

визначено кращий варіант розміщення окислених кварцитів кар'єру № 3 РУ ГД ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Варіант з розширенням автовідвалу № 4, у зрівнянні з існуючим варіантом розміщення окислених руд, дає можливість зменшити витрату енергоресурсів на 38%. Крім цього запропонована технологічна схема складування окислених кварцитів дозволяє значно знизити відстань транспортування окисленої руди без відчуження додаткових сільськогосподарських земельних площ. Тобто будуть використовуватися земельні площі, які вже порушені гірничими роботами. При цьому є можливість підтримання продуктивності кар'єру за рудою на найближчу перспективу. У заключному етапі досліджень необхідно виконати оцінку впливу на оточуюче середовище запропонованого варіанту розміщення окислених кварцитів, вилучення яких необхідне для підтримки продуктивності кар'єру № 3 на досягнутому рівні.

Список літератури

1. Михайлов А.М. Влияние основных параметров и схем отвалообразования на эффективность использования земельного отвода / А.М.Михайлов, А.Г.Темченко, В.Г.Щека, П.С.Трушин // Респ. межведом. научн.-техн. сб. «Разработка рудных месторождений». – 1983. – Вып.35. – С.69-74.
2. Методические указания по расчету устойчивости несущей способности отвалов / Под ред. Г.Л.Фисенко. Л.: 1981. – 126 с.
3. Николашин Ю.М. Методика контроля состояния устойчивости отвалов в сложных горнотехнических условиях / Ю.М.Николашин, Ю.Н.Куцый, Н.В.Гайдукова // Разработка рудных месторождений: Научн.-техн. сборник. – 2004. – Вып.85. – С.134-137.
4. Несмашний Є.О. Збільшення ємності зовнішніх відвалів Інгулецького гірничо-збагачувального комбінату / Є.О.Несмашний, В.С.Кравець, Г.І.Ткаченко // Вісник Криворізького технічного університету: Зб. наук. праць. – 2005. – Вип.9. – С.7-9.
5. Ткаченко Г.И. Прогнозирование и оценка состояния устойчивости внешних отвалов с помощью имитационного моделирования // Разработка рудных месторождений: Научн.-техн. сборник. – 2007. – Вып.91. – С.99-102.
6. Николашин Ю.М. Маркшейдерское и геомеханическое обеспечение безопасного наращивания отвалов смешанных пород на слабом основании / Ю.М.Николашин, Д.А.Шевченко, Н.В.Гайдукова // Вісник Криворізького технічного університету: Зб. наук. праць. – 2005. – Вип.9. – С.47-51.
7. Максимов О.В. Моделирование поверхонь сквозанния для оцінки стану стійкості багатоярусних зовнішніх відвалів / О.В.Максимов, Г.І.Ткаченко // Вісник Криворізького технічного університету: Зб. наук. праць. – 2005. – Вип.8. – С.7-11.
8. Несмашний Є.О. Розроблення фізико-математичної моделі скошування бутів гірської породи з породних відкосів / Є.О.Несмашний, Г.І.Ткаченко, К.В.Герасимова // Гірничий вісник: Зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2020. – Вип.107. – С.101-106.
9. Євтехов В.Д. Природні й техногенні чинники стійкості гірничих масивів кар'єрів Північного ГЗК / В.Д.Євтехов, О.С.Демченко, Г.І.Єременко, Є.В.Євтехов, С.В.Саженєв // Гірничий вісник: Зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2022. – Вип.110. – С.72-79.
10. Ткаченко Г.І. Фізико-математична модель утворення поверхні зсуву в зовнішніх відвалах залізничних кар'єрів / Г.І.Ткаченко // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг, 2011. – Вип.28 – С.65-70.
11. Перегудов В.В. Перспективи переробки окислених руд Криворізького басейну на прикладі кар'єру ПАТ «ІнгЗК» / В.В.ПЕРЕГУДОВ, І.Є.Григор'єв, А.Ю.Гук, Ю.І.Григор'єв // Гірничий вісник: Зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2022. – Вип.110. – С.9-13.
12. Темченко А.Г. Ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва / А.Г.Темченко // Кривий Ріг: «Мінерал», 2000. – 216 с.
13. Григор'єв І.Є. Визначення основних методичних принципів ціле направленої формування техногенних родовищ при комплексному освоєнні надр / Григор'єв І.Є., Григор'єв Ю.І., Усачов В.Е., Євтушенко М.С. // Зб. наук. праць НГУ, 2019. – Вип.56. – С.18-28.

