

УДК 621.922

Пікула М. В., ст. викладач (Національний університет водного господарства і природокористування, м. Рівне)

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ ВІБРОВІДЦЕНТРОВОЮ ОБРОБКОЮ

У статті розглянуто шляхи підвищення якості поверхневого шару вібровідцентровою обробкою гранульованими абразивними робочими середовищами, наведено результати експериментальних досліджень видалення окалини з поверхні сталених заготовок.

Ключові слова: високотемпературне окислення, окалина, вібровідцентрова обробка, якість обробки.

В статье рассмотрены пути повышения качества поверхностного слоя виброцентробежной обработкой гранулированными абразивными рабочими средами, приведены результаты экспериментальных исследований удаления окалина с поверхности стальных заготовок.

Ключевые слова: высокотемпературное окисление, окалина, виброцентробежная обработка, качество обработки.

The article deals with ways to improve the quality of the surface layer vibrovidtsentrovoyu processing granular abrasive working environments, the results of experimental studies of scaling on the surface of steel billets.

Keywords: thermal oxidation, slag, vibrovidtsent-doped treatment, quality of treatment.

Необхідною умовою розвитку машинобудування в ринкових умовах є впровадження ефективних інноваційних технологій, які сприяють підвищенню якості і конкурентоспроможності продукції, підвищення продуктивності праці і поліпшення якості виробів, що випускаються.

У сучасній металообробці неухильно зростає питома вага об'ємної оздоблювально-зачищувальної обробки (ОЗО) деталей гранульованими абразивними середовищами для механізації шліфування, полірування, підготовка поверхонь під покриття, видалення задирок і округлення кромки, очищення поверхонь від забруднень (окалина, залишки формувальної суміші тощо). Така обробка сприяє інтенсифікації технологічних процесів, підвищує рівень механізації й автоматизації операцій, економічну ефективність і продуктивність праці, особливо при обробці деталей складної форми [1, 2, 3].

Термічна обробка деталей, пов'язана з нагріванням і охолодженням сталей на повітрі чи в продуктах згорання палива, супроводжується утворенням га-

зової корозії – окалини. Її наявність на поверхнях деталей знижує їхні властивості:

- естетичні – погіршується товарний вид;
- технологічні – знижується стійкість і збільшується витрата інструментів при подальшій обробці (зокрема, абразивних кругів при шліфуванні, фільтер при волочінні дроту, пуансонів і матриць при штампуванні і куванні), а також погіршується складання вузлів через зміну розмірних параметрів деталей;
- експлуатаційні – зменшується термін служби машин у результаті збільшення зношення деталей у з'єднаннях.

Суттєвий вклад у розвиток технології об'ємної ОЗО внесли такі вітчизняні та закордонні вчені, як А.П. Бабічев, П.С. Берник, Ю. В. Димов, Л.М. Лубенська, В.Б. Струтинський, М.А. Тамаркін, Л.А. Ящеріцин, М. Matsunaga, I. Nagiuda, K. Martin, L. E. Samuels, R. H. Brown та інші. Зараз відомі численні методи обробки деталей: із застосуванням гранульованого абразивного наповнювача, в тому числі з ущільненням робочого середовища відцентровими силами. Проте не всі методи дозволяють отримати достатню якість обробки очищення поверхні деталі від окалини. Тому для вирішення багатьох питань конструювання відповідного устаткування, створення або вибору ефективних і доступних робочих середовищ і технологічних рідин, потребує всебічного вивчення і дослідження процесів руйнування окалини під дією вібраційних і відцентрових сил.

Основним завданням роботи є розробка і дослідження основних закономірностей і технологічних можливостей вібровідцентрового видалення окалини з поверхні термооброблених деталей.

Окалина, яка утворюється в процесі нагрівання й охолодження на повітрі сталей, складається, переважно, з трьох шарів - вюститу FeO , гематиту Fe_2O_3 і магнетиту Fe_3O_4 . Послідовність у розташуванні шарів різних фаз в окалині відповідає послідовності фаз на діаграмі стану "залізо-кисень" [5]. До поверхні металу прилягає шар вюститу FeO , далі в напрямку до газового середовища розміщений шар магнетиту Fe_3O_4 , а найбагатший киснем гематит Fe_2O_3 розташовується на межі фаз "окалина-повітря".

