

АНОТАЦІЯ

Тарган Д.В. Підвищення якості мітчиків із швидкорізальної сталі магнітно-абразивним методом. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2021.

В дисертаційній роботі розроблено науково-практичні засади підвищення параметрів якості та роботоздатності мітчиків із швидкорізальної сталі за рахунок використання на фінішних етапах їх виготовлення методу магнітно-абразивного оброблення (МАО). Визначено технологічні режими та умови оброблення мітчиків, що забезпечують якісне рівномірне та продуктивне полірування робочих поверхонь, формування мікро- та макрогеометрії різальних кромки, видалення завусенок, мікроконцентраторів напружень у вигляді задирок, виривів матеріалу, отриманих на попередніх операціях виготовлення різального інструменту робочих поверхнях та підвищення фізико-механічних властивостей поверхневих шарів.

Вперше розроблено геометричну та математичну модель МАО мітчиків з кутом профілю 60° незалежно від діаметру на верстатах з кільцевим розташуванням робочої зони, що враховує особливості взаємодії оброблюваних поверхонь з магнітно-абразивним інструментом (МАІ) та дозволяє визначити раціональні умови оброблення для прогнозованого забезпечення мікрогеометрії робочих поверхонь і фізико-механічних властивостей поверхневого шару інструменту. Встановлено закономірності впливу умов розташування мітчиків в робочій зоні верстату на ефективне оброблення їх робочих поверхонь з урахуванням утворення тіньових зон та зон «перекривання» зубцями мітчика в процесі МАО.

Вперше встановлено особливості впливу умов MAO на показники експлуатаційної стійкості, характер зносу робочих поверхонь мітчиків із швидкорізальної сталі в лабораторних умовах та умовах реального виробництва.

Визначено вплив умов MAO на мікроструктурні характеристики, поверхневу твердість робочих елементів і на зміну твердості по глибині матеріалу мітчиків.

Проаналізовано фінішні методи оброблення осьового різального інструменту. Розглянуто літературні джерела, в яких описані особливості оброблення мітчиків та способи підвищення їх роботоздатності.

Розроблено метод розрахунку кількісної оцінки дій квазістабільних об'ємів MAI на робочі поверхні мітчиків під час оброблення. Визначено особливості процесу MAO мітчиків в робочих зазорах кільцевого типу в залежності від особливостей їх базування в зоні оброблення. Встановлено, що за результатами розрахунків можна виконувати прогнозування вірогідного впливу базування мітчиків в робочій зоні на якість оброблення їх робочих поверхонь. Визначено, що інтегральна інтенсивність оброблення за нормальною складовою IV_n та тангенціальною складовою IV_t збільшуються рівномірно при збільшенні кутових швидкостей для всіх варіантів базування мітчиків в робочій зоні верстату. Показано, що при кутах нахилу мітчиків до площини робочої зони верстату $p = 20-60^\circ$ обробляються лише точки, близькі до вершин, на вершинах зубців та на забірному конусі. Тобто, MAO мітчиків при $p = 20-60^\circ$ є недоцільним, тому що частина поверхонь знаходиться в зоні «перекривання», де відсутній активний процес взаємодії з MAI. Ефективне MAO мітчиків доцільно виконувати за умов їх розташування під кутом $p = 60-90^\circ$ до площини робочої зони верстату.

Експериментальні дослідження проводили на мітчиках M12×1,75-6H, M10×1-6H, M10×1,5-6H, M6×0,75-6H з прямими стружковими канавками, M10×1,5-6H з підточуванням передньої поверхні, M10×1,5-6H з гвинтовими стружковими канавками, виготовленими із швидкорізальної сталі P6M5 різних

виробників для нарізання метричної різьби, які представляють основну частину даного інструменту на виробництві.

Оброблення мітчиків виконували на дослідно-промисловому магнітно-абразивному верстаті, виготовленому на базі вертикально фрезерного верстату типу ОЦ – Іжевськ та на модернізованому верстаті ЛФ-260 із спеціальними головками, які забезпечують різні варіанти розташування мітчиків в робочій зоні та режими оброблення.

Для МАО мітчиків використовували порошки отримані методом диспергування розплавів Поліам-Т з розміром зерен 200/160 мкм, 400/315 мкм, Поліам-М 400/315 мкм, Царамам 630/400 мкм та розпилений порошок швидкорізальної сталі ПР Р6М5 з зернистістю 200/160 мкм. В якості МОТС використовували АСФОЛ, який складається з синтетичних та рослинних масел.

