



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ
ФИЛИАЛ ПЛОВДИВ

маг. инж. Лили Николаева Рачовска

**ОПТИМИЗИРАНЕ ПОКАЗАТЕЛИТЕ НА ТОЧНОСТТА И
ЕФЕКТИВНОСТТА ПРИ МЕХАНИЧНО ОБРАБОТВАНЕ
НА МАШИНОСТРОИТЕЛНИ ИЗДЕЛИЯ ВЪРХУ ММ С
ЦПУ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на

ДИ С Е Р Т А Ц И О Н Е Н Т Р У Д

за получаване на образователната и научна степен

“ДОКТОР”

област на висше образование “Технически науки”
професионално направление “Машинно инженерство”
по научната специалност “Технология на машиностроенето”

Научни ръководители:

доц. д-р инж. Ангел Димитров Ленгеров
доц.д-р инж. Десислава Иванова Петрова

Пловдив 2024

А. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на темата. Постоянно нарастващото разнообразие на произвеждани машиностроителни изделия при едновременното им конструктивно усложняване налага въвеждането на високотехнологично металообработващо оборудване. В условията на серийното и едросерийното производство такива се явяват ММ с ЦПУ, предназначени да изпълняват механична обработка съпътствана със сложни пространствени движения. Задачата на машиностроенето винаги е била повишаване качеството, надеждността и дълготрайността на произвежданата продукция, т.е. нейните потребителски свойства. Решаването на тази задача се извършва, чрез рационален избор на подходяща последователност на технологичните операции и режимите на рязане. Особено внимание трябва да се отделя на мероприятията, способстващи осигуряване на геометричната точност и точността на макрогеометрията на повърхностният слой на детайлите.

За установяване на обективните закономерности, при механична обработка на ротационни повърхнини е необходимо всестранното изучаване на получаваната точност и грапавост на повърхнините, при отчитане на явленията, съпътстващи промяна силите на рязане, както в рамките на конкретните технологични операции, така и за целия технологичен процес.

Към момента повишаването на технико-икономическата ефективност, при обработването на сложнопрофилни детайли с променливи режими на рязане, може да се извърши по няколко начина:

- чрез назначаването на режими на обработване на база използването на емпирични зависимости и методики, отчитащи влиянието на само един или няколко променящи се технологични параметъри;
- чрез използването на тясно специализирани машини;
- чрез използването на системи за автоматизация на процеса рязане.

Реализирането на тези задачи е възможно да стане чрез създаването на аналитични теории, позволяващи определянето на изходните характеристики на технологичните показатели на обработваните повърхнини при механичната обработка на детайлите. Това ще ускори процесите на внедряване на научно-обосновани методики за решаването на научно- приложни задачи, за оптимизиране на технологичния процес на механична обработка на сложнопрофилни ротационни детайли. На базата на всичко това е определена целта на настоящия дисертационен труд: Подобряване на техническите и качествените показатели на обработка на сложно-профилни ротационни детайли, върху машини с ЦПУ. Реализирането на тази задача е възможно на базата на задълбочени анализи, проучвания и експериментални изследвания

способстващи научно-обоснованото назначаване на функционално променящи се режими на рязане.

Цел на дисертационния труд: Оптимизиране на показателите на точността и ефективността при механично обработване на детайли със сложна геометрична форма на машини с ЦПУ.

Научна новост. Разработената методика за управление на получаваната грапавост и точност при обстъргване на сложнопрофилни повърхнини, при различни режими на обработка. Предложената методика за оптимизиране режимите на рязане с отчитане на взаимното влияние на различни технологични параметри на процеса.

Практическа полезност и приложимост. От изведените аналитични и графични модели могат да се определят технологичните параметри на процеса рязане при струговане на сложно профилни повърхнини.

Апробация на работата. Дисертационният труд е докладван и обсъден на заседание на катедра “Машиностроителна техника и технологии” при ТУ- София, филиал Пловдив. Етапи от Дисертационната работа са докладвани и обсъждани на:

- Национална конференция “Машиностроене и машинознание” Дни на механиката във Варна, 08-10.09.2020 г., Варна;
- Национална конференция “Машиностроене и машинознание” Дни на механиката във Варна, 08-10.09.2021 г., Варна;
- Национална конференция “Машиностроене и машинознание” Дни на механиката във Варна, 08-10.09.2022 г., Варна;
- Младежки форум „Наука, технологии, иновации, бизнес“, есен, 25 - 26.11.2021, Пловдив.

Публикации. По темата на дисертацията са публикувани 3 научна статии, отпечатани в национални списания и 1 научен доклад, и 1 публикация под печат по Scopus.

Структура и обем на дисертационния труд. Дисертационния труд съдържа: увод, 5 глави, основни изводи, литература и съдържание в общ обем 114 стр.

Б. КРАТКО ИЗЛОЖЕНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ПЪРВА ГЛАВА

АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ПРОБЛЕМА, СЪЩЕСТВУВАЩИ СИСТЕМНИ ПОДХОДИ ПРИ ФОРМИРАНЕ НА СЛОЖНОПРОФИЛНИ ПОВЪРХНИНИ, ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА

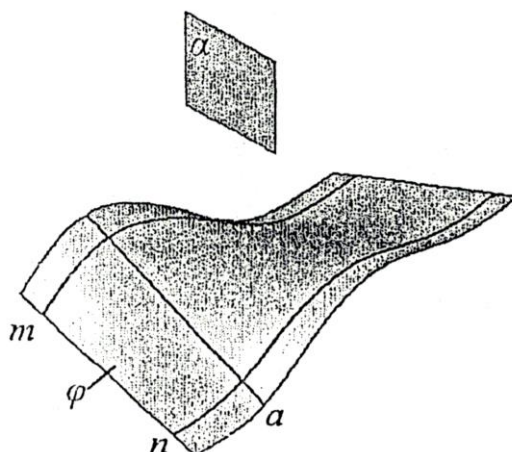
1.1. Формиране на сложнопрофилни повърхнини

Светът на повърхнините, определящи геометричните форми на обкръжаващите ни обекти е разнообразен и безкраен. Съществуват различни начини на задаване на повърхнините: в математиката повърхнината се разглежда като геометрично място на точки, координатите на които удовлетворяват дадено уравнение от вида $F(x, y, z) = 0$, където $F(x, y, z)$ е многочлен от n^{ma} степен, или някаква трансцендентна функция; повърхнината може да бъде зададена скелетно (каркасно), при което се разглежда като съвкупност от принадлежащите ѝ линии; повърхнината може да се разглежда и като съвкупност от последователни положения на линия, която се премества в пространството по определен закон, това е така наречения кинематичен начин за образуване и задаване на повърхнина [1,2]. Всичко това само по себе си говори за изключително голямото многообразие на повърхнини.

Процесът на образуване на повърхнина, като се използва кинематичен начин за нейното дефиниране, както и основните понятия свързани с него, е изяснен с приведения на фиг. 1.1 пример. Повърхнината φ е получена при плъзгане на права линия a по две пространствени криви линии m и n , като линията a остава във всеки един момент успоредна на дадена равнина a . Подвижната линия a формираща повърхнината се нарича образуваща, а неподвижните линии m и n и равнина a - направляващи. Всички тези геометрични елементи и взаимоотношенията между тях, които представляват съвкупност от независими условия, еднозначно определящи повърхнина, се наричат определител на повърхнината.

Компютърната симулация вече е внедрена практически във всички сфери на инженерната дейност. Все по-голям кръг предмети и явления стават обект на компютърно моделиране.

Кинематичният начин за образуване на повърхнините, който е много удобен за използване в инженерната практика, където геометричните форми на обектите се изобразяват и задават графично е заложен като идеология и в съвременните CAD-системи за графично 3D моделиране.



Фиг. 1.1 Кинематичен начин на дефиниране на повърхнина

1.3. Съществуващи методи за обработване на детайли със сложна форма, върху стругови машини с ЦПУ

1.3.1 Класификация на ротационните профилни повърхнини, обработвани на стругови машини.

Най-разпространените видове профилни повърхнини са ротационните, образувани от движението на криволинейна образуваща по направляваща окръжност [7,9,13,25,32,48,94].

Всички цилиндрични детайли (гладки и стъпални) се явяват частен случай на детайлите със сложна форма и ситуацията, отнасящи се към технологиите за обработване на детайлите със сложна форма могат да бъдат отнесени, към технологиите за обработване на цилиндрични детайли.

Имайки предвид това е ясно, че класът на детайлите със сложна ротационна форма, се явява много обширен, обединява значително количество наименования на различни машиностроителни детайли от всички отрасли на промишлеността и във връзка с това обработването на детайлите от този клас заема значително място в операциите за механично обработване.

Детайлите със сложна ротационна форма, преди всичко, се обработват на стругови машини, което прави изучаването на процеса формообразуване при струговане важна технико-икономическа задача. Процесът е особено актуален в условията на частична автоматизация на производството, характеризираща се с използването на машини с ЦПУ и друго скъпоструващо автоматизирано оборудване.

Целта на направения анализ е класифициране на формообразуването на сложни ротационни детайли с оглед създаване на предпоставки за оптимизация на методите за обработването им при

нестационарно рязане в условията на частична автоматизация на производството.

