

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

Гордєєв Андрій Сергійович

Технологічне забезпечення зниження енерго- і
матеріаловитрат при точінні зовнішніх поверхонь
тіл обертання

05.02.08.-Технологія машинобудування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового
ступеня кандидата технічних наук

Харків 1997

624 Дисертація є рукописом

AB 36.638

Робота виконана на кафедрі "Технології" ЛННБ України ім.В.Стефаніка
Української інженерно-педагогічної академії



00760868 (Z)

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Арпентьєв Борис Михайлович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Костюк Геннадій Ігоревич
кандидат технічних наук, доцент
Рудько Олександр Пантелеєвич

Провідне підприємство: Харківський науково-дослідний ін-
ститут Технології машинобудування
Міністерства машинобудування, вій-
ськово-промислового комплексу і
конверсії України

Захист відбудеться "23" зубря 1997 р. в 14⁰⁰ годин
на засіданні спеціалізованої ради Д 02.09.01. у Хар-
ківському державному політехнічному університеті
(310002, м. Харків-2, МСП, вул. Фрунзе, 21)

Автореферат розісланий "20" декабря 1996 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Узунян М.Д.
Узунян М.Д.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. Ресурсозбереження у сфері матеріального виробництва є одним з головних напрямків науково-технічного прогресу. Винічення цієї проблеми забезпечує істотну економію не тільки енергії і матеріалів, але і праці. Машинобудування – одна з провідних галузей економіки, які використовують метали, тому матеріаломісткість і, як наслідок, енерго-місткість продукції, що випускається, значно впливав на інтенсифікацію економіки країни. Актуальність цього найбільш очевидна сьогодні, коли потреби в сировині, паливі, енергії не можуть бути повністю задоволені.

Технологія виготовлення деталей складної форми базується на різанні, яке забезпечує високу точність і якість обробленої поверхні. При цьому відходи металу у стружку визначаються величиною призначеного припуску. Удосконалення цієї технології іде у напрямку одержання економічних, точних заготовок і скороченні питомої ваги механічної обробки металів. Інтенсивність удосконалення визначається рядом факторів, серед яких чималу вагу має інформаційне забезпечення на стадії прийняття рішень. Тема дисертації відповідає тематиці науково-дослідних робіт Академії (договори 92-ІГБ, 95-ІГБ) і є часткою робіт по вирішенню проблем, визначених Міністерством науки України: "Екологічно чиста енергетика і ресурсозберігаючі технології" розділ "Високоєфективні технології механозбирального виробництва".

Мета роботи. Зниження матеріаломісткості заготовок і енерговитрат при лезвійній обробці зовнішніх поверхонь тіл обертання за рахунок розробки методики розрахунку операційних припусків і розмірів заготовки на базі теорії дислокацій и статистико-імовірного методу визначення величини випадкових поміток.

Завдання, які вирішуються. 1. Оцінити величину енергії, необхідної для утворення нової поверхні у загальному балансі між нею і якісними характеристиками обробки. 2. Виявити закони статистичного розподілу складових припуску залежно від умов протікання технологічного процесу. 3. Розробити методичку розрахунку операційних припусків і розмірів заготовки згідно критерія мінімуму енерговитрат при обробці.

Загальна методика дослідження. Теоретичні, які базуються на положеннях механіки руйнування металів, теплофізики процесів різання і статистико-імовірному описанні технологічних закономірностей. Експериментальні, що включають дослідження точності виготовлення

тіл обертання і величин, що складають припуск. Останні проводились у механічних цехах Дрогобицького машинобудівного, Мелітопольського компресорного, Новогорлівського машинобудівного, Харківського тракторного заводів і АТ "АВТРАМАТ" (м. Харків).

Автор захищає, 1. Концепцію взаємозв'язку енерговитрат і якісних характеристик обробленої поверхні при різанні, яка адекватно відображає фізичні процеси, які відбуваються у зоні стружкоутворення. 2. Аналітичні залежності величини мікронерівностей та глибини дефектного шару від припуску, що знімається, і енерговитрат у зоні стружкоутворення. 3. Імовірну модель формування складових операційного припуску. 4. Методику призначення операційних припусків і розмірів заготовки при лезовій обробці згідно критерія мінімуму енерговитрат.

Наукова новизна полягає в тому, що вперше: 1. Запропонована математична модель енергобалансу при лезовій обробці, яка враховує енергію процесу різання, енергію, акумульовану у поверхневих шарах деталі, стружці і енергію, яка виділяється у вигляді теплоти. 2. Встановлений кількісний взаємозв'язок між енергією, необхідною для утворення поверхні і якісними показниками поверхнього шару (шорсткість поверхні і глибина дефектного шару). Це дозволяє розрахувати вказані параметри як функції енерговитрат. 3. Одержано математичне рівняння для визначення мінімального операційного припуску і точності виконання розмірів.

Практична цінність. Запропонована методика дає можливість розрахувати припуски з урахуванням конкретних виробничих умов, що веде до зменшення номінального припуску в середньому на 18% при задовільній якості оброблених поверхонь, а також призначати їх величини згідно критерія мінімуму енерговитрат при обробці. Одержана математична модель може бути використана для створення експертних систем, які дають практичні рекомендації по проектуванні технологічних процесів. У цілому результати роботи призначені для інженерних розрахунків при технологічній підготовці виробництва.

Реалізація роботи. Результати досліджень і розроблена методика були впроваджені на АТ "АВТРАМАТ" при розрахунках розмірів заготовок деталей типа "Вал" і "Поршень", що дозволило знизити припуски на механічну обробку від 15 до 36 відсотків.

Апробація роботи. Матеріали роботи доповідались на: другій міжнародній конференції "Нові технології у машинобудуванні"/Рибач'є, 1993/; республіканській науково-технічній конференції "Проблеми якості і надійності машин"/Могілів, 1994/; науково-технічній

конференції "Нові технології і системи обробки у машинобудуванні" /Севастополь, 1994/; науково-технічній конференції "Нові технології в машинобудуванні" /Донецьк, 1995/; міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні проблеми машинобудування і технічний прогрес" /Донецьк, 1996/.

