1. Взаємний вплив гармонік при нелінійних поперечних коливаннях валу істотно залежить від характеру і величини нелінійності, а також від швидкості зміни частот збурювальної сили. Із збільшенням швидкості зміни частоти збурювальної сили взаємний вплив гармонік зменшується.
2. Поза зоною резонансу гармоніки неістотно впливають як на амплітуду коливань вала, так і одна на одну.
3. При послідовному проходженні трьох гармонік через резонанс гармоніка, яка проходить через резонанс швидше, майже не відчуває впливу інших гармонік. І навпаки, гармоніка, яка проходить через резонанс пізніше, значно відчуває вплив інших гармонік залежно від характеру нелінійності і швидкості зміни частот збурювальних сил.

*1. Агафонов С.А., Георгиевский Д. В. Потеря устойчивости нелинейного вязкоупругого стержня под действием следящей силы. – К., 2004. 2. Митропольський Ю. А., Мосеенков Б.И. Асимптотические решения уравнений в частных производных. – К., 1976. 3. Мигулин В.В., Медведев В.И. Основы теории колебаний. – М., 1978. 4. Работнов Ю.Н. Механика деформированного твердого тела. – М., 1979. 5. Панов Я. Г., Введение в теорию механических колебаний. – М., 1971. 6. Тимошенко С.П., Колебания в инженерном деле. – М., 1983. 7. Стеванович К.Р. Поперечные колебания балки, лежащей на упругом основании, находящейся под воздействием возмущающей силы с несколькими гармониками, с частотой близкими к первой собственной // Математическая физика. В.13. К.,1973.*

**УДК 621.9.048**

**Ю.Ю. ДЕГТЯРЬОВА, А.П. НІКОЛАЄНКО, Н.М. ФІЛІМОНЕНКО**

СНУ ім. В. Даля, м. Луганськ

# ДО ПИТАННЯ ОДНОЧАСНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ВіО-ВЕРСТАТАХ

*© Дегтярьова Ю.Ю., Ніколаєнко А.П., Філімоненко Н.М., 2006*

***Проаналізовано роботи, у яких приділено увагу характеристикам деталей, що підлягають вібраційній обробці, а також можливості об'єднання цих деталей в одну партію на відповідній операції; надано результати експериментальних досліджень одночасної обробки деталей, які мають однакові фізико-механічні властивості, але відрізняються за розмірами і масами.***

***The analysis of works in which attention is spared to descriptions of details, that are subject to vibration treatment and also the possibility of association of these details in one party on the proper operation; the results of experimental researches of simultaneous treatment of details, which are identical physical and mechanical characteristics, but differ on sizes the masses.***

Надання деталям товарного вигляду після отримання їхніх заготовок методами штампування й лиття дуже часто здійснюються малопродуктивними методами, без застосування засобів механізації, що є вкрай неефективно і потребує величезних витрат ручної праці й робочого часу.

Застосування прогресивного методу – віброабразивної обробки деталей – дає змогу механізувати раніше малопродуктивні операції, що сприяє скороченню часу циклу обробки деталей

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

- виробів (передовсім за рахунок одночасної обробки значної кількості деталей, тобто скорочення основного машинного часу).

Аналізуючи ступінь трудомісткості обробки металів у різних галузях промисловості, можна зробити висновок, що велика кількість ручної праці витрачається на такі операції, як: зняття задирою й облоя, притуплення гострих крайок, на шліфування й полірування поверхонь деталей, а також при підготовці деталей до різних видів гальванопокриття [1].

На підставі наявного досвіду й аналізу експериментальних даних, які отримано в лабораторії НДЛ ОВА СНУ ім. В. Даля під час досліджень з обробки деталей вібраційними методами, можна зробити висновок, що метод ВіО є продуктивним й ефективним, знижує собівартість продукції, що особливо актуально в умовах ринкової економіки [1, 2, 3, 4, 5].

Ефективність застосування віброабразивного методу обробки може бути досягнута уніфікацією технологічних процесів. Для цього необхідне об'єднання різних деталей у групи за подібними ознаками, що дає змогу обробляти їх за єдиними технологічними процесами [2, 6, 7].

Дослідженнями, які виконані раніше [2], встановлено, що у віброверстатах доцільно обробляти деталі з масою від 50 до 3000 г.

За аналізами результатів експериментів авторами [2, 7] був зроблений висновок про доцільність поділу 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 неоднозначно).

Авторами [2, 6, 7] в зроблений поділ на групи за такими розмірами:

1. До 40 мм.
2. Від 40 до 90 мм.
3. Від 90 до 180 мм.
4. Понад 180 мм.