Рукопис подано до редакції 21.04.2023

УДК 621.9.022.1

Л.А. БУГАЙ, ст. викладач, Криворізький національний університет

ЗНИЖЕННЯ ТРУДОЄМКОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ПРОДУКЦІЇ З ВИСОКОМАРГАНЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Мета. Метою даної роботи є аналіз методів та засобів зниження трудомісткості операцій механічної обробки деталей з високомарганцевих сталей гірничо-збагачувального обладнання, а саме – визначення оптимальних режимів різання, періоду стійкості ріжучої крайки ріжучого інструменту при різних умовах обробки.

Методи дослідження. Були проведені дослідження стійкості змінних твердосплавних пластин з урахуванням різних факторів процесу різання. Результати роботи по оптимізації режимів різання, що застосовуються для обробки зносостійких високомарганцевих сталей отримані шляхом теоретичних і експериментальних досліджень. Теоретичні дослідження полягають у визначенні параметрів та шляхів оптимізації процесу механічної обробки. Експериментальні дослідження засновані на комплексному вивченні взаємозв'язку режимів різання, геометрії ріжучого інструменту з різними умовами обробки деталі броні конусної дробарки.

Наукова новизна. У результаті проведених досліджень були отримані дані про стан параметрів якості обробленої поверхні заготовок, що виготовлені зі зносостійких високомарганцевих сталей при обробці збірними різцями з різними інструментальними матеріалами та державками. Виявлені оптимальні режими різання при найбільшому періоді стійкості ріжучої крайки для пластин з різних сплавів на різних проходах. Досліджено залежності режимів різання від застосовуваного ріжучого матеріалу та геометричних параметрів різців.

Практичне значення. Термічна обробка сталі 110Г13Л впливає на її структуру. Для поліпшення обробки різанням виробів зі сталі 110Г13Л, її піддавали довгостроковому нагріванню. Структура сталі, ставала менш в'язкою і піддавалась різанню твердосплавним інструментом. Плазмово-механічна обробка покращує механічну обробку виробів зі сталі 110Г13Л, але має небезпечний вплив на стан верстатника. Високих результатів набули різці з механічним кріпленням пластин з кубічного нітриду бору (КНБ) вітчизняних та закордонних виробників.

Проведені дослідження дозволили з високою точністю визначити період стійкості різальних крайок змінних твердосплавних пластин і зробити їх порівняльний аналіз для раціонального використання часу і фінансових ресурсів. Встановлені раціональні режими різання та геометричні параметри різців.

Результати. Встановлено, що використання запропонованого ріжучого інструменту німецької корпорації «HANN – KOLB» дозволило скоротити трудомісткість механічної обробки деталей зі зносостійких високомарганцевих сталей майже до 5 разів.