Вимірювання шорсткості поверхні виконували на спеціальному модулі, зібраному на основі профілометра моделі 296 та профілографі-профілометрі 252. Контролювали величину параметру шорсткості Ra на робочих поверхнях та на хвостовику мітчиків.

Визначення поверхневої твердості робочої частини мітчиків виконували на мікротвердомірі ПМТ-3 з різними навантаженнями на індентор на задній поверхні зубців. Дослідження мікроструктури виконували на растрово-електронному мікроскопі РЭМ-106И.

Вимірювання мікрогеометричних характеристик різальних кромки мітчиків виконували на оптичному приладі *MikroCAD*, який дозволяє визначати форму та величину радіусів округлення різальних кромки в необхідних перерізах. Для визначення впливу МАО на точність мітчиків, контролювали зміну зовнішнього діаметру різьби. Вимірювання точності виконували на установці для розмірного налаштування та вимірювання різальних інструментів Venturion 450/6. Дослідження силових характеристик при експлуатації мітчиків проводили на вертикально – свердлильному верстаті із застосуванням універсального динамометра УДМ-600, котрий приєднано через узгоджувальний пристрій до електронно-обчислювальної машини. Вимірювання

зносу зубців мітчика проводили на інструментальному мікроскопі ММІ-2. Вимірювали максимальну величину зносу по задній поверхні від різальних кромки. При дослідженнях експлуатаційної стійкості мітчиків, за критерій стійкості було прийнято знос по задній поверхні на рівні 0,3 мм. Саме така величина зносу достатня для забезпечення точності нарізаної різьби, яку контролювали різбовою калібром-пробкою.

Встановлено, що найкращий результат чистоти робочих поверхонь отримано магнітно-абразивним порошком Полімам-Т. Шорсткість на задній поверхні зменшилася з $Ra = 0,57$ мкм до $Ra = 0,4$ мкм, а на передній поверхні з $Ra = 0,13$ мкм до $Ra = 0,1$ мкм. МАО порошком Полімам-М 400/315 мкм та Царамам 630/400 мкм не призводить до зміни шорсткості на задній та передній поверхнях інструменту.

Для зменшення шорсткості на передній поверхні ефективно проводити оброблення з мінімально допустимим кутом нахилу мітчиків до площини робочої зони $p = 60-70^\circ$. При таких кутах базування, шорсткість на передній поверхні досліджуваних мітчиків зменшили до $Ra = 0,1-0,2$ мкм, на задній – до $Ra = 0,5-0,6$ мкм. Для максимального зменшення шорсткості на задніх поверхнях слід проводити МАО при вертикальному розташуванні мітчиків до площини робочої зони верстату. В такому випадку шорсткість на задній поверхні зменшується до $Ra = 0,1-0,2$ мкм, на передній – до $Ra = 0,2-0,4$ мкм. Доведена можливість контрольованої та прогнозованої зміни величини шорсткості робочих поверхонь мітчиків із швидкорізальної сталі в процесі МАО.

За результатами досліджень встановлено, що МАО мітчиків при $p = 60-70^\circ$ сприяє збільшенню величини радіусів округлення різальних кромки до 20-35 мкм, в результаті чого збільшується період стійкості мітчиків. На формування величини радіусів округлення різальних кромки суттєвий вплив має саме тангенціальна складова інтенсивності оброблення, тому після МАО з кутами $p = 80-90^\circ$ радіуси округлення кромки інструменту майже не змінюються.

При МАО з раціональними кутами нахилу мітчиків до площини робочої зони верстату $p = 60-90^\circ$ можливе зменшення поверхневої твердості мітчиків до

10%, що пов'язано з видаленням дефектного шару матеріалу та утворенням підшарового максимуму.

Встановлено, що після МАО під поверхнею знаходиться зона з відносно зниженою мікротвердістю, що пов'язано з виходом на поверхню в процесі пластичного деформування дефектів матеріалу тонкого поверхневого шару та невеликим відтисненням дрібнодисперсних карбідів вглиб матеріалу. В поверхневому шарі мітчиків після МАО порошком Полімам-Т 400/315 мкм утворюється підшаровий максимум на глибині 8-12 мкм, а після оброблення Полімам-Т 200/160 мкм – на глибині 2-5 мкм. Наявність підшарового максимуму пов'язано з ударно-фрикційним впливом частинок порошкового інструменту з оброблюваною поверхнею. Ступінь наклепу поверхневого шару після МАО порошком Полімам-Т 400/315 мкм досягає 37%, а Полімам-Т 200/160 мкм – 26%, в той час як після шліфування за стандартною технологією – 19%.