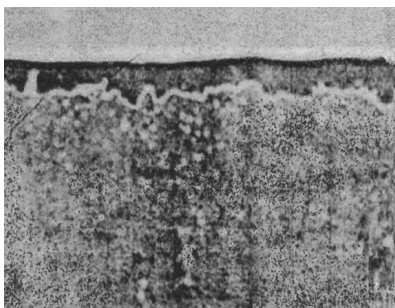


Рис. 1. Мікроструктура окалини на сталій основі

Результати металографічних досліджень, проведених з використанням мікроскопа МІМ-7, підтверджують наведені вище дані про будову окалини. У мікрошліфі окалини (рис. 1) добре помітні три шари окислів із достатньо чіткими межами розділу: тонкий шар гематиту, далі – шар магнетиту і найтовстіший шар вюститу, який дотикається до металу. В ньому при детальному розгляді можна розрізнити два приблизно рівних підшари – внутрішній, більш пористий, і зовнішній. По межі поділу цих фаз підшарів окалина відносно легко відокремлюється від металевої основи.

У реальних умовах окислення шари і підшари фазових складових окалини розташовані приблизно паралельно межі поділу "окалина - повітря" і "окалина - метал". Проте поверхня поділу "окалина - метал" практично ніколи не буває плоскою, а шари і підшари окислів не завжди однорідні.

Окислення металів має характерні риси, адже окисна плівка в міру росту все більш і більш ізолює метал від кисню, тому швидкість її росту керується часто не хімічною реакцією, а пересуванням або металу назовні або кисню усередину через тверду плівку, тобто фізичним процесом [5]. Такий процес високотемпературного окислення пояснюється дифузією заряджених часток через кристалічні ґратки твердих фаз окалини: катіони направляються до зовнішньої поверхні, а аніони – до внутрішнього.

При температурах, нижчих 560°C , дифузія іонів заліза уповільнюється через їх малу розчинність в цій фазі, а перехід кисню у зворотному напрямі затрудняється високим енергетичним бар'єром утворення Fe_3O_4 . В результаті процес окислення йде значно повільніше й в окалинні відсутній шар FeO .

Зовнішня поверхня окалини внаслідок селективного відбиття світла гладка, а її колір залежить від співвідношення складових окалини. Збільшена кількість вюстита дає чорний, а значний вміст гематиту – ясно-сірий колір.

При детальному розгляді окалини помітні значні порушення її суцільності - тріщини, пухирі, порожнини, пористість, відшаровування від металевої основи. Це викликано наявністю в прошарках окалини напруженого стану, головними причинами появи якого є розходження в об'ємах металу й окалини, яка утворилася, а також у їхніх коефіцієнтах лінійного розширення; різна спроможність складових фаз до пластичних деформацій, надлишковий тиск окису вуглецю в процесі його вигорання в поверхневих прошарках металу; умови охолодження і механічні впливи при ударах і змінних навантаженнях.

Окалиноутворення супроводжується значним збільшенням об'єму, тому шар окислів знаходиться в стиснутому стані. Це призводить до відшаровування окисних плівок від металевої основи (при значній міцності окалини і її слабкому зчеплення з металом) або до їхнього розтріскування (при низькій міцності окалини і її сильному зчеплення з металевою основою). При повільному охолодженні з високих температур у шарі окалини можуть бути відсутні порушення суцільності внаслідок спікання окислів.

Через те, що різноманітні чинники, пов'язані з виникненням і ослабленням

напруг стиску, важко охарактеризувати кількісно, неможливо вгадати розміри напруги стиску і передбачити їхню дію. Проте, як показали вивчення макроструктури окалини, переважно порушення її суцільності спостерігалося у вигляді тріщин.

Тріщини виникають і в результаті розходження коефіцієнтів лінійного розширення металу й окалини, а також – складових окалини (зокрема гематиту і магнетиту) і їхнім розміщенням (Fe_2O_3 поверх Fe_3O_4), та в результаті температурних напруг, які виникають при різкому охолодженні нагрітих до високої температури деталей (при гартуванні).

Об'ємні дефекти окалини (пухирі) утворюються, в основному, при температурах вище 850°C внаслідок вигорання вуглецю з поверхневого шару металу і утворення округлих порожнин, що з'єднуються між собою. Крім того, в окалині часто присутні пори (округлі, практично рівноосні, мікроскопічні порожнини) і об'ємні дефекти більших розмірів.