Форма деталей, на їхню думку, визначає рух загальної маси завантаження й рівномірність поверхневої обробки.

Деталі низької жорсткості можуть бути під час обробки деформовані. Деталі занадто складної форми можуть зчіплюватися одна з одною, утворюючи загальні скупчення. Затемнені ділянки, щілини, отвори, пази в зв'язку з утрудненням доступу абразивних часток, обробляються гірше ніж відкриті поверхні.

Залежно від форми деталі розподілялись на три групи:

1. Деталі простої геометричної форми, утворені сполученням циліндричних і призматичних поверхонь, з радіусом спряжень до 10 мм.

2. Деталі із затемненими ділянками у вигляді кутів, ніш, кишень тощо, до яких доступ шліфувальних часток утруднений, але можливий за виконання певних умов, наприклад, при зменшенні грануляції шліфочасток або при використанні шліфочасток спеціальної форми.

3. Деталі складної форми із криволінійними поверхнями, внутрішніми порожнинами, отворами, пазами, що потребують обробки при практично неможливому доступі шліфочасток до оброблюваних поверхонь.

Така класифікація виробів, що підлягають віброобробці, має поверхневий характер через відсутність зв'язку технології віброобробоки з фізико-механічними властивостями матеріалу оброблюваних виробів. Також відсутня інформація про кількість технологічних переходів, які, з урахуванням первинного стану поверхні й того, що необхідний, потрібно виконати для досягнення

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

остаточного результату обробки. Ці дані характеризують економічну ефективність застосування ВіО для забезпечення високої якості й товарного виду виробів.

Класифікуючи деталі, що підлягають ВіО, було визначено призначення окремих операцій, з яких складається весь процес вібраційної обробки, вони такі [1, 4, 6, 7, 8]:

1. Зняття задирок і округлення гострих крайок із всіх поверхонь, очищення від окалини й підвищення чистоти поверхні порівняно з первинною на 1–2 класи.
2. Віброшліфування. Ця операція давала змогу при первинній чистоті поверхні Ra=12,5–6,3 одержати поверхню з чистотою Ra=1,6-0,2. Під час операції відбувалося віброшліфування всіх поверхонь, зняття окалини, зменшення гребінців мікрошорсткостей та підвищення чистоти поверхні порівняно з первинною на 3-4 класи.
3. Віброполірування. Ця операція здійснюється з метою надання декоративного виду й дзеркального блиску. Операція підвищує чистоту поверхні оброблюваної деталі до Ra=0,1-0,05. Одночасно, як відомо, сприяє зміцненню поверхні, підвищенню її зносостійкості, стабілізації, а іноді й зменшенню залишкових напружень [3].

Деталі, об'єднані в одну групу на підставі зазначених вище подібних ознак, оброблялися за єдиним технологічним процесом, із застосуванням одного хімічно активного розчину, за однакових режимів і без переналагодження верстата.

Для визначення зернистості матеріалу часток на операціях вібраційного шліфування й полірування пропонувалося виконувати такі вимоги [2]:

1. Шліфувальні частки повинні були мати високу міцність, твердість й зносостійкість.
2. Зернистість абразивних часток не повинна перевищувати 3–5 мм, що має забезпечувати чистоту оброблюваних поверхонь, які відповідають вимогам, що ставляться до шліфувальних і полірувальних поверхонь. Найкращим матеріалом, який відповідає цим вимогам, було робоче середовище зі шліфувальних часток бою кулешліфувальних кругів зернистістю 3–5 мм і твердістю зв'язування ВТ-ЧТ-2 [2, 7].

У роботі [6] подано класифікацію виробів за їхніми габаритними розмірами і складністю форми з урахуванням матеріалу й методу одержання заготовки, початкового й кінцевого стану поверхонь.

За результатами виконаного аналізу можна стверджувати, що деталі різних форм і габаритів, навіть дуже подібні за своїми фізико-механічними властивостями, необхідно обробляти окремо через небезпеку зіткнення й зчеплення одна з одною, що веде до деформації й нерівномірної обробки цих деталей. Така вимога збільшує час обробки всієї партії виробів, а також витрати на переналагодження устаткування, що призводить до зменшення ефективності й економічної доцільності використання вібраційної обробки.

Якщо в минулому високі витрати на виробництво деталей виправдовували великим обсягом виробництва й тривалим терміном служби виробів, то тепер це недоцільно.

Постійне зниження обсягів партій виробництва і швидша зміна номенклатури продукції змушує знову повертатися до аналізу витрат на інструменти й устаткування.

