттів залежить від визначення вимог до них. Базою для складання вимог повинен служити детальний аналіз умов експлуатації, формулювання основного призначення покриттів та обґрунтування позитивного ефекту, який досягається у випадку використання аморфних матеріалів. Для розробки технології необхідно мати відомості щодо конструкції та виготовлення деталі з покриттям, дані про умови її експлуатації, встановлення діапазону основних контрольованих властивостей покриттів (магнітних, електричних, механічних тощо).

За результатами магнітних вимірювань встановлено, що аморфізовані плазмові покриття за рівнем магнітом'яких характеристик наближаються до аморфних стрічок аналогічного складу. Наприклад, залежно від умов напилювання значення таких параметрів, як індукція насичування, магнітна проникність покриттів складає (переважно) 70–95 % від їхнього значення для аморфних стрічок. Крім того, стрічки мають на 50–140 К менше значення температури Кюрі порівняно з покриттями, що вказує на більшу фазову стабільність останніх.

У зв'язку з цим значний інтерес викликає обґрунтування можливостей застосування аморфізованих покриттів як захисних електромагнітних екранів для технічного захисту інформації і аналіз технології газотермічного напилювання (ГТН) як одного з перспективних методів отримання покриттів з аморфною структурою.

До сучасної групи технологій одержання аморфізованих матеріалів відносять методи, засновані на принципі послідовного гарту малих об'ємів розплаву. На відміну від широко розповсюджених технологій надшвидкого охолодження розплаву дані методи дозволяють отримувати аморфізовані поверхневі шари і покриття товщиною до 3 мм на поверхні виробів з традиційних конструкторських матеріалів, таких, як металевий лист, пластик. За теоретичними розрахунками застосування шарів товщиною 2–3 мм з показником магнітної проникності, властивої аморфним матеріалам, забезпечує захисне екранування, при якому витік інформації по магнітній складовій поля випромінювання практично неможливий.

До методів, що забезпечують формування аморфізованих шарів на різних поверхнях, відносяться іонна імплантація, електрохімічне та хімічне осадження, іонно-плазмове (магнетронне) розпилювання, термічне випаровування у вакуумі, електроіскрова, лазерна, електронно-променева обробка і ГТН. Загальною особливістю останнього методу є розплавлення невеликих об'ємів сплавів, розмірами до 50–100 мкм, схильних до аморфізації (швидкість охолодження $V_{кр} < 10^5 \dots 10^7$ К/с), та їх послідовне ізольоване затвердіння на твердій основі.