Важливу роль в очищення деталей відіграють міцність окалини та її зчеплення з металевою основою. З одного боку, міцне зчеплення окалини зменшує окислення в процесі нагрівання і наступної обробки, з іншого – затрудняє видалення окалини в процесі обробки.

Міцність зчеплення окалини з металом обумовлена, головним чином, хімічним складом і структурою металу й окалини, поєднання їхніх механічних характеристик, умовами окислення і деформування.

Великий вплив на значення сил зчеплення окалини і металу має вид окалини [6]. При нагріванні заготовок у нагрівальних пристроях утворюється первинна (пічна) окалина. Період її утворення займає значний проміжок часу (десятки хвилин – години), а товщина окисного шару може досягати декількох міліметрів. У процесі обробки заготовки по ходу технологічного процесу й охолодження на повітрі, після відділення пічної, утворюється вторинна (повітряна) окалина. Час окислення в цьому випадку змінюється від декількох секунд до хвилини, а товщина окисної плівки не перевищує 0,1...0,3 мм. Повітряна окалина має міцніше зчеплення, ніж пічна.

З ростом товщини окалини зчеплення зменшується, падаючи для чистого заліза з $9,8 \text{ МН/м}^2$ (при товщині $h_{\text{ок}}=0,09 \text{ мм}$) до $1,57 \text{ МН/м}^2$ ($h_{\text{ок}}=0,325 \text{ мм}$) [7]. Для Ст3, окисленої при 1000 C , сила зчеплення й опір зсуву шару окалини відносно металу майже лінійно зменшується з $3,23 \text{ МН/м}^2$ ($h_{\text{ок}}=0,2 \text{ мм}$) до $1,96 \text{ МН/м}^2$ ($h_{\text{ок}}=1 \text{ мм}$) [7]. Щоправда, при цьому вимірювалася не істинна сила зчеплення окалини з металевою основою, а її внутрішні сили зчеплення.

Очищення поверхні – це видалення з неї забруднень до певного рівня чистоти. В основі кожного з методів очищення використовується певний спосіб руйнування забруднень і видалення їх з поверхні. Закон руйнування окалини в загальному вигляді повинен виражати аналітичну залежність швидкості її руйнування від силових і кінематичних параметрів, від параметрів, які характеризують склад, структуру і механічні властивості абразивного наповнювача, від параметрів шару окалини, від виду тертя і наявності в робочій

зоні хімічно активних рідин [7].

Руйнування окалини в середовищі гранул, які вільно коливаються, представляє собою результат одночасної дії кількох механізмів: мікрорізання (в'язкого руйнування); крихкого руйнування; пластичного деформування; гідромолекулярного руйнування.

При видаленні окалини, яка є практично крихким тілом, переважаючим є крихке руйнування, яке виникає в результаті багатократної ударної взаємодії інгредієнтів робочого середовища. Процес руйнування починається із змін на мікро- та субмікроскопічному рівні. В окаліні, де мікроскопічні порушення суцільності є вже в початковому стані, навіть при відносно невеликому зростанні зовнішніх дій розміри і щільність мікропорушень швидко зростають і може відбутись руйнування. При циклічних навантаженнях в окаліні відбуваються незворотні зміни, які накопичуються із збільшенням циклів. Місця найбільшої кривизни мікротріщин є концентраторами напруг, значення яких можуть в сотні раз перевищувати середні значення напруг по перерізу. В результаті руйнування окалини може відбутись при відносно малій величині середньої напруги. Енергія, яка підводиться до окалини, перетворюється в енергію деформації, яка накопичується в матеріалі, і в поверхневу енергію тріщини. При досягненні деякої критичної довжини при певній нарузі тріщина буде розповсюджуватись самовільно, оскільки при цьому сумарна енергія буде зменшуватись. Тріщини, розповсюджуючись і з'єднуючись між собою, утворюють макротріщину, яка розрихлює окаліну. Заключній стадії руйнування характерний ріст однієї з макротріщин, яка поглинає сусідні, утворюючи магістральну тріщину та поверхню руйнування.

Крихке руйнування окалини можливе мікрОВикришуванням, розколюванням та вириванням її окремих часток вздовж певних площин.