1.3.3. Обработване на детайли със сложна ротационна форма на стругови машини

Към момента, процеса механично обработване се явява най-разпространения метод за производство на различни видове детайли, в това число и такива, съчетаващи сложнопрофилни повърхнини. Въпреки развитието и широко внедрените методи за получаване на точни заготовки, чрез използване на концентрирани енергийни потоци за формообразуване (електрохимични, електрофизични, електроннолъчеви методи за обработка и др.) дела на повърхнини на механичното обработване остава достатъчно високо. Анализът на литературните и производствените данни показват [1, 108, 133 и др], че 80-85% от заготовките на детайлите се подлагат на обработка чрез рязане, а трудоемкостта на тези операции достига до 50-60% и повече от общата трудоемкост за произвеждане на детайлите.

Процесът рязане в сравнение с други видове размерни обработки се явява най-ефективен по производителност, икономичност, разходи за енергия, екологичност, точност и качество на обработване. В близките десетилетия рязането ще си остане основен технологичен метод от размерното обработване [9,11,12,16,18,19,31,92,93,108]. Това може да се обясни със следните фактори:

- увеличаване на обема на използванане на материали с особени физико-механични свойства, характеризиращи ниска обработваемост довежда до повишаване на разходите за производството на детайла;

- усложнена конфигурация на детайлите с едновременно строги изисквания към точност и качество на обработваните повърхнини.

Актуален проблем на механообработващото производство си остава проблема с повишаването на производителността на труда на операцията „рязане“. Тази тема е много актуална, поради това че техническите възможности на режещите инструменти продължават да изостават от техническия потенциал на съвременното автоматизирано стругово оборудване [21,44].

Значителна част от разработките по оптимизация на режимите на рязане се базират на определяне на променливите, оказващи влияние на процеса на рязане, емпирически методи при условия подчинени на основни цели - увеличаване на производителността, цената на режещите инструменти при зададени изисквания за точност и грапавост на обработваните повърхнини. В редица разработки [1,22,55] и изследователски колективи в областта на рязане на металите се отделя значително внимание на разработване на емпирични формули, способстващи оптимизационните процеси.

В различни разработки се разглеждат въпроси, касаещи оптимизацията на режимите на рязане, чрез разработените емпирични формули включващи различни променливи, влияещи на процеса рязане [21,44,73,75,78,80,81].

1.5. Цел и задачи на разработката

Целта на разработката е: Оптимизиране на показателите на точността и ефективността при механично обработване на детайли със сложна геометрична форма на машини с ЦПУ.

Формулировка на задачи за изпълнение на целта:

- математическо описание на различни сложни повърхнини, анализ на методите за тяхното формообразуване и технологията за обработването им върху стругови машини с ЦПУ;
- получаване на математически зависимости за определяне на трайността на инструмента, износването му и времето на рязане при обработване на различни елементарни повърхнини;
- разработване на математически модели за определяне на времето на рязане, трайността и износването на инструмента, при обработване на детайла със сложна форма, представляваща съвкупност от елементарни повърхнини, както при многопроходно обработване в условията на променливо рязане.

ВТОРА ГЛАВА

МОДЕЛИРАНЕ И ОПТИМИЗИРАНЕ УПРАВЛЕНИЕТО НА РЕЖИМИТЕ НА РЯЗАНЕ ПРИ ОБРАБОТВАНЕ НА РОТАЦИОННИ ДЕТАЙЛИ ВЪРХУ СТРУГОВИ МАШИНИ С ЦПУ

2.1. Износване и трайност на режещи инструменти при нестационарно обработване на ротационни детайли върху ММ с ЦПУ

Целта на изследването е определяне на трайността T и износването VB_p на инструмента, при обработване на повърхнини със сложна форма с движение, екидистантно на контура при променлива дълбочина на рязане.

При обработване с променлива дълбочина на рязане a_p и $f=const.$, $V_c=const.$, интегралните зависимости за трайността T и износването VB_p [1, 11] имат вида:

$$T = C_T f^y v_c^z \frac{\tau_k - \tau_n}{\tau_k} \int_{\tau_n}^{\tau_k} \frac{d\tau}{a_p^x} \quad (2.1)$$

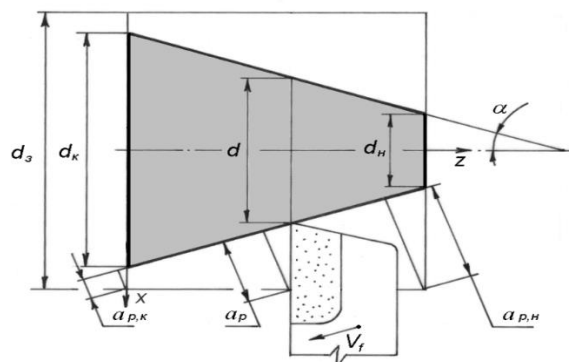
$$VB_p = C_u f^u v_c^m \int_{\tau_n}^{\tau_k} a_p^q d\tau, \quad (2.2)$$

където C_T , C_u , x , y , z , q , u и m са коефициенти и степенни показатели, зависещи от условията на обработване; T_n и T_k – времена, съответстващи на началото и края на обработване на елементарната повърхнина.

При обстъргване на конусни повърхнини (фиг.2.1) диаметърът им е променлив и в момента τ се определя по зависимостта

$$d=2v_{f,x}T=2fn_c r \sin\alpha, \quad (2.3)$$

където $v_{f,x}$ е подавателна скорост в направление, перпендикулярно на оста на детайла; f – подаване на оборот; α – половината от ъгъла на конуса; n_c – честота на въртене.



Фиг. 2.1 Обстъргване на конусна повърхнина с променлива дълбочина на рязане

Дълбочината на рязане в момента t е:

$$a_p = \frac{(d_s - d) \cos \alpha}{2}, \quad (2.4)$$

където d_s е диаметър на изходната заготовка.
С отчитане на зависимост (17) за a_p се получава:

$$a_p = \frac{1}{2}(d_s \cos \alpha - n_c f \tau \sin 2\alpha). \quad (2.5)$$

Времената съответстващи на началото и края на обработване на елементарната повърхнина, са:

$$\tau_n = \frac{d_n}{2n_c f \sin \alpha}; \quad \tau_k = \frac{d_k}{2n_c f \sin \alpha}, \quad (2.6)$$

а времето за обработване (рязане):

$$\tau_p = \tau_k - \tau_n = \frac{d_k - d_n}{2n_c f \sin \alpha}. \quad (2.7)$$

След заместване на (2.5) и (2.6) в (2.1) и (2.2) и интегриране, се получават зависимостите за T и VB_p

2.2. Пресмятане на променливото натоварване на режещия инструмент. Разработване на алгоритъм за дискретизация на натоварването.

Обработването чрез рязане се явява сложен процес на взаимодействие на режещия инструмент с обработваемите материали, върху които влияние оказват различни технологични и физични явления. Условиата и характера на тези взаимодействия зависят от множество фактори, чрез които се проявяват свойствата на технологичната система: производителност, точност, физико-механични свойства на повърхностния слой на обработваната повърхнина, устойчивостта на режещия инструмент и т.н.

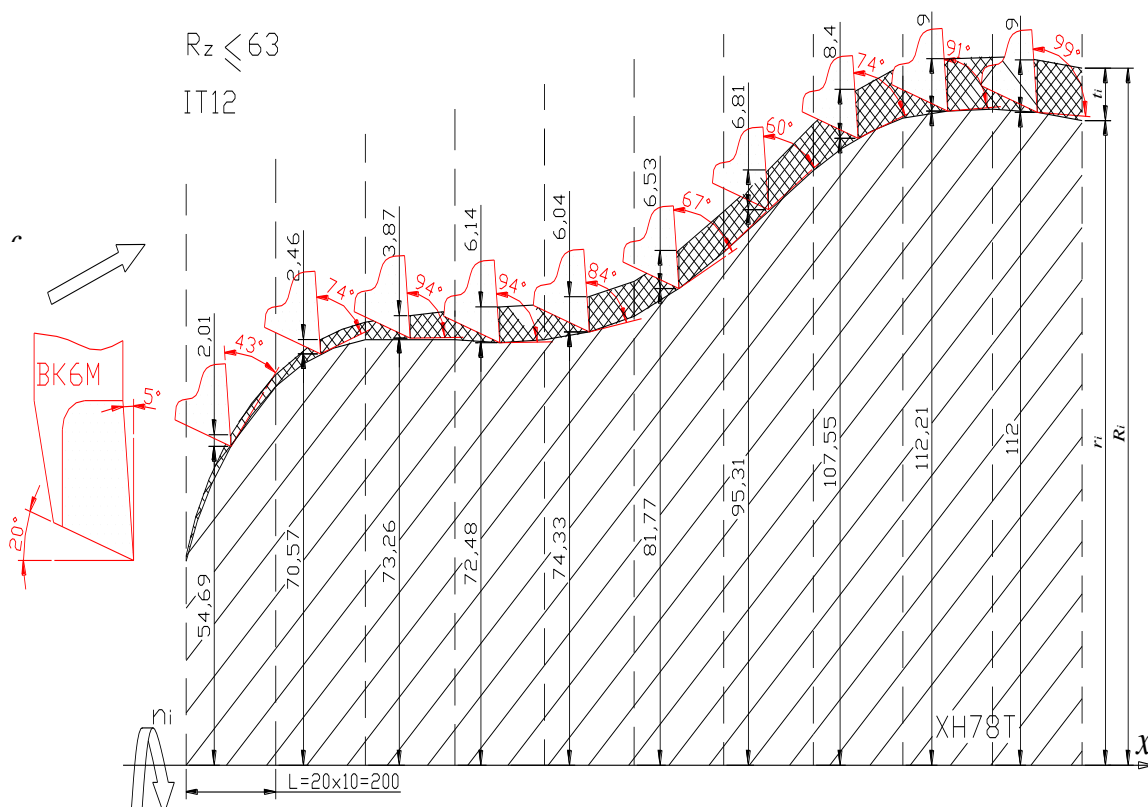
Заготовките, подлежащи на механична обработка в резултат на променливата прибавка са в нестабилно кинематично състояние, вследствие на което получаваните размери и форма на готовите изделия са с технологично онаследени показатели. При обработване на едрогабаритни валове прибавката може да се променя повече от два пъти, както по дължина на заготовката, така и в напречно сечение [2]. Случайното изменение на прибавката води към съответни промени на

