

УДК 621.9.048

ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЗЛИПАННЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВІБРАЦІЙНІЙ ОБРОБЦІ

Ніколаєнко А.П., Шумакова Т.О., Романченко О.В.,
Таванюк Т.Я., Логунів О.М.

SOLVING PROBLEM OF STICKINESS OF DETAILS WHILE VIBRATING PROCESSING

Nikolaienko A., Shumakova T., Romanchenko A., Tavanyuk T., Logunov O.

У статті розглянуто проблеми, які обмежують використання вібраційної обробки дрібних деталей та визначено, що злипання таких деталей є головною причиною цих обмежень. Запропоновані шляхи вирішення проблеми злипання дрібних плоских деталей при обробці в U-подібному контейнері вібраційного верстата. Проведені експериментальні дослідження впливу якості робочого розчину на злипання деталей та обґрунтовано підвищення в'язкості розчину з метою ліквідації даної проблеми.

Ключові слова: вібраційна обробка; розширення технологічних можливостей; фінішна обробка дрібних деталей; робоче середовище; робочий розчин; коефіцієнт тертя; металлофільність робочих розчинів.

Вступ. У сфері металообробки на такі операції як зняття заусенців й облоя, притуплення гострих крайок, на шліфування й полірування поверхонь деталей, а також при підготовці деталей до різних видів гальванопокриття приходиться велика кількість ручної праці [1, 2, 3, 4]. Механізувати ці малопродуктивні операції можливо із застосуванням віброабразивної обробки деталей. Цей метод дає можливість скоротити час обробки деталей за рахунок одночасної обробки значної кількості деталей [1, 5, 6].

Аналіз досліджень і публікацій. Багато існуючих досліджень віброабразивної обробки направлені на підвищення продуктивності та ефективності застосування даного методу. Одним із шляхів інтенсифікації процесу є уніфікація технології вібраційної обробки для різних типів деталей, що оброблюються. Для пропонується об'єднання різних деталей у групи по подібних ознаках, що дозволяє обробляти їх за єдиними технологічними процесами [1, 7, 8].

Дослідженнями, які проведені раніше [7], стверджується, що у віброверстатах доцільно обробляти деталі з масою від 50 до 3000 г.

За аналізами результатів експериментів авторами [7, 8] був зроблений висновок про доцільність розбивки деталей на групи залежно від маси:

1. від 50 до 250 г.;
2. від 250 до 750 г.;
3. від 750 до 1500 г.;
4. від 1500 до 3000 г. і більше.

Одним з факторів, що має певний вплив на перебіг технологічного процесу, є, на їхню думку, габарити деталей, тому при групуванні враховувалося, що збільшення габаритів і збільшення маси взаємозалежне (що насправді не однозначно).

Авторами [1, 7, 8] були зроблені розбивки на групи за наступними розмірами:

1. до 40 мм;
2. від 40 до 90 мм;
3. від 90 до 180 мм;
4. понад 180 мм.

З наведених класифікацій видно, що питанню вібраційної обробки дрібних деталей не приділено достатньо уваги. В той же час, обробно-зачисні операції дрібних деталей масою від 0,3 до 20г, найбільший габаритний розмір – 30 мм виконуються вручну або за допомогою засобів малої механізації, що не відповідає вимогам сучасного виробництва. Використання вібраційної обробки таких груп деталей стискається з рядом проблем. Дрібні плоскі деталі складної конфігурації збираються в пакети, що важко піддаються обробці, тобто злипаються, в результаті чого поверхні ряду деталей залишаються необробленими. При підйомі робочого середовища вгору в U-подібному контейнері з нижнім розташуванням вібробудника відбувається і налипання деталей на стінки контейнера [7].

Для ліквідації даної проблеми можна запропонувати декілька шляхів. Це може бути розробка конструкцій пристосувань, або управління ампліту-

дно-частотними характеристиками верстата, що будуть сприяти зміні тиску робочого середовища.

Попередньо необхідно отримати уявлення про діючі в робочому середовищі сили. Робоче середовище представляє собою псевдорідину, що володіє властивостями пружності та дисипації енергії при передачі імпульсу. Для вивчення та моделювання процесів обробки в контейнері вібраційного верстата використовуються реологічні моделі, в яких робоче середовище представлена як система елементів пружності та демпфування [9-12].