Оскільки процеси мікрODEформування відбуваються в мікрооб'ємах нерівномірно напруженого полікристалічного конгломерату, яким є окаліна, і саме руйнування зароджується в зонах, де ймовірність поєднання найбільшого підвищення напруги і зменшення міцності є найбільш високою, то очевидна статистична природа зародження, розвитку і заключних стадій втомленісного руйнування [4]. Це призводить до ймовірносної інтерпретації процесу крихкого руйнування – великого розсіювання чисел циклів навантажень, необхідних для утворення тріщин і руйнування, яке збільшується з наближенням амплітуди напруг до границі втоми.

Для проведення досліджень з вибору технологічних параметрів вібровідцентрового видалення окалини був проведений експеримент з очищення термооброблених зразків на експериментальній установці (рис. 2). Робоча камера об'ємом 3 л здійснює складні кутові коливання амплітудою 2...7 градусів і частотою 17...22 Гц, які передаються на масу завантаження. Під їхньою дією інгредієнти робочого середовища здійснюють інтенсивну циркуляцію, що створює умови для високопродуктивної обробки. Одночасно з коливальним,

маса завантаження здійснює і обертовий рух.



Рис. 2. Експериментальна вібраційна установка

Як робочі середовища використовувалися абразив, формований ПТ 15x15, та абразив природний „Байкаліт” з розміром гранул: 15... 20 мм. В якості технологічної рідини застосовувався 2-відсотковий розчин кальцинованої соди, який залишалася у робочій камері на весь цикл обробки.

Технологічними параметрами, які варіювалися при проведенні експериментальних досліджень, були кутова амплітуда коливань, їхня частота, час обробки, ступінь заповнення робочої камери технологічною рідиною.

Параметрами, які варіювалися при проведенні експериментальних досліджень, були кутова амплітуда коливань, їхня частота, час обробки, ступінь заповнення робочої камери технологічною рідиною.

Критерієм оцінки продуктивності процесу було вибрано вагове видалення окалини з поверхні зразка. Кількість видаленої окалини фіксувалося за допомогою аналітичних ваг ВЛА-200 через кожні 15 хвилин обробки шляхом відбирання з камери трьох зразків (на їх місце завантажувалися аналогічні зразки-баласти) до 60 хвилин обробки.

Для досліджень були підготовлені зразки зі сталі 45 циліндричної, призматичної та кубічної форми з шорсткістю поверхні $R_z=20$ мкм. Після обробки різанням зразки пройшли подвійну термічну обробку – гартування (температура 840 °С, охолодження у воді) та високе відпускання (600 С, охолодження на повітрі).

Аналізуючи залежність видалення окалини від часу обробки (рис. 3), очевидним є те, що чим більша тривалість дії абразивних гранул на окалину, тим вищу отримаємо в результаті продуктивність обробки. Цей факт не викликає сумніву при будь-якій механічній обробці. Деякою особливістю є те, що переважне видалення окалини відбувається на початковій стадії обробки, що пояснюється відділенням на початку процесу більших уламків окалини.

А ось залежність продуктивності обробки залежно від кутової амплітуди (рис. 4) пояснюється таким. При малих амплітудах відносно переміщення абразивних гранул і оброблюваних деталей дуже мале. У цьому випадку видалення окалини незначне. При збільшенні амплітуди коливань робочої камери до 5...7 градусів зростає і відносно переміщення абразивних гранул і оброблюваних деталей, що сприятливо відображається і на видаленні окалини. Подальше збільшення амплітуди небажане, адже контакт гранули з поверхнею деталі набуває ударного характеру, що погіршує якість поверхні і підвищує динамічні навантаження на механізм приводу. А у в діапазоні 5...6 градусів відцентрова і вібраційна складові сил дії гранул на поверхню деталі збалансовані, що створює оптимальні умови для якісного очищення деталей від окалини. Незначна різниця в обробці різними гранулами пояснюється, очевидно, кращими різальними властивостями формованого абразива.