дълбочината на рязане и като следствие разстройване на технологичната система. Това е предпоставка за създаване на постоянно променящи се натоварвания на режещия инструмент и до получаване на технологични грешки в размерите и формата на обработваните детайли [1].

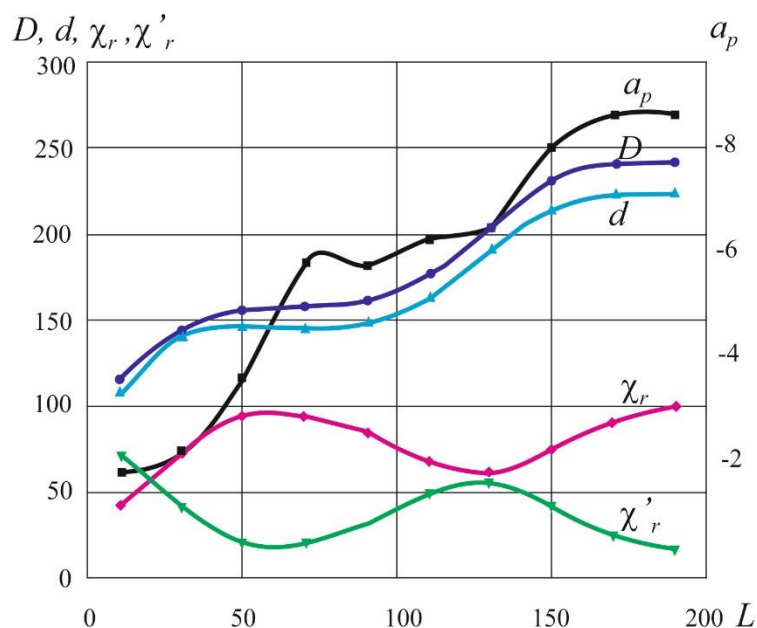
2.2.1. Анализ на контурите на обработваните детайли и заготовки

Управлението на режимите се явява реакция на технологичната система за противодействия на външни смущения, като: изменение на работната траектория на инструмента – диаметъра на заготовката D_i и детайла d_i , и дължината на обработвания участък на контура L_i , главия и спомагателния установъчни ъгли χ_r, χ'_r и други фактори. Знаейки предварително какво ще е натоварването на инструмента можем да оптимизираме режимите на рязане.

В настоящия дисертационен труд се разглежда общия случай на струговане на цилиндрични заготовки по произволен контур (фиг.2.5), радиуса на които $R = f_1(x)$ - е зададен с полином от четвърта степен (табл. 2.1). Радиусът на контура на детайла $r = f_2(x)$ също се описва с полином от четвърта степен (табл. 2.1). При това грешката при апроксимация на дискретно зададените контури не превишава 2%.



фиг.2.5 Струговане на вал с променливо натоварване на режещия инструмент



фиг.2.6. Изменение на входните параметри по работната траектория на инструмента.

2.2.2. Аналитични зависимости за пресмятане на променливото натоварване на режещия инструмент

При апроксимиране на сложнопрофилните повърхнини и детали с полиноми от 4-та степен дълбочината на резане за i -я участък се определя от зависимостта

$$a_p = (A_o + A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2 + A_3 \cdot x^3 + A_4 \cdot x^4)_k - (a_o + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 + a_4 \cdot x^4)_k \quad (2.47)$$

където: A_k и a_k са коефициентите на полинома съответно за заготовката и детайла, $k=0...4$.

Пресмятането на дълбочината на рязане се извършва по израза:

$$a_p = (A_o - a_o) + (A_1 - a_1) \cdot x_i + (A_2 - a_2) \cdot x_i^2 + (A_3 - a_3) \cdot x_i^3 + (A_4 - a_4) \cdot x_i^4$$

След това дълбочина се разделя на необходимия брой преходи.

Решава се следната задача: за даден брой преходи $j=1, \dots, P$ и брой на пресметнатите участъци $i=1, \dots, u$, за j -я преход се намира дълбочината на рязане a_p за всеки i -и участък.

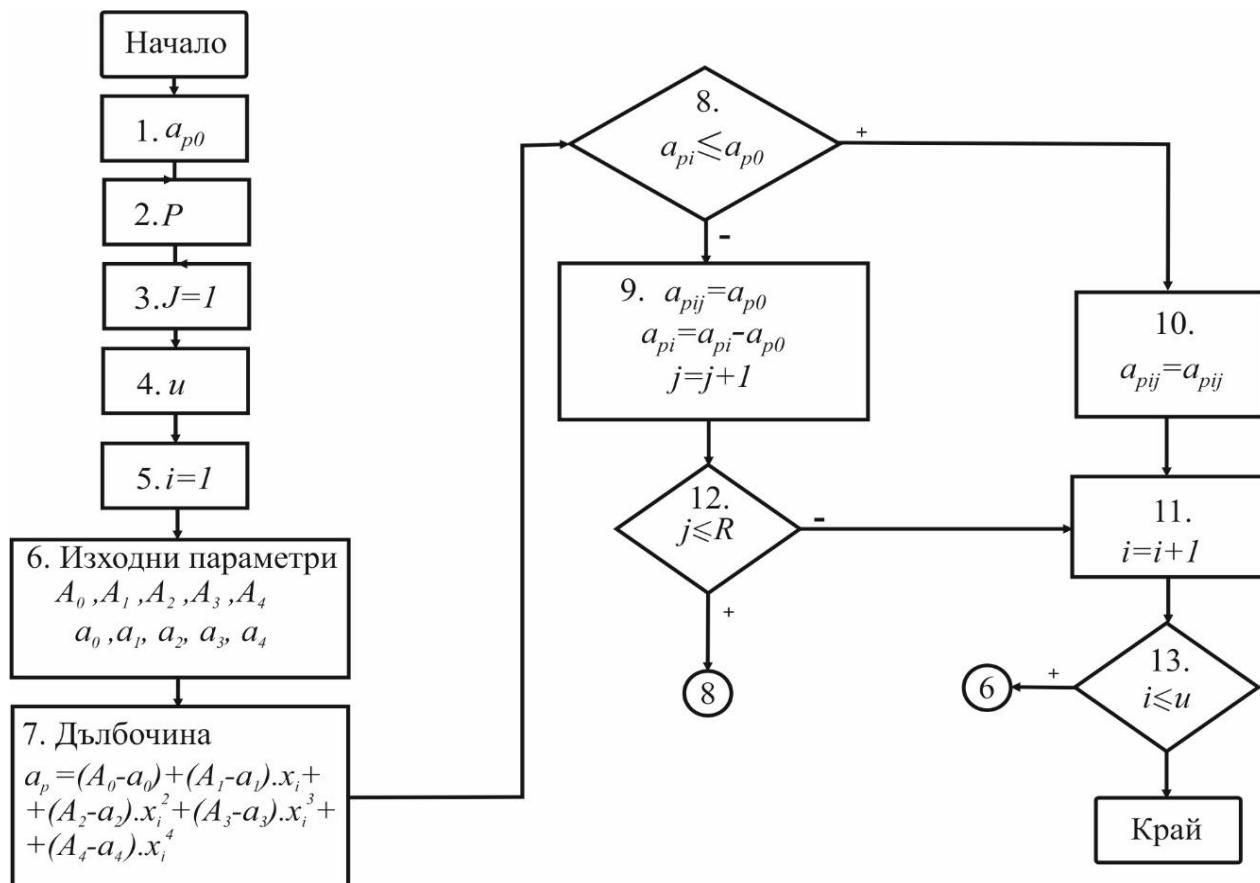
Блок-схемата на алгоритъма за пресмятане на променливото натоварване при струговане е показана на фиг. 2.7.

В блокове 1...5 е формирана геометричната последователност на анализа на въведените за i -я участък, j -и преход.

В блок 6 се въвеждат коефициентите на полинома за заготовката и детайла A_k, a_k .

В блок 7 се пресмята дълбочината на рязане a_p за всеки i -и участък на j -и преход.