Мета досліджень. Вирішення проблеми злипання дрібних деталей при вібраційній обробці. Проведення аналізу сил адгезії та сил тертя в робочому середовищі для подальшої розробки засобів рішення проблеми злипання.

Експериментальні дослідження сил, що діють в робочому середовищі. З метою визначення сили зсуву для подолання адгезії проводилися багаторазові вимірювання за класичною схемою (рис. 1) викладеної в роботі [8]. В ході експериментальних досліджень визначалися сили тертя в спокої і сили тертя в відносному русі.

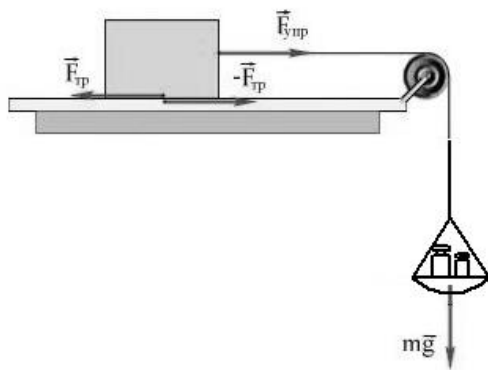


Рис. 1. Кінематична схема визначення коефіцієнта тертя

Для цього було виготовлено пристрій, що складається з площини, покритої гумою, яка застосовується для покриття контейнера або зі сталі, з якої створюються вироби. На цю площину встановлювався зразок, з'єднаний з чашкою, на яку укладався вантаж, який врівноважував конструкцію.

Для визначення величини коефіцієнта тертя в русі були проведені аналогічні досліди, при яких на дно чаші приладу для випробувань підвішувалася на гнучкому шнурі друга додаткова чаша. При цьому випробуваний зразок починав переміщення по напрямних під дією сумарної маси гирь, що розподілялися на обох шальках так, щоб після дотику нижньої чаші до підлоги тривало рівноважний рух зразка під дією маси гирь, що лежать на верхній чашці. Таким чином, сума мас гирь на обох шальках і власної маси нижньої чаші повинна відповідати силі тертя в спокої, а маса гирь на одній верхній чаші – силі тертя в відносному русі.

У якості піддослідних зразків використовувалися паралелепіпеди розмірами 35x34x20 зі сталі

Ст45, масою 178,145 м з шорсткістю $Ra = 0,45$ і розмірами 40x30x10 зі сталі Ст3, масою 91,6782 р з шорсткістю $Ra = 0,71$. Відомо, що діюча в контейнері сила мікроудару становить 15 ... 30 Н, а контактний тиск - 1,5 ... 150 Мпа [6]. Отже, для здійснення зсуву злиплених виробів необхідно долати дані величини, так як вони направлені не тільки на зрушення виробів при косому ударі, але і на стиск зразків при прямому ударі. Використання зразків таких мас обумовлено тим, що в контейнері на деталі чиниться тиск стовпом гранул, який бере участь в коливальному процесі. Експеримент проводився в умовах сухого і вологого тертя о гумове покриття і по матеріалу (сталь по сталі).

Вимір сили тертя в спокої і сили тертя в відносному русі проводилося через інтервали часу в 1, 2, 5, 15, 30 секунд. Для обробки результатів вимірювань використовувалися статистичні методи з урахуванням випадкових похибок, які підтвердили достовірність результатів в межах 95% -них довірчих інтервалів.

Результати експериментальних досліджень. Результати експериментального дослідження показали, що в умовах вологого тертя сила, необхідна для зсуву зразка досягає величин майже в два рази більші, ніж в умовах сухого тертя. Це пояснюється тим, що вологий зразок прилипає до дотичної з ним поверхні, і починають превалювати сили адгезії, які сприяють збільшенню початкового опору зрушенню. Також сили тертя в спокої і сили тертя в відносному русі збільшуються зі збільшенням часу контактування досліджуваного зразка з гумою або з металевою поверхнею [5]. При підйомі робочого середовища вгору при обертанні вала дебалансного вібробудника проти годинникової стрілки, швидкість руху знижується на 30%, що призводить до зависання деталей під точці, що обертається, аж до 30 секунд і більше.