Після МАО карбідні зерна в швидкорізальній сталі мітчиків подрібнюються під час ударної взаємодії з МАІ, підвищується їх дисперсність, що сприяє формуванню більш однорідної структури сталі, підвищенню твердості, зносостійкості. Величина карбідів в шарі глибиною до 150 мкм у мітчиків після МАО на 25-30% менша ніж в необроблених. Дрібні дисперсні карбіди розташовані щільніше та рівномірніше після оброблення порошком Полімам-Т 400/315 мкм, що можна пояснити більшою енергією, яка передається поверхневому шару матеріалу в процесі ударно-фрикційної взаємодії частинок МАІ з оброблюваною поверхнею. Залишкові напруження та зростання щільності дислокацій в приповерхневому шарі спричиняють подрібнення карбідів матеріалу на значній глибині від поверхні основи та зменшення їх розмірів на 10%.

Доведено, що МАО мітчиків, при правильно підібраній тривалості процесу, не призводить до критичної зміни діаметрів, що в процесі експлуатації може призвести до бракування деталей. Встановлено, що різке зменшення діаметру відбувається в перші 3-6 хв оброблення. Причиною цього є видалення завусенок з вершин зубців та дефектів після шліфування, а також заокруглення

різальних кромок інструменту. Для мітчиків M12 та M10 за перші 3-6 хв МАО зовнішній діаметр в середньому зменшився на 20 мкм, для мітчиків M6 – на 15 мкм. Зменшення діаметру при МАО мітчиків циклічно повторюється, що можна пояснити циклічною зміною фізико-механічних властивостей тонких поверхневих шарів матеріалу інструменту та їх періодичним видаленням.

МАО мітчиків в результаті позитивного комплексного впливу на мікрогеометрію, радіуси округлення різальних кромок, структуру та твердість матеріалу робочої частини інструменту приводить до зменшення крутного моменту при нарізанні різьби у 2 рази, з $M_{max} = 27$ Н·м до $M_{max} = 16$ Н·м. Після МАО у мітчиків відсутнє різке збільшення сил при врізанні інструменту, що суттєво впливає на підвищення стійкості як окремих зубців так і всієї робочої частини.

Проведені дослідження впливу методу МАО мітчиків на їх стійкість показали, що даний метод фінішного оброблення при раціональних умовах забезпечує підвищення стійкості в 2 – 3 рази. Найбільший знос по задній поверхні зафіксовано на 2 та 3 зубцях, тому що вони сприймають найбільше навантаження в процесі нарізання різьби. Найкращі результати отримано при МАО з використанням магнітно-абразивного порошку Полімам-Т з оскольчатою формою частинок та при $\rho = 70^\circ$, оскільки при такому розташуванні майже відсутні зони «перекривання» і всі поверхні піддаються комплексному впливу методу.

Фінішний метод МАО забезпечує зменшення вірогідності повного руйнування мітчиків при експлуатації більш ніж у 2 рази в порівнянні з необробленими, що знижує фінансові витрати на інструмент, бракування деталей та підвищення продуктивності виробництва.

Результати роботи по застосуванню запропонованої технології підвищення якості та роботоздатності мітчиків із швидкорізальної сталі було використано на підприємстві «Група компаній «Веда», що дозволило знизити їх витрати у 1,5-2 рази. Проведено спільні дослідження і отриманні результати роботи використано на фірмі ZOM Oberflächenbearbeitung GmbH, Німеччина, що

дозволило виконувати прогнозоване оброблення мітчиків та отримати необхідні параметри їх якості. Результати роботи впроваджено в навчальний процес кафедри інтегрованих технологій машинобудування при викладанні курсу «Методи та обладнання для підвищення працездатності різального інструменту».

Ключові слова: мітчик, магнітно-абразивне оброблення, інтегральна інтенсивність оброблення, шорсткість, твердість, радіуси округлення різальних кромки, міцність, стійкість, роботоздатність.

ABSTRACT

Dmytro Tarhan. Improving the quality of high-speed steel taps by magneto-abrasive machining. Qualification scientific manuscript copyright.

Thesis for the scientific degree of the doctor of philosophy, the field of study 13 – Mechanical engineering, program subject area 133 – Industrial machinery engineering. National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2021.

The scientific and practical bases of increase of parameters of quality and working capacity of high-speed steel (HSS) taps at the final stages of their manufacturing by magneto-abrasive machining (MAM) were developed in the work. Technological modes and conditions of taps machining were determined, which provide high-quality uniform and productive polishing of working surfaces, the formation of micro- and macrogeometry of cutting edges, removal of burrs, microconcentrators of stresses in the form of burrs, material defects obtained in previous operations and improvement of physico-mechanical properties of surface layers.