Публікації. За темою роботи опубліковано 5 друкованих робіт.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, трьох глав, списку літератури зі 116 найменувань, викладених на 121 сторинці і містить 15 таблиць, 18 малюнків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. Обґрунтовується актуальність проведення наукових досліджень, спрямованих на ресурсозбереження в машинобудівному виробництві. Відзначається що збільшення припусків на механообробку, зв'язане з неврахуванням величин, складових припуск, які залежать від конкретних виробничих умов, а також на необхідність урахування енерговитрат при обробці різанням у зв'язку з величиною знятого шару. Формулюється ціль роботи.

1. Огляд стану предмету досліджень. Виконаний огляд розвитку методів призначення операційних припусків і розмірів заготовок при механічній обробці на сучасному етапі розвитку науки; дається аналіз робіт, присвячених вивченню існуючих методик; зроблен перелік робіт, присвячених перспективним напрямкам удосконалення методів розрахунку операційних припусків і розмірів заготовок.

Аналіз літературних джерел показав, що використовувані сучасні методи розрахунків припуску базуються на дослідженнях, проведених А.П.Соколовським, В.М.Кованом, І.Б.Плоткіним, В.П.Пузановим, М.А.Калініним, А.М.Капустіним, Д.Т.Васильєвим. Найбільш фундаментальні роботи були виконані В.М.Кованом, де запропонован метод розрахунку припусків, який базується на аналізі факторів, впливаючих на припуски попереднього і виконуемого переходів технологічного процесу обробки поверхні. Розрахунково-аналітичний метод має широке вживання. Однак він дає збільшені значення необхідних припусків, що по окремим випадкам складає до 300% від необхідної мінімальної величини. Подальші дослідження дозволили врахувати імовірний характер складових припуску.

Найбільш помітною роботою в цьому напрямку є методика, запропонована М.А.Когановим і А.А.Станкеєвим. Однак автори підсумовують якісні характеристики обробленої поверхні згідно метода мак-

симуму-мінімуму, тобто не враховують реальні закони розсіяння випадкових поміток при обробці. В останніх роботах А.Г.Косілової і Р.К.Мещерякова висунуті основні положення по імовірному розрахунку припусків і проміжних граничних розмірів. Ці положення також базуються на традиційній методиці В.М.Кована у частині аналізу факторів, які впливають на величину припуску і тому несуть у собі більшу частину недоліків аналітичного методу, зокрема не враховують спадкової помітості.

Аналізуючи переглянуту літературу, можна зробити висновок, що існуючі методики призначення операційних припусків і розмірів заготовок мають ряд недоліків, вони: недостатньо точні у плані аналізу взаємодіючих факторів при механічній обробці; часто трудомісткі і цілком не враховують енергомісткість наступної механообробки. Широко поширене аналітичне складання величин припусків і допусків носить наближений характер, бо не враховує закони розсіяння составних операційних і номінальних припусків на обробку, а також наявність спадкової погрівності. Застосування ж існуючого, більш прогресивного імовірного методу утруднено через складність розрахунків, що приводить до великих витрат часу. У той же час, як вже підкреслювалось, жодна з існуючих методик не відповідає на питання взаємозв'язку величини призначеного припуску і енерговитрат при наступній механічній обробці, що істотно знижує їх ефективність. Враховуючи вище сказане, автором був зроблений огляд літератур, присвяченої енергомісткості процесів механічної обробки.

Аналізу енергетичних співвідношень при різанні присвячен ряд робіт, в яких розглядаються механізми деформації вару, що зрізається, стружкоутворення, виникнення автоколивань, формоутворення, зношення різального інструменту, взаємозв'язок і взаємообумовленість вихідних параметрів, а також розробляються шляхи керування системов різання і її оптимізація з метов підвищення надійності процесів механічної обробки у автоматизованому виробництві.

Фундаментальні роботи у цій області написані такими дослідниками, як В.Д.Кузнецов, Л.Бриджмен, А.П.Срьомін, А.М.Розенберг, Н.Н.Зорев. Найбільший інтерес становлять дослідження Ф.Я.Якубова. Він розглядає закони термодинаміки стасовно к впливавшим поверхням інструменту, стружці і деталі. Ступінь взаємодії цих поверхонь визначається рівнем приростання їх внутрішньої енергії, розвинутою процесом в цілому. Процес різання оцінюється як слідство перетворення зовнішньої енергії в енергію внутрішніх процесів взаємодіючих матеріалів. Не менш цікава робота Ю.Г.Кабалдіна, який про-

понує вважати, що реальні ізольовані макроскопічні системи прямують самочинно перейти із менш імовірного стану у більш імовірний. Він пропонує використати це для керування вихідними параметрами процесу різання за рахунок впливу на систему теплом, ультразвуком, електричними і магнітними полями, забезпечувачи стійкий стан системи.

Аналіз застосованих методик розрахунку енергетичних параметрів процесу різання показав, що найбільшу трудність представляє облік їх величин і взаємодії між собою. Це пов'язане з тим, що процес різання майже завжди досліджується у динаміці. Такий підхід приводить до більшого розкиду дослідних даних і формуванню на цьому ґрунті суб'єктивних уявлень про внутрішні процеси у зоні стружкоутворення. У той же час аналіз літературних джерел показав необхідність удосконалювання теорії різання шляхом подальшої розробки її фізичних основ на атомному рівні з використанням дислокаційних уявлень фізики твердого тіла. У теперішній час теорія дислокацій стала загальноприйнятою фізичною теорією, на основі якої успішно описуються і пояснюються процеси і явища, які протікають у металах і сплавах під час їх пластичної деформації, руйнування, повзучості. Теорія дислокацій є ефективним засобом аналізу багатьох фізичних явищ, пов'язаних з поведінкою матеріалів під навантаженням і в умовах дії високих температур.

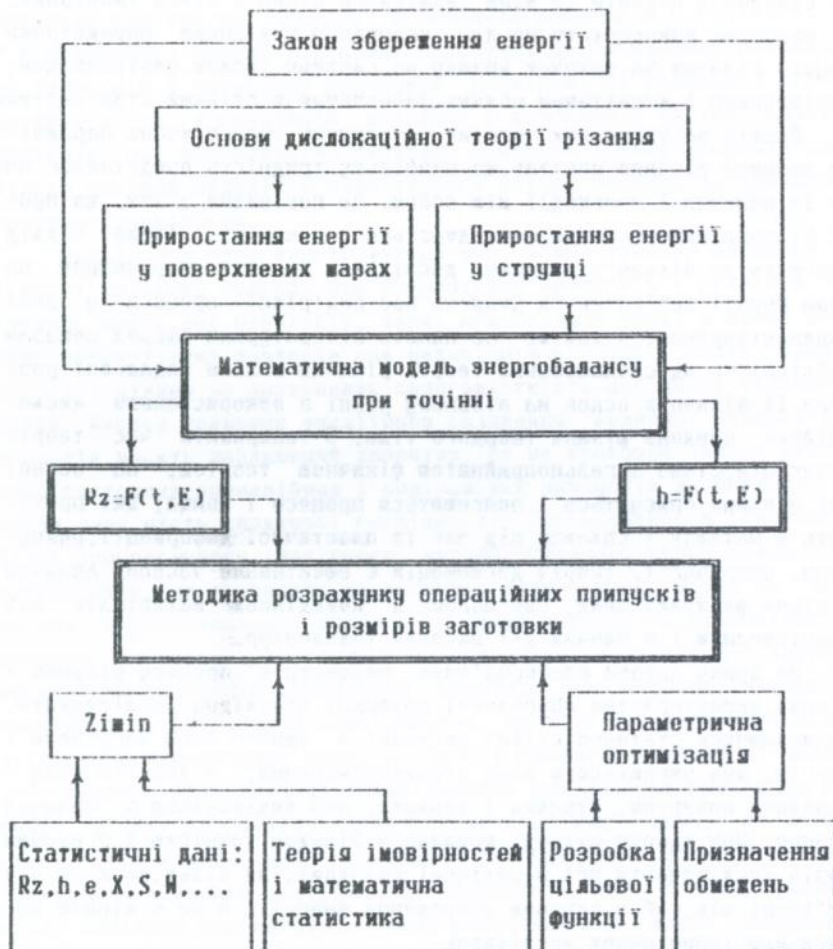
На думку автора взаємозв'язок параметрів процесу різання і якісних характеристик обробленої поверхні необхідно досліджувати, роздивляючись статично стійкі системи: з одного боку заготовка і енергія, яка вводиться у зону стружкоутворення; з другого боку – оброблена поверхня, стружка і теплота, яка виділяється в процесі різання. При такому підході можливо з більшою точністю і з різних сторін досліджувати усі перелічені складові. Тим більше, що вони усі пов'язані між собою законом збереження енергії, а це є міцною основою для теоретичних досліджень.

Взаємозв'язок енергетичних параметрів процесу різання і структури технологічного процесу, на думку автора, повинний лежати у якісних характеристиках обробленої поверхні.

$$\begin{cases} K = F(v, s, t, E) \\ CT = F(K) \end{cases} \quad (1)$$

де $F(\dots)$ – енергетичні параметри процесу різання; K – якісні характеристики і-ї поверхні; CT – структура технологічного процесу.

Прогнозування параметрів якості обробленої поверхні при ме-



Мал.1 Структура зниження матеріаломісткості заготовок і енерговитрат при обробці

ханообробці на базі аналізу імітаційних моделей дозволяє створити алгоритми оцінки варіантів технологічних процесів. На мал.1 наведена структура запропонованої роботи. У зв'язку з вище сказаним, у даному розділі формулюються основні задачі, які вирішуються у дисертаційній роботі.

2. Теоретичне дослідження взаємозв'язку енергомісткості тех-

нологічних процесів і величини операційних припусків. У цьому розділі роздвляються питання формування операційних припусків у взаємозв'язку з енерговитратами при лезвіній обробці. Різання як процес руйнування матеріалів, який управляється, досліджується з позицій оцінки впливу різних технологічних факторів, котрі супроводжують відділення від заготовки шару, який зрізається; визначення оптимальних параметрів процесу обробки; і вироблення рекомендацій по проектуванню ефективних технологічних маршрутів механічної обробки.

Визначається взаємозв'язок параметрів різання (режими, енергомісткість процесу) і якісних характеристик обробленої поверхні.

Оброблені статистичні дані і, на їх основі, одержана імовірна залежність для визначення мінімального і розрахункового припусків, виведені числові значення коефіцієнту просторових відхилень для різних видів заготовок, складена база даних полів розсіювання складових припуску.

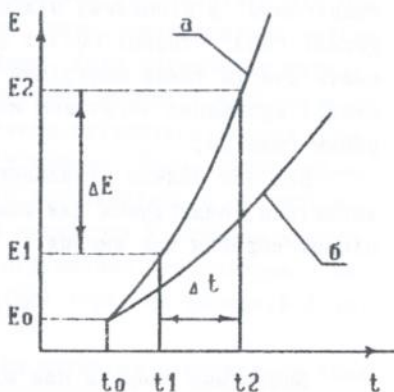
Розроблена методика розрахунку розмірів заготовки.

2.1. Енергобаланс процесу лезової обробки. Міцність міжатомного зв'язку у кристалах є основним фактором, який визначає опірність деформуванню і руйнуванню металів. Вона визначається з умов деформації або руйнування у пружній області ідеальних ґрат кристалу, в якій дії зовнішнього навантаження протистоїть міжатомний зв'язок. Енергія зв'язку ідеальних кристалів прямо пропорційна кількості атомів зв'язку

$$E_{\text{мін}} = N E_0, \quad (2)$$

де $E_0 = (2-3)$ зв'язок- енергія першого зв'язку; N - кількість атомів зв'язку.