Із результатів експериментальних досліджень також видно, що сили тертя в покої та сили тертя у відносному русі при контакті поверхонь двох зразків в умовах тертя по вогкій поверхні в 1,5 рази більше, ніж в умовах сухого тертя.

Злипання дрібних деталей особливо плоских, з яких найбільш складно видаляти задирки традиційними методами, залишається невирішеною задачею. Це гальмує обробку даного типу деталей не тільки на вібраційних верстатах з U-подібною формою контейнера, але і в тороїдальних контейнерах, а також при відцентрово-ротаційній обробці [8].

Для вирішення проблеми злипання деталей треба вдосконалити робоче середовища, в якому відбувається процес вібраційної обробки в U-подібному контейнері. Інструмент-робоче середовище, складається з твердих частинок у вигляді сталевих кульок або абразивних гранул і рідини - робочого розчину. В основному в якості робочого розчину використовується вода. Для підвищення продуктивності вібраційної обробки можуть використовуватися різні хімічно-активні розчини. Наприклад,

для шліфування сталевих деталей, використовується розчин шавлевої кислоти, перекису водню, сірчаної кислоти. До складу розчину для полірування сталевих деталей часто входить сода кальцинована, триетаноламін, олеїнова кислота, їдкий калій [1, 2].

Робочий розчин повинен володіти відповідними властивостями, а саме малим поверхневим натягом, задля забезпечення змочування поверхонь оброблюваних деталей, що сприяє рівномірній обробці. Однак для ліквідації або зниження злипання деталей потрібні протилежні властивості. Оптимуму можна досягти, шляхом регулювання в'язкості робочого розчину, від якої залежить товщина плівки, що утворюється на поверхні оброблюваних деталей. Одночасно в'язкий шар збільшує площу зони контакту, за рахунок чого розширюється дія прикладеної сили на деформовану поверхню. Це дозволить одночасно деформувати більшу кількість гребінців мікронерівностей, знижуючи шорсткість поверхні, і в той же час знижувати адгезійні властивості, і, відповідно, злипання деталей.

В'язкість робочого середовища проявляється при відносному русі сусідніх шарів рідини, що позначатися на русі одного зразка щодо іншого, та впливає на відносний циркуляційний і пошаровий рух деталей або гранул відносно один одного в сусідніх шарах.

Вплив в'язкості на процес злипання деталей на розглянемо прикладі звичайних поверхнево-активних миючих засобів (ПАР), що володіють досить високою щільністю і в'язкістю, на прикладі «Gala». Для цього проводився експеримент, в ході якого зразок рухався по металевій поверхні з попередньо нанесеним ПАР. Схема взаємодії контактуючих поверхонь мала такий вигляд (рис. 2). В даному випадку слід розглядати вже не рух виробу по виробу, а рух одного шару рідини по іншому, так як товщина плівки значно вище. Рідина під дією капілярних сил прилипла до зразка, який рухався по її поверхні, тягнучи за собою частину рідини. Швидкість в шарі рідини, що прилипла до зразка, змінюється пропорційно величині z .

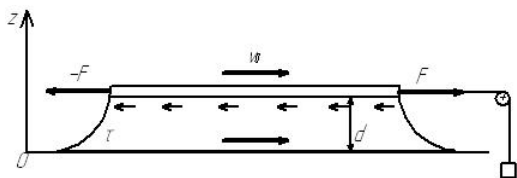


Рис. 2. Рух зразка

Стационарне рух встановлюється, коли швидкість пластинки v_0 стає постійною. За цієї умови сума всіх дотичних сил τ , з якими рідина діє на зразок, точно дорівнює по абсолютній величині рушійну силу F . Результати визначення коефіцієнту тертя при таких характеристиках ПАР представлені в таблиці 1 та значно відрізняється від визначених в попередніх дослідженнях [1].

Таблиця 1

Результати визначення опору зрушенню зразка зі сталі 45, масою 178,145 г при терті об поверхню з нанесеним миючим засобом

№ п/п	Умови	Час, с	Сила 1	Коефіцієнт тертя у спокої	Сила 2	Коефіцієнт тертя у русі
1	Волога поверхня	1	8,2	0,04603 ±0,0025	6,2	0,0348 ±0,0023
2	Волога поверхня	15	6,6	0,0370 ±0,0012	4,8	0,0269 ±0,0057
3	Волога поверхня	30	7	0,0392 ±0,0016	4,8	0,0269 ±0,0013

Коефіцієнти тертя в спокої і в русі при терті зразка зі сталі 45, масою 178,145 г по гумовій поверхні і по металевому покриттю, представлені в табл. 2, 3.

Таблиця 2

Визначення опору оброблюваного зразка зсуву при терті по гумовому покриттю

№ п/п	Умови	Час, с	Сила 1	Коефіцієнт тертя у спокої	Сила 2	Коефіцієнт тертя у русі
2	Волога поверхня	1	129,5	0,7269 ±0,0054	119,5	0,6708 ±0,0055
5	Волога поверхня	15	134,9	0,7572 ±0,0045	128	0,7185 ±0,0057
6	Волога поверхня	30	146,45	0,8221 ±0,0087	128,45	0,7210 ±0,0104

Таблиця 3

Результати визначення опору зсуву при терті о металеву поверхню

№ п/п	Умови	Час, с	Сила 1	Коефіцієнт тертя у спокої	Сила 2	Коефіцієнт тертя у русі
2	Волога поверхня	1	8,39	0,4710 ±0,0046	6,68	0,3749 ±0,0057
5	Волога поверхня	15	8,76	0,4917 ±0,0071	7,615	0,4275 ±0,0318
6	Волога поверхня	30	9,145	0,5133 ±0,0267	7,41	0,4159 ±0,0112

Коефіцієнти тертя зразка по вологому гумовому покриттю, що імітує процес тертя зразка о гумову стінку контейнера, в середньому в 20 разів перевищують коефіцієнти тертя при застосуванні ПАР, а сили зсуву – в 1,5 - 2 рази більше, ніж дані сили при застосуванні ПАР.

Коефіцієнти тертя зразка по металевому покриттю, що імітує контакт зразків при обробці, в середньому в 10 - 15 разів перевищують коефіцієнти

тертя при застосуванні ПАР, а сили зсуву – в 1,2 – 1,3 рази більше, ніж дані сили при застосуванні ПАР.

Тобто застосування поверхнево-активних миючих засобів значно зменшує зусилля, необхідні для зсуву порівняно з розчинами на водній основі.

Експериментальні дослідження металлофільності робочих розчинів. Висока металлофільність розчинів дозволяє забезпечити хорошу змочуваність деталей поверхнево активними речовинами, що дозволить зменшити сили адгезії при обробці плоских виробів в контейнері. Це буде одним з варіантів вирішення проблеми злипання і налипання оброблюваних деталей в першу чергу на операціях видалення облоя, знежирення, полірування.

Для визначення металлофільності робочих розчинів, що використовуються при вібраційній обробці застосовувався один з найбільш надійних статистичних методів вимірювання поверхневого натягу, метод лежачої краплі.

Суть даного методу полягає у вимірі кута контакту краплі розчину і поверхні зразка. Для цього розчин наносився крапельним методом на поверхню, вироблялося фотографування краплі після 1 і 5 секунд. Потім в програмному середовищі САПР Компас 3D проводилася обробка отриманих фотографій і вимір кута контакту (рис. 3).

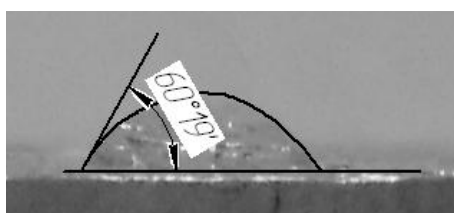


Рис. 3. Приклад вимірювання крайового кута краплі розчину

Форма краплі дозволяє визначити рівень змочування поверхні. Мірою змочування служить крайовий кут θ між поверхнею, що змочується, і поверхнею рідини на периметрі змочування: значення кута $\theta < 90^\circ$, свідчить про те, що рідина змочує поверхню, а значенням $\theta > 90^\circ$ – не змочується. Крайовий кут залежить від співвідношення сил зчеплення молекул рідини з молекулами або атомами змочуваного тіла (адгезія) і сил зчеплення молекул рідини між собою (когезія). Якщо молекули рідини притягуються один до одного сильніше, ніж до молекул твердого тіла, рідина прагне зібратися в крапельку. Якщо ж, навпаки, молекули рідини притягуються один до одного слабкіше, ніж до молекул твердого тіла, рідина розтікається по поверхні. На рис. 4 – 9 представлені приклади кадрів крапель розчину на поверхнях різних зразків.

При дослідженні застосовувалися розчини, які широко використовуються при віброшліфуванні і віброполіруванні. До складу розчину, що використовується для шліфування сталевих деталей, входили: шавлева кислота, перекис водню, сірчана кисло-

та; до складу розчину для полірування – сода кальцинована, триетаноламін, олеїнова кислота, їдкий калій [1, 2].

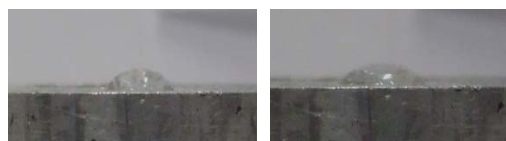


Рис. 4. Крапля розчину на зразку з алюмінію після традиційного шліфування через 1 і 5 секунд



Рис. 5. Крапля розчину на зразку з алюмінію після вібраційного шліфування 1 і 5 секунд

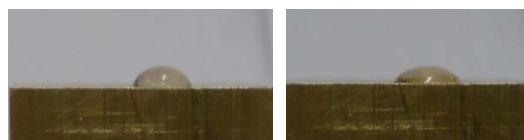


Рис. 6. Крапля розчину на зразку з латуні після традиційного шліфування через 1 і 5 секунд

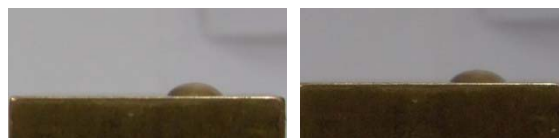


Рис. 7. Крапля розчину на зразку з латуні після вібраційного шліфування 1 і 5 секунд



Рис. 8. Крапля розчину на зразку зі сталі після традиційного шліфування 1 і 5 секунд



Рис. 9. Крапля розчину на зразку зі сталі після вібраційного шліфування 1 і 5 секунд

Отримані результати зумовлені тим, що поверхні, отримані методом обробки в вільних абразивах, мають високу гідроємність. Ця властивість поверхні підвищує зносостійкість деталі в умовах тертя за рахунок створення захисного шару «мастила». Недоліком такого мікрорельєфу поверхні виявилась схильність до злипання в процесі вібраційної обробки.

Висновки. За результатами даних досліджень можна зробити наступні висновки.

1. Встановлено, що на силу адгезії та силу зсуву впливає час контакту оброблюваних зразків і шорсткість їх поверхонь, що є важливим, так як при налипання деталей час їх контакту в ряді випадків перевищують відповідні величини.

2. Для забезпечення виникнення в контейнері вібраційного верстата достатніх зусиль для подолання сил тертя спокою і тертя руху з метою роз'єднання деталей в разі їх злипання необхідно, щоб сили діють в робочому середовищі були спрямовані на роз'єднання цих виробів.

3. Для виключення можливості зіткнення оброблюваних деталей і їх злипання необхідно забезпечити стійке циркуляційний рух маси завантаження, яке є важливим чинником якісного процесу вібраційної обробки.

4. При вібраційної обробки необхідно збільшити в'язкість застосовуваних розчинів, методом введення поверхнево-активних речовин, які одночасно будуть сприяти і створенню блиску оброблюваних поверхонь. Це зменшить коефіцієнт тертя в середньому в 20 разів, а силу зсуву – в 1,5 - 2 рази. До зміни в'язкості призводить, наприклад, введення гліцерину, або сучасних миючих засобів в кількості 0,1 г / л на 100 г основного розчину.

Література

1. Бабичев А.П. Физико-технологические основы методов обработки: учебное пособие для вузов / Бабичев А.П. – Ростов н/Д: «Феникс», 2006. – 410 с.
2. Shevchenko S., Muhovaty A., Krol O. Gear Clutch with Modified Tooth Profiles / *Procedia Engineering* 206 (2017) 979–984.
3. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.581>
4. Krol O., Sukhorutchenko I. 3D-modeling and optimization spindle's node machining centre/Teka Komisji Motoryzacji I Energetyki in Rolnictwa. – OL PAN, 2013, Vol.13, is.3, Lublin, Poland. – P. 114–119.
5. Кроль О.С., Хмеловский Г.Л. Оптимизация и управление процессом резания: учебное пособие. – К: УМК ВО, 1991. – 140 с.
6. Mitsyk A.V., Fedorovich V.A. Mathematical Simulation of Kinematics of Vibrating Boiling Granular Medium at Treatment in the Oscillating Reservoir. *Key Engineering Materials*, Vol. 581, p. 456 – 461, (2014). DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.581.456>
7. Міщик А.В., Федорович В.О. Методичні основи теоретичного та експериментального оцінювання процесу віброобробки деталей технологічними системами комбінованого динамічного впливу вільного абразивного середовища // Резание и инструменты в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. / Под общ. ред. проф. А.Н. Шелкового, редкол.: проф. А.И. Грабченко (отв. ред.) и др. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2018. – Вып. 89. – С. 100 – 108.
8. Шумакова Т.А. Повышение производительности технологических процессов вибрационной обработки деталей / Шумакова Т.А., Николаенко А.П., Романенко А.В., Таванюк Т.Я. // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Северодонецьк, 2017. – №7 (237) – С. 139 – 248.
9. Бурлакова Г.Ю. Исследование слипаемости мелких плоских деталей / Бурлакова Г.Ю., Кожемякин В.Г., Николаенко А.П. // Вібрації в техніці та технологіях. – Луганск, 2010. – №3(59). – С. 24 – 32.
10. Соколов В.І., Кроль О.С., Сліфанова О.В. Гідравліка. – Северодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2017. – 160 с.
11. Sokolov, V., Krol, O., Stepanova, O.: Automatic Control System for Electrohydraulic Drive of Production Equipment. 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). IEEE (2018). DOI: <https://doi.org/10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501609>.
12. Sokolov, V.: Diffusion of Circular Source in the Channels of Ventilation Systems. *Advances in Engineering Research and Application*. ICERA 2018. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 63, pp. 278-283. Springer, Cham (2019). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-04792-4_37.
13. Sokolov, V., Krol, O.: Determination of Transfer Functions for Electrohydraulic Servo Drive of Technological Equipment. In.: *Advances in Design, Simulation and Manufacturing*. DSMIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 364-373. Springer, Cham (2019). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_38.

References

1. Babichev A.P. Fiziko-tekhnologicheskiye osnovy metodov obrabotki: uchebnoye posobiye dlya vuzov / Babichev A.P. – Rostov n/D: «Feniks», 2006. – 410 s.
2. Shevchenko S., Muhovaty A., Krol O. Gear Clutch with Modified Tooth Profiles / *Procedia Engineering* 206 (2017) 979–984. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.581>
3. Krol O., Sukhorutchenko I. 3D-modeling and optimization spindle's node machining centre/Teka Komisji Motoryzacji I Energetyki in Rolnictwa. – OL PAN, 2013, Vol.13, is.3, Lublin, Poland. – P. 114–119.
4. Krol' O.S., Khmelovskiy G.L. Optimizatsiya i upravleniye protsessom rezaniya: uchebnoye posobiye. – K: UMK VO, 1991. – 140 s.
5. Mitsyk A.V., Fedorovich V.A. Mathematical Simulation of Kinematics of Vibrating Boiling Granular Medium at Treatment in the Oscillating Reservoir. *Key Engineering Materials*, Vol. 581, p. 456 – 461, (2014). DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.581.456>
6. Mitsik A.V., Fedorovich V.O. Metodichni osnovi teoretichnogo ta yeksperimental'nogo otsinyuvannya protsesu vibroobrobki detaley tekhnologichnimi sistemami kombinovanogo dinamichnogo vplyvu vil'nogo abrazivnogo seredovishcha // *Rezaniye i instrumenty v tekhnologicheskikh sistemakh: Mezhdunar. nauch.-tekhn. sb. / Pod obshch. red. prof. A.N. Shelkovogo, redkol.: prof. A.I. Grabchenko (otv. red.) i dr. – Khar'kov: NTU «KHPI», 2018. – Vyp. 89. – S. 100 – 108.*
7. Shumakova T.A. Povysheniye proizvoditel'nosti tekhnologicheskikh protsessov vibratsionnoy obrabotki detaley / Shumakova T.A., Nikolayenko A.P., Romanenko A.V., Tavanyuk T.YA. // *Visnik Skhidnoukraïns'kogo natsional'nogo universitetu im. V. Dalya. – Sëvërodonets'k, 2017. – №7 (237) – S. 139 – 248.*
8. Burlakova G.YU. Issledovaniye slipayemosti melkikh ploskikh detaley / Burlakova G.YU., Kozhemyakin V.G., Nikolayenko A.P. // *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnologiyakh. – Lugansk, 2010. – №3(59). – S.24 – 32.*
9. Sokolov V., Krol O., Yepifanova O. *Hydraulics. – Severodonetsk: VDEUNU, 2017. – 160 c.*
10. Sokolov, V., Krol, O., Stepanova, O.: Automatic Control System for Electrohydraulic Drive of Production Equipment. 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). IEEE (2018). DOI: <https://doi.org/10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501609>.

11. Sokolov, V.: Diffusion of Circular Source in the Channels of Ventilation Systems. Advances in Engineering Research and Application. ICERA 2018. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 63, pp. 278-283. Springer, Cham (2019). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-04792-4_37.
12. Sokolov, V., Krol, O.: Determination of Transfer Functions for Electrohydraulic Servo Drive of Technological Equipment. In.: Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 364-373. Springer, Cham (2019). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_38.

Николаенко А.П., Шумакова Т.А., Романченко А.В., Таванюк Т.Я., Логунов А.Н. Пути решения проблемы слипаемости деталей при вибрационной обработке

В статье рассмотрены проблемы, которые ограничивают использование вибрационной обработки мелких деталей и определено, что слипаемость таких деталей является главной причиной этих ограничений. Предложены пути решения проблемы слипаемости мелких плоских деталей при обработке в U-образном контейнере вибрационного станка. Проведены экспериментальные исследования влияния качества рабочего раствора на слипаемость деталей и обосновано повышение вязкости раствора с целью ликвидации данной проблемы.

Ключевые слова: *вибрационная обработка; расширение технологических возможностей; финишная обработка мелких деталей; рабочая среда; рабочий раствор; коэффициент трения; металлофильность рабочих растворов.*

Nikolaienko A., Shumakova T., Romanchenko A., Tavanyuk T., Logunov O. Solving problem of stickiness of details while vibrating processing

The article discusses problems that limit the use of vibration processing of small parts and it is determined that the adhesion of such parts is the main cause of these restrictions. The ways of solution of a problem of small flat parts stickiness while processing in a vibrating machine U-shaped container were suggested. Experimental studies of the effect of working solution quality on an adhesion of parts were carried out and an increase in the viscosity of the solution was justified in order to eliminate this problem.

Keywords: *vibrating processing; expansion of technological capabilities; finishing of small parts; workspace; working solution; friction coefficient; metallophilicity of working solutions.*

Ніколаєнко Анна Павлівна – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк) arnikolaienko@gmail.com

Шумакова Тетяна Олександрівна – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк) shumakovatania@gmail.com

Романченко Олексій Володимирович – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк) alexvromanchenko@gmail.com

Таванюк Тетяна Яківна – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк) ttavanyuk@gmail.com

Логунов Олександр Миколайович – к.т.н., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк) logunov@ukr.net

Рецензент: д.т.н., проф. **Соколов В.І.**

Стаття подана 12.02.2019.