

УДК 621.923

Б. В. Новоселецький, Р. Г. Редько, О. І. Редько
Луцький національний технічний університет
ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ТІЛ
ОБЕРТАННЯ НА ГНУЧКИХ АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЯХ

У статті розглядаються особливості технології обробки деталей типу тіл обертання на гнучких автоматичних лініях. Зокрема описується технологічна підготовка виробництва. До неї входить обґрунтування номенклатури оброблюваних деталей, розробка загальної маршрутно-технології, вибір обладнання і визначення оптимального групового маршруту, розробка операційної технології, а також розгляд питань, пов'язаних із забезпеченням функціонування ГАЛ в другу і третю зміни при мінімальній участі оператора.

Ключові слова: приведені затрати, циліндричні зубчасті колеса, групова технологія, гнучка автоматична лінія (ГАЛ).

Табл. 1. Рис. 2. Літ. 5.

Б. В. Новоселецкий, Р. Г. Редько, О. И. Редько
ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ТЕЛ
ВРАЩЕНИЯ НА ГИБКИХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ

В статье рассматриваются особенности технологии обработки деталей типа тел вращения на гибких автоматических линиях. В частности описывается технологическая подготовка производства. В нее входят обоснование номенклатуры обрабатываемых деталей, разработка общей маршрутной технологии, выбор оборудования и определение оптимального группового маршрута, разработка операционной технологии, а также рассмотрение вопросов, связанных с обеспечением функционирования ГАЛ во вторую и третью смены при минимальном участии оператора.

Ключевые слова: приведенные затраты, цилиндрические зубчатые колеса, групповая технология, гибкая автоматическая линия (ГАЛ).

B. Novoseletskyi, R. Redko, O. Redko
FEATURES TECHNOLOGY OF PROCESSING OF PARTS SUCH
AS ROTATION BODIES WITH FLEXIBLE AUTOMATIC LINES

The article discusses the features technology of processing of parts such as rotation bodies with flexible automatic lines. In particular, describes technological preparation of manufacturing. It includes the justification of nomenclature of machined parts, the working of general routing technology, equipment selection and determination of optimal group route, the working of operational technology and consideration of issues related with ensuring the functioning of FAL in the second and third shift with minimal operator intervention.

Keywords: the given costs; cylindrical gear wheels; group technology; flexible automatic line (FAL)/

Постанова проблеми. Необхідність застосування гнучких автоматичних ліній (ГАЛ) в багатосерійному і масовому виробництві обумовлена тим, що традиційні автоматичні лінії не завжди відповідають сучасним умовам, для яких характерне часте оновлення продукції і зменшення серійності її випуску в результаті появи модифікації виробів та їх деталей.

ГАЛ багатосерійного і масового виробництв містять набір обладнання для обробки визначеної номенклатури деталей (іноді невідомих на стадії проектування ГАЛ, але характеризованих конструктивно-технологічною спільністю), а також транспортно-складську систему, систему управління, систему інструментозабезпечення та ін. ГАЛ повинна забезпечувати задану продуктивність, автоматизоване переналагодження основного і допоміжного обладнання на обробку будь-якої деталі із закріплених за даною ГАЛ, високу надійність обробки і можливість роботи при мінімальній чисельності обслуговуючого персоналу в другу і третю зміни.

Можливість обробки різних модифікацій деталі забезпечується вибором технологічного маршруту і складу обладнання. Можливість автоматизованого переналагодження ГАЛ на обробку іншої деталі забезпечується відповідною кінематикою верстатів, а також наявністю повного набору ріжучих і допоміжних інструментів, необхідних для обробки всіх вказаних деталей, програм управління, операційних карт і всього оснащення, необхідного для базування і закріплення деталей.

Проектуванню ГАЛ передують технологічна підготовка виробництва, яка включає в себе наступні етапи: 1) обґрунтування номенклатури оброблюваних деталей та їх конструктивно-технологічний аналіз; 2) формування загального для всіх оброблюваних деталей набору переходів, групових операцій і варіантів групового маршруту обробки; 3) вибір обладнання для кожної групової операції і визначення оптимально групового маршруту; 4) розробка операційної технології; 5) аналіз можливості роботи ГАЛ в другу і третю зміни без обслуговуючого персоналу.

Зміст перерахованих етапів являє собою техніко-економічні багатоваріантні задачі. Оптимальний варіант при їх вирішенні вибирають за прийнятим у верстатобудуванні загальним критерієм мінімальних приведених витрат на обробку деталі або окремим критеріям.

При технологічній підготовці виробництва з використанням ГАЛ необхідно враховувати, що розміри або розміщення деяких поверхонь деталей можуть бути невідомими одразу, але обов'язково повинні бути обговорені границі їх допустимих конструктивних і технологічних змін. При визначенні цих границь необхідно мати на увазі, що розширення номенклатури деталей потребує збільшення ступеня гнучкості ГАЛ, але тоді при обробці окремих деталей частина обладнання може не використовуватися, що призведе до росту собівартості.

Вітчизняний і зарубіжний досвід показує, що ГАЛ доцільно проектувати для виготовлення групи деталей, які належать до одного класу і які мають незначні відмінності в технологічному маршруті і сумарній верстатоемності операцій. Таку групу деталей прийнято називати сімейством (рис. 1). При цьому транспортна система ГАЛ, накопичувачі і схеми базування деталей повинні залишатися незмінними.



Рис. 1. Приклад сімейства деталей (циліндричних зубчастих коліс), які обробляються на ГАЛ

Остаточно номенклатуру деталей вибирають (перший етап) на основі техніко-економічних розрахунків, порівнюючи приведені витрати на обробку кожної деталі передбачуваної номенклатури на ГАЛ (із врахуванням неминучого простою частини обладнання) з витратами на виготовлення цієї деталі в існуючому виробництві.

Конструктивно-технологічний аналіз деталей і їх можливих змін має наступну особливість: конструктивні елементи і поверхні всіх деталей підрозділяють на постійні (загальні по розмірам і розміщенню для всіх деталей сімейства) і змінні (різні для всіх деталей сімейства).

Кожну деталь розділяють на оброблювані поверхні (ОП), які можуть бути отримані за декілька проходів, переходів або операцій. ОП можуть бути повністю або частково постійними (в останньому випадку окремі переходи обробки конкретної ОП постійні для всіх або частини деталей сімейства, а інші змінюються). В результаті аналізу потрібно сформулювати набори ОП, загальні для всього сімейства деталей. В ці набори входять як кінцево оброблені поверхні, так і поверхні, які отримують на проміжних стадіях технологічного процесу.

Таблиця 1. Схема конструктивно-технологічного аналізу сімейства зубчастих коліс

Оброблювана поверхня (ОП)	Змінювані (у межах сімейства) параметри	Число переходів при обробці	
		Постійних	Змінних
Зубчаста поверхня А вінця	Розміри D та L ; модуль m і число зубів z ; форма зуба (наприклад, закруглений)	7	-
Торець В вінця	Розміри торця; наявність, число і розміщення отворів	5	1
Поверхня С маточини	Форма і розміри	3	-
Торець Е маточини	Розміри торця; наявність і розміри канавок, лисок	5	1
Отвір	Розміри d та L ; вид і розміри з'єднання колеса з валом; наявність і розміри канавок	3	5

Розробка загальної маршрутної технології (другий етап) включає в себе: формування схеми обробки кожної ОП; визначення послідовності їх обробки для кожної деталі сімейства; об'єднання переходів обробки ОП в групові операції.

Методика формування схем обробки ОП має наступні особливості.

1. Для ОП, постійних для більшості деталей сімейства, використовують однакові технологічні рішення, ріжучий інструмент, схему базування, режим обробки, обладнання, які рекомендуються типовими технологічними процесами масового виробництва.

2. Для змінних ОП перевагу дають більш універсальним методам обробки. Бажано, щоб зміна розмірів або розташування ОП не викликало необхідності в новому обладнанні та інструменті, а потребувало лише зміни налагоджувальних параметрів технологічної системи і режиму обробки.

Послідовність обробки ОП вибирають на основі рекомендацій з врахуванням наступних особливостей: 1) необхідно задати єдину послідовність обробки для всього сімейства, щоб напрям руху деталей вздовж ГАЛ оставався постійним; 2) потрібно задати всі технологічно допустимі послідовності обробки деталей (з врахуванням п. 1) з вказанням їх пріоритету (послідовності з нижчим пріоритетом повинні виконуватися автоматично при неможливості реалізації послідовності з вищим пріоритетом (наприклад, через відмову обладнання, інструменту, системи управління та ін.).

З врахуванням викладених особливостей попередньо формують переходи обробки кожної деталі сімейства і загальний перелік переходів для всіх деталей. В цей перелік повинні входити також переходи, які будуть необхідні при виготовленні перспективних модифікацій деталей.

Переходи об'єднують в групові операції за ознакою можливості їх виконання на обладнанні одного типу і за один устанав при визначеній схемі базування і закріплення. При цьому бажано, щоб значення часу виконання операції були близькі або кратні один одному.

Методика об'єднання переходів зводиться до наступного. Кожен постійний перехід (тобто перехід, який відноситься до всіх модифікацій деталі) може бути виділений в окрему операцію, якщо для всіх деталей він може бути виконаний на верстаті одної моделі; причому коефіцієнт K_3 навантаження останнього повинен бути не менше деякого значення, визначеного на основі техніко-економічного розрахунку. Так, при обробці сімейства зубчастих коліс (див. рис. 1) $K_3 \geq 0,7$ для змінних переходів і $K_3 \geq 0,55$ для постійних переходів.

Кожне поєднання із двох-трьох переходів можна об'єднати в групову операцію, якщо ці переходи можуть бути виконані на верстаті одної моделі, K_3 якого не менше 0,8 для змінних переходів і 0,65 для постійних (ці дані також відносяться до сімейства зубчастих коліс).

Перший варіант маршруту обробки формують виходячи з умови максимальної концентрації переходів в груповій операції. Наступні варіанти отримують шляхом від'єднання переходів у самостійні операції з врахуванням викладених вище правил. В результаті отримають декілька можливих варіантів групового маршруту обробки.

При **виборі обладнання і визначенні оптимального групового маршруту** (третій етап) необхідно мати на увазі, що знову проєктоване обладнання для ГАЛ повинне мати одночасно високу продуктивність, гнучкість, надійність і допускати автоматизоване переналагодження на обробку іншої деталі. Для управління обладнанням ГАЛ необхідно рекомендувати системи ЧПУ типу CNC, які забезпечують зручний перехід на обробку деталей інших найменувань, можливість контролю за станом інструменту, підналадку і виконання інших функцій, які сприяють скороченню ступеня участі оператора в процесі обробки.

Методика вибору обладнання для операцій кожного варіанту групового маршруту має наступні особливості: для постійних переходів (або груп переходів) використовують спеціальне обладнання, яке застосовується в умовах масового виробництва; для змінних переходів (чи груп переходів) використовують універсальне обладнання з автоматичним циклом обробки. Обладнання ГАЛ повинне забезпечувати обробку заданих ОП з виконанням всіх технічних вимог, автоматизацію допоміжних переміщень, автоматичне досягнення заданої точності, допускати переналагодження та ін.

Транспортна система ГАЛ повинна бути загальною для сімейства деталей. Технічні засоби, що використовуються промислові роботи, конвеєри та інші елементи, повинні переналагоджуватися з мінімальними затратами праці або взагалі не потребувати переналагодження.

Оптимальну модель обладнання для кожної групової операції вибирають шляхом визначення приведених витрат на обробку всієї номенклатури деталей на протязі року.

Цільова функція має вигляд:

$$\theta_{jg} = \sum_1^K M_j N_{ek} [E_p t_{pk} + E_e t_{xk} + (t_{n-3} / N_{rk}) E_e + \\ + Z_{e,i} + (B/H) E_e t_{pk} + E_n \zeta (t_{pk} + t_{xk}) / \Phi_{um}]_{jg} \quad (1)$$

де θ_{jg} – сумарні затрати на j -ту операцію, виконувану на g -му верстаті (варіанті обладнання); K – номенклатура деталей (число найменувань в сімействі); M_j – число однакових верстатів на операції ($M_j = t_{pkmax} / \tau$; τ – такт випуску); N_{ek} – річна програма випуску k -тої деталі; E_p і E_e – собівартість верстато-години відповідно робочих ходів і допоміжних переміщень; t_{pk} і t_{xk} – відповідно час робочих і холостих ходів при обробці k -тої деталі на j -тій операції, виконуваний на g -му верстаті; t_{n-3} – підготовчо-заклучний час; $Z_{e,i}$ – затрати на експлуатацію інструменту; B – час відновлення роботоздатності верстата; H – напрацювання на відмову верстату; $E_n = 0,15$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень; ζ – вартість верстату; Φ_{um} – річний фонд штучного часу роботи верстату.

Формула (1) дозволяє визначити приведені витрати на обробку при використанні верстатів різних моделей. Вибирають обладнання, яке забезпечує мінімум θ .

Залежності від відношення штучного часу і заданого такту верстат може мати резерв фонду часу і завантажуватися іншою продукцією або (у випадку відсутності міжопераційного заділу) працювати на знижених режимах. У першому випадку вартість додатково обробленої продукції вираховується із сумарних витрат θ_{jg} , у другому – збільшується стійкість інструмента.

При визначенні оптимального маршруту обробки цільова функція аналогічна виразу (1), але поширюється на весь маршрут: $\theta_m = \sum_1^J \theta_j$, де J – число операція в m -му маршруті обробки.

Маршрут обробки, який відповідає мінімуму θ_m , вважають оптимальним. Якщо при розробці операційної технології прийняті в оптимальному маршруті періоди обробки значно змінюються, то цей маршрут повторно уточнюють. Загальна схема оптимізації маршруту обробки сімейства деталей наведена на рис. 2, а.

При **розробці операційної технології** (четвертий етап) визначають структуру операції (послідовність переходів, можливість їх суміщення), вибирають ріжучий інструмент і систему його обслуговування, назначають режими різання.

Особливістю операційної технології є необхідність забезпечення високої продуктивності операцій при високій надійності обробки. Це досягається, зокрема, застосуванням багатолезового інструменту, а також багатоінструментальних налагоджень послідовної або паралельної дії.

Багатолезовий інструмент, наприклад для токарної обробки, являє собою набір різцевих вставок, багатогранних твердосплавних пластин, різців. Такі інструменти встановлюють в частини позицій револьверних головок і магазинів верстатів; інші позиції використовуються для однолезового інструменту.

При розробці операційної технології необхідно об'єднати проходи і переходи, які можуть бути виконані одним інструментом. При цьому керуються наступними міркуваннями.

Послідовне виконання групи переходів одним однолезовим інструментом завжди доцільне, якщо це не призводить до зниження продуктивності групової операції. Паралельне і послідовне виконання декількох переходів багатолезовим інструментом завжди є доцільним при постійних переходах при дотриманні правил сумісності останніх [3]. Такі переходи повинні бути спроектовані як групові. Паралельне і послідовне виконання декількох змінних переходів доцільне, якщо це необхідно для зменшення часу виконання операції з метою його доведення до значення такту випуску.

