

УДК 621.7.019:621.9.048

НЕСТАБІЛЬНІСТЬ РОЗМІРІВ ШАРУ ЛАЗЕРНОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ГІРНИЧИХ МАШИН

В.П. Котлярів, М.І. Сергієнко, З. Нідаль, О.В. Богданова (НТУУ “КПІ”)

Приводяться результати кількісного аналізу структури погрешності глибини і ширини зони лазерного упрочнення при імпульсному і неперервному облученні izdeliy, призначених в горних машинах. Числові характеристики погрешності отримані розрахунковим шляхом в результаті використання розроблених моделей точності технологічних операцій. Використаний аналітичний метод дозволяє виявити основні джерела нестабільностей процесу обробки на етапі проектування операції, передбачити режимні і організаційні заходи по їх усуненню або скороченню, а також висунути обґрунтовані вимоги до якості використовуваного технологічного обладнання і оснастки.

Постановка задачі

Підвищення роботоздатності деталей та вузлів гірничих машин шляхом лазерної зміцнювальної обробки досягається у тому разі, якщо забезпечується рівномірність та розмірна стабільність шару матеріалу із зміненими властивостями на поверхні заготовки. Якщо якісні характеристики процесу лазерного зміцнення залежать від рівня параметрів обробки, то на стабільність інших характеристик і, в першу чергу, розмірних впливає здатність устаткування та технологічного оснащення підтримувати протягом певного часу і з належною відтвореністю встановлений режим обробки.

Зміцнювальна лазерна обробка деталей гірничих машин виконується шляхом імпульсної або безперервної подачі енергії випромінювання. Формування поверхневого шару заданого профілю та розмірів на поверхні заготовки здійснюється за рахунок взаємного позиціонування одиночних зон термічного впливу, які можуть мати різну форму на поверхні заготовки: круглу – при фокусуванні пучка випромінювання сферичними (параболічними) дзеркалами або відповідними лінзами; прямокутну – при використанні циліндричної оптики, кільцеподібну – при опромінюванні заготовки пучками ТЕМ₀₁ у ближній зоні за допомогою сферичної оптики або у дальній – з використанням аксиконів.

При безперервному опромінюванні переміщуваної заготовки профіль зміцнюваної ділянки заповнюється послідовним накладанням окремих стежок (слідів дії переміщуваного пучка випромінювання) з коефіцієнтом перекриття $k_n = S/b$ (де S – відстань зміщення, b – ширина стежки) або швидкісним скануванням пучка випромінювання по поверхні заготовки в напрямку,

поперечному до напрямку подачі. Оскільки найчастіше використовуються оптичні елементи із сферичними та параболічними перетворюючими поверхнями, розглянемо результати дії на заготовку пучків круглої форми, заповнених енергією випромінювання. Таким чином, за умов імпульсного опромінювання зона одиночного впливу розмірно характеризується шириною b_{n1} (діаметром d_{n1}) та глибиною Z_{n1} , а розміри зміцненої ділянки поверхні заготовки – шириною $B_{\text{нмр}} \div B_{\text{нрб}}$ та глибиною $Z_{\text{нм}} \div Z_{\text{нб}}$ (n – кількість рядів одиночних зон) (рис. 1). За умов безперервного опромінювання зона одиночного впливу у вигляді стежки характеризується шириною b_{n1} та глибиною Z_{n1} . Ділянка поверхні заготовки, зміцнена внаслідок n проходів пучка випромінювання, має такі розміри: ширину $B_{\text{нм}}$ та глибину $Z_{\text{нм}} \div Z_{\text{нб}}$ (рис. 2). Структуру сумарної похибки розмірів одиночних зон та їх комбінацій для обробки площин поверхні заготовки описано в [1], а перелік початкових нестабільностей та джерел їх появи – у [2].

Похибки розмірів одиночних зон зміцнення

При імпульсному режимі опромінювання на відтворюваність ширини зони зміцнення $\sigma \Delta b_1$ впливають коливання параметрів пучка випромінювання (імпульсної енергії E , розбіжності θ , тривалості τ), похибки технологічних заходів (настройки режиму H_p , перетворення пучка випромінювання та його позиціонування відносно заготовки $\Delta \phi$, установки та закріплення заготовки C_m), а також нестабільності оптичних властивостей поверхні A та теплофізичних властивостей матеріалу заготовки (швидкісне зміщення рівня температур структурних перетворень T_3). Систематичний вплив на ширину зони $m \Delta b_1$ справляє похибка взаємного позиціонування пучка випромінювання та заготовки $\Delta \phi$, якщо воно виконується за умов відмінності довжини хвилі освітлення при настройці від довжини хвилі випромінювання при обробці.

Числові характеристики відтворюваності глибини одиночної зони $m \Delta Z_1$ та $\sigma \Delta Z_1$ визначаються тим же набором нестабільностей параметрів технологічного процесу, але з дещо іншою пріоритетною послідовністю (див. рис. 1).

При безперервному режимі опромінювання статистичні показники відтворюваності ширини одиночної стежки залежать від коливань параметрів пучка випромінювання (потужності P та розбіжності θ) та нестабільностей технологічних заходів ($\Delta \phi$, H_p і C_m), до яких треба додати нестабільність швидкості відносного переміщення пучка випромінювання та заготовки V , а також від коливань властивостей матеріалу заготовки T_3 та поверхні A . Ті ж фактори визначають показники відтворюваності глибини одиночної стежки Z_{n1} .

Структура сумарної похибки

Для конкретних технологічних операцій, здійснених в режимах обробки, найбільш характерних для зміцнення плунжерних пар гідронасосів гірничих машин, виконано аналіз структурних діаграм сумарної похибки (див. рис.1 і 2),

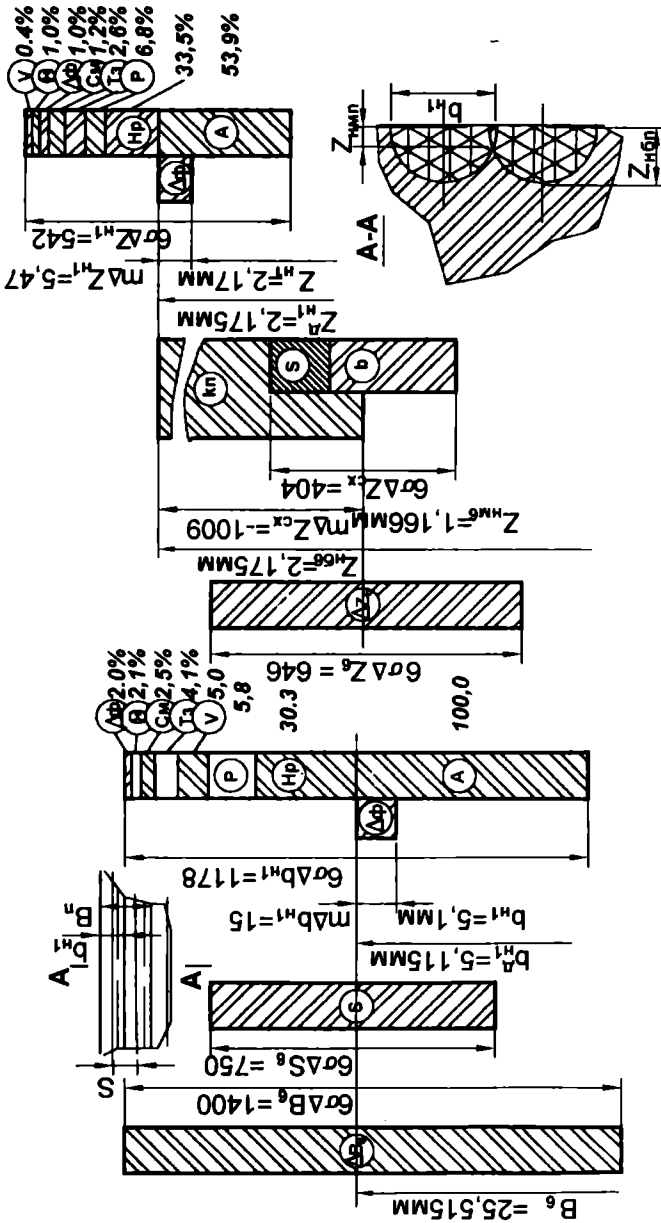


Рис. 2. Структура сумарної похибки зон змінення безперервним опромінюванням

що дає змогу зробити такі узагальнення:

як при імпульсному, так і при безперервному режимі опромінювання ширина зони зміцнення b більш чутлива до початкових нестабільностей, ніж глибина Z ;

при безперервному опромінюванні абсолютні та відносні значення сумарної похибки ширини і глибини одиночної зони зміцнення значно більші;

загальним для обох режимів опромінювання є факт визначального впливу стабільності рівня поглинутої енергії на відтворюваність розмірних характеристик зони зміцнення. Так, елементарні похибки внаслідок нестабільності коефіцієнта поглинання становлять $\sim 42\text{--}48\%$ при імпульсному режимі і $\sim 48\text{--}54\%$ при безперервному; похибки, викликані нестабільностями настройки енергетичного режиму – відповідно $\sim 13\text{--}15\%$ та $\sim 30\text{--}33\%$; похибки внаслідок коливання енергетичних характеристик випромінювання – відповідно $\sim 15\text{--}18\%$ та $\sim 6\text{--}7\%$;

вища нестабільність швидкості нагріву та охолодження за умов імпульсного опромінювання, а, отже, й вища мінливість інтервалу критичних температур поліморфних перетворень під час нагріву та охолодження зони зміцнення пояснює вагомішу частку T , в сумарній похибці при імпульсному опромінюванні ($10\text{--}19\%$) порівняно з безперервним ($2,5\text{--}4\%$);

незважаючи на високий рівень коефіцієнтів трансформації перетворюючої системи [1], які описують її реакцію на мінливість умов опромінювання (b_{11} та b_{12}), внесок останнього фактора у сумарну похибку невеликий ($6\text{--}8\%$ та $1\text{--}2\%$), оскільки розрахунки було виконано для більш точного методу позиціонування (методу подвійного зображення), який виключає або скорочує деякі складові похибки σ_i [1]. Постійну складову цієї елементарної похибки $m\Delta\phi$ також зменшено внаслідок скорочення значення поздовжньої хроматичної аберації ($\lambda_a = 0,63$; $\lambda_p = 1,06$ мкм для твердотільного випромінювача), а також взаїмосуперечливої дії на розмір пучка на заготовці абераційних та дифракційних ефектів під час віддалення лінзи від резонатора та термодформації середньої її частини пучком випромінювання;

при безперервному опромінюванні площини на величину похибки загальної ширини зони справляє вплив і нестабільність величини зміщень стежок на відстань σ_x (див. рис. 2) поперек одиночних стежок зміцнення. Це приводить до збільшення поля розсіяння, яке зростає зі збільшенням кількості проходів. Коливання глибини шару поперек одиночних проходів при безперервному опромінюванні і глибини та ширини зони при імпульсній обробці залежать від схеми заповнення ділянки зміцнюваної поверхні та ступеня відносного зміщення одиночних зон k_n . Крім того, від рівня величин, що обумовлюють значення коефіцієнта k_n (швидкості V , частоти надходження імпульсів ν та ширини одиночної зони b), залежить систематична складова похибки розмірної характеристики ($m\Delta b_{cx}$, $m\Delta Z_{cx}$), а від імовірних варіацій цих величин (σ_i , σ_ν , σ_b) – поле розсіяння цієї характеристики ($\sigma\Delta b_{cx}$, $\sigma\Delta Z_{cx}$). Розмірна характеристика визначається, в першу чергу, рівнем нестабільності параметрів V та ν , які обумовлюють значення відстані S (для імпульсного

режиму) та ширини b (для безперервного опромінювання). Для рекомендованого значення $k_n = 0,8$ при імпульсній обробці величина $m\Delta Z_{cx} = Z_n$, що в умовах дії імовірної складової $\sigma\Delta Z$ веде до появи незміцнених ділянок поверхні. Оптимальне значення k_n з точки зору мінімальної енергоємності операції за умови повного заповнення поверхні зонами зміцнення знаходимо за рівнянням $m\Delta Z \leq Z - 3\sigma\Delta Z$;

аналогічно, використовуючи зважені частки сумарної похибки від будь-якого учасника технологічної операції, визначаємо умови обмеження їх початкових нестабільностей (наприклад, потужності випромінювання або швидкості переміщення та ін.) з позицій зменшення сумарної похибки розмірних показників операції або її частини.

1. *Analysis of the error structure of laser profiling / V.P. Kotlyarov, Yu.V. Konovalenko, V.L. Dubnyuk, A.S. Kozyrev // Surface engineering and applied electrochemistry. – 1996. – № 1. – P. 1–6.*

2. *Котляров В.П., Лелека С.В., Зухаир Нидаль. Источники нестабильности размерных характеристик операций лазерной обработки // Электронная обработка материалов. – 1999. – № 1. – С. 61–65.*