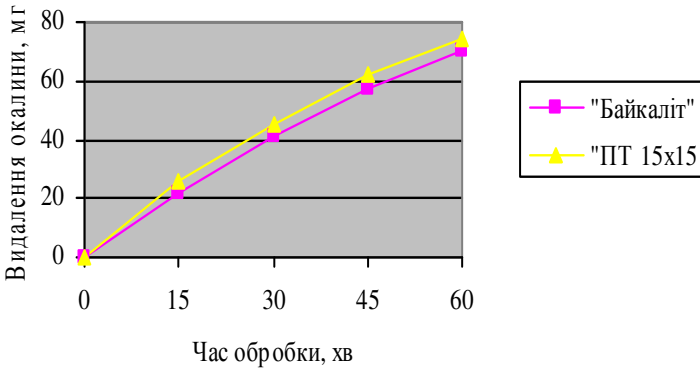


Рис. 3. Вплив часу обробки на видалення окалини

Представлені в роботі результати досліджень показали, що:

– вібровідцентрове видалення окалини з поверхні деталей представляє собою багатофакторний процес, інтенсивність якого залежить від параметрів обробки та властивостей окалини. В основі механізму лежить спільна дія на окалину механічної енергії гранульованого робочого середовища і фізико-хімічна дія технологічної рідини;

- перевагами вібровідцентрового видалення окалини є збільшення продуктивності і зниженні трудомісткості обробки, поліпшенні умов праці, зниження енергетичних витрат.

На подальших етапах досліджень потрібно виконати такі задачі:

– встановити закономірності руху робочого середовища та деталей у робочій камері;

- розробити математичну модель контактної взаємодії абразивних гранул

з оброблюваними поверхнями окалини та деталі для прогнозування отримання заданих параметрів поверхневого шару на основі взаємозв'язку технологічних режимів і конструктивних параметрів вібровідцентрових установок;

- виконати експериментальні дослідження впливу технологічних факторів на якісні характеристики поверхневого шару і оцінити адекватність запропонованих математичних моделей;

- розробити рекомендації з регламентації технологічних режимів і умов вібровідцентрової ОЗО деталей і впровадити результати досліджень у виробництво.

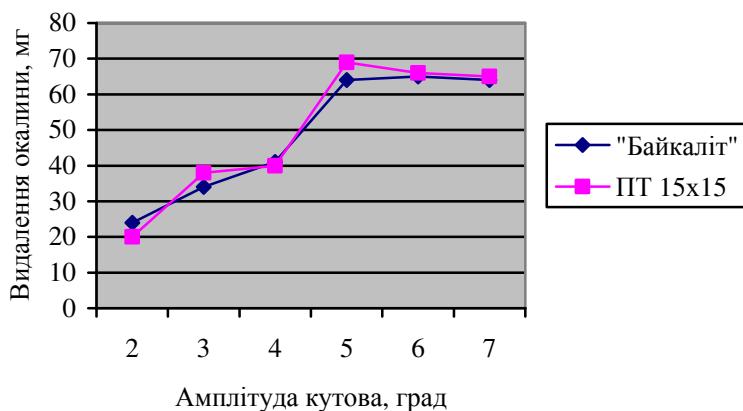


Рис. 4. Вплив кутової амплітуди на видалення окалини

1. Бабичев А. П. Вибрационная обработка в абразивной среде. – М. : Машиностроение, 1968. – 180 с.
2. А. П. Бабичев. Состояние отделочно-зачистной обработки в России // Вопросы вибрационной технологии: Межвуз. сб. науч.ст. – Ростов н/Д. : Издательский центр ДГТУ, 1996. – С. 3-6.
3. А. П. Бабичев, И. А. Бабичев. Перспективные направления развития вибрационной технологии// Вопросы вибрационной технологии: Межвуз. сб.науч. статей. – Ростов н/Д. : Издательский центр ДГТУ, 2000. – С. 3-11.
4. Виноградов В. Н. Изнашивание при ударе. – М. : Машиностроение, 1982 – 192 с.
5. Эванс Ю. Р. Коррозия и окисление металлов. – М. : Машгиз, 1962. – С. 856.
6. Северденко В. П. Тепловая деформация металлов. – Минск : 1978. – 202 с.
7. Пікула М. В. Теоретичні дослідження міцності зчеплення окалини з металом. В кн. "Вісник Рівненського державного технічного університету. Збірник наукових праць. Вип.2. Рівне, РДТУ, 2000. – С. 157-161.
8. Пікула М. В. Теоретичні аспекти вібраційного очищення деталей від окалини в ремонтній технології. В кн. "Вісник Рівненського державного технічного університету. Збірник наукових праць". Вип. 2. Ч. 3. – Рівне, РДТУ, 1999. – С. 166-169.

Рецензент: к.т.н, професор Марчук М. М. (НУВГП)