В блокове 8...13 се разделя дълбочината на оптимален брой преходи на обработване a_p .



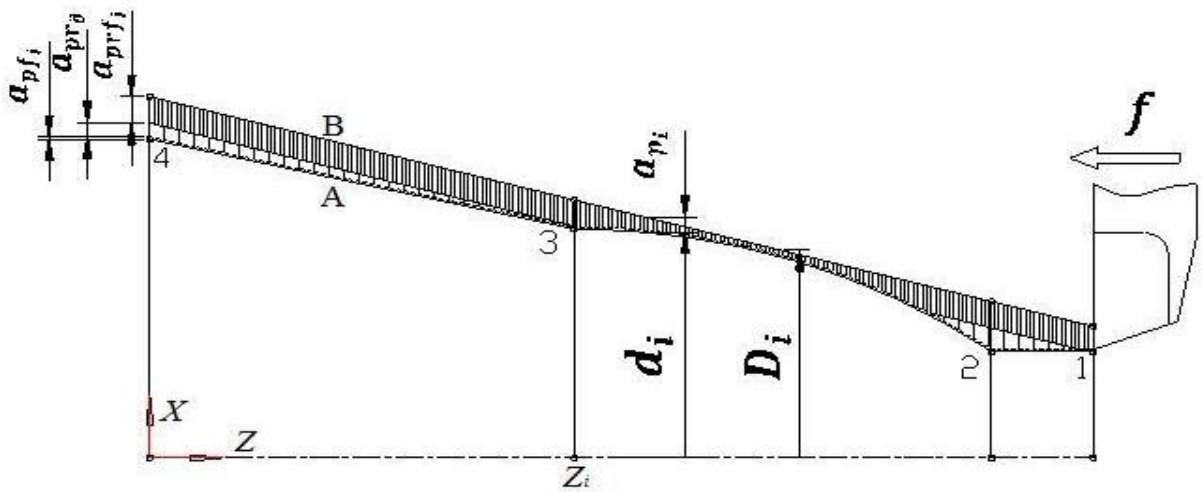
фиг. 2.7 Схема на алгоритъма за пресмятане на натоварването при апроксимиране на полиноми на сложнопрофилни повърхнини

Програмата може да бъде реализирана с програмния продукт *Mathlab*.

2.2.3. Разработване на алгоритъм за дискретизация и моделиране на натоварването

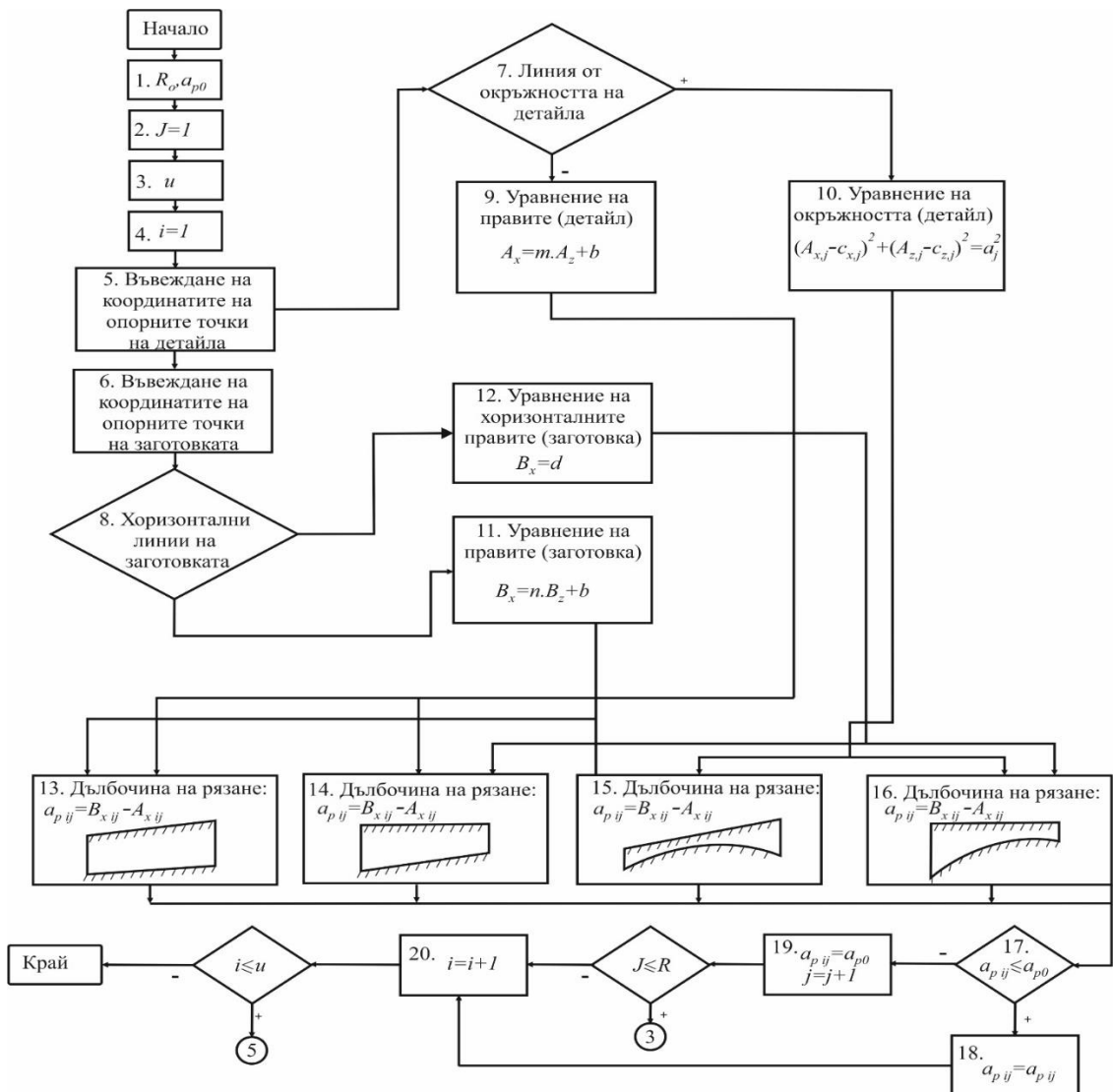
Моделирането и пресмятането на променливото натоварване на режещия инструмент (РИ) при струговане на сложни профилни повърхнини се основава на логическия синтез на алгоритми от аналитичната геометрия.

Така се дава възможност за дадена последователност на координати на опорни точки на обработваните чрез струговане праволинейни и криволинейни контури (фиг.2.8) да се намери рационалния им брой участъците u_j , координати на краищата им $z_{i,j}, x_{i,j}$ и съответните дълбочини на рязане $a_{p i,j}$ за всеки участък.



Фиг.2.8. Обработване на контури от сложнопрофилни повърхнини

За решаване на тази задача е разработен алгоритъм и блок-схема (фиг.2.9) за реализиране на дискретизация и моделиране на натоварването на РИ при струговане на сложнопрофилни повърхнини.



Фиг.2.9. Принципна блок схема на алгоритъма за дискретизация и моделиране на натоварването

2.3. Изводи

1. Получени са зависимости за износването и трайността на РИ при обработване на ротационни детайли. Те дават възможност посредством методите на математическото моделиране да се направи оптимизация на режимите на рязане при обработване на сложно профилни повърхнини.

2. Създадените оптимизационни модели способстват за получаване на максимална производителност, минимални разходи за обработка и при реализиран оптимален вариант на снемане на прибавката.

3. Математическите модели за T и VB_p , позволяват определяне ресурсите на режещите инструменти, при обработването на детайли с променливи режими на рязане.

4. Създават се възможности за оптимизиране и управление на подавателните движения на инструментите при струговане на сложно профилни повърхнини.

5. На базата на изведените аналитични зависимости и създадена принципна блок-схема на алгоритъм за дискредитация и моделиране на товарването на РИ при струговане е възможно създаването на автоматизирана система за оптимизиране режимите на обработка.

6. Разкрито е влиянието на степента на дискретизация на аналитично зададените контури, върху качеството на оптимизация на процеса механично обработване на сложнопрофилни повърхнини.

ТРЕТА ГЛАВА

АНАЛИТИЧНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОСНОВНИТЕ ИЗХОДНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ПРОЦЕСА СТРУГОВАНЕ

Основната цел на при проектирането на технологични процеси за механично обработване на ротационни детайли със сложно профилни повърхнини се явява научно-обоснования избор на режимите на рязане. Това е необходимо условие за достигане на съответните параметри на качеството на повърхностния слой и точността на обработвания детайл. Реализирането на посочената цел налага решаването на задачата за аналитично прогнозиране на изходните характеристики на процеса рязане за разглеждания диапазон на изменение на технологичните условия на обработване.

Важно изискване за определяне на температурно-силовите, контактните, трайностните и други основни изходни характеристики на процеса струговане са използването на методологиите (комплекс от аналитични зависимости, моделиращи процеса рязане и съпътстващите го явления) разглеждани в [4, 7, 9, 11]. Тези методологии са обосновани и доказани от резултатите на редица върхови технологии, използващи съвременни програмни продукти.