Ключові слова: високомарганцеві сталі, режими різання, твердосплавні пластини, стійкість, трудомісткість обробки.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Для виготовлення деталей металургійного, гірничо-видобувного та гірничого обладнання Криворізького басейну, що працюють в умовах ударного стирання, застосовується сталь 110Г13Л. Сталь 110Г13Л відносяться до аустенітного класу, має специфічні властивості, які пов'язані з механічною обробкою, також сталь має високий зміст вуглецю і легована марганцем. При кристалізації, сталь дуже стійка і не зазнає евтектоїдного перетворення, бо має решітку гранецентрованого кубу (ГЦК). При виплавці сталі 110Г13Л додається феромарганець, який містить до 0,5% фосфору та 13% марганцю, що призводить до фосфідної евтектики, яка знижує усі механічні властивості сталі. Для типового представника аустенітних сталей, сталь 110Г13Л має високу в'язкість, пластичність при досить великій міцності. При низькій твердості сталь 110Г13Л має незвичайно високу зносостійкість при терті з тиском та ударами. Це вказує на зміцнення аустеніту при пластичній деформації в процесі роботи, що призводить до наклепу. Сталь 110Г13Л має підвищену здатність до наклепу набагато більшу, ніж сталі звичайні з такою твердістю. Висока пластичність сталі аустенітного класу проявляється також і в механічних показниках при збільшенні величин відносного подовження та поперечного звуження. У результаті наклепу збільшується опір зносу, що призводить до важкої обробки різальними інструментами. Вважається, що висока міцність сталі 110Г13Л при пластичній деформації обумовлена тим, що деформація здійснюється шляхом механічного двійникування аустеніту. Саме при цих явищах відбувається рух дислокацій, але вони призводять до релаксації внутрішніх напружень, запобігаючи локалізації пластичної деформації і утворенню тріщин. Тому зміцнення не приводить до крихкості і сталь добре працює при ударному навантаженні. Мала теплопровідність оброблюваного матеріалу призводить до підвищення температури в зоні контакту, а також до активізації явищ адгезії та дифузії, інтенсивного схоплювання контактних поверхонь і руйнування ріжучої частини інструменту. Ці явища не дозволяють у ряді випадків використовувати при обробці сталі 110Г13Л недостатньо міцні інструментальні матеріали. На погане тепловідведення при обробці сталі 110Г13Л, основне значення мають охолоджувальні властивості МОР. Підвищена здатність до стирання сплавів аустенітного класу викликає необхідність застосовувати інструментальні матеріали з високою міцністю, а також повинні мати високу зносостійкість. Знижена вібростійкість руху різання, обумовлена високим зміцненням сталі при нерівномірності протікання процесу пластичного деформування. Вібрації призводять до перемінних силових і теплових навантажень на робочі поверхні інструменту та руйнівальних процесів викришування ріжучих крайок інструментів. Термічна обробка теж впливає на оброблюваність сталі 110Г13Л.

різанням. Термічна обробка загартуванням, погіршує її оброблюваність, а температурні параметри призводить до фазових перетворень, які зміцнюють сплав. Після аналізу проблем які плинуть на процес механічної обробки різання, необхідно виявити шляхи зниження трудомісткості обробки сталі 110Г13Л [2,3, 13].

У сучасному машинобудуванні наявність високопродуктивного обладнання, різального інструменту, прийнятих оптимальних режимів різання, які не завжди забезпечують виготовлення виробу з високою ефективністю, але вони також впливають на технічні та економічні показники виробництва. Трудомісткість є одним із основних показників [технологічності](#) виробу, тому її зниження - одне з найважливіших етапів обробки сталі 110Г13Л, що поширено використовуються при виготовленні деталей броні конуса дробарок (рис.1).

Рис.1. Деталь броні конуса дробарки

Аналіз досліджень і публікацій. Високомарганцеві сталі характеризуються високою ступеню зміцнення під дією контактних навантажень, що призводить до низької оброблюємості різанням. В інституті найтвердіших матеріалів ім. В.М.Бакуля НАН України для обробки сталі 110Г13Л розробили пластини круглої форми із полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНТМ) на основі полікристалічного кубічного нітриду бора «Кіборіт», які дозволяють ефективно обробляти різні поверхні, як по корці, так і після її видалення. Режими різання при точінні поверхні по корці такі: швидкість різання 1,20-1,67 м/с, подача 0,3-0,4 мм/об і глибина різання 8-9 мм, а стійкість різця складала 120-180 хвилин. Торцева