Оптимальний варіант операційної технології вибирають за економічним критерієм (сумарним приведеним витратам на групову операцію) після вибору ріжучого інструменту або одночасно з ним.



Рис. 2. Загальна схема оптимізації маршруту обробки сімейства деталей (а) і загальна схема проектування групової операційної технології (б)

Операційна технологія для ГАЛ повинна забезпечити суттєве підвищення надійності обробки в порівнянні з цим показником в умовах серійного виробництва. У зв'язку зі сказаним доцільно передбачити ряд мір, які запобігають технологічному перевантаженню інструменту [4], зокрема, використовувати спеціальні інструменти для зняття нерівномірного припуску, кірки, заусенець; зменшувати подачу, особливо при врізанні та ін. Режими різання варто призначати на основі нормативів, які діють в масовому виробництві.

Методика вибору ріжучого інструменту має наступні особливості. Для постійного сумісного групового переходу доцільно використовувати багатолезовий інструмент або декілька таких інструментів, якщо перехід є постійним не для всіх деталей сімейства. Для постійного несумісного групового переходу доцільно використовувати фасонний та мірний інструмент. Для перемінних переходів вибирають широкоуніверсальний (зазвичай однолезовий) інструмент.

Після вибору типу інструментів для обробки кожної деталі їх уніфікують за всіма деталями сімейства для кожного групового переходу. Перевагу віддають найбільш універсальним інструментам, якщо це не призводить до збільшення такту випуску деталі. В загальну номенклатуру входять всі комплекти інструментів, призначених для обробки кожної деталі на кожній операції з врахуванням необхідних для отримання перспективних модифікацій деталей. Загальна схема проектування групової операційної технології показана на рис. 2, б.

Система обслуговування інструменту забезпечує заміну ріжучого інструменту (профілактичну і після відмови); заміну ріжучого і допоміжного інструменту при переналагодженні ГАЛ на обробку нової деталі. Методика вибору такої системи викладена в праці [5].

Питання, пов'язані з забезпеченням функціонування ГАЛ в другу і третю зміни при мінімальній участі оператора (п'ятий етап), розглянуті в праці [4], при застосуванні до токарних верстатів з ЧПУ, вбудованими в ГАЛ.

Висновки.

1. Особливості технології обробки на ГАЛ обумовлені необхідністю виготовлення різноманітних, в тому числі заздалегідь невідомих модифікацій деталі, забезпечення заданого такту випуску деталі й автоматизованого переналагодження обладнання.

2. Модифікації оброблюваної деталі мають спільні і відмінні поверхні; обробка перших повинна виконуватися методами масового виробництва, других – методами серійного виробництва.

3. При створенні групової маршрутної технології необхідно забезпечити єдину послідовність обробки поверхонь для деталей сімейства; враховувати переходи, які можуть бути необхідні для отримання перспективних модифікацій деталей; прагнути до максимальної концентрації операцій.

4. При розробці групової операційної технології слід широко використовувати багатолезовий ріжучий інструмент, а також спеціальні технологічні прийоми, які підвищують надійність обробки.

1. Митрофанов С. П. Научные основы групповой технологии. Л.: Лениздат, 1979. – 435 с.
2. Основы технологии машиностроения/Под ред. В. С. Корсакова. М.: Машиностроение, 1987. – 416 с.
3. Особенности технологии обработки деталей крупными сериями на токарных станках с ЧПУ. М.: ЭНИМС, 1982. – 18 с.
4. Эстерзон М. А. и др. Обработка деталей на токарных станках с ЧПУ при минимальном участии оператора. – Станки и инструмент, 1984, № 8. – С. 20-22.
5. Эстерзон М. А., Рыжова В. Д. Рациональная эксплуатация режущего инструмента на многоинструментных станках с ЧПУ. – Станки и инструмент, 1980, № 8. – С. 24-25.

Стаття надійшла до редакції 25.06.2014.