Geometric and mathematical models of MAM of taps with a profile angle of 60° regardless of the diameter were developed for the first time on machines with a circular arrangement of the working area. Which takes into account the features of the

interaction of the machined surfaces with the magneto-abrasive tool (MAT) and allows determining the rational machining conditions for the predicted provision of microgeometry of working surfaces and physico-mechanical properties of the tool surface layer. Regularities of influence of conditions of the arrangement of taps in a working zone of the machine on effective machining of their working surfaces taking into account the formation of "shadow" and "overlapping" zones in MAM process were established.

The features of the influence of MAM conditions on the indicators of operational stability, the nature of wear of the working surfaces of HSS taps in laboratory conditions and the conditions of real production were established for the first time.

The influence of MAM conditions on microstructural characteristics, the surface hardness of working elements and on change of hardness on the depth of material of taps were defined.

Finishing methods of machining of the axial cutting tool were analyzed. The literature sources were considered in which features of machining of taps and ways of increase of their working capacity were described.

The method for calculating a quantitative estimate of the influence of quasi-stable volumes of MAT on the working surfaces of taps during machining was developed. The peculiarities of the MAM process of taps in the circular type working gaps depending on features of their basing in the working area were defined. Was established that according to the results of calculations, it is possible to predict the influence of the taps basing in the working area of the machine on the quality of machining of their working surfaces. It was determined that the integral machining intensity for the normal component IV_n and the tangential component IV_τ increase uniformly with increasing angular velocities for all variants of taps basing in the working zone of the machine. Only points close to tops, on tops of teeth and a cone are machined at angles of inclination of taps to the plane of a working zone of the machine $p = 20-60^\circ$. MAM of taps is impractical at $p = 20-60^\circ$ because part of the surfaces is in an "overlapping" area, where there is no active process of interaction with MAT.

Effective MAM of taps should be performed under the conditions of their location at an angle $p = 60-90^\circ$ to the plane of the working area of the machine.

Experimental research was performed on taps M12×1,75-6H, M10×1-6H, M10×1,5-6H, M6×0,75-6H with straight chip grooves, M10×1,5-6H with grinded rake face, M10×1,5-6H with screw chip grooves of various manufacturers. Taps made of high-speed steel brand "P6M5" for cutting metric threads, which are the main part of this tool in production.

Machining of taps was performed on an experimental-industrial magneto-abrasive machine made on the basis of a vertical milling machine type "ОЦ – ІЖЕВСЬК" and on an upgraded machine "ЛФ-260" with special heads that provide different options for the basing of taps in the working area and machining modes.

The powders Polyam-T with grain sizes of 200/160 μm , 400/315 μm , Polymam-M 400/315 μm , Tsaramam 630/400 μm and sprayed powder of high-speed steel PR R6M5 200/160 μm were used for MAM of taps. As a lubricating-cooling fluid was used "АЦФОЛ", which consist of synthetic and plant oils.

Surface roughness measurements were performed on a profilometer model 296 and profilometer model 252. The value of the roughness parameter Ra on the working surfaces and the shank of the taps was controlled.

Determination of the surface hardness of the working part of the taps was performed on a microhardness tester "ИИМТ-3" with different loads on the indenter on the flank surface of the teeth. Studies of the microstructure were performed on the electron microscope "РЭМ-106И".

Measurement of microgeometric characteristics of the cutting edges of the taps was performed on an optical device MikroCAD, which allows determining the shape and magnitude of the radius of cutting edges rounding in the required cross sections. The outer diameter of the thread was controlled to determine the effect of MAM on the accuracy of the taps. Accuracy measurements were performed on installation for dimensional adjustment and measurement of cutting tools Venturion 450/6. Research of power characteristics during tapping was carried out on the vertically-drilling machine with the use of the universal dynamometer "УДМ-600", which is connected

to PC. Measurement of wear of the tap's teeth was performed on an instrumental microscope "ММН-2", and the maximum amount of wear on the flank surface from the cutting edges was measured. In studies of the operational stability of the taps, the criterion of stability was taken as the wear on the flank surface at the level of 0.3 mm. This amount of wear is sufficient to ensure the accuracy of the thread cutting, which was controlled by a thread plug gauge.

The best roughness of working surfaces is obtained by magnetic abrasive powder Polimam-T. The roughness on the flank surface decreased from $Ra = 0.57 \mu\text{m}$ to $Ra = 0.4 \mu\text{m}$, and on the rake surface from $Ra = 0.13 \mu\text{m}$ to $Ra = 0.1 \mu\text{m}$. MAM with powder Polyam-M 400/315 μm and Tsaram 630/400 μm does not change the roughness on the flank and rake surfaces of the tool.