3.1. Методика за аналитично определяне на изходните характеристики на режещите инструменти при струговане на машиностроителни изделия

Научно обоснованото прогнозиране на изходните характеристики на процеса механично обработване се явява една от основните задачи на машиностроителната ни индустрия.

Решаването на тази задача е предпоставка за създаването на програмни продукти, способстващи оптимизиране на технологичните условия на обработване и усъвършестване на конструкцията на металорежещите инструменти и металообработващата техника.

Анализът на съществуващите автоматизирани системи за проектиране на технологични процеси за механична обработка показва, че те са базират на извеждането на емпирични зависимости от вида [1, 5,6,8,16]

$$P_i = C_p \cdot a_p^{x_p} \cdot f^{x_p} \cdot V^{n_p} \cdot k_p \quad (3.1)$$

където P_i е показателя на качеството на получаваната повърхнина, температурно-силовите и други изходни характеристики на процеса на обработване;

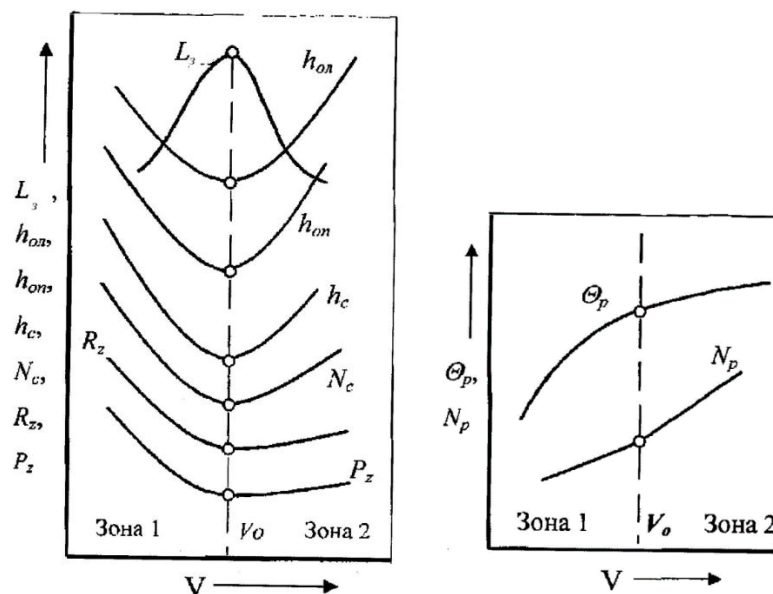
C_p - коефициент, зависещ от якостните свойства на обработваемия материал;

a_p, f, V - режимите на обработка (дълбочина на рязане, подаване на инструмента и скорост на рязане);

x_p, y_p, n_p - фиксирани степенни коефициенти, характеризиращи степента на влияние на режимните условия на обработка и зададената трайност на инструмента на изходния параметър P_i ;

k_p - коефициент, отчитащ други технологични условия на обработването (геометрични параметри и марка на материала на режещата част на инструмента и др.)

Както е известно, изходните характеристики на процеса рязане, осигуряващи оптимална трайност на режещия инструмент при скорост на рязане V_0 има максимална големина или си променя интензивността (фиг.3.1).



фиг.3.1. Схема на влияние на скоростта на рязане на изходните характеристики на процеса рязане [3,6]: L_s – дължина на рязане, изминавано от инструмента до достигане на зададения критерии на износване; h_{ol} – относително линейно износване на режещия инструмент; h_{on} – относително повърхностно износване на режещия инструмент; h_c – дълбочина на наклепа на повърхностния слой, формиран при стругово обработването; N_c – степен на наклепа на повърхностния слой, формиран при стругово обработването; R_z – височина на неравностите на повърхностния слой, формиран при стругово обработването; P_z – главната съставляваща на силите на рязане; Θ_p , N_p – температура и мощност на рязане; V_0 – оптимална стойност на скоростта на рязане на инструмента

Използвайки дадените предположения на основата на математическия анализ описващ физико-механичните и топлофизическите явления, съпровождащи процеса рязане, и последващата апроксимация на резултатите от анализа на метода на пълно факторно планиране на математическия експеримент е предложено типовото (унифицирано) уравнение (3.2), (фиг.3.2). То е предназначено за пресмятане на типови технологични процеси на основните изходни характеристики при стругово обработване с отчитане

на влиянието и взаимовръзките на технологичните условия на процеса рязане:

$$\frac{F_i}{F_{i(0)}} = \left(\frac{V}{V_0} \right)^k = \left(\frac{B}{B_0} \right)^k \quad (3.2)$$

$$k = m \text{ при } 0,5V_0 \leq V < V_0 \quad k = n \text{ при } V_0 \leq V \leq 2V_0$$

където F_i , $F_{i(0)}$ са анализирани изходни характеристики на материала при струговане на произволна (V , m/s) и оптимална (V_0 , m/s) скорост на рязане по дадени размери на инструмента;

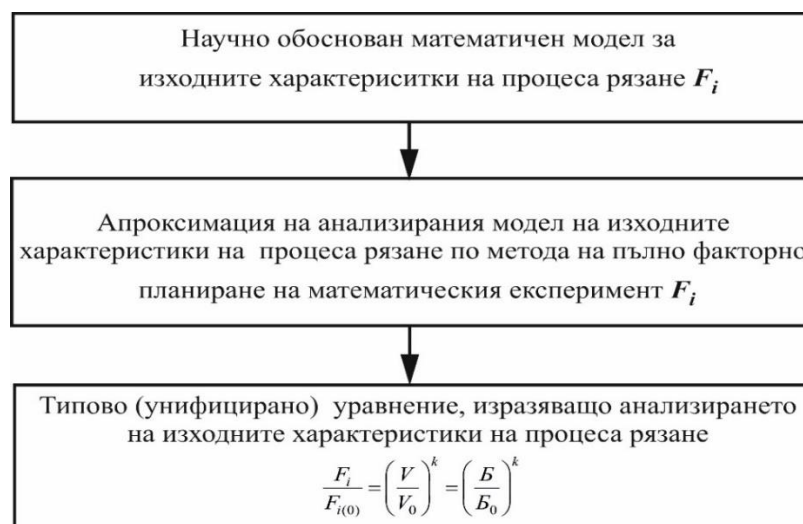
m , n – коефициенти от критериален тип, зависещи от свойствата на обработваемия и инструментален материал, геометричните параметри на инструмента, параметрите на режима на рязане (f , a_p) и други технологични условия на обработване;

B , B_0 – критерии на подобие, характеризиращи технологичните (и, преди всичко режимните) условия за осъществяване на процеса при произволна V и оптимална V_0 скорост на рязане по дадени размери на

инструмента, като се използват зависимостите за $B = \frac{V \cdot a_1 \cdot 10^3}{a}$ и за

$$V_0 = \frac{B_0 \cdot a}{a_1 \cdot 10^3}.$$

Параметърът $F_{i(0)}$ в израза (3.2) се определя по израза (3.3), получен чрез апроксимация (по метода на планиране на пълен факторен математически експеримент) на математическите резултати чрез моделиране на физико-механичните и топлофизическите явления, придружаващи процеса на стругова обработка на материалите и определящи изходните характеристики на тези процеси.



фиг.3.2. Последователност от действията за получаване на аналитични зависимости при определяне на изходните характеристики на процеса рязане в унифицирана форма

3.2.2. Определяне на коефициента на динамичност на технологичната система за разглежданите условия на обработка

Определянето на числената стойност на коефициента на динамичност μ_{δ} на технологичната система за разглежданите условия на процеса струговане може да се извърши по аналитичните зависимости представени по-долу, както в [10]:

- при стругова обработка на заготовката, конзолно закрепена в патроника на струга

$$\mu_{\delta} = 0,491(B.E)^{0,15} \cdot (\Gamma'')^{0,6} \cdot \left(\frac{L_3}{d_{np}} \right)^{0,45} \cdot D^{-0,25} \quad (3.26)$$

- при струговане на заготовката, закрепена в патроника на струга с придържащ заден център, или закрепена между центъри

$$\mu_{\delta} = 0,0561(B.E)^{0,15} \cdot (\Gamma'')^{0,6} \cdot \left(\frac{L_3}{d_{np}} \right)^{0,45} \cdot D^{-0,25} \quad (3.27)$$

където d_{np} - приведеният диаметър на обработваната заготовка, mm;

L_3 - дължина на обработваната заготовка, mm;

B, E, D, Γ'' - критерии на подобие.

Числената стойност на приведения диаметър на обработваната заготовка d_{np} , mm, използвана в зависимостите (3.23)-(3.27), може да се определи посредством следните аналитични зависимости, като се отчитат размерите и конструктивните особености на съответната заготовка:

- при стругова обработка на плътна цилиндрична заготовката с външен диаметър d

$$d_{np} = d \quad (3.28)$$

- при стругова обработка на куха цилиндрична заготовката

$$d_{np} = d - d_1 \quad (3.29)$$

където d - външен диаметър на обработваната заготовка, mm;

d_1 - вътрешен диаметър на обработваната заготовка, mm.

- при стругова обработка на многостепенна цилиндрична заготовката (вал, втулка) с едностранно удебеляване

$$d_{np} = \frac{d_1 l_1 + d_2 l_2 + \dots + d_n l_n}{L_3} \quad (3.30)$$

- при стругова обработка на многостепенна цилиндрична заготовката (вал, втулка) с удебеляване в средата

$$d_{np} = \sqrt{\frac{d_1^2 l_1 + d_2^2 l_2 + \dots + d_n^2 l_n}{L_3}} \quad (3.31)$$

където d_1, d_2, d_n - диаметри на отделните степени на анализираната заготовка, mm;

l_1, l_2, l_n - дължини на съответстващите степени на анализираната заготовка, mm.

3.3 Изводи

1. На база на получените аналитични зависимости за стабилността на технологичната система е възможно определянето на грешката на формата в напречно и надлъжно сечение.

2. Установено е, че силовите деформации в технологичната система оказват съществено влияние върху точността на обработваните сложнопрофилни повърхнини. Представянето на силата на рязане, чрез елементите на режима на обработка опростява значително определянето на грешките в диаметрално направление на обработваните повърхнини.

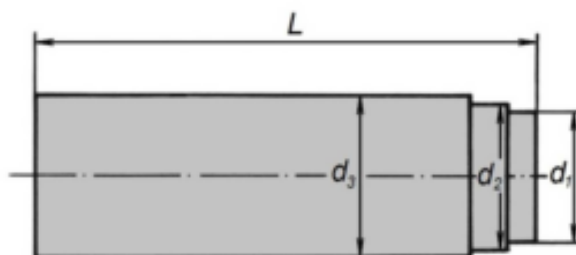
3. Принципът на разслояване на работното пространство при обработване на цилиндрични заготовки способства, определянето на силова деформация за определени слоеве със зададен радиус R и дебелина ΔR . Това дава възможност за получаване на уравнение на регресия, посредством планиране на експеримента и използване на двуфакторни и трифакторни модели.

ЧЕТВЪРТА ГЛАВА

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ГРАПАВОСТТА ПРИ СТРУГОВАНЕ НА СЛОЖНОПРОФИЛНИ ПОВЪРХНИНИ

4.1. Геометрични, технологични и физични параметри на процеса

Параметрите на този процес са следните:



Фиг. 4.1. Схема за дефиниране на параметрите на процеса

➤ *Геометрични параметри:*

- Зададен диаметрален размер след обстъргване d_1 и d_2 ;
- Начален диаметрален размер на заготовката d_3 ;
- Начална грапавост R_a^n ;
- Получавана грапавост R_a ;

➤ *Технологични параметри:*

- Подаване при обстъргване $f, mm / об$;
- Скорост на рязане при обстъргване V_c ;
- Брой на преходите N .

➤ *Физични параметри:*

- Граница на провлачване на материала на заготовката σ_Y ;
- Дълбочина на рязане при обстъргване a_p .

Параметрите на процеса са класифицирани в три групи (табл. 4.1).

Табл. 4.1 Параметри на процеса

Зададени	d_1, d_2, R_a, σ_Y
Независими (избираеми)	d_3, R_a^n, r, f, N, V_c
Зависими	a_p

4.3. Експериментални резултати за грапавостта

Предпланирането на експеримента за изследване на грапавостта е показано в табл. 4.3.

Табл. 4.3 Предпланиране на експеримента за изследване на грапавостта

№ обр.	Подаване при обстъргване $f, mm / об$	Скорост на рязане $V_c, m / min$	Дълбочина на рязане a_p, mm	Начална грапавост $R_a^n, \mu m$	Бр. прех. N
Изследване на влиянието на подаването f					
1	0,10	22,5	1,5	6,3	1
2	0,15	22,5	1,5	6,3	1
3	0,20	22,5	1,5	6,3	1
4	0,25	22,5	1,5	6,3	1
5	0,30	22,5	1,5	6,3	1
6	0,35	22,5	1,5	6,3	1
7	0,40	22,5	1,5	6,3	1
Изследване на влиянието на скоростта на рязане v_c					
8	0,20	12,5	1,5	6,3	1
9	0,20	21,9	1,5	6,3	1
10	0,20	31,2	1,5	6,3	1
11	0,20	40,6	1,5	6,3	1
12	0,20	50,0	1,5	6,3	1
Изследване на влиянието на броя на преходите N					
13	0,20	22,5	1,5	6,3	2
14	0,20	22,5	1,5	6,3	3
15	0,20	22,5	1,5	6,3	4
Изследване на влиянието на дълбочината на рязане					
16	0,20	22,5	1,5	6,3	1
17	0,20	22,5	2,5	6,3	1
18	0,20	22,5	3,5	6,3	1
Изследване на влиянието на началната грапавост R_a^n					
19	0,20	22,5	0,75	3,2	1
20	0,20	22,5	0,75	11	1

Експерименталните резултати за измерената грапавост по критерий R_a преди и след обработване с изследвания метод са показани в табл. 4.4. измерването е извършено върху уред за измерване на грапавост *Mitutoyo SurfTest* – ТУ-София, филиал Пловдив.

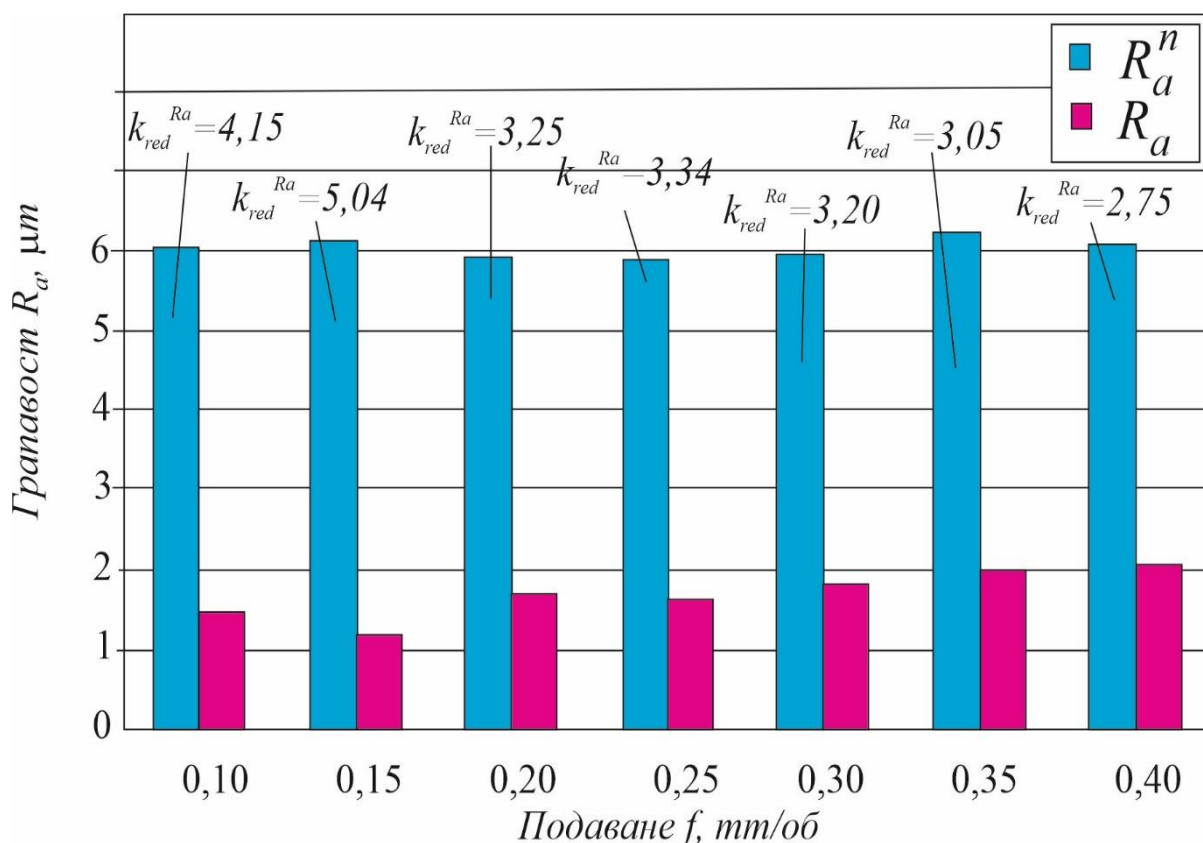
Табл. 4.4 Измерени начална и получена грапавост

№ ОБР.	ОБРАЗУВАЩА	$R_a^n, \mu m$	$R_a, \mu m$	№ ОБР.	ОБРАЗУВАЩА	$R_a^n, \mu m$	$R_a, \mu m$
1	I	5,94	1,83	11	I	6,03	1,74
	II	6,12	1,87		II	6,04	1,76
2	I	6,28	1,99	12	I	6,14	1,62
	II	6,02	1,65		II	6,13	1,65
3	I	5,93	2,10	13	I	5,85	1,61
	II	5,85	1,93		II	5,89	1,68
4	I	5,85	2,00	14	I	6,69	1,67
	II	5,88	1,94		II	6,33	1,62
5	I	5,89	1,88	15	I	6,39	1,41
	II	5,96	1,76		II	6,09	1,38
6	I	6,06	1,99	16	I	6,08	1,96
	II	6,12	1,94		II	6,08	1,89
7	I	6,02	1,94	17	I	6,46	1,82
	II	6,07	1,99		II	6,38	1,97
8	I	6,07	1,97	18	I	6,16	2,21
	II	6,09	1,81		II	6,08	2,67
9	I	5,97	1,90	19	I	3,95	0,44
	II	5,88	1,87		II	4,21	0,47
10	I	6,13	1,78	20	I	12,37	5,36
	II	6,23	1,98		II	11,16	5,46

С цел получаване на оценка за влиянието на отделните фактори, същите са изследвани поотделно, като за всеки отделен експеримент е изчислена стойността на въведения коефициент на редуция на грапавостта $k_{red}^{R_a}$. последният е дефиниран чрез отношението “начална грапавост/получена грапавост”, респ. $k_{red}^{R_a} = R_a^n / R_a$.

4.2.3.1. Влияние на минутното подаване f при обстъргване

Експерименталните резултати са показани на фиг. 4.12.



фиг. 4.12. Влияние на подаването върху получаваната грапавост

Получените резултати за условията на проведения експеримент (при $a_p = 1 \text{ mm}$; $V_c = 22,5 \text{ m / min}$; $R_a^n = 6 \mu m$) дават основание да се приеме, че подаването е значим фактор.

4.4.4. План на експеримента

Резултатите от предварителните експерименти показват, че моделите са нелинейни. По тази причина е избран оптимален композиционен план.

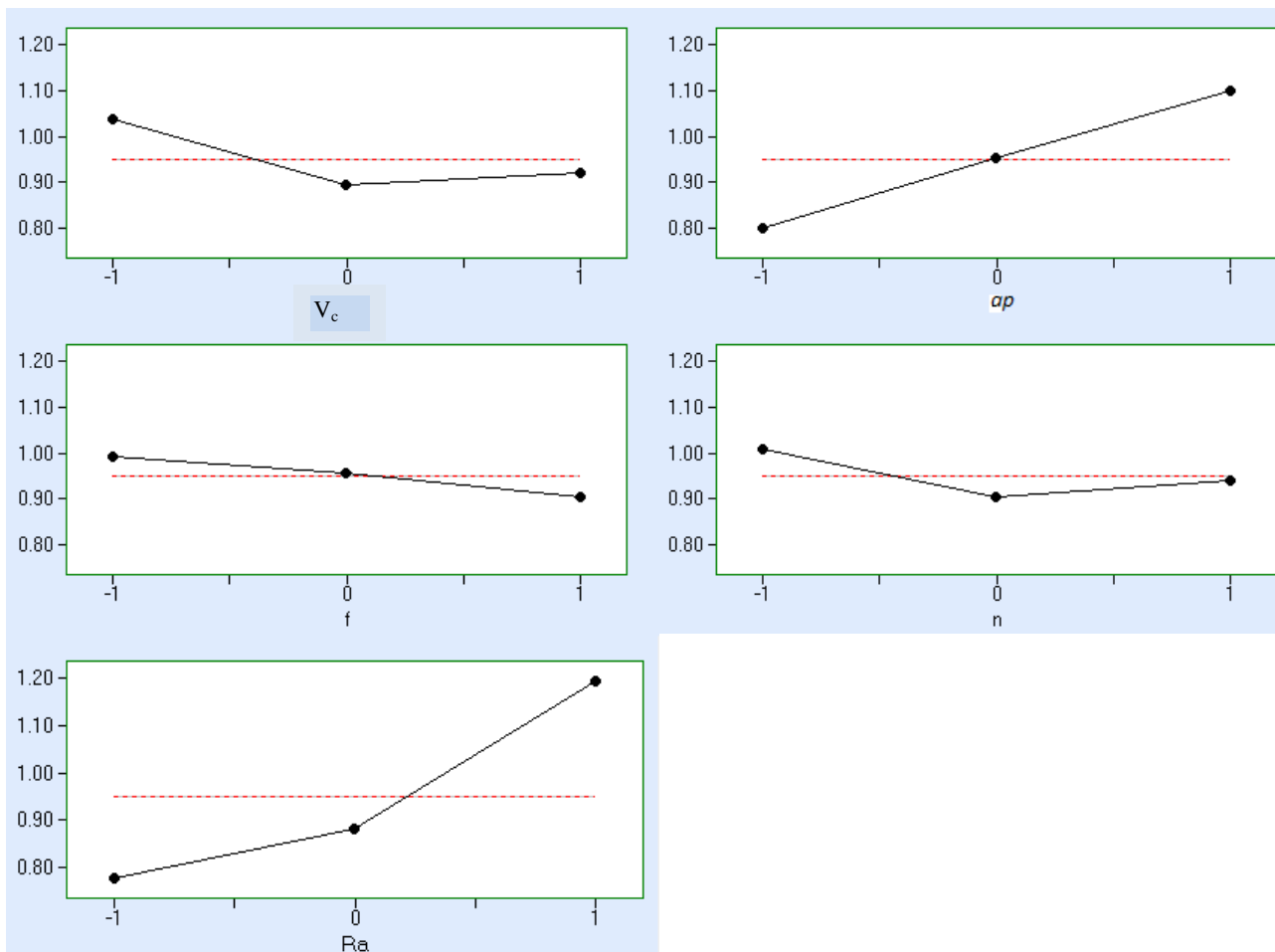
В табл. 4.6 е показан планът на експеримента. Тъй като факторите са 5, броят на експерименталните точки нараства на $N = 2^5 + 2 \times 5 = 42$. За намаляване на опитите, ядрото на плана се избира да бъде дробна реплика с $t = 3$, т.е. броят на опитите в ядрото на плана е $N_{ядро} = 2^{5-3} = 4$. С *QstatLab* е синтезиран оптимален композиционен план с една централна точка и измерените стойности на грапавостта $\{R_{a,u}\}$ са показани в табл. 4.6.

Табл. 4.6 Експериментален план

№	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	$R_a^{init}, \mu m$	$R_{a,измерено}, \mu m$	$\{R_{a,u}\}$
1	-1	-1	-1	-1	-1	2	2,12	1,80
2	-1	-1	1	-1	1	5	5,13	1,61
3	1	-1	1	1	-1	2	2,36	1,72
4	1	-1	-1	1	1	5	5,16	1,92
5	-1	1	1	1	1	5	5,45	1,75
6	-1	1	-1	1	-1	2	2,32	1,74
7	1	1	-1	-1	1	5	5,17	1,93
8	1	1	1	-1	-1	2	2,21	1,68
9	-1	-1	-1	1	1	5	5,16	1,88
10	-1	-1	1	1	-1	2	2,12	1,77
11	1	-1	1	-1	1	5	5,22	1,89
12	1	-1	-1	-1	-1	2	2,41	1,67
13	-1	1	1	-1	-1	2	2,18	1,85
14	-1	1	-1	-1	1	5	5,36	2,24
15	1	1	-1	1	-1	2	2,16	1,69
16	1	1	1	1	1	5	5,13	2,45
17	0	0	0	0	0	4	4,06	1,87
18	-1	0	0	0	0	4	4,13	2,31
19	1	0	0	0	0	4	3,95	1,75
20	0	-1	0	0	0	4	3,85	1,54
21	0	1	0	0	0	4	4,41	1,99
22	0	0	-1	0	0	4	4,23	1,89
23	0	0	1	0	0	4	4,21	1,98
24	0	0	0	-1	0	4	4,45	1,93
25	0	0	0	1	0	4	4,11	1,14
26	0	0	0	0	-1	2	1,98	1,68
27	0	0	0	0	1	5	4,98	2,49

4.4.5. Дисперсионен анализ

Дисперсионният анализ служи за изследване на влиянието един или повече фактори върху даден процес или продукт. На получените в табл. 4.6 резултати е проведен многофакторен дисперсионен анализ и на фиг. 4.18 е показана графична интерпретация на главните ефекти.



Фиг. 4.18. Визуализация на главните ефекти (значимост на факторите)

От фиг. 4.18 следва, че за да се поддържа максимално ниво на показателя за качество (в случая това е минимална грапавост) е необходимо 5-те фактора да се поддържат на съответните нива, показани в табл. 4.7. Очевидно, че с намаляване на диаметъра на сачмата се постига намаляване на грапавостта. Най силно е влиянието на началната грапавост, а влиянието на подаването е минимално.

Табл. 4.7

Фактор	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
ниво	долно	горно	долно	долно	горно

4.4.7. Анализ на регресионния модел на грапавостта R_a

Обект на анализ е моделът (4.25).