поверхня з нерівними від плазмового різання літників оброблялась зі швидкістю різання 0,7-0,8 м/с, з подачею 0,25-0,35 мм/об і глибиною різання 6-7 мм, а стійкість інструменту складала 60-90 хвилин. Повна обробка конусної дробарки зі сталі 110Г13Л була виконана інструментом з пластинкою круглою формою RNUN 190700T. Період стійкості таких пластин становив 10-12. Обробка проводилась без ЗОР і введення в зону різання додаткових видів енергії. В порівнянні інструменту з твердосплавними пластинами при обробці сталі 110Г13Л, обробка пластинами з полікристалічного кубічного нітриду бора (ПКНБ) показала, що в 5-7 разів підвищилась продуктивність обробки сталі 110Г13Л і в 2-3 рази стійкість інструменту у порівнянні з обробкою твердосплавними різцями [5]. У роботі [4] представлені методи з інтенсифікації механічної обробки деталей із сталі 110Г13Л, а саме: підігрівання поверхні заготовки, охолодження поверхонь заготовки до наднизьких температур та попереднє пластичне деформування поверхонь заготовки. Після аналізу основних фізико-механічних властивостей сталі 110Г13Л були виявлені специфічні відмінності у механізмі деформування і руйнування цієї сталі, показані фактори, що ускладнюють механічну обробку високомарганцевих сталей. Перспективним напрямком вирішення вищевикладеної проблеми є застосування комбінованої обробки поверхонь деталей, виготовлених із сталі 110Г13Л, що полягає у попередній обробці пластичним деформуванням в напрямку, протилежному подальшій пластичній деформації, що виникає при обробці різанням. Саме цей напрям (ефект Баушингера – це зменшення опору кристалічного матеріалу пластичному деформуванню після попередньої малої пластичної деформації протилежного знаку, тобто виявом не пружності матеріалу в зоні переходу до пружно-пластичних деформацій), призводить до розміцнення поверхневих шарів сталі, що може призвести до зменшення зусиль різання і, з'являється можливість збільшити режими різання і відійти в певній мірі спрацювання від адгезії.

Велику номенклатуру металорізального інструменту в машинобудуванні складають інструменти, оснащені пластинами з твердих сплавів. Основним критерієм для змінних твердосплавних пластин виступає їх стійкість. Стійкість пластини – це здатність матеріалу, з якого вона виготовлена, зберігати свої фізичні властивості в певний період часу [1,5-12, 14,15]. Період стійкості змінних твердосплавних пластин залежить від марки твердого сплаву, її геометрії, матеріалу покриття, а також від умов різання. Застосування раціональних параметрів обробки і правильне застосування інструменту зі змінними пластинами неможливо без всебічного вивчення та проведення виробничих випробувань. Максимальне зниження трудомісткості меха-

нічної обробки сталі 110Г13Л буде досягнє при використанні сучасних інструментальних матеріалів, а також визначені оптимальних параметрів режиму різання.

Постановка задачі. Дослідження стійкості змінних твердосплавних пластин з урахуванням різних факторів процесу різання при обробці сталі 110Г13Л, коли відмова інструменту може привести до непоправного браку, є актуальним завданням. Тому метою даної роботи є аналіз зниження трудомісткості механічної обробки сталі 110Г13Л. Сформульована мета роботи обумовила необхідність розв'язання такої задачі, як визначення оптимальних режимів різання при найбільшому періоді стійкості ріжучої крайки пластини різця при різних умовах обробки сталі 110Г13Л.

Виклад матеріалу і результати. Сталь Гадфільда марки 110Г13Л згідно з ДСТУ 8781:2018 має такі механічні характеристики: $\sigma_B = 800 \dots 1000$ МПа, $\sigma_T = 250 \dots 400$ МПа, $\delta = 35 \dots 45\%$, $\psi = 40 \dots 50\%$, 170...230 НВ, КСЧУ = 1,6...2,1 МДж/м².