To reduce the roughness on the rake surface it is effective to carry out machining with the minimum allowable inclination angle of the taps to the plane of the working area $p = 60-70^\circ$. At such basing angles, the roughness on the rake surface of the studied taps was reduced to $Ra = 0.1-0.2 \mu\text{m}$, on the flank to $Ra = 0.5-0.6 \mu\text{m}$. For the maximum reduction of roughness on flank surfaces, it is necessary to carry out MAM at the vertical arrangement of taps to the plane of a working zone of the machine. In this case, the roughness on the flank surface decreases to $Ra = 0.1-0.2 \mu\text{m}$, on the rake – to $Ra = 0.2-0.4 \mu\text{m}$. The possibility of controlled and predicted changing of the roughness of the working surfaces of HSS taps in the MAM process was proved.

According to the results of the research was established that MAM of the taps at $p = 60-70^\circ$ increases the value of the radius of cutting edge rounding to 20-35 μm . The tangential component of the integrated machining intensity has a significant effect on the formation of the value of the radius of cutting edge rounding, so after MAM with angles $p = 80-90^\circ$ the radius of cutting edge rounding of the tool almost do not change.

At MAM with angles of inclination of taps to the plane of a working zone of the machine $p = 60-90^\circ$ reduction of surface hardness of taps to 10% is possible. This is due to the removal of the defective layer of material and the formation of a sublayer maximum.

It is established that after MAM there is a zone with relatively reduced microhardness under the surface. This is due to the rising on the surface during the process of plastic deformation of the defects of the material of the thin surface layer and a small displacement of fine carbides into the material. In the surface layer of the taps after MAM with powder Polimam-T 400/315 μm , a sublayer maximum is formed at a depth of 8-12 μm , and after machining with Polimam-T 200/160 μm – at a depth of 2-5 μm . The presence of the sublayer maximum is associated with the impact-friction effect of the powder tool particles with the machined surface. The degree of hardening of the surface layer after MAM with powder Polimam-T 400/315 μm reaches 37%, and Polimam-T 200/160 μm – 26%, while after grinding by standard technology - 19%.

After MAM carbide grains in high-speed steel of taps are crushed after MAM during impact interaction with MAT. This contributes to the formation of the more homogeneous structure, increase hardness and wear resistance. The size of carbides in the layer up to 150 μm deep in taps after MAM is 25-30% less than in untreated. Fine dispersed carbides are located denser and more evenly after machining with Polimam-T 400/315 μm powder. This can be explained by the higher energy transmitted to the surface layer of the material in the process of shock-friction interaction of MAT particles with the treated surface. Residual stresses and an increase in the density of dislocations in the near-surface layer cause the breaking of carbides of the material at a considerable depth from the surface of the base and a decrease in their size by 10%.

MAM of taps at the right duration of the process does not lead to a critical change of diameters, which during operation can lead to a defective of parts. A sharp decrease in diameter occurs in the first 3-6 minutes of machining. The reason for this is the removal of burrs from the tops of the teeth and defects after grinding, as well as the rounding of the cutting edges of the tool. Outer diameter decreased by an average of 20 μm for M12 and M10 taps and of 15 μm for M6 taps for the first 3-6 min of MAM. The decrease in the diameter of taps is repeated cyclically, which can be explained by the cyclic change of the physico-mechanical properties of the thin surface layers of the tool material and their periodic removal.

MAM of the taps reduces the torque in 2 times, from $M_{max} = 27 \text{ N}\cdot\text{m}$ to $M_{max} = 16 \text{ N}\cdot\text{m}$ as a result of a positive complex effect on the microgeometry, radiuses of cutting edge rounding, structure and hardness of the material of the working part of the tool. The taps do not have a sharp increase in forces after MAM, which significantly affects the stability of both individual teeth and all working part.

Studies of the effect of method of MAM the taps on their durability showed, that this method of finishing provides at rational conditions an increase the durability in 2-3 times. The greatest wear on the flank surface is recorded on the 2nd and 3rd teeth because they receive the greatest load in the process of tapping. The best results were obtained after MAM by using Polymam-T powder with the splintered shape of grains at $p = 70^\circ$. At such an arrangement there are almost no zones of "overlapping" and all surfaces are exposed to the complex influence of a method.

The finishing method MAM reduces the probability of complete failure of the taps during operation by more than 2 times compared to the not machined, which reduces the financial cost of the tool, the defective of parts and increase productivity.