Виготовлення литих і штампованих деталей у дрібносерійному виробництві при використанні загальноприйнятих технологічних процесів (ТП) потребують більших витрат загального часу й коштів. Незважаючи на дуже малі обсяги партій деталей, що випускають, їхня якість має бути дуже високою. Крім цього, ставляться вимога ліквідувати запаси на складах і бути завжди готовими до поставок нової продукції.

Для розв’язання цих задач пропонується здійснювати обробку деталей різних мас і форм, але подібних за фізико-механічними властивостями одночасно, на однакових режимах і в тому самому контейнері або верстаті. Вирішальне значення при такому способі обробки приділяється стабільному циркуляційному руху робочого середовища, яке забезпечує рівномірну об'ємну обробку всіх поверхонь. В U-подібному контейнері деталі рухаються по плоскій траєкторії, охоплені робочим середовищем – гранулами, вони плавають у просторі контейнера й не

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

зіштовхуються одна з одною при їхньому послідовному зануренні. Правильний вибір гранул забезпечує обробку як зовнішніх, так і внутрішніх поверхонь деталей.

Нижче розглядається ТП обробки одночасно невеликих партій деталей, на прикладі обробки різних деталей, оброблюваних на вібраційних верстатах за тих самих режимів. Такий ТП забезпечує підприємству швидку обробку і продуктивність процесу, зі збереженням низької собівартості, яка притаманна масовому виробництву.

Як задачі цієї роботи відокремило:

1. Аналіз чинної класифікації деталей [2, 6, 7] з урахуванням останніх досліджень з обробки дрібних і великих деталей, які й довели необхідність зміни чинної класифікації [4, 5].
2. Розробка раціональніших ТП.

Створення нових ВіО - верстатів [1, 4, 8, 9], що працюють за вищої частоти (при частоті коливань більше за 42 Гц) при сталому циркуляційному русі робочого середовища й оброблюваних деталей уздовж стінок контейнера, дає змогу менш ретельно підходити до аналізу деталей за масою й габаритами. Межі класифікації стають розмитішими й менш окресленими, що як спрощує, так й ускладнює роботу. Спрощення полягає в зменшенні часу обробки, але ускладнюється вибір – до якої групи варто зарахувати певну деталь.

Вибір режимів віброобробки робочих розчинів і наповнювача залежить від різних параметрів оброблюваних деталей та їхніх фізико-механічних властивостей [9]. Як і раніше, приділяється особлива увага наявності важкодоступних зон і фізико-механічних властивостей деталей, а також наявності можливостей до сплутування й взаємного ушкодження в процесі обробки.

Так перед дослідниками лабораторії НДЛ ОВА СНУ ім. В. Даля ставилася задача з оброблення деталей, поданих на рис. 1 і у таблиці:

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

а

б

*Рис. 1. Деталі до обробки*

**Перелік деталей, що підлягають віброабразивній обробці**

| № | Назва деталі | Матеріал | Стан поверхні | Мета обробки |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Кришка стартера | АК12М2 | Лиття під тиском | Округлення гострих крайок до R≤0,3 |
| 2 | Шестірня стартера | Сталь 20ХНМ | Без термообробки | 1. Округлення гострих крайок до R≤0,3<br>2. Зниження шорсткості поверхні зубців до Ra = 6,3 |
| 3 | Шестірня стартера | Сталь 15Х | Цементування HRC..78 | 1. Округлення гострих крайок<br>2. Очищення поверхні від окалини<br>3. Зниження шорсткості поверхні зубців до Ra = 6,3 |
| 4 | Втулка стартера | Сталь 15Х | Без термообробки | 1. Округлення гострих крайок до R≤0,3<br>2. Зниження шорсткості поверхонь і порожнин до Ra = 6,3 |

a) з алюмінієвого сплаву АК12М2 – зачищення облоя, зачищення поверхонь від слідів інструмента при їхній попередній обробці, зниження шорсткості основних (зовнішніх) поверхонь до 0,4–0,8 мкм.

b) зі сталі 15Х – зачищення облоя, притуплення гострих крайок R=0,15–0,3 мм, зниження шорсткості на поверхнях зубців до 3,2–6,3 мкм (відповідно до вимог замовника).

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Деталі, що підлягають обробці, мають просторову форму з криволінійними поверхнями, внутрішніми порожнинами, отворами, пазами, які потребують обробки, хоч практично неможливий доступ шліфочасток до оброблюваних поверхонь.

