

М. М. МОРОЗ, В. В. ДРАГОБЕЦЬКИЙ, А. Г. МАРКЕВИЧ (Кременчуцький державний політехнічний університет ім. Михайла Остроградського)

ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЛИСТОВИХ ЗАГОТОВОК

Розглянуто технологічний процес розрізання листового металу як множину технологічних процесів, розподілену на підмножини. Запропоновано класифікацію технологічних процесів заготівельного виробництва та критерій оптимальності з метою пошуку оптимального технологічного процесу виробництва листових заготовок.

Рассмотрено технологический процесс разрезания листового металла как множество технологических процессов разбитых на подмножества. Предложено классификацию технологических процессов заготовочного производства и критерий оптимальности с целью поиска оптимального технологического процесса производства листовых заготовок.

The technological process of cutting the sheet metal as a set of technological processes divided on subsets is considered. The classification of technological processes of preparation production and the criterion of optimality with the search purpose of optimum technological process of producing the sheet bars are offered.

На підприємствах промисловості відсоток виробництва листового матеріалу є достатньо високим. Одна з основних операцій виготовлення листових заготовок – це вирізування. Тому розкрій металу на заготовки важливий з точки зору економії матеріальних і трудових ресурсів.

У промисловості використовуються методи термічного та механічного розрізання. Різноманітність цих методів при подібних технологічних можливостях великою мірою ускладнює вибір найбільш раціонального і оптимального технологічного процесу. Початково для вибору оптимальної технології розрізання та оптимальних меж її використання треба розробити класифікатор розкрою листових матеріалів. Використовуємо підхід до класифікування, наведений у примірнику [1]. Нехай технологічний процес зображується функцією Y . Розіб'ємо множину технологічних процесів Y на три підмножини: заготівельно-обробляючі – Y_1 , монтажно-складальні – Y_2 , випробувально-регулюючі – Y_3 .

Кожна з цих множин складається з дрібніших. Наприклад, заготівельно-обробляючі – це формоутворення – Y_{11} , додання фізико-механічних властивостей Y_{12} , різання – Y_{13} . Технологічні процеси різання можна відобразити як: електрофізичні Y_{131} , електрохімічні Y_{132} , механічні Y_{133} , комбіновані.

У свою чергу, електрофізичні (ЕФ): електроерозійний Y_{1311} , плазмовий Y_{1312} , електронно-променеви Y_{1313} , лазерний Y_{1314} , ультразвуковий Y_{1315} . Ці методи використовують енергію

електромагнітного поля, яка перетворюється у зоні обробки у тепло, плавлення і випаровування.

Комбіновані методи з'єднують електрофізикохімічні: абразивно-електрохімічні Y_{1341} , ультразвуковий-електрохімічний Y_{1342} , плазмово-механічний Y_{1343} , алмазно-ерозійний Y_{1344} .

Механічні методи: чистове вирізування Y_{1321} , відрізування гумою та поліуретаном Y_{1322} , поелементне штампування Y_{1323} , комплексне штампування Y_{1324} та ін.

Матеріал, що оброблюється, характеризуємо дискретною функцією M_i ($i = 1, 2, 3, \dots$): M_1 – достатньо-пластичні матеріали ($\delta \geq 2,0 \dots 3 \%$, HRC 35...38, $\sigma_b \leq 1000$ Н/мм²); M_2 – малопластичні матеріали ($\delta \leq 1 \dots 2 \%$), а також волокнисті (шкіра, фетр тощо), M_3 – матеріали особливо високої твердості (HRC > 40); M_4 – матеріали, для обробки яких потрібні спеціальні термічні режими.

Конструктивні параметри деталі класифікуємо відповідно до класифікатора ЄСКД, який включає повний перелік деталей не тіла обертання; площинні; зігнутих з листа; штаби та стрічки тощо.

Форми та розміри лімітуючих елементів плоских листових деталей характеризуємо функціями з метою: кутовий виступ або западина без закруглення – α ; кутовий виступ або западина з закругленням – R ; виступ або западини з паралельними сторонами; перемичка – a , в отворі; для круглих отворів – d , для некруглих отворів e, d, c (де d – діаметр отвору; розмір контуру L, B (де L – розмір, що оформлюється,

B – довжина, якою формується цей розмір). Взаєморозташування отворів та контуру Δl – відстань між центрами отворів або від краю деталі до центру отвору Δl ; допуски на розмір контуру – Δ , погрішності форми профілів після роздільних операцій β ; ширини різку – γ ; чистоти поверхні; t – товщина заготовки.

Технологічний процес отримання конкретної листової деталі запишеться наступним чином: $Y_{131-4,1-5}, M_i, 74XXXX, \alpha, R, a, b, l, d, c, L, B, \Delta l, \Delta, \beta, \gamma, t, R_z$.

Використання цієї методики будування класифікатора дає можливість також відшукати оптимальний технологічний процес при наданих початкових та крайових умовах. Перш за все, для кожного конкретного підприємства треба виявити типи деталей та орієнтовані методи їх виготовлення. Після цього переходимо до аналізу конструктивних характеристик деталей, що відноситься до даного способу обробки. Необхідно виявити конструктивні елементи деталей, утруднені або зовсім нездійснювані вибраними способами та засобами розрізання. Це значною мірою звужить пошук оптимальних меж використання різноманітних способів розрізання.

Математизуємо процес пошуку оптимальних меж використання устаткування для термічного або механічного розрізання.

Припустимо, що кожній ознаці класифікатора ми запишемо безперервну функцію, яка відображає особливості технологічного процесу. Зробивши вибір такої функції, створюємо функціонал

$$T(Y, M, \alpha, R, \dots) \quad (1)$$

Вважаємо, що ознак класифікації – n . При неможливості завдання якоїсь функції у вигляді неперервної, можливо розглядати не n -мірну множину технологічних процесів, $(n-1)$ -мірну множину для кожного дискретного значення даної функції:

$$T(M, \alpha, K, \dots) \quad \text{при } X = X_1;$$

$$T(Y, \alpha, K, \dots) \quad \text{при } X = X_2 \text{ і т.д.}$$

При більш простому варіанті відшукування функціональне значення кожної функції задається на дискретній множині. Причому чисельні значення задаються таким чином, щоб урахувати ступінь оптимальності за даним значенням функції. Дискретна множина значень параметрів процесу поділяється на групи, кожна з яких характеризується сукупністю числових

коефіцієнтів p_i^j , які ураховують параметри процесу. Параметрами можуть бути: оброблюваність матеріалів, шорсткість, точність, середня питома продуктивність, середня питома витрата енергії тощо. При цьому виконується умова

$$\sum_{i=1}^n p_i^j = 1.$$

Можна стверджувати, що процес T_i буде оптимальним за n параметрами, якщо множення усіх коефіцієнтів для нього буде мінімальним. Попередній пошук оптимального технологічного процесу включає наступні етапи:

1. Вибір на множині технологічних процесів конкретно заданого.
2. Виявлення основних параметрів деталей, що впливають на технологічний процес.
3. Вибір критеріїв оптимальності технологічного процесу.
4. Установлення взаємного зв'язку між критеріями оптимальності та основними параметрами деталі.
5. Пошук екстремуму за сутністю критеріїв.
6. Виявлення оптимального технологічного процесу конкретної деталі.

На першому етапі для заданої деталі або класу деталей проводимо вибір зіставлених варіантів технологічного процесу розрізання. Основними характеристиками технологічного процесу будуть такі:

1. Товщина деталі. Цей параметр великою мірою характеризує прийнятний спосіб вирізування. Наприклад, газолазерне вирізування припустимо використовувати для тонколистових металевих і неметалевих матеріалів товщиною до 4 мм.
2. Максимально припустима ширина різку. Від неї залежить якість різку, економічність використання матеріалів, продуктивність процесу, припустимість використання вирізаних заготовок для виготовлення зварних конструкцій.
3. Габарити деталі (ширина, довжина або діаметр тощо). Ці параметри визначають вибір устаткування, обладнання та оснащення, засобів автоматизації, необхідність технологічного розчленування тощо.
4. Матеріали деталі. Параметр суттєво впливає на вибір методу вирізування та режими технологічного процесу.
5. Якість поверхні різку. Цей параметр, як і попередній, впливає на вибір методу та режими технологічного процесу. Також це відноситься до точності, яку забезпечує процес вирізання.

Обмежимося цими характеристиками деталі або заготовки.

Критерії оптимальності технологічного процесу можуть бути різноманітними. Загальноприйнятим є економічний критерій (якщо є вільність вибору та схеми технологічного процесу).

Приймаємо за критерій оптимальності коефіцієнт технологічності P_i , враховуючий складність та собівартість виготовлення деталі.

Перш за все, здійснюється етап вибору множини технологічних процесів, гарантуючих отримання конкретної деталі. Якщо ми обмежимося тривимірним простором з координатними t, M_i, LxB , то для конкретної плоскої деталі відповідає точка A^0 з координатами t_A^0, M_{iA}^0, LxB_A^0 . Точці A^0 у координатній сітці $t - M_i - LxB$ відповідають технологічні процеси виготовлення конкретної деталі. Фіксуємо геометрію деталі та її матеріал, визначаємо крайові точки поверхні $t_{\max}, t_{\min}, M_i, (LxB)_{\max}, (LxB)_{\min}$.

Якщо характеристики деталі укладаються усередині областей, що обмежують можливість виготовлення такого класу деталей, то їх виробництво прийнятими способами можливо здійснити. Якщо характеристики деталі не укладаються усередині області, необхідно поширювати область, зсувати межі додатковими заходами. Для цього можна використовувати, наприклад, термічну обробку, застосування комбінованих методів вирізування та пробивання або нагрівання листового металу перед роздільними операціями.

Підібраний критерій технологічності P , функціонально залежний від основних параметрів, вибирається від залежності цього критерію P^I від середньої продуктивності; P^{II} – від середніх затрат енергії; P^{III} – шорсткості та точності; P^{IV} – товщини заготовки; P^V – типу устаткування, що використовується; P^{VI} – коефіцієнту оброблюваності матеріалу. Такі залежності наведені у примірниках [1 – 4]. Таким чином, для характеристик конкретної деталі обчислюємо параметри технологічного процесу. Порівняльний аналіз отриманих величин дає можливість вибрати метод вирізування і розрахувати коефіцієнти P_i , оптимальним технологічним про-

цесом буде такий, у якого критерій технологічності

$$P = P_i \cdot P^I \cdot P^{II} \cdot P^{III} \cdot P^{IV} \cdot P^V \cdot P^{VI}$$

Пошук екстремуму виконується послідовним наближенням, кожний наступний критерій технологічності P порівнюється зі значенням критерію на попередньому кроці наближенням, якщо $P_{i+1} < P_i$, виконуємо коректування параметрів технологічного процесу. Якщо $P_{i+1} < P_i$, то P_i відповідає шуканому технологічному процесу. Це дає змогу знайти не тільки оптимальний технологічний процес виготовлення конкретної деталі або класу деталей та скоректувати конструкцію деталі у випадку неможливості та недоцільності її виготовлення діючими методами. При цьому можливо зафіксувати ряд найбільш важливих параметрів, наприклад, товщина, матеріал та габарити заготовки.

Такий підхід до класифікації технологічних процесів заготівельного виробництва дає можливість вирішити задачу вибору оптимального процесу вирізування. Для визначення оптимальних меж використання термічних методів вирізування серед порівняних оптимальних технологічних процесів застосовуємо методи лінійного програмування.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Рыжов, Э. В. Оптимизация технологических процессов механической обработки [Текст] / Э. В. Рыжов, В. И. Аверченко; отв. ред. А. П. Гавриш; А.Н. УССР. Ин-т сверхтвердых материалов. – К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.
2. Горбунов, М. Н. Технология заготовительного производства [Текст] / М. Н. Горбунов. – М.: Машиностроение, 1978. – 462 с.
3. Исаченков, Е. И. Штамповка резиной и жидкостью [Текст] / Е. И. Исаченков. – М.: Машиностроение, 1967. – 367 с.
4. Технология самолетостроения [Текст] / А. Л. Абибов и др. – М.: Машиностроение, 1970. – 499 с.

Надійшла до редколегії 17.06.2009.

Прийнята до друку 26.06.2009.