The results of the work on the application of the proposed technology to improve the quality and efficiency of HSS taps were used at the enterprise "Group of the companies "VEDA", which reduced of taps costs by 1.5 to 2 times. Joint research was carried out and the obtained results were used at ZOM Oberflächenbearbeitung GmbH, Germany, which allowed to perform the predicted machining of the taps and obtain the necessary parameters of their quality. The results of the work were introduced into the educational process of the department of integrated technologies of mechanical engineering in teaching the course "Methods and equipment to improve the efficiency of the cutting tool".

Keywords: tap, magneto-abrasive machining, integral intensity of machining, roughness, hardness, radiuses of cutting edges rounding, durability, stability, efficiency.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

1. Вплив магнітно-абразивного оброблення на якість мітчиків із швидкорізальної сталі / В.С. Майборода, І.В. Ткачук, Д.Ю. Джулій, Д.В. Тарган. *Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні*. 2013. №772. С. 202-207. (Здобувачем виконано експериментальну роботу та аналіз впливу МАО на мікрогеометрію різальних кромок та поверхонь мітчиків.)

2. Майборода В.С., Тарган Д.В. Вплив магнітно-абразивного оброблення на мікрогеометрію та експлуатаційні показники мітчиків зі швидкорізальної сталі. *Процеси механічної обробки в машинобудуванні*. 2015. №15. С. 59-65. URL: <http://pmo.ztu.edu.ua/article/view/60746> (Здобувачем виконано експериментальну роботу по обробленні та експлуатації мітчиків, проведено вимірювання зносу зубців та аналіз результатів досліджень.)

3. Тарган Д.В., Майборода В.С., Джулій Д.Ю. Аналіз інтенсивності магнітно-абразивного оброблення мітчиків в залежності від кінематичних параметрів процесу. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Сучасні технології в машинобудуванні, транспорті та гірництві*. 2017. №106. С. 82-88. URL: http://visnikkrnu.kdu.edu.ua/statti/2017_5_82-88_5-2017.pdf (Здобувачем запропоновано геометричне та математичне моделювання процесу МАО мітчиків з кутом профілю 60° на верстаті з кільцевим розташуванням робочої зони та виконано аналіз впливу кута нахилу мітчика на інтенсивність оброблення.)

4. Майборода В.С., Тарган Д.В., Мусіюк О.Б. Магнітно-абразивне оброблення мітчиків із швидкорізальної сталі на верстаті з кільцевим розташуванням робочої зони. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем*. 2017. №40. С. 105-114. (Здобувачем виконано вимірювання мікрогеометрії та поверхневої твердості мітчиків, проаналізовано вплив вертикального розташування мітчиків в робочій зоні верстату на параметри їх якості.)

5. Тарган Д.В., Майборода В.С. Вплив магнітно-абразивного оброблення на твердість та структуру матеріалу мітчиків із швидкорізальної сталі. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2017. №61. С. 119-125. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu_2017_2_17 (Здобувачем запропонована методика дослідження твердості по глибині матеріалу робочої частини мітчиків, виконана експериментальна робота та аналіз результатів.)

6. Вплив магнітно-абразивного оброблення на якість шпонкових фрез із швидкорізальної сталі / В.С. Майборода, І.В. Слободянюк, Д.Ю. Джулій, Д.В. Тарган. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Технології в машинобудуванні*. 2018. №6(1282). С. 55-59. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/37216> (Здобувачем проведено експериментальні дослідження та аналіз впливу складу магнітно-абразивного інструменту на шорсткість та твердість робочих поверхонь.)

7. Вплив кінематики процесу магнітно-абразивного оброблення на параметри якості робочих поверхонь мітчиків із швидкорізальної сталі / Д.В. Тарган, В.С. Майборода, О.А. Плівак, Г.Г. Добровольський. *Вісник ЖДТУ*. Серія: *Технічні науки*. 2018. №81. С. 48-53. DOI: [https://doi.org/10.26642/tn-2018-1\(81\)-48-53](https://doi.org/10.26642/tn-2018-1(81)-48-53) (Здобувачем запропонована методика наглядної оцінки якості магнітно-абразивного оброблення поверхонь мітчиків в залежності від кута нахилу інструменту до площини робочої зони верстату та виконано аналіз результатів експериментальних досліджень.)

8. Influence of magneto-abrasive machining duration on the precision of hss taps / V. Maiboroda, D. Tarhan, O. Byelyayev, D. Dzhulii. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*. 2019. Vol. 96. P. 70–76. DOI: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2019.04.070 (Здобувачем виконано експериментальні дослідження та аналіз результатів вимірювання зовнішнього діаметру мітчиків.)