Ці деталі можна розділити на дві групи за фізико-механічними властивостями: сталь 15Х – $\sigma_в$ = 700 МПа, $\sigma_{0,2}$ = 500 МПа, $\delta$ = 12 %, НВ = 1490 й алюмінієвий сплав АК12М2 – $\sigma_в$ = 480 МПа, $\sigma_{0,2}$ = 380 МПа, $\delta$ = 9 %, НВ = 1350, який відрізняється високою пластичністю й задовільними ливарними властивостями. Подальшого розділення за товщиною стінок можна не робити, тому що оброблювані деталі не характеризуються тонкостінністю і не зазнають у зв'язку з цим ушкоджень. Товщина стінок коливається від 3 до 5мм, затемнених місць із кутом перетинання поверхонь менше за 45$^o$ немає, деталі порожні, з незначною кількістю малих отворів діаметром до 5 мм (однак ці отвори наскрізні й неглибокі – 3–5мм). Маса деталей коливається від 85 до 500 грамів.

З огляду на м'який матеріал і наявність отворів діаметром 3-5 мм був використаний непоширений при обробці на ВіО-верстатах бій кулешліфувальних кругів АН-2, що має пластинчато-голчасту форму (рис. 2). Найчастіше застосовується АН-2 у вигляді об'ємних гранул розміром 15 - 25мм (рис. 3). Це дало змогу одержати необхідні результати, працюючи на стандартних режимах (амплітуда 1,5мм, частота 63 Гц) протягом 60 хвилин без взаємного ушкодження деталей. Застосування подібних гранул дає змогу обробити отвори й порожнини необхідних розмірів і форм. Треба ще раз зазначити, що завантаження деталей (як і їхнє виймання) відбувається послідовно одне за одною. Для деталей з магнітних матеріалів операція з виймання не є проблемою, тому що при появі на поверхні обробленого виробу до нього приєднується електромагніт, установлений на маніпуляторі.

*Рис. 2. АН-2*

*Рис. 3. АН-2*

Збільшення часу обробки понад 60 хвилин не призводить до подальших змін шорсткості оброблюваних поверхонь, але триває знімання металу, тому на цьому етапі ТП повинен бути зупинений.

Обробка здійснювалася із застосуванням хімічного розчину, що щадить (триетаноламін, кальцинована сода, олеїнова кислота), для збереження екологічної безпеки довкілля й кольору оброблюваних деталей. На цьому самому розчині виконували й полірування деталей у сталевих кульках протягом 30 хвилин, діаметр кульок – 3–5 мм.

З'єднання подібних деталей (які відрізняються за масою, розмірами, формою) у одну групу дало змогу знизити час обробки всієї партії, кількість використовуваних верстатів і собівартість виробів.

Одночасно на тому самому верстаті оброблялися деталі зі сталі 15Х. Ця партія деталей була відділена від зазначеної вище допоміжною перегородкою. Варто зазначити, що таке рішення можливе тільки при застосуванні одного хімічно активного розчину.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Спочатку виникав сумнів у можливості з'єднання в одну партію деталей сідла поршня, фланця, тарілки й шестерні для обробки одночасно, тому що припускалась можливість зіткнення деталей з подальшим їхнім ушкодженням; зовнішня частина зубця могла оброблятися інтенсивніше.

Для того, щоб цього не відбулося, загальна кількість деталей (загальне завантаження) знижували до 1/3 об'єму контейнера, а як РС використовувався також АН-2, що має пластинчато-голчасту форму (що дало змогу обробляти й основу зубця).

Етапи обробки:

1. Встановлення в контейнер ВіО-верстата допоміжного засобу ґратки-перегородки для поділу простору контейнера на дві рівні частини (для обробки двох груп деталей, які через різні фізико-механічні властивості не можна об'єднати в одну групу) (рис. 6). Обробка відбувалася на тих самих режимах з одним хімічним розчином.
2. Завантаження гранул РС (АН-2 пластинчато-голчастої форми) у контейнер ВіО-верстата.
3. Після запуску верстата в нього занурювали оброблювані деталі послідовно одна за одною. Завантаження деталей здійснювалося поступово й послідовно з укладанням деталі на робоче середовище, що рухається, з поступовим видаленням попередньої з поверхні й зануренням її вглиб контейнера. Під час руху всієї маси завантаження (РС + деталі) деталі перебували в оточенні гранул робочого середовища й не зіштовхувались одна з одною. Захоплювані циркуляційним потоком, вони оброблялися рівномірно, незалежно одна від одної.

На операції вібраційного шліфування час обробки становив 60 хв.