Структура сталі 110Г13Л представляє собою зерна аустеніту з карбідом, який виділився по границях зерен, оточеними феромагнітним трооститом. Сталь з такою неоднорідною структурою не має великої в'язкості та погано опирається зношенню. Для підвищення в'язкості і надання більшої схильності до наклепування виробу зі сталі підлягають закалюванню від 1100-1150 °С з охолодженням у воді. При такому нагріванні карбіди марганцю переходять у твердий розчин, а при швидкому охолодженні вони не встигають виділитись і мікроструктура сталі стає гомогенною аустенітною, без карбідів і троостита. Твердість сталі 110Г13Л після загартування не перевищує 200НВ, але в процесі відпускання при 300-600 °С завдяки перетворенню аустеніту в мартенсит твердість збільшується і при 450 °С досягає максимальної 400НВ. При подальшому нагріванні мартенсит починає розпадатись на феритно-цементитну суміш і твердість знижується. Для поліпшення оброблюваності різанням виробу зі сталі 110Г13Л піддавали довгостроковому нагріванню при 550-600 °С. Після такої обробки сталь набувала структури сорбіта, ставала менш в'язкою, менше наклепувалась і піддавалась різанню твердосплавним інструментом. На машинобудівних підприємствах Кривбасу для обробки високомарганцевих сталей тиривали час поширене використання пластин металорізального інструменту з твердого сплаву ВК8. Після необхідної механічної обробки виріб знову загартовували на аустеніт. Для масивних відливок, які використовуються в гірничому машинобудуванні тривалість витримки при температурах до 600 °С складала десятки годин, що неприйнятно в заводських умовах.

Для покращення механічної обробки застосовується плазмово-механічна обробка (ПМО), що складається з комплексного розміцнення поверхні різання перед різцем стиснутою електричною дугою плазмотрона при роботі на токарних і карусельних верстатах. Плазмово-механічна обробка дає можливість підвищити швидкість різання, подачу та підвищити стійкість різців з твердосплавними пластинами у 3-4 рази. Недоліком плазмової обробки є супроводження процесу різання сильним світловим випромінюванням, значним шумом, виділенням шкідливих металічних парів.

Для подальшого підвищення продуктивності і зниження трудомісткості механічної обробки деталей з високомарганцевих сталей 110Г13Л освоєна високошвидкісна чистова обробка різцями з механічним кріпленням змінних пластин з кубічного нітриду бора (КНБ). При механічній обробці інструментом з КНБ виявили наступну закономірність - чим вище твердість оброблюваного матеріалу, тим суттєво проявляються переваги зі зносостійкості і ріжучим якість різців з пластин з полікристалів КНБ. Лезовий інструмент із полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНТМ) на основі нітриду бора BN здатний замінити дефіцитний вольфрам, що входить в твердий сплав пластин при обробці марганцевих сплавів на технологічних операціях чорнових, напівчистових та чистових, забезпечуючи високу якість і продуктивність обробки за рахунок використання високих швидкостей різання. Дослідження показали що при точінні броні зі сталі 110Г13Л інструментом з КНБ зусилля різання набагато нижчі, ніж при обробці різцями ВК8 (майже на порядок), що дозволяє збільшити строк служби унікальних верстатів моделей 1540, SC-43, БСД50. Недоліком для широкого впровадження різців з пластинами з КНБ є наявність ливарних раковин при чорновій обробці по кірці та недостатньої жорсткості верстатів. Різці викришуються і для подальшого використання в роботі непридатні.

У машинобудівній галузі для механічної обробки важкооброблюємих матеріалів велика кількість фірм пропонують свої новітні розробки в області обробки високомарганцевих сталей.

Випробовування проводились на токарно-карусельному верстаті моделі 1540. Об'єктом до-

слідження обрані деталі броні конуса дробарки, які виготовлені з високомарганцевих сталей марки 110Г13Л. Були проведені дослідження зношення (стійкості) збірних різців з механічним кріпленням пластин виробництва німецької корпорації «НАНН – KOLB», при обробці виробів з високомарганцевих сталей марки 110Г13Л. В якості об'єкта дослідження для визначення оптимальних режимів різання були обрані змінні ріжучі пластини з CBN форми RNMN190700 німецької корпорації «НАНН – KOLB». Стійкість даних пластин та визначення оптимальних режимів різання були досліджені при чорновій, напівчистовій та чистовій обробці деталей броні конусної дробарки.