Графік цієї функції має параболічний вигляд (мал.2). З нього наочно видно, що навіть невелике зниження глибини різання приводить до значного зниження енерговитрат. В наслідок чого, з усіх технологічних параметрів глибина різання і, як слідство, операційні припуски потребують детального розглядання з точки зору їх енер-



Мал.2. Залежність енерговитрат від величини знісного шару; а- для ідеальних кристалів; б- для реальних металів.

гетичної суті. Стосовно до реальних технологічних процесів, вірно встановлена величина знісного шару дозволяє уникнути невинувато завищених енерговитрат під час механічної обробки.

Міцність ідеальних кристаличних решіток на декілька порідків перевищує значення міцності реальних металів. Ця невідповідність є результатом наявності у реальному твердому тілі великої кількості дефектів (дислокації, межи зерен і блоків мозаїки, мікродфекти структури, вакансії і атоми домішок).

Дислокаційно-енергетичні основи процесу різання дають можливість підійти до задачі вибору оптимального технологічного процесу з принципово інших позицій – на основі мінімізації енергетичних витрат. Енергетичні закони, які керують пластичної деформацією і зміцненням у зоні обробки, тісно пов'язані зі зношенням інструменту, тепловим режимом і якістю поверхневого шару деталі. Надмір енергії, яка витрачається на обробку, створює підвищену динамічну і теплову напруженість зони різання і, як слідство, у поверхневих шарах деталі.

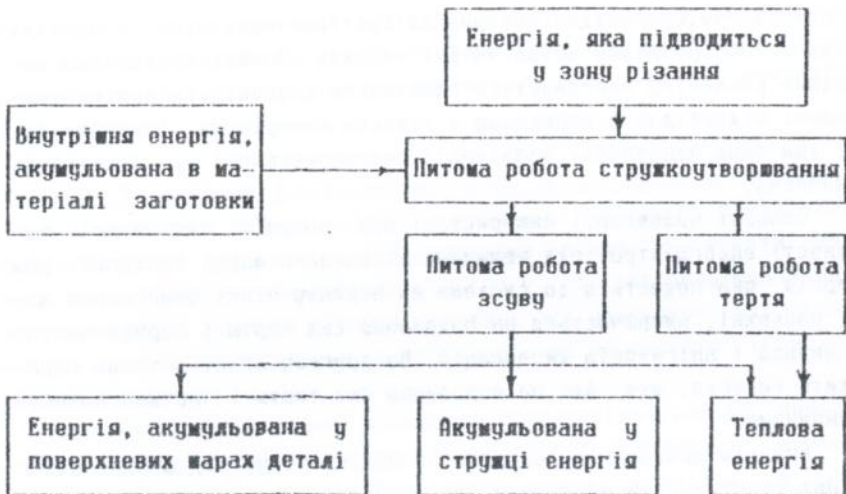
Природа вбирання твердим тілом енергії, у вигляді внутрішньої, в процесі деформації і руйнування роз'яснюється дислокаційним механізмом, який на даному етапі розвитку фізики твердого тіла є найбільш правомочним, тобто щільність дислокацій може служити об'єктивною характеристикою увібраної внутрішньої енергії.

Енергія (E_p), яка підводиться у зону різання, згідно закону зберігання у кінцевому підсумку акумулюється в поверхневих шарах деталі (U_n), стружці (U_c) і у теплоті (Q). В процесі різання приймають участь також внутрішня енергія матеріалу (U_v), накопичена на стадії одержання заготовки або попередній операції механічної обробки (мал.3).

Під час впливу різального інструменту внутрішня енергія звільнюється, полегшуючи цим процес різання, тобто енергобаланс механічної обробки має вигляд:

$$E_p + U_v = U_n + U_c + Q. \quad (3)$$

Внутрішня енергія пов'язана з виникненням, перерозподілом і взаємодією дислокацій одна з одною і з точковими дефектами. Процес різання супроводжується зростанням ступеня деформації і температури різання. У результаті в об'єктах, які деформуються, безперервно збільшуються густини дислокації і швидкість їх руху. Процес перебудови дислокаційної структури потребує певної активації для



Мал.3. Схема енерговитрат при механічній обробці.

подолання дислокаціями силових бар'єрів.

Під час пластичної деформації металу підвищується його температура, тому що більша частина роботи при цьому перетворюється у тепло. Фізична природа нагріву під час пластичної деформації пов'язана з розсіянням пружної енергії коливними дислокаціями під час їхнього руху у полі внутрішніх напруг, котрі викликаються іншими дислокаціями, а також різними перешкодами. Коли рухатиметься металі, дислокація долає область високих внутрішніх напруг і попадає у область їх мінімуму, вона швидко коливається, зміщаючись вперед і назад під впливом зовнішніх і внутрішніх напруг. Таким чином, кінетична енергія коливної дислокації буде розсіюватись у околиці шару ковзання, що приведе до збільшення амплітуди коливання кристалічної решітки і, як слідство, до підвищення температури. Тепло у системі виникає також в результаті тертя на передній і задній поверхнях різця.

В результаті механічного впливу на матеріал утворюється нова поверхня, при цьому поверхневі шари пластично деформуються. Це приводить до того, що їх властивості, у зрівнянні з вихідними, якісно змінюються. Стружкоутворення, як і будь-яке руйнування, супроводжується трьома типами пластичної деформації. Попередня деформація, зміцнюючи метал спереду різця, генерує фон для наступно-

го руйнування. Супровідна деформація протікає одночасно зі зростом тріщини, яка розділяє метал на дві частини. Процес формування поверхонь розподілу завершується пластичною деформацією при контактуванні відповідно з передньою і задньою поверхнями інструменту. Усі три типи пластичної деформації взаємозумовлені і протікають одночасно.

Основні положення, використані при розробці емпіричної залежності енерговитрат від величини знімаемого шару, наступні: уся енергія, яка подається до системи на першому етапі формування нової поверхні, витрачається на подолання сил тертя і зародження, пересування і анігіляцію дислокацій. На другому етапі у тепло переходить енергія, яка йде на подолання сил тертя і частина енергії руйнування.

Енергія деформації залежить, з одного боку, від фізико-механічних властивостей матеріалу, що обробляється, які характеризуються модулем зсуву G і коефіцієнтом Пуассона ν ; а також від параметрів кристалічних ґраток і наявності в неї дислокацій. З другого боку, величина енергії деформації залежить від технологічних факторів, зокрема від глибини різання t . Власне кажучи, глибина різання t є тим основоположним і регульованим параметром, від якого залежить енергія деформації. Розроблена енергетична модель процесу різання, як функція від глибини різання, має вигляд

$$\left\{ \begin{aligned} E_p + U_b &= U_c + U_n + Q \\ U_n &= \tau v s \frac{\sigma b(1-\nu \cos^2 \alpha) N(1-h)^{N+1}}{4Cq2h(N+1)} \left[\ln(1-h) - \frac{1}{N+1} \ln(h) - \frac{10.9}{N} \right] 3 \cdot 10^{14} \\ U_c &= \frac{V_c}{4V} \left[(Ct\xi + \tilde{\nu} \rho (t\xi)^2) \ln \tilde{\rho}(t\xi) + 4\nu C(C(t\xi)^2 - \tilde{\rho}(t\xi) \ln b) \right] \\ Q &= 308,7v^{0,33} S^{0,105} t^{0,85} \tau \\ U_b &= vtStq \frac{\sigma b(1-\nu \cos \alpha)}{4Cq} \lg \left(\frac{1}{bV\rho} \right) \end{aligned} \right. \quad (4)$$

где v - швидкість різання; s - подача; τ - час обробки; σ - границя міцності матеріалу, що обробляється; b - параметр кристалічних ґрат; ν - коефіцієнт Пуассона; α - кут між вектором Бюргерса і віссю дислокацій; ρ , $\tilde{\rho}$ - густина дислокацій відповідно знов утвореної поверхні і стружки; q - густина матеріалу.

Розроблене на основі фундаментальних законів термодинамики

енергетично співвідношення системи різання дозволяє визначати енерговитрати при різних величинах шару, що зрізається, а також розподіляти номінальний припуск при механообробці згідно критерія Нуд—він.

2.2. Моделювання енергетичних процесів при різанні. Дислокаційно-енергетична модель різання і методика імовірного формування припусків дають можливість розрахунковим шляхом вирішувати ряд задач проектування технологічного процесу. Із дислокаційно-енергетичної моделі процесу різання походить ряд передумов, які дозволяють по-новому поглянути на взаємозв'язок параметрів технологічного процесу.

Головна роль у процесі утворення мікронерівностей на обробленій поверхні належить пластичній деформації. Формування мікрорельєфу обробленої поверхні при різанні можна розглядати як результат одночасного виявлення різних механізмів: пластичної деформації біля вершини тріщини, що рухається; її вітвілення і пластичної деформації під час тертя на задній поверхні інструменту. На основі вище описаної математичної моделі у роботі одержана залежність величини шорсткості обробленої поверхні як функції енерговитрат і глибини різання при обробці

$$R_z = \frac{12,8}{v^{0,86} S^{1,1} t^{0,38}} K_A, \quad (5)$$

Фізичний стан (структура, властивості) і напруга поверхнього шару деталі в основному є слідством пружно-пластичної деформації і місцевого нагріву, виникаючих у зоні різання. Під час механічної обробки деформація металу поверхнього шару по глибині носить загущаючий характер, з нерівномірним падінням інтенсивності упрочення. Пластична деформація поверхнього шару супроводжується збільшенням числа дефектів і викривленням кристалічних решіток, зміненням субструктури і мікроструктури поверхнього шару металу. При цьому у поверхньому шару різко зростає кількість дислокацій, вакансій і інших недосконалостей кристалічних ґрат, підвищуючи його напруженість.

Результати виконаних експериментально-теоретичних досліджень дозволили одержати залежність величини дефектного шару, яка враховує вид заготовки, вид обробки і фізико-механічні властивості матеріалу, що обробляється.

$$h=1+E^x, \quad \text{где } X=F(\sigma_{\text{в}}, E, v, s, t) \quad (6)$$

2.3. Імовірна залежність визначення операційних припусків під час обробки. Найменше значення припуску визначається з умови обов'язкового віддалення дефектів поверхневого шару, які виникли на попередній операції обробки (шорсткість поверхні і глибина дефектного шару). У реальних умовах величина шорсткості залежить від коливань фізико-механічних властивостей матеріалу, що обробляється, коливань деформації і режимів різання, тобто є випадковою величиною. З іншого боку, величина дефектного шару при механообробці залежить від параметрів стружкоутворення, властивостей матеріалів, режимів різання, тобто також є випадковою величиною. Таким чином, величина дефектного шару (h), як і шорсткість (R_z), є основними величинами, які формують необхідний мінімальний припуск і які в сучасний час визначається як

$$Z_i \text{ min} = (R_z + h) i - 1. \quad (7)$$

На підставі проведених досліджень запронована залежність для визначення імовірного значення операційного припуску Z_i . При однібічному розташуванні імовірний припуск буде

$$Z_i = [R_z + h]_{i-1} + 0,25 \sqrt{\delta R_z + \delta h} + \sqrt{T_1^2 + T_{i-1}^2 + K_0 \sum_{l=1}^n \epsilon_l^2} \quad (8)$$

Для симетрично розташованого припуску відповідно

$$2Z_i = 2[R_z + h]_{i-1} + 2\sqrt{\delta R_z + \delta h} + \sqrt{T_d^2 + T_{d-1}^2 + K_0 \sum_{l=1}^n \epsilon_l^2} \quad (9)$$

Розроблені залежності враховують як математичне очікування величин шорсткості і дефектного шару, так і їх розсіяння і на попередніх операціях, а також розсіяння розмірів на поверхнях $T_d, T_{d-1}, T_l, T_{l-1}$, що обробляються, і погрешності сумарних просторових відхилень.

Значення коефіцієнту просторових розсіань враховується комбінацією законів етих відхилень, а його найбільш імовірна величина дорівнює для асиметричних припусків $K_0=1,2$, а для симетричних - $K_0=2,4$.

Вперше запропонований імовірно-аналітичний метод розрахунку операційних припусків дозволяє враховувати змінення складових фа-

кторів, що у зрівнянні з існуючими методиками дозволяє одержувати уточнені в 1,1 рази величини операційних припусків. Використаний апарат теорії дислокацій робить можливим обрати оптимальний маршрут технологічного процесу зі змістом операцій, які дозволяють реалізувати його з мінімальними витратами на механічну обробку. Мінімізація енергетичних витрат на механічну обробку досягається методами динамічного програмування стосовно до конкретних операцій (попередніх, чернових, чистових, обробних) і в цілому до технологічного процесу за рахунок оцінки їх оптимальності по компромісним показникам точності, енергомісткості і собівартості.

Імовірно-очікувані якісні і точнісні параметри від заготовельних і кінчавчи механообробними операціями, які входять у формули імовірно-аналітичного методу розрахунку припусків, розуміють використання нормативних і довідкових даних під час підбору обладнання, технологічного оснащення, різального інструменту, умов обробки, режимів різання.

Розрахунки імовірного операційного припуску з обліком оптимальних складових параметрів з точки зору забезпечення мінімальних енерговитрат і оптимального маршруту механічної обробки, дозволяють зменшити величину припуску при обробці зовнішніх симетричних і плоских асиметричних поверхонь на 15–20%, а при обробці внутрішніх симетричних поверхонь на 20–30% у зрівнянні з традиційними методами розрахунків. Методика призначення імовірносних операційних припусків з обліком мінімізації енергомісткості при механообробці впроваджена при проектуванні технологічних процесів обробки на автоматизованому обладнанні: токарному і багатощабельовану, ЧПУ, агрегатному і спеціальному у вигляді автоматичних ліній.

Методика передбачає використання як вихідних даних ряду нормативних або довідкових коефіцієнтів. Її надійність і достовірність підтверджені проведеними теоретичними і експериментальними дослідженнями.

2.4. Розрахунок розмірів заготовки і оптимізація процесів подовжнього точіння. Дана методика розроблена на підставі проведених і наведених вище теоретичних і експериментальних досліджень. Вона використовує апарат теорії дислокацій, методи теорії імовірностей і математичної статистики, а також розроблену автором енергетичну модель формування припуску. Методика розрахунку розмірів заготовки і параметричної оптимізації дозволяє визначити очікувані якісні характеристики виготовлення деталей у залежності від геометричної точності заготовок і параметрів технологічного про-

цесу поздовжнього точіння.

З визначення чергової і чистової обробки випливає, що мінімальним припуском є припуск, який забезпечує одержання заданих точності розмірів і шорсткості обробленої поверхні при чистовій обробці. Тоді як припуск під чернову обробку служить для відділення дефектів заготовки. Якщо позначити якісні характеристики деталі через Rz, h, p, T ; мінімального припуску - Rzi, hi, pi, Ti ; заготовки через Rzo, ho, po, To , де Rz - шорсткість поверхні, h - глибина дефектного шару, p - просторові відхилення, T - поле допуску, то ми маємо справу з трьома масивами M, Mi, Mo відповідно.

Для кожного виду механічної обробки існує об'єктивно наданий мінімальний припуск, який забезпечує одержання наданих параметрів точності розмірів і шорсткості обробленої поверхні. Таким чином, зменшення загального припуску можливо за рахунок зменшення припуску на чернову обробку. Він буде залежати від виду заготовки і вірності його призначення, тобто необхідно створити тенденцію його зменшення.

$$Mo(Rzo, ho, po, To) \rightarrow Mi(Rzi, hi, pi, Ti)$$

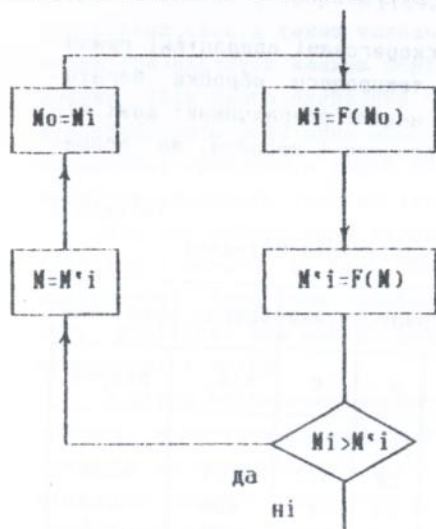
Першим заходом при рішенні цієї проблеми буде встановлення масиву Mo - у теперішній час різними дослідниками зібран великий статистичний матеріал по якості заготовок, що одержуються, і даний захід труднощів не представляє.

Другим заходом буде визначення масиву Mi , тобто параметрів обробленої поверхні після чернового проходу. Масив Mo є заданим, бо він забезпечується методом одержання заготовок. Масив M також не підлягає змінню, бо він заданий кресленням. Тому необхідно вирішити систему такого виду

$$\begin{cases} Mi = F(Mo) \\ M'i = F(M), \end{cases} \quad (10)$$

где $M'i$ - масив, який забезпечує одержання заданих точності розмірів і шорсткості обробленої поверхні при чистовій обробці. З метою знаходження такого режиму чергової і чистової обробки, при якій $Mi < M'i$. Якщо у першому наближенні виявиться, що $Mi > M'i$, то між ними необхідно запроваджувати проміжний прохід, якщо ж $Mi \ll M'i$, то можлива обробка за один прохід. Алгоритм вище сказаного надан на мал. 4. Для знаходження масиву Mi використана статистична база

даних, яка зібрана автором. Такий підхід дозволяє враховувати конкретні виробничі умови (вид і якість заготовок, технологічний маршрут, обладнання і ступень його зношення і т.д.).



Мал.4. Алгоритм оптимізації

Підводячи рису під усіма вище проведеними теоретичними роботами, автор пропонує наступний порядок розрахунку операційних припусків розмірів заготовки і режимів різання.

1) По статистичним даним визначаємо параметри заготовки: \bar{X} - середньоарифметичне відхилення; S^2 - міра розговання; M - розмах виборки; m - поле розсіювання; K_i - коефіцієнт відносного розсіювання; α - коефіцієнт асиметрії; R_z - величина шорсткості; h - глибина дефектного шару; δ_{Rz} , δ_h - поле розсіювання відповідно величин шорсткості і дефектного шару.

2) Розраховуємо операційний припуск для віддалення дефектів заготовки.

$$2Z_1 = 2[R_z + h]_{i-1} + 2\sqrt{\delta_{Rz}^2 z_{i-1} + \delta_h^2 i - 1} + \sqrt{T_{z1}^2 + T_{z1}^2 i - 1 + K_{\alpha} \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2} \quad (11)$$

3) По величині розрахункового припуску створюємо параметричну оптимізацію, приймаючи $t = Z_1/2$.

4) Визначаємо величини мікронерівностей R_z і дефектного шару h

$$R_z = \frac{12,8}{v^{0,86} s^{1,1} t^{0,38}} K_R, \quad (12)$$

$$h = 1 + E^x, \quad (13)$$

5) Проводимо аналіз одержаних даних по алгоритму, зображеному на мал.3. Якщо умова виконується, переходимо до наступного пункту, у противному разі вводимо черговий прохід, прийнявши величини, одержані у п.4 за вихідні. Необхідні статистичні величини вибирає-

мо з відповідних таблиць прикладення.

б) Розраховуємо розміри заготовки

$$a_3 = a_0 + \sum_{i=1}^n (Z_{m i n} + T) \quad (14)$$

По названій вище методиці були скореговані операційні припуски і розміри заготовки для діючого техпроцесу обробки багатоступінчатого валу. У табл.1 і табл.2 надані розрахункові дані відповідно для діючого технологічного процесу і процесу, що розрахован по запропонованій методиці.

Таблиця 1

Розрахунок припусків по аналітичній методиці

N	Найменування переходу	Складові припуску, мкм				Операц. прип., мкм	
		Rz	h	p	e	мін.	розрах.
1	Заготовка (поковка)	320	350	1625	-	-	-
2	Чорнове точіння	80	50	98	570	4164	6364
3	Чистове точіння	20	25	65	34	468	678
4	Шліфування	6,3	-	-	2,1	220	350

У даному випадку загальний номінальний припуск склав $Z_{\text{ном}}=5892$ мкм.

Таблиця 2

Розрахунок припусків по запропонованій методиці

N	Найменування переходу	Складові припуску, мкм				Операц. прип., мкм	
		Rz	h	Ke	Ei	мін.	розрах.
1	Заготовка (поковка)	308	302	-	-	-	-
2	Одноразове точіння	15	12	1722	-	1220	4260
3	Шліфування	6,3	-	68	-	54	75

В результаті проведених досліджень теоретичних і експериментальних даних одержан метод, який дає реальну можливість ітгходу до об'єктивної параметризації засоба обробки на основі визначення технологічних режимів, обгрунтованих рівнош міров і з технологічної, і з економічної точок зору.

3. Експериментальні дослідження точності виготовлення і законів розподілу складових припуску при лезовій обробці зовнішніх поверхонь тіл обертання. Експериментальні дослідження технологіч-

ного процесу одержання заготовок і подальшої їх механічної обробки виконувались на промислових підприємствах згідно єдиної методики. Задача експериментів - виявлення правомірності деяких допущень, прийнятих у теоретичних дослідженнях, і обґрунтування розрахункових схем, а також визначення достовірності теоретично одержаних результатів шляхом порівняння їх з незалежними опитними даними. Крім цього, одержання числових значень коефіцієнтів, котрі характеризують розсіяння випадкових величин, з яких складаються операційні припуски, а також спадкоємні погрішності для розрахунку розмірних ланцюгів технологічного процесу.

Під час вибору виду деталей і методів одержання заготовок виходимо з вимоги, що вони повинні бути найбільш поширені в машинобудуванні. Тому були прийняті наступні види деталей: вал, поршень, шестірня. При цьому досліджувались заготовки з прокату, штаповані і литво.

З ціллю експериментального дослідження величин, складових припуск, у виробничих умовах були зроблені їх заміри після кожної операції по параметрам і технічним вимогам, зазначених у кресленнях. При обробці результатів вимірювання застосовані методики проведення статистичного, кореляційного, регресивного і дисперсійного аналізів технологічних процесів лезової обробки.

Основним методом, який використовувався під час аналізу технологічних процесів є вибірковий метод. Обсяг вибірки визначався для оцінки розмірів, що вимірювались з надійністю $\alpha=0,95$ і точністю $\epsilon=10$ мкм. Для виробничих умов, у яких робились дослідження, з достатньою точністю і надійністю обсяг вибірок склав $n=50..70$ шт. Кожна деталь, яка входить у вибірку, вимірювалась за допомогою універсально-вимірвальних приладів у відповідності з складеною схемою вимірювання. При цьому проводилась безповторна випадкова одноразова вибірка.

Проведені експериментальні дослідження взаємозв'язку вихідних факторів заготовок і перетворювальної системи дозволили: визначити коефіцієнти рівнянь зв'язку між вихідними факторами і погрішностями обробки; виявити математичну сторону перетворення технологічних факторів у погрішності обробки, визначити вплив кожного фактору на показник, що вивчається, розкрити характер і ступень впливу вихідних факторів на вхідні погрішності обробки.

Поковки були досліджені на предмет наявності заходів, флокенів, тріщин і розривин, які виходять на поверхню. Вимірювання проводились універсальним ультразвуковим дефектоскопом УДМ-1М. Литі за-

готовки досліджувались на наявність раковин, пористості і поверхових тріщин капілярним методом.