Перша група деталей (лиття під тиском) з алюмінієвого сплаву АК12М2 масою від 300 до 500 грамів мали складну конфігурацію (з великою кількістю отворів різних діаметрів). На поверхні деталей візуально було видно: облой після лиття, гострі крайки, заводське клеймо.

У другій групі виробів зі сталей 20ХНМ (без термообробки) і 15Х (після цементації HRC 78) візуально спостерігалася наявність задирок, облоя, гострих крайок, нагару, окалини, мастильних забруднень.

Після ВіО (60 хвилин) візуально на деталях не виявлено вищезазначених недоліків. Спостерігалося зниження шорсткості поверхні до необхідних параметрів і округлення гострих крайок. Поверхня виробу набула глянцевого вигляду, досягла необхідних показників якості поверхні й товарного вигляду.

Деталі після обробки наведені на рис. 4.

*Рис. 4. Деталі після обробки*

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

На підставі експериментальних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Наявність сучасних верстатів дала змогу розширити раніше прийняту класифікацію вибору деталей, що підлягають одночасній обробці (за масою й розмірами). Це здійснюється завдяки наявності стабільного циркуляційного потоку деталей і гранул, тобто всього завантаження в об'ємі контейнера, тому що не відбувається зіткнення деталей.

2. Сучасні тенденції застосування ВіО – верстатів для малих підприємств – це обробка деталей на серійному встаткуванні, що забезпечує обробку деталей малими партіями. Якщо необхідна обробка виробів з різних матеріалів й, якщо все-таки потрібний поділ на групи за якими-небудь іншими ознаками, варто використати серійне типове устаткування з допоміжними засобами типу розділових вставок-ґраток при застосуванні того самого хімічно активного розчину (рис. 5).

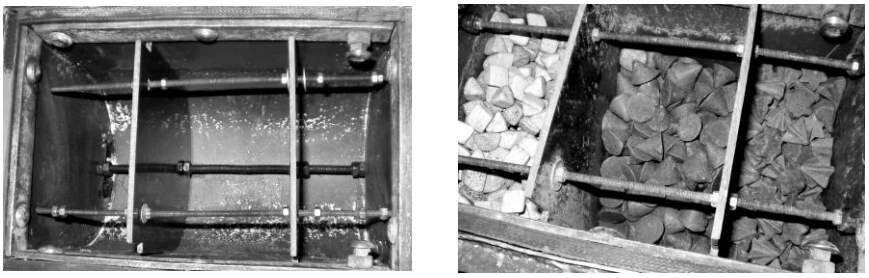

*Рис. 5. Розділова вставка – ґратка*

3. Аналіз обробки деталей малими серіями свідчать про необхідність продовження роботи зі створення верстатів за модульним принципом і з можливістю встановлення 1–3 контейнерів одночасно для одного циклу обробки на одному верстаті (зняття задирок, вібраційне шліфування й полірування) і/або одночасної обробки деталей складної конфігурації (які не можна об'єднати в одну групу) і фізико-механічними властивостями (з різною твердістю й структурою).

*1. Ясуник С.Н. Повышение эффективности обработки деталей в вибрирущих контейнерах. Дис...канд. техн. наук – Луганск, 2003, 180 с. 2. Карташов Б.Н., Шаинский М.Е. Усовершенствованная технология виброобработки. – В сб. работ Луганского машиностроительного института, 1966/1967. № 12. – С.50-58. 3. Волков И.В., Дегтярева Ю.Ю., Лубенская Л.М., Николаенко А.П. Влияние физико-механических характеристик материала изделия на его износостойкость // Вестник двигателестроения. – Запорожье: Издательство ЗНТУ. – 2006. – с. 41–49. 4. Калмиков М.О. Підвищення ефективності процесу вібраційної обробки великогабаритних виробів: Автореферат дис....канд. техн. наук. – Харків, 2006. 5. Бранспиз Ю.А. Совершенствование методов расчета электромагнитных шкивных железоотделителей. Дис....канд. техн. наук. – Ворошиловград, 1985. – 210 с. 6. Кулаков Ю. М., Хрульков В. А. Отделочно-зачистная обробка деталей. – М., 1979. 7. Бабичев А.П. Вібраційна обробка деталей. – М., 1974. 8. Копылов Ю.Р. Виброударное упрочнение: Монография. – Воронеж, 1999. 9. Бабичев А. П. Исследование технологических основ обработки, деталей в среде колеблющихся тел (вибрационной обработки) с использованием низкочастотних вибраций. Автореф. дис. ...д-ра тех. наук, – Тула, 1975. – 62 с.*

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua