МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ГІРНИЧА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

На правах рукопису

Джур Ольга Євгенівна

МЕТОДИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ РОЗКРОЮ В УМОВАХ ОДИНИЧНОГО І ДРІБНОСЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Спеціальність: 05.02.08 - "Технологія машинобудування" і 05.13.04 - "Автоматизовані системи управління та системи обробки інформації"

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дніпропетровськ - 1997

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00752158 (S)

Дисертація є рукопис

Дисертація виконана в Дніпропетровскому державному університеті

Науковий керівник
професор Ларін Володимир Олексійович

Офіційні опоненти
доктор технічних наук,
професор Міхальов Олександр Ілліч

кандидат технічних наук,
доцент Рудасьов Віктор Борісович

Провідна установа
Український Науково-Дослідний Інститут Технології Машинобудування

Захист дисертації відбудеться 9 квітня 1997 року у 12 годин на засіданні спеціалізованої вченої ради К 03.06.05 в Державній Гірничій Академії України
(320600, Україна, м.Дніпропетровськ. пр.К.Маркса,19)

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ДГАУ

Автореферат разіслано "___"_____1997 года

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
кандидат технических наук,
професор В.С.Лобанов

AB57.2002

Загальна характеристика роботи

Актуальність роботи

Економія матеріальних та трудових ресурсів - найважливіший фактор підвищення ефективності виробництва. Основні напрямки - зниження матеріалоемкості промислової продукції і прискорення технологічної підготовки виробництва. В зв'язку з дефіцитом і дороговизною жаростійких і конструкційних сталей, кольорових матеріалів і сплавів, які застосовуються в літакобудуванні, ракетобудуванні, суднобудуванні, радіоелектронній промисловості та інших областях народного господарства ця проблема особливо актуально постала в Україні. Заходом, який забезпечує економію металоресурсів, є їх раціональний розкрій. Рішення такої задачі завжди актуально оскілки оптимізація розкрію дозволяє збільшити вихід годного без додаткових капіталовкладень. На багатьох машинобудівельних підприємствах плани розкрою металопрокату виконуються вручну. Це спричиняє до низького коефіцієнту використання матеріалів і великих відходів, які становлять 20-40%.

Використання економіко-математичних методів і ЕОМ для оптимального розкрою дозволяє підвищити коефіцієнт розкрою пруткового прокату на 2-6%, листового на 3-8% з урахуванням централізованого методу розкрою та забезпечити оптимальність подетальних норм витрачання металоресурсів в машинобудуванні і металообробці.

Завдання фігурного розкрою, що розглядається, в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва вирішується частіше за все з використанням комбінаторного підходу, тобто цілеспрямованого перебору варіантів розміщення заготовок - більш ефективного в порівнянні з простим перебіром.

В цій роботі пропонується вирішення задачі фігурного розкрою в

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

постановці, коли лист розкроюється не увесь одразу, а по частинам. В математичому плані укладка якоїсь групи заготовок довільної форми проводиться не в прямокутній області листа, а в області, обмеженій полілініями, які складаються із відтинків прямих і дуг окружностей.

Ціль роботи: розробити ефективні методи автоматизованого проектування розкрою частини листа на заготовки довільної форми, які забеспечують раціональне використання матеріала в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва.

Для досягнення поставленої мети вирішені такі задачі:

1. Досліджені особливості взаємного розміщення заготівок в раціональних планах фігурного розкрою.

2. Розроблені алгоритми варіювання параметрами розміщення заготовок, які забезпечують винайдення раціонального плану розкрою при скороченому переборі варіантів.

3. Запропонований критерій оцінки плану розкрою і норми розходу матеріалу на основі площи використаної частини листа і технологічності форми залишка.

4. Розроблені процедури вводу і обробки графічних даних, які забеспечують високу продуктивність формування і порівняння варіантів розкрою.

Наукові положення і їх результати

При опрацюванні методики автоматизованого проектування розкрою керувались принципами:

- обгрунтованного скорочення перебору варіантів,
- універсалізації алгоритма розміщення заготовок,
- скорочення часу вводу вихідних даних і рішення задачі.

Такий підхід дозволив розробити методичне забезпечення САПР розкрою, яке задовільняє вимогам одиничного виробництва.

Наукова новизна

Вперше сформульована завдання раціонального розміщення заготовок в частині листа з урахуванням невизначенності у відношенні використання матеріала що залишився.

Запропонована оцінка економічності розміщення заготоок в частині листа і технологічності форми частини, що залишилася.

Отримані формули, які визначають трудоємкість перебору варіантів строгим та евристичними методами дінамічного програмування.

Одержано точне рішення задачі оптимізації зигзагоподібного розміщення різних кіл у кінечній і напівбезкінечній смугах.

Обгрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується фундаментальними концепціями (положеннями) математичної і булевої логіки, методів комбінаторіки, теорії переставлень і динамічного програмування.

Певність одержаних результатів: підтверджується практичною апробацією розробленої методики при проектуванні планів часткового розкрою листів на заготовки у формі багатокутників, секторів, кіл, кілець та інших форм, характерних для одиничного виробництва.

Наукове значення роботы полягає у розробці методики раціонального розміщення фігурних заготовок у частині листа з урахуванням невизначеності щодо використання частини що залишилася.

Практична цінність роботи міститься у розробці універсальних алгоритмів, вільних від обмежень на форму заготовок та розкрою листів, введення поняття еталонної фігури для адаптації САПР до конкретних виробничих умов.

Апробація роботи. Матеріали дисертації були повідомлені на науковому семінарі кафедри технології виробництва і кафедри системи автоматичного управління Дніпропетровського державного університета

(м.Дніпропетровськ, 1996р.), на підсумковій науково-технічній конференції Дніпропетровского держуніверситета 1996 р.

Публікації. По матеріалам дисертації опубліковано 3 статті.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох глав, загальних висновків, списку літератури і додатка. Робота викладена на 127 сторінках машинопісного тексту і містить 31 малюнок. Список використаних джерел містить 153 найменування, додаток представлено на 2 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Розкрійні роботи одні з самих поширених в метало- і деревообробці, швейному і взуттєвому виробництві, інших галузях. Спроможність знайти і реалізувати раціональний план розкрою дозволяє економити матеріал, і отримувати додатковий прибуток без перебудови виробництва і модернізації устаткування, тобто без капітальних витрат, якщо не вважати ресурси, витрачені на пошук плана розкрою.

Виділяють такі види розкрою.

Лінійний розкрій. Завдання лінійного розкрою, яка часто зустрічається в масовому виробництві при розкрої по довжині мірного матеріалу на заготовки заданого асортименту зводиться до класичної задачі лінійного программування. Фундаментальный внесок в рішення данної задачі зробили Л.В.Канторович, В.А.Залгаллер, Д.Данциг, Гілмор і Гоморі, Э.А.Мухачева та ін.

Прямокутний розкрій листів. Розкрій листового прокату ножицями проводять для вигототовлення полос і заготовок, які йдуть у подальшому на штамповку, і для отримання заготовок, які максимально відповідають за формою і розмірами готовій деталі. Завдання гільотинного (тобто такого, що виконується наскрізними різами) розкрою прямокутних листів на комплекти заготовок в масовому виробництві допус-

кає точне рішення.

Фігурний розкрій. Фігурними називають заготовки довільної форми. В найпростішому випадку фігурна заготовка може становити собою прямокутник. При наявності фігур більш складної форми суттєво інше - різка виконується на обладнанні для фігурного розкрою, а не на ножицях з притаманними їм обмеженнями на взаємне розміщення складних заготовок у листі.

Л.Б.Білякова, Н.І.Гіль, Ю.Г.Стоян розробили методи оптимізації періодичного фігурного розкрою стосовно до вирубки деталей з смуги і листа. Ці методи знайшли практичне застосування в математичному забезпеченні ряду САПР, включаючи інтегровані системи.

В наданій роботі пропонується рішення задачі фігурного розкрою в дещо іншій постановці, у порівнянні із звичайною. Вона відбиває специфіку одиничного виробництва, відповідально з якою лист розкроюють не одразу, а по частинам на відносно невеликі групи різних заготовок. Крім того, для одиничного виробництва характерно разове застосування планів розкрою, що обмежує час, що витрачається на перебір варіантів точним рамками економічної доцільності. Тому процедури проектування розкрою максимально автоматизовані і задіяни усі резерви звишення їх продуктивності.

Традиційно вільний контур укладають у прямокутник найменшої площі і при рішенні задачи оптимізації оперують прямокутниками, чим закладають втрати матеріала. Областю розміщення є або прямокутна область або напівбезкінечна стрічка. Проведене нами дослідження реальних деталей, виготовлених газовою різкою метала показало, що раціональніше при рішенні задачі оптимізації оперувати кругами, що описують квазіопуклі контури.

Для з'ясування раціонального розміщення було проведено дослідження ситуацій, які виникають при розміщенні у прямокутній

області кіл однакових і різних диаметрів.

Виявлені закономірності багаторядного розміщення однакових заготовок і алгоритм включає в себе такі кроки.

Крок 1: алгоритм розміщує заготовки в однакові ряди і стовпці по ширині B і довжині A листа, малюнок 1.1а. Число рядів і стовбці $N_r = A \div D$, $N_c = B \div D$, де $\div$ означає ділення націло.

Якщо залишок від ділення націло невеликий (меньш, ніж $D/2$), надана схема розміщення заготовок може виявитися оптимальной, розкрій виконується за схемою на малюнку 1.1а, інакше виконується наступний крок.

Крок 2: парні ряди зсуваються відносно непарних на величину Δ, можливі два варіанта (див. малюнок1.1б,в) відповідно від значення решти ділення $B \div D$. Якщо $B \div D \le D/2$ зміщення парних рядів на величину Δ реалізується відповідно до малюнка 1.1б. Якщо

$$\Delta = \frac{B - D}{2N_C - 1} \succ \frac{D}{2}, \qquad (1)$$

то реалізується варіант на малюнку 1.1в. (між сусідними заготівками одного ряда утворюються проміжки розміром $S = \Delta - \frac{D}{2}$). В обох випадках відстань між сусідними рядами зменьшується і складає $L_p = \sqrt{D^2 - \Delta^2}$. Внаслідок цього число рядів може зрости у порівнянні з кроком 1.

Виготовлення заготовок відповідно до схеми на малюнку 1.1б, відрізняється від попередньої тим, що ряди заготовок почергово базуються на супротивні бокові сторони листа. Якщо непарні ряди вкладаються зліва-направо, то парні - в зворотньому напрямку. Розрахунки показали, що при кратності ширини листа діаметру заготовки така схема в точності співпадає з попередньою, але навіть мінімальна некратність і відповідне зміщення рядів може привести до збільшення

числа заготовок, які розміщуються у листі. Отже, почергове формування рядів від різних бокових сторін листа гарантує аналогічний та найкращий результат порівняно із схемою, показаною на малюнку 1.1а, і її слід виключити із дерева варіантів.

Надане евристичне положення можна застосувати для розміщення різних заготовок, як круглих, так і довільної форми.

На кроці 3 алгоритма розглядається варіант зкорочення числа заготовок у парних рядах на одну, малюнок 1.1г ($\Delta > \frac{D}{2}$). При цьому відстань між заготовками збільшується, а між рядами відповідно зменьшується, проміжки і зміщення приймають значення

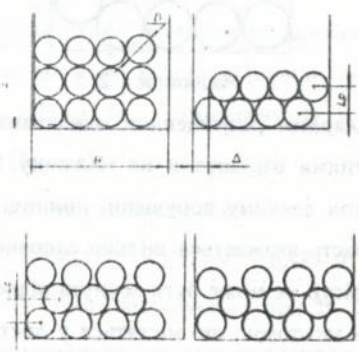
$$S = \frac{B - N_c D}{N_c - 1}; \quad \Delta = \frac{D + S}{2}. \qquad (2)$$

Схеми розміщення однакових круглих заготовок:

а - без зміщення рядів;

б - зі зміщенням парних рядів $\Delta < D/2$;

в,г - теж з $\Delta > D/2$ і проміжками S між сусідними заготовками ряда



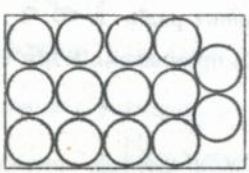
Малюнок 1.1

На наступному кроці (крок 4) алгоритма аналізується зменшення числа заготовок у непарних рядах на одну, що приводить до розміщення заготовок, подібного до малюнку 1.1в, але з меншою відстанню між рядами. Вилучення із рядів (кроки3 і 4) повторюється доти, доки не виконається умова: $\Delta \geq D$

Схеми розміщення заготовок на малюнку 1.1в,г мають загальний відмітний признак - наявність проміжків між заготовками у рядах. На початку, при формуванні рядів заготовки разтошовувались дотично одна до іншої, а після цього були розсунуті з ціллю ліквідації проміжків між останньою заготовкою ряда та боковим краєм листа.

Наданий прийом доцільно розповсюдити на розміщення фігурних заготовок, однак роздвигати заготовки довільної формы слід вибірково

Щільне заповнення листа з порушенням принципа регулярності



Малюнок 1.2

Поряд з регулярним розміщенням однакових круглих заготовок, поданих різноманітними варіантами на малюнку 1.1, можливо щільне заповнення листа при деякому порушенні принципу регулярності, див. малюнок 1.2. Область вважається щільно заповненою, якщо жодна із розміщених у ній фігур не може бути зсунута відносно сусідних фігур і меж області. Число заготовок, що містяться у листі згідно зі схемою на малюнку 1.2, рівно $N_P N_C + N_P - 1$, где N_P і N_C - відповідно число рядів і стовпців регулярного розміщення заготовок без обліку правого

стовпця, що містить заготовки. Враховуючи щільне заповнення листа, його довжина $A=DN_P$, ширина $B = D(N_c + \frac{\sqrt{3}}{2})$.

Розрахунки показують, що плани розкрою, подібні показанному на малюнку 1.2, і відповідаючи умові щільності , є оптимальними при $N_C \le 5$. Якщо число кіл, що розміщуються в ряду, більше 5, доцільно звернутися до алгоритму, відображеному на малюнкі 1.2. Якщо схема представлена по типу малюнка 1.2, то з'являється можливість розташувати в області листа додаткову кількість заготовок, число котрих на одиницю менше, ніж число розміщених рядів. Обчислюючи ширину листа по формулі $D(N_C+\sqrt{3}/2)=D+\Delta(2N_C-1)$, отримаємо крок розміщення заготовок у рядах і відстань між сусідними рядами:

$$\Delta = D\frac{N_C - 1 + \frac{\sqrt{3}}{2}}{2N_C - 1}, \quad L_P = D\sqrt{1 - \left(\frac{N_C - 1 + \frac{\sqrt{3}}{2}}{2N_C - 1}\right)^2}. \qquad (3)$$

Довжина листа, щільно заповненого заготовками при цьому складає DN_P і $D + L_P N_P$, где N_P - число рядів регулярного розміщення заготовок в вихідному плані, рівне $N_C + 1$.

Якщо перетворення схеми розміщення заготовок робить її більш економічною, потрібна довжина листа повинна зменьшитися при інших рівних умовах: $DN_P \succ D + L_P N_P$. Замінюючи $N_P = N_C + 1$, одержуємо нерівність: $DN_C \succ L_P(N_C + 1)$. (4)

Після підстановки і перетворень маємо:

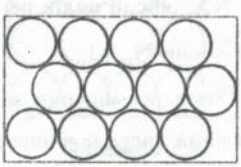
$$N_C{}^4 - 6{,}268N_C{}^3 + 4.484N_C{}^2 + 1{,}772N_C - 0{,}98 \succ 0. \qquad (5)$$

Надана нерівність строго виконується при $N_C \ge 6$. Одержаний результат дозволяє сформулювати евристичне правило розміщення заготовок довільної форми:

- для відносно великих заготовок важливо дотримуватися принципа щільности по відношенню до меж розміщення, меньш істотно зближення рядів;
- дрібні заготовки треба розміщати з обліком западин і виступів попереднього ряду, наближуючи ряди і мінімізуя довжину зайнятої частини листа. При цьому до дрібних можливо відносити заготовки, чиї габаритні розміри не привищують 1/5 - 1/6 ширини листа.

При дослідженні щільного розміщення заготовок, показаного на малюнкі 1.3, де зміщення рядів складає 0.5D сусідні заготовки в ряду торкаються одне іншого. Перетворимо надану схему до типу, зображеному на малюнку 1.1г, тобто зменшимо число заготовок на одну в кожному парному ряду і сформуємо з них додатковий ряд. При цьому відстань між рядами зменшиться за рахунок утворення проміжків між сусідними заготовками в ряду.

Щільне заповнення листа із зміщенням парних рядів на 0.5D



Малюнок 1.3

Вважаємо N_p парним і рівним $2N_c$, де N_C - кількість стовпців.

При цьому відстань між сусідними заготовками в ряду складе

$$\Delta = 0{,}5D + \frac{0{,}5D}{2N_C - 2} = \frac{D(2N_C - 1)}{2(2N_C - 2)}. \qquad (6)$$

Складемо рівність, аналогічну (4):

$$D + \frac{\sqrt{3}}{2}(N_P - 1) \succ D + L_P N_P. \qquad (7)$$

Замінюючи $L_p = \sqrt{D^2 + \Delta^2}$ і $N_P = 2N_C$, одержуємо нерівність:

$$-8N_C^3 + 24N_C^2 - 18N_c + 3 \succ 0, \qquad (8)$$

що не виконується при всіх $N_C \geq 2$.

Аналогічний результат одержуємо при непарному N_P, це означає, що щільне заповнення листа за схемою, наведеною на малюнку 1.3, не піддається покращенню. Зрозуміло, що надана схема не є найкращою в усіх випадках, на практиці верхній ряд ніколи не торкається межи листа.

Розміщення фігурних заготовок на частині листа доцільно алгоритмізувати відповідно до малюнка 1.3, коли сусідні заготовки в ряду торкаються друг друга, і формування рядів йде почергово то зліва, то зправа.

Аналогічний результат можна одержати шляхом зигзагоподібного розміщення заготовок у невеликій залишившийся частині листа, котра не вміщує два щільно заповнених ряда заготовок. В наданій роботі завдання оптимального зигзагоподібного розміщення заготовок вирішено строго для смуги кінечної і напівбезкінечної довжини. Це завдання актуально, коли внаслідок розділки листового метала на заготовки залишаються ділові відходи у вигляді вузьких смуг. Завдання найкращого використання площи смуги має у данному випадку точне рішення, якщо радіуси розміщуємих кіл співвідносяться з шириною смуги B таким чином:

$$\frac{B}{2} \succ r \succ \frac{B}{2+\sqrt{3}} \qquad (9)$$

При цьому кола розташовуються зигзагоподібно, і

$$L = r_1 + r_n + f(r_2 + r_3) + \ldots + f(r_{n-1} + r_n),$$

де $f(r_i + r_j) = \sqrt{2B(r_i + r_j) - B^2} = l_{ij}$. (10)

В розрахунковій схемі кола торкаються одне одного і країв смуги. Фактично мають місце технологічні перемички, тому радіуси r_i завищені на величину міждетальної перемички, а розміри смуги занижені на величину бокової перемички.

Для розрахунку схеми зигзагоподібного розкрою в смузі кінцевої довжини множину заготовок впорядковують за зменшенням радіуса.

Оптимальний зигзагоподібний розкрій смуги кінечної довжини досягається при розміщенні заготовок з непарними номерами: 1,3,5...із одного кінця смуги і з парними: 2,4,6 - із другого.

Оскільки круглі заготовки невеликої товщини можна одержувати вирубкою на універсальних штампах, становить інтерес завдання оптимізації розкрою листа на смуги із котрих штампують однакові круглі заготовки.

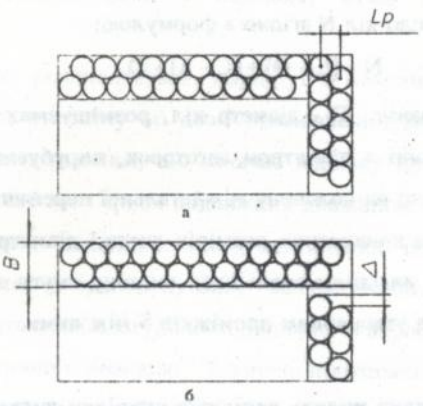
Завдання вирішено на основі засобу динамічного програмування. Розроблен алгоритм визначення оптимальної послідовності відрізки поперечних і подовжніх смуг без решти з вибором таких кроку розміщення кіл і зміщення рядів, котрі дають максімум цільової функції, що в сукупності забезпечують получення максимальної кількості заготовок.

Смуги для вирубки з них заготовок можуть бути отримані різкою листа тривіальним та комбінованим засобом.

Тривіальний засоб має на увазі різку на тільки поперечні або тільки подовжні смуги. При цьому ширина смуги кратна довжині або ширині листа відповідно. Далі підбирається найбільш вигідна з пропонуємих вище схема розміщення кругов в смузі.

Комбінованим засобом лист розкроюється на поперечні або подовжні смуги однакової ширини, але різної довжини.

Варіанти початкової стадії розкрою листа



Малюнок 1.4

Метод динамічного програмування дозволяє скоротити число схем розрізки листа, які розраховуються від початку до кінця, у десятки разів. Переважна більшість схем відсіюється за результатами порівняння їх фрагментів. Малюнок 1.4 ілюструє перший крок перебору варіантів, коли порівнюються фрагменти схем, що містять відрізку двох смуг. Варіант, показаний на малюнку 1.4а, передбачає відрізку поперечної смуги, а потім- подовжньої, у них розміщується відповідно 10 і 18 заготовок - на 1 більш, чим на малюнку 1.4б. За результатами порівняння перший фрагмент зберігає і утворює два нових варіанта, а другий відсіюється. Разом із ним відсіюється 21 схема, що містить наданий фрагмент.

Двохрядне розміщення кіл у смузі із зміщенням одного ряду відносно другого на 0,5D дозволяє мінімізувати ширину смуги при збереженні щільного розміщення заготовок у ряду. Якщо при цьому розміри листа виявляються істотно некратними значенню B, то має сенс збільшити ширину смуги до усунення названої некратності, що дозво-

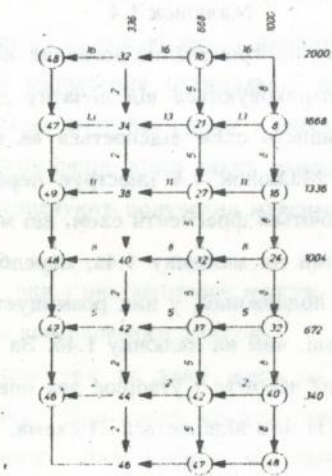
лить зменьшити зміщення рядів Δ, як це зображено на малюнку 1.1б. За рахунок зменьшення Δ в смузі фіксованої довжини може розташуватися більше число кіл N згідно з формулою:

$$N = (L + D) + (L - \Delta) + D. \qquad (11)$$

Тут, як і раніш, D - діаметр кіл, розміщуємих дотично один до іншого, у зрівнянні з діаметром заготовок, вирубуємих із смуги, значення D підвищено на половину міждетальної перемички.

Залежно від конкретних розмірів листа і діаметра заготовок може виявитися більш вигідним зменьшити ширину смуги за рахунок розсунення заготовок з утворенням проміжків S між ними.

Математична модель варіантів розрізки листа на смуги



Малюнок 1.5

Оптимізация розрізки листа на смуги комбінованим засобом міститься у відшуканні маршруту на графі, який починається в верхньому правому вузлі сітки на малюнку 1.5 (D=185 мм, L_p=145 мм, B=332) і що закінчується з максимальною сумою вагів. До внутрішніх

вузлів сітки маршрути підходять ліворуч і згори. Якщо при цьому сума ваги виявляється неоднаковою, у наданому вузлі проставляється найбільша сума.

В прикладі, що розглядається, маршрут з максимальною сумою вагів - 49 проходить спочатку по двом прямовисним ребрам, а після цього по трьом горизонтальним, що означає відрізку двох поперечних смуг довжиною по 1000 мм і трьох подовжних довжиною по 1336 мм.

На заготівельних дільницях інструментальних цехів машинобудівних підприємств, у суднобудуванні, авіабудуванні, станкобудуванні в умовах багатономенклатурного одиничного виробництва актуально завдання одиничного розкрою. Технічна підготовка виробництва деталей, заготовки котрих виробляються газовою різкою відбувається в умовах неповноти інформації. Лист звичайно не розкроюють повністю, може накопичитися декілька недорозрізаних листів, котрі можуть бути використані для вирізки заготовок деталей надалі. Оскільки метод газової різки вживається для товстолистового матеріалу, втрати недовикористання можуть бути значними.

Крім того виникають труднощі визначення подетальных норм витрат матеріала, якщо у групі усі деталі різні.

Таким чином, проектування і реалізація планів розкрою частини листа відбувається в умовах невизначеності, тому говорити про оптимізацію розкрою можливо лише надто умовно, тим не меньш, мають місце оцінка і зрівняння різноманітних планів, без цього неможливо обійтися.

Припускається застосування автоматичного режима формування і зрівняння планів розкрою, отже, їх оцінка повинна бути формалізована. В подібних ситуаціях розробники САПР прагнуть використовувати емпіричний досвід, створюючи на його основі експертні системи. Експертні оцінки якості розкрою повинні засновуватися на використанні

деякої функції, що враховує площу і технологічність частини листа, що залишається після вирізки чергової групи заготовок. Предметом експертизи є числові значення аргументів функції, зміст яких зрозумілий практикам і відбиває існуючий досвід.

Запропонований метод автоматизованного визначення раціонального плану розкрою і розрахунку подетальних норм витрати матеріалу шляхом рішення задачі одиничного розкрою.

На математичній мові завдання формулюється як завдання раціонального розміщення N контурів довільної форми в області, обмеженою трьома прямими і однією ломаною лінією, що становить собою довільну послідовність відрізків прямих і дуг кіл.

Завдання вирішується програмно-апаратними засобами і метод поіменований як рецепторний метод.

Алгоритм формування рецепторної моделі фігури полягає в наступному. Інформація про розміщуємий контур становить собою замкнений ланцюг світних на екрані дісплея мінімальних елементів - пікселів заданого кольору, який відрізняється від кольору фона і кольору межі області, в якій розміщують контур. Спочатку контур зображується заданим кольором в лівому верхньому куті (мінімальні координати) екрану дисплея. Межа представлена ланцюгом червоних світних пікселів. Далі контур деталі переміщується в напрямку межи і виробляється перевірка неперехрещення цього контура з межею. В "ощупанні" межи розміщення беруть участь тільки ті складові контура піксели, фронт яких звернутий в напрямку зміщення контура. Совокупність цих пікселів становить скорочену рецепторну модель контура, достатню для вирішення завдання неперехрещення контура з межею розміщення.

Переміщення контура розміщуємої заготовки здійснюється елементарними кроками. При руху уздовж межи контур заготовки завж-

ди повинен торкатися її хоча б однією крапкою, звідси слідує, що можливо одне з 8 слідуючих елементарних пересувань:

1	2	3	4
X=X+1	X=X+1	X=X+0	X=X-1
Y=Y+0	Y=Y+1	Y=Y+1	Y=Y+1
X=X-1	X=X-1	X=X+0	X=X+1
Y=Y+0	Y=Y-1	Y=Y-1	Y=Y-1

Якщо з 8 елементарних кроків можливий лише один, то контур, що переміщується опинився в тупику, траєкторія виходу з котрого збігається з траєкторією входу. В такій ситуації алгоритм визначає локальний оптімум функції цілі. Алгоритм розміщення контура чергової заготовки, крім системи приорітетных напрямків, задає стартове положення, ознаки локальних оптімумів і закінчення пересування. Локальний оптимум має місто, коли черговой елементарний крок пересування контура повинен відрізнятися по напрямку від попереднього не меньш , як на 90^0.

Поряд із зміненням напрямку пересування при реєстрації зазначених екстремумів враховується також приорітетний напрямок. Таким є від'ємний напрям осі Y. Тому, локальний екстремум не реєструється, якщо попередній крок робився у напрямку + Y, навіть якщо він відрізняється від наступного за напрямком більш як на 90^0. І навпаки-локальним екстремумом вважається крапка траєкторії з мінімальною ординатою. Якщо таких крапок декілька, обирається та, що має мінімальну абсцису.

Постановка апаратно-програмного рішення завдання неперехрещення контура і межи розміщення на базі рецепторної моделі дозволяє оперувати скільки завгодно складними контурами і полілініями межи.

Алгоритм, що реалізує рецепторний метод, відпрацьований в 4-х варіантах.

Варіант 1 - з читанням пікселів і відображенням пересування контура.

Описаний вище варіант програми використовує процедури модуля GRAPH з графічним драйвером BGI. Цей варіант програми дозволяє наочно контролювати хід укладання контурів деталей на екрані дисплея. Однак він є недостатньо швидкодіючим через особливості роботи растрових дисплеїв.

Варіант 2 - з читанням пікселів, але без відображення переміщення контура.

Цей варіант повністю співпадає з варіантом 1, з тією лише різницей, що початкове положення і рух контура не відображаються.

Варіант 3 - з попереднім читанням бітової площини відеоадаптера.

В цьому варіанті, також, як і в варіанті 2, переміщення контура не відображається.

Тут економія часу досягається за рахунок того, що читається лише одна бітова площина і звертання до масиву інформації в оперативній пам'яті ЭВМ здійснюється швидше, чим звертання до пам'яті відеоадаптера.

Варіант 4 - з читанням бітової площини відеоадаптера безпосередньо в процесі роботи алгоритма обходу межи листа. Цей варіант співпадає по ефективності з варіантом 2. Тут використовується власна функція читання старшої бітової площини дисплею, із-за чого швидкість цього варіанта наблизилась до швидкодії варіанта 3.

Для оцінки ділового відхода уведено поняття еталонної фігури, котра визначається технологом, який використовує надану САПР, виходячи з реальних середньостатистичних габаритів номенклатури виготовляємих конкретним виробництвом деталей.

Пропонується оцінювати якість розкрою частини листа на основі ефективної площи решти, в межах якої може розміщуватися деяка се-

редньостатистична заготовка. Користувач САПР назначає її форму (наприклад, коло) і розміри, а відповідна процедура переміщує еталонну фігуру вдовж периметру залишившейся частини листа і вираховує ефективну площу решти.

Загальна кількість варіантів розкрою листа або його частини на різні заготовки залежить від кількості останніх і їх форми.

Формування варіантів розкрою включає перебір послідовностей розміщення заготовок. При розмірі партії N заготовок число розміщених послідовностей (переставлянь) складає N! . Для скорочення перебору можна застосувати строгий метод динамічного програмування у відповідності з яким число переставлянь, які не містять забраковані фрагменти, складає

$$M = 0{,}5\frac{N!}{(N-n)!}(N-n+1)!0{,}5^{N-n} = N!(N-n+1)0{,}5^{N-n+1}. \qquad (12)$$

Це число можна оцінити як недостатнє при N>7.

Більш ефективний, хоч і меньш точний еврістичний метод зрівняння фрагментів. Відбирають N найкращих фрагментів, що містять по два елемента, застосовуючи для цього оціночну функцію. Істотна деталь - фрагменти, що порівнюються, повинні починатися з одного і того ж елементу множини N. Таким чином, кожний з N елементів по одному разу фігурує у вигляді першого серед відібраних фрагментів. Останні нарощують до трьох елементів, потім до чьотирьох і т.д. Кожний раз виконується рівняння і відбір послідовностей відповідно до наведеного вище правила.

Ефективність різних методів оцінюється двома показниками:

-p - число звертань до процедури розміщення чергової заготовки;

-q - число звертань до оціночної функції.

В таблиці 1 приведені дані для порівняння методів.

Таблиця 1 -Показники трудоємкості різноманітних методів перебору послідовностей розміщення заготовок

Число заготовок	Методи					
	Простий перебір		Динамічне програмування		Еврістичний метод	
	p	q	p	q	p	q
4	96	24	96	24	28	24
5	600	120	540	180	55	50
6	4320	720	1980	630	96	90
7	35280	5040	7440	2200	154	147
8	322560	40320	33920	8480	232	22
9	3265920	362880	182196	37044	333	324
10	36288000	3628800	1241100	203490	460	450

З таблиці видно, що по обох показниках еврістичний метод є прийнятним для розмірів партії заготовок в одиничному виробництві.

Після проведення досліджень для підтвердження практичного підтвердження справедливості одержаних висновків було проведене вілпрацювання ключових програм САПР фігурного розкрою.

Для обробки вхідної інформації по деталям розроблен пакет програм, що становлять інтерфейс програм САПР і системи AutoCAD.

Основні положення дисертації відображені у таких публікаціях:

1) Акастьолова Н.А., Вдовін С.І., Майнич О.Е., Троян І.І. Автоматизоване проектування розкрою листового проката в інструментальному виробництві //Ковальсько-штамповочне виробництво №2, 1996, с.12-14.

2) Вдовін С.І., Джур О.Є. Оптимальне зигзагоподібне розміщення кіл у смузі//Прогресивні технологічні процеси в машинобудуванні. Збірник матеріалів наукової конференції ДДУ,1995, с.6-10.

3) Акастьолова Н.А., Вдовин С.І., Джур О.Є. Автоматизоване проектування фігурного розкрою листів в одиничному виробниц-

тві//Прогресивні технологічні процеси в машинобудуванні. Збірник материалів наукової конференції ДДУ,1996, с. 8-13.

Особовий внесок до робіт, написаних у співавторстві

Розроблений алгоритм обходу довільного контура у растровому просторі, що був використаний при проектуванні розкрою і оцінці його ефективності, одержані рішення часних задач фігурного розкрою засобами комбінаторики і динамічного програмування.

Впровадження

Розроблені методи і програми передані для практичного використання на ПО Південний машинобудівний завод.

Джур О.Е. Методы автоматизированного проектирования раскроя в условиях единичного и мелкосерийного производства. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. по специальности 05.02.08 - технология машиностроения і 05.13.04 - автоматизированные системы управления и системы обработки информации. - ГТАУ.- Днепропетровск.-1997.

Ключевые слова: фигурный раскрой, автоматизация проектирования, алгоритм плотного размещения, оценочная функция.

Джур О.Є. Методи автоматизованного проектування розкрою в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва. Дисертація на здобуття вченого ступеню к.т.н. за фахом 05.02.08 - технологія машинобудування та 05.13.04 - автоматизовані системи управління та системи обробки інформації. - ДГАУ.- Дніпропетровськ.-1997.

Захищається наукова робота, яка містить теоретичні, експериментальні положення та практичні рекомендації з метою підвищення ефективності, якості та оцінки автоматизованного проектування роз-

435479

Ав 37.226

крію в умовах одиничного та дрібн
ефективні методи, алгоритми та програми для оптимізації розкрію.

Ключові слова: фігурний розкрій, автоматизация проектування, алгоритм щільного розміщення, оціночна функція.

Dzhur O.Y. Methods of automation designing of cutting under the conditions of single and small series production. The thesis for a competition for a degree of candidate of technical sciences by the speciality 05.02.08 - machinery technology and 05.13.04 - automation systems of control and systems of information treatment.

Keywords: figured cutting, automation designing, algorithm of compact placing, estimation function.

Здобувач Джур О.Є

тип ДГУзам. 577-100.