9. Features of magneto-abrasive machining of taps / V. Maiboroda, D. Tarhan, D. Dzhulii, I. Slobodianiuk. *Acta Mechanica et Automatica*. 2020. Vol. 14(1). 7 p. DOI: <https://doi.org/10.2478/ama-2020-0001> (Здобувачем

запропоновано метод оцінки інтенсивності оброблення, проведено розрахунки інтегральної інтенсивності MAO мітчиків та аналіз результатів. Визначено особливості процесу MAO мітчиків та запропоновано режими для їх ефективного оброблення.)

Роботи апробаційного характеру:

10. Майборода В.С., Ткачук І.В., Тарган Д.В. Магнітно-абразивне оброблення мітчиків, виготовлених із швидкорізальної сталі. *Прогресивні технології в машинобудуванні*: зб. наук. праць II-ої Всеукраїнської наук.-техн. конф. (м. Львів, 10-15 лютого 2014р). Львів, 2014. С. 38. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження та аналіз результатів вимірювання шорсткості та твердості)*

11. Тарган Д.В., Красновид Д.О. Умова вільного розміщення стружки в канавках мітчиків. *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї, наука, виробництво*: тези доповідей XIV Всеукраїнської мол. наук.-техн. конф. (27–31 жовтня 2014 р., м. Суми). Суми: СумДУ, 2014. С. 95-96. *(Здобувачем виконано аналіз конструктивних параметрів стружкової канавки мітчика.)*

12. Тарган Д.В., Красновид Д.О., Майборода В.С. Дослідження геометрії мітчиків із швидкорізальної сталі після магнітно-абразивного оброблення. Тези доповідей загальноунівер. наук.-техн. конф. молодих вчених та студ., присвяченої дню Науки. Секція "Машинобудування", підсекція Інтегровані технології машинобудування". Київ: НТУУ "КПІ", 2014. С. 89. *(Здобувачем проведено вимірювання зовнішнього діаметру мітчиків та визначено вплив MAO на зміну параметра.)*

13. Тарган Д.В., Майборода В.С., Бесарабець Ю.Й. Вплив магнітно-абразивного оброблення на якість мітчиків із швидкорізальної сталі. Тези доповідей загальноунівер. наук.-техн. конф. молодих вчених та студ., присвяченої дню Науки. Секція "Машинобудування", підсекція Інтегровані технології машинобудування". Київ: НТУУ "КПІ", 2014. С. 91-92. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження та аналіз результатів вимірювань*

радіусів округлення та шорсткості)

14. Тарган Д.В., Майборода В.С., Красновид Д.О. Вплив магнітно-абразивного оброблення на стійкість мітчиків із швидкорізальної сталі. Тези доповідей загальноунівер. наук.-техн. конф. молодих вчених та студ., присвяченої дню Науки. Секція "Машинобудування", підсекція "Інтегровані технології машинобудування". Київ: НТУУ "КПІ", 2015. С. 102. *(Здобувачем виконано експериментальну роботу по обробленні та експлуатації мітчиків, проведено вимірювання зносу зубців та аналіз результатів досліджень.)*

15. Тарган Д.В., Майборода В.С., Вовк В.В. Дослідження впливу підточування передньої поверхні на геометрію в процесі різання та стійкість мітчиків, виготовлених із швидкорізальної сталі. *Інновації молоді – машинобудуванню, секція "Інтегровані технології машинобудування": збірка матер. Всеукраїнської наук.-техн. конф. молодих вчених та студ. Київ: НТУУ "КПІ", 2016. С. 62-65. (Здобувачем виконано аналітичні розрахунки зміни кінематичних кутів мітчика в залежності від форми передньої поверхні та проведено експериментальні дослідження.)*

16. Тарган Д.В., Майборода В.С., Мусіюк О.Б. Вплив магнітно-абразивного оброблення на якісні характеристики мітчиків із швидкорізальної сталі. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матер. Міжнародної наук.-техн. конф. (30 травня – 1 червня 2017р). Краматорськ: ДДМА, 2017. С. 89. (Здобувачем проведено експериментальну роботу та визначено вплив вертикального розташування мітчиків в робочій зоні верстату на мікрогеометрію та фізико-механічні характеристики робочих поверхонь.)*

17. Тарган Д.В., Майборода В.С. Вплив магнітно-абразивного оброблення на твердість та структурні параметри матеріалу мітчиків. *Сучасні технології промислового комплексу: матер. міжнарод. наук.-практ. конф. (12-17 вересня 2017 р., випуск 3). Херсон: ХНТУ, 2017. С. 224-225. (Здобувачем запропонована методика дослідження твердості по глибині матеріалу робочої частини мітчиків, проведено вимірювання та аналіз результатів.)*

18. Мусіюк О.Б., Тарган Д.В., Майборода В.С. Магнітно-абразивне

оброблення мітчиків з вертикальним розташуванням в робочій зоні. Матер. Всеукраїнської наук.-техн. конф. молодих вчених та студ. «Інновації молоді – машинобудуванню 2017», секція «Інтегровані технології машинобудування». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 3 с. URL: <http://s-konf.mmi.kpi.ua/imm2017/paper/view/7904>. (Здобувачем виконано експериментальні дослідження.)