Шорсткість поверхні зразків після обробки вимірювали за допомогою профілографу-профілометра блочної конструкції мод.201 заводу "Калібр". На кожній поверхні, що досліджувалась, вимірювання проводили у 3-5 характерних місцях, причому в кожному випадку робили по 10 подвійних ходів обцупушкою голошкою.

У результаті обробки дослідних даних по методиці, викладеній вище, були введені залежності між вхідними і вихідними параметрами при механічній обробці і побудовані графіки, визначені критерії наявності лінійного кореляційного зв'язку, достовірність коефіцієнтів кореляції і кореляційних відношень.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

Результати досліджень дозволили зробити такі висновки:

1. Параметри поверхневого шару знаходяться у тісному взаємозв'язку з коефіцієнтом тертя на задній поверхні інструменту, швидкості різання і товщиною слою, що зрізається; після обробки різанням у поверхневих шарах спостерігається велика кількість ліній зсувів, підвищена щільність дислокацій, менші розміри блоків. Зроблені висновки дозволяють використовувати терів дислокацій як зв'язуюча ланка при вирішуванні сучасних задач технології і різання.
2. Одержана математична модель відображає механізми взаємозв'язку потужності процесу різання і якісних характеристик обробленої поверхні і дозволяє визначати режими обробки як функції якості.
3. Розсіяння величин шорсткості поверхні і дефектного шару підкоряються закону нормального розподілу; порівняння дисперсії за допомогою критерію Романовського і Кохрана засвідчують про стабільність і стійкість технологічних процесів обробки. Вище сказане дозволяє стверджувати про правомочність прогнозування технологічних параметрів на базі методів теорії імовірностей і математичної статистики.
4. Розроблена методика розрахунку операційних припусків, розмірів заготовки і режимів різання враховує конкретні виробничі умови, що дозволяє здійснювати обробку з найменшими витратами і високою якістю оброблених деталей.
5. Основні результати і практичні рекомендації роботи впроваджені на АТ "АВТРАМАТ". По результатах впровадження було зроблене

коректування технологічних процесів на деталі типу "Вал" і "Поршень", у результаті чого загальні номінальні припуски були знижені в середньому на 16 %.

Основний зміст дисертації викладений у наступних роботах:

1. Арпентьев Б.М., Чепела В.А., Гордеев А.С. Оптимизация технологических процессов на основе минимальной массы заготовки. // Новые технологии и системы обработки в машиностроении. Тезисы докладов научно-технической конференции. 20-23 сентября 1994 г. - Донецк: ДонГТУ, 1994. - С.4.

2. Гордеев А.С., Арпентьев Б.М. Технологические мероприятия по минимизации массы заготовки. // Проблемы качества и надежности машин. Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции. 4-5 октября 1994 г. - Могилев: ИИИ, 1994. - С.70.

3. Гордеев А.С., Арпентьев Б.М. Минимизация массы заготовок при проектировании технологических процессов механической обработки. // Информация и новые технологии. - 1995. - №1. - С.35.

4. Гордеев А.С. Овеществленный труд как оценочный критерий высоких технологий. // Новые технологии в машиностроении. Тезисы докладов научно-технической конференции. 18-22 сентября 1995 г. - Донецк: ДонГТУ, 1995. - С.59.

5. Гордеев А.С. Энергетическая модель операционного припуска при механообработке. // Современные проблемы машиностроения и технический прогресс. Сб. тезисов докладов научно-технической конференции. 10-13 сентября 1996 г. - Донецк: ДонГТУ, 1996. - С.35.

ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК

Основні результати дисертації були одержані особисто автором. У роботах /1,2/ автор приймав участь у створенні бази даних, котра включає коефіцієнти законів розподілу випадкових величин, які впливають на величини припуску, для різних технологічних операцій. Створена база даних використовується при імовірнісному підсумовуванні складових припуску. В роботі /3/ автором розроблений принцип параметричної оптимізації згідно критерія мінімуму енерговитрат при механічній обробці. Запропонований підхід забезпечує мінімальну кількість ітераційних кроків при проектуванні технологічних процесів. У роботі /4/ автором поставлена проблема призначення операційних припусків з обліком кількості енерговитрат на кож-

ному технологічному переході. Зазначається необхідність використання для рішення цієї задачі методів математичної статистики. У роботі /5/ автором розроблена математична модель енергобалансу процесу різання. Модель дає залежність енерговитрат в зоні стружкоутворення від величини шару, що знімається, режиму різання і властивостей обробляемого матеріалу.

АННОТАЦІЯ

УДК 621.7/-9

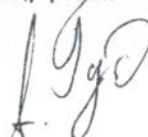
Гордеев А.С. Технологическое обеспечение снижения энерго- и материало затрат при точении наружных поверхностей тел вращения. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08.-технология машиностроения. Харьковский государственный политехнический университет, Харьков, 1997.

Защищается рукопись, содержащая теоретические и экспериментальные исследования, представляющие собой методологию назначения операционных припусков и размеров заготовок с учетом снижения энергоемкости механической обработки. Разработана математическая модель энергобаланса зоны стружкообразования как функции глубины резания. Получены уравнения связи энергоемкости процесса и качественных характеристик обработанной поверхности.

Cordeev A.S. Technological ensuring of power- material expenditures reduction while turning the exterior surfaces of bodies rotated. The thesis is presented for master of science (speciality 05.02.08.-Technology of Mechanical Engineering). Kharkov State Polytechnical University. Kharkov, 1997.

The defendet manuscript contains theoretical and experimental researches which show the allocation methodology of operational allowances and sizes of intermediate parts taking into account the reduction of power capacity of mechanical processing. The mathematical model of energy balance of shaving-formation zone as the function of cutting depth is dewloped. The eguations of connection betroeen the processes of power capacity and qualitative characteristics of processed surface are obtained.

Ключові слова: лізова обробка, операційні припуск, шорсткість поверхні, глибина дефектного шару, енергомісткість процесу різання, дислокації.



AB 36.638