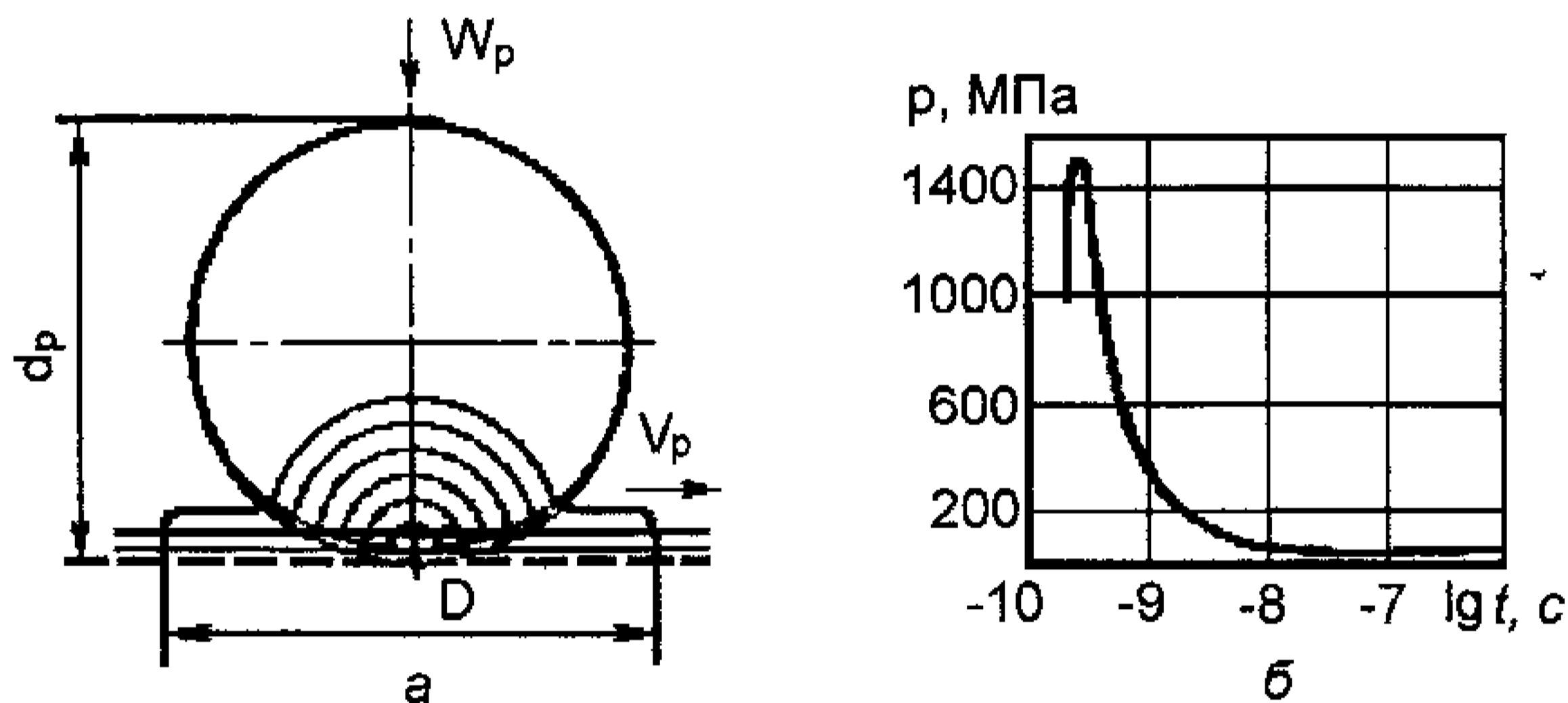
Більш широкі технологічні можливості з переліченої групи методів властиві засобам ГТН. Їх особливістю, з погляду отримання аморфної структури, є розплавлення сплаву аморфізування не на основі, а в об'ємі високотемпературного газового струменю або газового імпульсу з подальшим подаванням потоку розплавлених часток на основу. До переваг даного методу відносять також високі показники відсотку отриманої аморфної фази та коефіцієнта використання матеріалу. Технологічний процес одержання аморфізованих покриттів складається з етапів, властивих для технології ГТН: попередньої обробки поверхні напилювання (абразивної, механічної, ультразвукової, хімічної тощо), підготовки та контролю матеріалів для напилювання, нанесення покриття, контролю та обробки напилених покриттів.

Отже, структура процесу створення аморфізованого ГТН покриття визначається його призначенням і містить всі основні елементи, які мають місце при цільовій розробці газотермічних покриттів стосовно конкретної задачі використання. Характерною особливістю про-

цесу є додержання на всіх етапах технічних вимог до складу матеріалів, умов ГТН, обробки та експлуатації покриттів, що забезпечують формування, стабільність аморфізованих структур і досягнення належних фізико-механічних та магнітних властивостей покриттів.

Процес нанесення покриття, в свою чергу, є складним багатофакторним процесом, який складається з трьох загальних етапів: нагрівання та розплавлення невеликих об'ємів сплавів, прискорення крапель розплаву, деформації часток та затвердіння їх на основі [2].

Високошвидкісні кінограми процесу взаємодії часток розплаву з твердою поверхнею показують, що в перший момент зіткнення краплі пружно деформуються. Тільки через 0,1–1 нс в місці удару утворюється тонкий плоский шар розплаву з частки, що розтеклася (див. рисунок). Далі висота частки в процесі деформації рівномірно зменшується. Дані явища відбуваються в методах ГТН незалежно від способу отримання високотемпературного газового струменю (плазма, продукти горіння і детонації газів), особливостей та швидкостей витікання (безперервне, імпульсне, ламінарне, турбулентне), типів матеріалів, які використовуються для напилювання (порошки, дроти, гнучкі шнури, прутки).



Ударна взаємодія розплавленої частки з основою при ГТН:

a – схема деформації частки; *б* – зміна тиску в зоні удару частки срібла

Формування покриття в технології ГТН здійснюється в умовах надвисоких ($10^4 - 10^8$ К/с) швидкостей охолодження матеріалу, який напилюється. Це дає принципову можливість створення в його об'ємі метастабільних мікрокристалічних і аморфних фаз. Способи ГТН разом із плазмодуговим, детонаційним, газополум'яним, імпульсно-плазмовим методом, електродуговою металізацією та їх комбінаціями вигідно відрізняються від інших методів нанесення аморфних покриттів, оскільки вони дозволяють формувати відносно товсті аморфізовані шари (до 1–5 мм) на поверхнях різної форми та розмірів, мають ширші технологічні можливості. Поряд з високою продуктивністю процесів ГТН існує можливість використання для нанесення різних типів матеріалів – порошків, дротів, шнурів. Ці переваги відкривають перспективи широкого застосування металічних сплавів, що містять аморфні фази, у різних галузях техніки, у тому числі і при створенні захисних електромагнітних екранів.

Перші відомості про отримання аморфізованих покриттів за допомогою плазмодугового напилення з порошку сплаву Zr-Cu на водоохолоджуваній мідній диск у захисній атмосфері опубліковані Б. Гіссеном у 1977 р. Така технологія вимагала досить складного апаратурного устаткування і могла застосовуватися лише в лабораторних умовах. На теперішній час цю технологію значно спрощено, що робить процес одержання аморфізованого покриття доступнішим.

Газотермічне напилювання полягає в нагріві матеріалу розпилювання високотемпературним газовим струменем до температури плавлення, виникненні спрямованого двофазного струму, переносі цим струмом напилюваного матеріалу та формуванні покриття на поверхні основи. Покриття, отримані методами ГТН, мають переважно шаруватий характер і формуються через затвердіння та деформацію розплавлених часток.

У роботах [3; 4] теоретично обґрунтовано та практично показано можливість отримання феромагнітних аморфізованих покриттів товщиною до 1 мм і більше при плазмодуговому

напи
Fe-V-
сову
риста
рофі
них і

тів п
прик
люва

струм
вани
У ро
більш
без д

струм
мова
стру
ліко
та ін
на вз
коли
(до 1
макс
їхніх
ких,
данн
щені

0668
ПР-2
сенн
Ni-C
толи

нося
фізо
і нік
тичн
покр
забек
ня сл

логії
прак
шим
влас
екра
покр

напилюванні порошків різних сплавів на основі заліза, кобальту та нікелю (Fe-B, Fe-Ni-B, Fe-B-C-Si, Fe-Co-B-Si, Fe-Si-C, Fe-B-C, Fe-Mo-Cr-B тощо). Як плазмостворюючий газ застосовували аргон або його суміш з азотом, а покриття наносили у відкритій атмосфері з використанням примусового охолодження основи і без нього. Результати досліджень їхніх електрофізичних і магнітних властивостей підтверджують перспективність їх використання в різних галузях техніки [5].

У роботі [6] показано можливість підвищення якості аморфізованих плазмових покриттів при використанні ламінарних струменів і забезпечення коаксіальної подачі порошку в прикатодну область. Повна аморфізація покриттів досягається при плазмодуговому напилюванні в динамічному вакуумі.