19. Мусіюк О.Б., Тарган Д.В., Майборода В.С. Дослідження твердості по глибині та структури матеріалу мітчиків після магнітно-абразивного оброблення. Матер. Всеукраїнської наук.-техн. конф. молодих вчених та студ. «Інновації молоді – машинобудуванню 2017», секція «Інтегровані технології машинобудування». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 3 с. URL: <http://s-konf.mmi.kpi.ua/imm2017/paper/view/7906>. (Здобувачем запропонована методика дослідження твердості по глибині матеріалу робочої частини мітчиків, проведено вимірювання твердості.)

20. Тарган Д.В., Майборода В.С., Джулій Д.Ю. Перекриття досліджуваної точки робочої частини мітчика при магнітно-абразивному обробленні. Матер. Всеукраїнської наук.-техн. конф. молодих вчених та студ. «Інновації молоді – машинобудуванню 2017», секція «Інтегровані технології машинобудування». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 2 с. URL: <http://s-konf.mmi.kpi.ua/imm2017/paper/view/7908>. (Здобувачем виконано графічне та математичне моделювання процесу MAO мітчиків та визначено зону «перекривання».)

21. Тарган Д.В., Майборода В.С., Слободянюк І.В. Дослідження градієнту магнітного поля в робочій зоні верстату для магнітно-абразивного оброблення. Матер. Всеукраїнської наук.-техн. конф. молодих вчених та студ. «Інновації молоді – машинобудуванню 2017», секція «Інтегровані технології машинобудування». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 2 с. URL: <http://s-konf.mmi.kpi.ua/imm2017/paper/view/7910>. (Здобувачем виконано вимірювання магнітної індукції в робочій зоні верстату та аналіз результатів замірів.)

22. Особливості формування магнітно-абразивного інструменту /

І.В. Слободянюк, В.С. Майборода, Д.Ю. Джулій, Д.В. Тарган. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матер. Міжнародної наук.-техн. конф. (29-31 травня 2018 р). Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 80. (Здобувачем виконано експериментальні дослідження.)

23. Тарган Д.В., Майборода В.С. Вплив розташування мітчиків в робочій зоні верстату на параметри якості їх робочих поверхонь при магнітно-абразивному обробленні. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем*: матер. тез доповідей VIII міжнародної наук.-практ. конф. (м. Чернігів, 10–12 травня 2018 р.): у 2-х т. Чернігів: ЧНТУ, 2018. Т. 1. С. 137-138. (Здобувачем виконано експериментальні дослідження та визначено вплив кута нахилу мітчиків на параметри якості інструменту.)

24. Тарган Д.В., Майборода В.С., Слободянюк І.В. Експериментальне визначення зон «перекривання» зубців мітчика при магнітно-абразивному обробленні. Матер. Всеукраїнської наук.-техн. конф. молодих вчених та студ. «Інновації молоді – машинобудуванню 2018». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 2с. URL: <http://s-konf.mmi.kpi.ua/imm2018/paper/view/13352>. (Здобувачем запропонована методика оцінки інтенсивності оброблення робочих поверхонь мітчиків та проведено експериментальні дослідження.)

25. Вплив магнітної індукції на швидкість обертання деталей / Д.В. Тарган, І.В. Слободянюк, Д.Ю. Джулій, В.С. Майборода. *Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво*. Матер. міжнародної наук.-практ. конф. (31 жовтня — 02 листопада 2018 р). Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 179-181. (Здобувачем виконано аналіз результатів вимірювань швидкості обертання.)

26. Вплив магнітно-абразивного оброблення на точність мітчиків М12 із швидкорізальної сталі / Д.В. Тарган, В.С. Майборода, І.В. Слободянюк, Д.Ю. Джулій. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матер. Міжнародної наук.-техн. конф. (4-7 червня 2019 р). Краматорськ: ДДМА, 2019. С. 114. (Здобувачем виконано експериментальні дослідження та аналіз результатів вимірювань.)