Результати випробовувань та оптимальні режими різання при найбільшому періоді стійкості ріжучої крайки для пластин з різних сплавів на різних проходах приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати досліджень, та оптимальні режими різання

Показники	Чорновий прохід	Напівчистовий прохід	Чистовий прохід
Ріжуча пластина	RNMN190700		
Тип сплаву	WG250		WG200
Державка різця	DRGNR4040P19KC07		DRGNR4040P19KC07
Оптимальні режими різання			
Швидкість різання (V), м/хв	70-80		100-120
Подача (S), мм/об	0,3-0,4		0,4-0,5
Глибина різання (t), мм	0,5-1,0		0,1-0,3
Середня стійкість ріжучої кромки (T), год.	30		30

Аналізуючи період стійкості ріжучих крайок пластин різців, що досліджувались при обробці деталей броні конусної дробарки в середньому в 1,7 разів вище, ніж при обробці різцями з напаяними пластинами ВК8. Оптимальні режими різання, що приведені в табл. 1, можливо корегувати у процесі напрацювання досвіду в роботі. Використання ріжучого інструменту, різців з механічним кріпленням пластин круглих форм німецької корпорації «НАНН - KOLB», дозволило скоротити трудомісткість виготовлення розглянутих деталей зі сталі 110Г13Л, данні приведені в табл. 2.

Таблиця 2

Порівняння трудомісткості обробки деталей

Деталь, що оброблюється	Операції	Трудомісткість обробки, н/год		Зниження трудомісткості (кількість разів)
		напаяні різці ВК8	складальні різці «НАНН - KOLB»	
Броня конусної дробарки	Обробка токарна деталі	45,8	9,2	4,98

Висновки та напрямки подальших досліджень. Зроблені дослідження дозволили визначити період стійкості різальних крайок змінних твердосплавних пластин і зробити їх порівняльний аналіз для раціонального використання часу і фінансових ресурсів. Зокрема встановлені раціональні режими різання при обробці поверхонь деталей ріжучими пластинами з CBN RNMN190700 німецької корпорації «НАНН – KOLB». Використання запропонованого ріжучого інструменту німецької корпорації «НАНН - KOLB» дозволило скоротити трудомісткість механічної обробки деталей броні конусної дробарки майже до 5 разів, які виготовлені зі сталі 110Г13Л,

Список літератури

1. Беженар М.П. Матеріали на основі кубічного нітриду бору. НАН України, НТШ. – К.: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2018.
2. Пахольок А.П. Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали: [підруч. для студ. вищ. навч. закл.] / А.П.Пахольок, О.А.Пахольок. — Львів: Світ, 2005. — С.172
3. Хільчевський В.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів //Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О., Лопатько К.Г. К.: Либідь, 2002. — С.328
4. Федотська Л. П. [Сучасний стан і перспективні методи обробки високомарганцевих сталей](#) // Вісник КДІТУ. Випуск 6/2006 (41). Ч. 1. С. 31—37.
5. Клименко С.А. Точение деталей из труднообрабатываемых материалов инструментом, оснащенным ПСТМ. // Клименко С.А., Копейкина М.Ю., Мановицкий А.С., Мельничук Ю.А., Манохин А.С. НАН Украины Киев. – К: Институт сверхтвердых материалов, 2011, выпуск 14 – С.504-507.

6. Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Рычков Д.А. Методика сравнительного анализа конструкций сборного режущего инструмента. Механика XXI века. 2009. №8.
7. Яцун Е.И., Кудряшов Е.А., Смирнов И.М., Павлов Е.В. Совершенствование инструментального обеспечения процессов точения конструктивно сложных деталей. СТИН. 2017, №9. С.23-28.
8. Захаренко П. В. Технологические особенности механической обработки инструментом из поликристаллических сверхтвёрдых материалов. // Захаренко П. В., Волкогон В. М., Бочко А. В. и др. К., 1991;
9. Шульженко А. А. Синтез, спекание и свойства кубического нитрида бора. // Шульженко А. А., Божко С. А., Соколов А. Н. и др. К., 1993;
10. Новиков Н. В. Киборит: получение, структура, свойства, применение // Новиков Н. В., Шульженко А. А., Беженар Н. П. и др. СМ. 2001. № 2;
11. J. Barry, G. Akdogan, P. Smyth et al. Application areas for PCBN materials // Industrial Diamond Rev. 2006. Vol. 66, № 3;
12. Беженар Н. П. Кубический нитрид бора, материалы на его основе // Неорг. материаловедение. Материалы и технологии. К., 2008. Т. 2, кн. 1;
13. Алієв І. С., Беженар М. П., Бейгельзімер Я. Ю. та ін. Наукоємні технології одержання матеріалів та виробів, включно наноструктурних, з новим рівнем показників якості // Фізика и техника высоких давлений. 2011. Т. 21, спецвып.;
14. Туркевич В. З., Беженар Н. П., Петруша И. А. Сверхтвёрдые композиционные материалы на основе кубического нитрида бора // Физ.-тех. пробл. современ. материаловедения. К., 2013. Т. 2.
15. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ.навч. закладів] / М.П.Мазур, Ю.М.Внуков, В.Л.Доброскок, В.О.Залога, Ю.К.Новосьолов, Ф.Я.Якубов; під заг. ред. М.П.Мазура. – 2-е вид. перероб. і доп. – Львів: Новий світ 2000, 2001. – С.422.

Рукопис подано до редакції 24.04.2023

УДК 622.7: 534

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., Криворізький національний університет
Н.В. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., Львівський національний університет ім. Івана Франка
С.М. ГРИЩЕНКО, канд. пед. наук, ст. дослідник, Державний податковий університет
І.А. ГАПОНЕНКО, канд. техн. наук, наук. співробітник,
А.А. ГАПОНЕНКО, Є.Ю. БОБРОВ, аспіранти, Криворізький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО АКУСТИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Метою дослідження є моделювання процесів електромагнітного акустичного перетворення для конструювання безконтактного із досліджуванним середовищем ультразвукового вимірювального каналу.

Методи дослідження. У роботі використані методи аналізу вітчизняного та зарубіжного досвіду, методи математичного та імітаційного моделювання, а також методи математичної статистики і теорії ймовірності для формування оцінки результатів дослідження.

Наукова новизна полягає у дослідженні механізмів електромагнітного акустичного перетворення для формування ультразвукових пружних хвиль.

Практичне значення полягає в обґрунтуванні застосування електромагнітних акустичних перетворювачів для визначення фізико-механічних властивостей феромагнітної гірської породи.

Результати. У феромагнітних провідних матеріалах одночасно присутні три механізми акустичного перетворення: сила Лоренца, магнітострикційна сила і сила намагнічування. Звичайний електромагнітний акустичний перетворювач складається з джерела постійного магнітного поля, джерела змінного магнітного поля та деякого обсягу досліджуваної середовища, де відбуваються процеси перетворення енергії електромагнітного поля в енергію пружних коливань його частинок. Конструкція та конфігурація зазначених джерел визначають режими перетворення для формування різних типів хвиль, таких як поздовжні та поперечні об'ємні хвилі, збуджувані перпендикулярно поверхні зразка похилі поперечні хвилі та спрямовані моди (включаючи складні для збудження горизонтальної поляризації). Амплітуда та частота пружних ультразвукових коливань, сформованих електромагнітним способом, при розповсюдженні їх у гірському масиві залежить від вмісту та структури розподілу феромагнітного компонента, фізико-механічних характеристик та стану досліджуваної середовища, тобто мінералогічних структурно-текстурних особливостей порід, що його складають. Цей процес обумовлений поглинанням та розсіюванням енергії ультразвукових хвиль і відповідно несе інформацію щодо середовища розповсюдження. Моделювання зазначеної процедури вимірювань відбувалось у два етапи: спочатку визначалися особливості формування магнітного поля у феромагнітній гірській породі під впливом електромагнітного імпульсу, а потім імітувалася генерація ультразвукових сигналів у досліджуваній середовищі та вплив на їх характеристики випадкових збурень. Запропонований підхід дозволяє дослідити метод неруйнівного безконтактного вимірювання характеристик феромагнітних гірських порід.

Ключові слова: електромагнітний акустичний перетворювач, моделювання, руда, феромагнітний компонент.