Імпульсно-плазмове напилювання, засноване на використанні імпульсно-плазмового струму, який створюється при розряді ємнісного нагромаджувача енергії в системі спрямованих електродів, є ефективною технологією формування покриттів з аморфною структурою. У роботі [7] обґрунтовано можливість отримання аморфних покриттів товщиною до 2 мм і більше зі сплавів Fe-Cr-P-C, Fe-P-C, Fe-B-C при напилюванні ацетилен-кисневою сумішшю без додаткового охолодження.

Імпульсно-плазмове напилювання, засноване на використанні імпульсного плазмового струму, яке утворюється при розряджанні ємнісного нагромаджувача енергії в системі спрямованих електродів, також є ефективною технологією формування покриттів з аморфною структурою [8]. Даним методом нанесено аморфізовані покриття товщиною до 2–3 мм з великої кількості порошків сплавів Fe-B, Fe-Ni-B, Ni-Nb, Ni-Ti, Ni-P, Ni-Fe-Cr-B-Si, Co-Fe-B-Si та ін. [9; 10]. У даному випадку подібно детонаційному напилюванню відбувається інтенсивна взаємодія матеріалу напилювання з компонентами імпульсного плазмового струму та навколишнього середовища, що проявляється у підвищеному вмісті у покритті кисню та азоту (до 1 % і вище). Високі швидкості часток матеріалу напилювання ($V \approx 10^3$ м/с) забезпечують максимальні ступені деформації на основі. Це дозволяє формувати аморфізовані покриття їхніх складів з високими значеннями швидкостей охолодження ($V \geq 10^7$ К/с), наприклад, таких, як Fe₂B, Ni₂B, Ni₃B. Використання суміші Ar+H₂ як плазмостворюючого газу і накладання в області плями напилювання магнітного поля напруженістю 3–8 кА/м сприяє підвищенню ступеня аморфізації імпульсно-плазмових покриттів [10].

Для ГТН аморфізованих покриттів розроблено порошки за ТУ ОКТБ ІМП АН України 06685-86 марок ПР-10Т7Р7 (Fe-Ti-B-C), ПР-Н45Р5 (Fe-Ni-B), ПР-Н45Р4 (Fe-B-C-Si), ПР-20Х10Р8 (Fe-Cr-P-C). Закордонні фірми пропонують деякі склади порошків для нанесення такого класу покриттів: Метко (США) – Fe-Cr-Mo-Ni-Cu-Si-B-C (Діамаллой-1008), Ni-Cr-Mo-W-B-C (Метко-700), «Аморфос Текнолоджи Інтернешнл» (США) – Армакор, «Кастолін-Еутектік» (Швейцарія) – Аллой 29000.

Однак наявні відомості про можливість отримання аморфізованих покриттів при ГТН носять несистемний, часто декларативний характер. У більшості досліджень отримані аморфізовані плазмові, імпульсно-плазмові та газополум'яні покриття з порошків на основі заліза і нікелю і теоретично обґрунтовані їх структура та термічна стабільність. Разом з тим, практично не наведено основних теоретичних положень, які визначають принцип отримання ГТН покриття з аморфізованою структурою, раціональні діапазони технологічних параметрів, що забезпечують формування і збереження аморфного стану покриттів, та прикладні дослідження службових властивостей.

У зв'язку з цим важливою проблемою постає розробка науково-технічних основ технології отримання покриттів як складових захисних електромагнітних екранів, створення і практичне застосування технологічних процесів і матеріалів для нанесення покриттів з кращими, по відношенню до традиційних кристалічних матеріалів, електричними та магнітними властивостями, визначення електричних, магнітних властивостей та ефективності захисного екранування, встановлення закономірностей впливу об'ємного вмісту аморфної фази в ГТН покриттях на їх основні службові властивості.