Зависимостта между кодирани (единични) x_ℓ и натурални фактори

\tilde{x}_ℓ е:

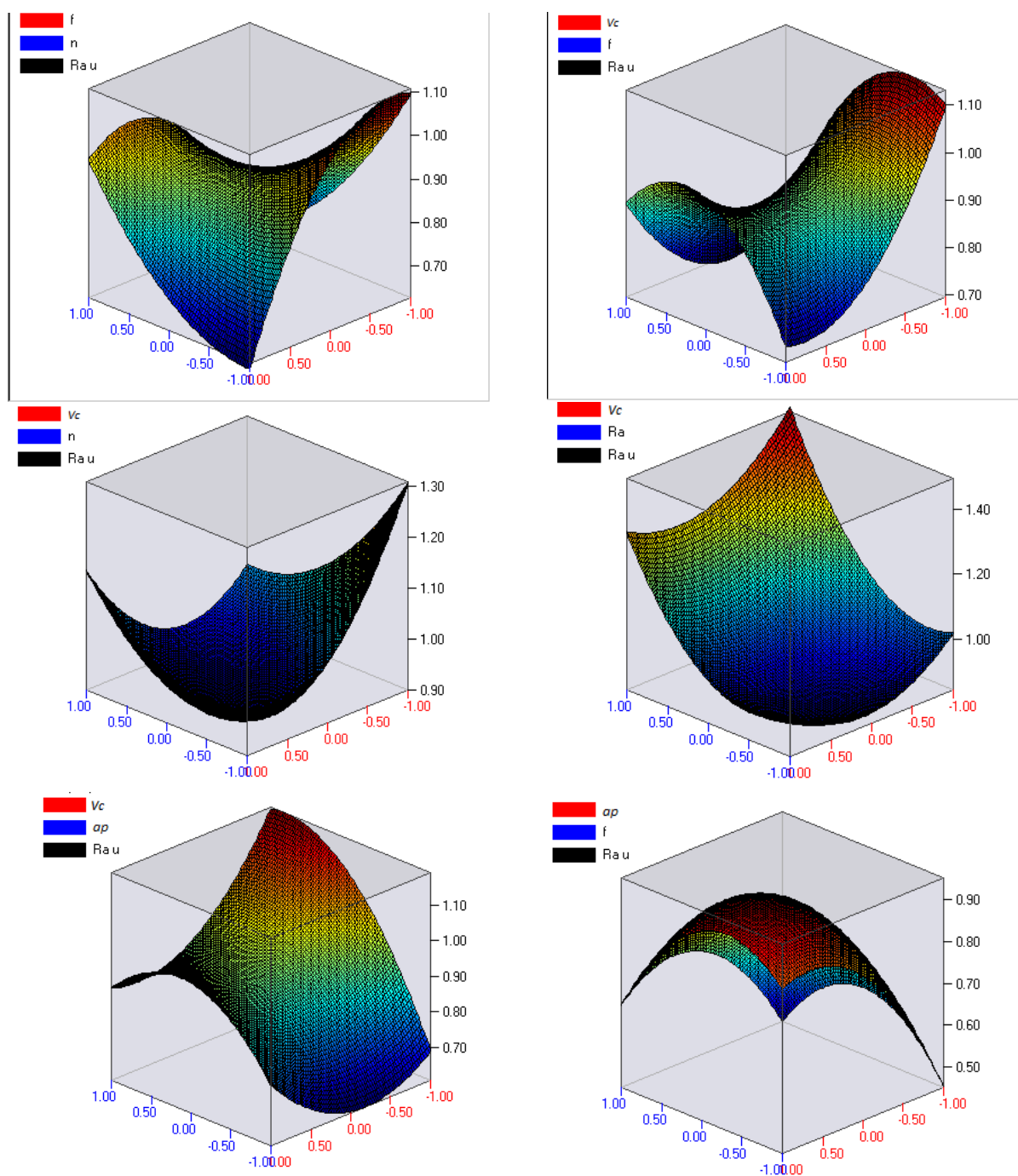
$$x_\ell = (\tilde{x}_\ell - \tilde{x}_{0,\ell}) / \lambda_\ell, \quad (4.26)$$

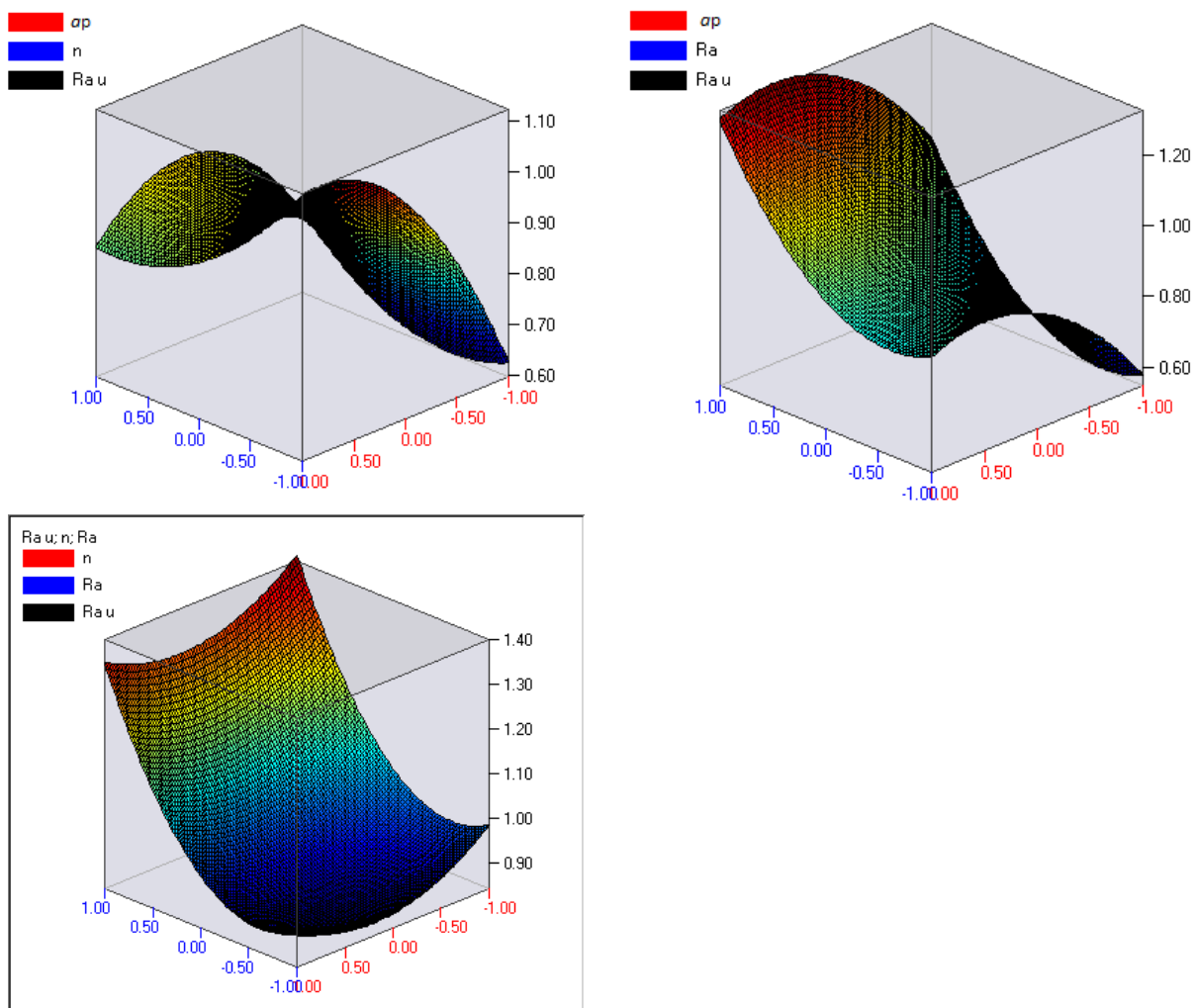
Където

$$\lambda_\ell = (\tilde{x}_{z,\ell} - \tilde{x}_{o,\ell}) / 2 \quad (4.27)$$

$\tilde{x}_{0,\ell}$, $\tilde{x}_{z,\ell}$ и $\tilde{x}_{o,\ell}$ са съответно средно, горно и долно нива на ℓ -тия натурален фактор.

След заместване на (4.26) и (4.27) в (4.25), се получава изразът за грапавостта с натурални фактори. Резултатите от анализа са показани на фиг. 4.19 във вид на тримерни графики.





Фиг. 4.19. Тимерни графики на функцията на грапавостта Y_{Ra}

4.6. Изводи

1. На база на получените тимерни модели на функцията на грапавостта на обработените повърнини с променлива прибавка се дава възможност за определянето на оптимални технологични режими на обработка.

2. Осигуряването на зададена грапавост в надлъжно сечение на обработения детайл при различни стойности на началната грапавост, чрез управление режимите на рязане.

3. Оптимално използване възможностите на конкретните машини, влизащи в състава на използваните технологически системи. Автоматизирано осъществяване на управлението на режимите на рязане, чрез подходяща за целта обработка на съществуващата информация за параметрите на грапавостта.

ПЕТА ГЛАВА

ПОВИШАВАНЕ ЕФЕКТИВНОСТТА НА ОБРАБОТВАНЕ НА ДЕТАЙЛИ, СЪЧЕТАВАЩИ СЛОЖНОПРОФИЛНИ ПОВЪРХНИНИ ВЪРХУ СТРУГОВИ МАШИНИ С ЦПУ

Един от показателите за ефективност на процеса на механично обработване чрез стружкоотнемане се явява производителността (количеството обработени детайли за единица време). Производителността на механичното обработване се оценява с дължината на пътя, преминал от режещия инструмент за единица време или от площта на обработваната повърхнина, обема на снетия при обработването материал, машинното време на операцията и др. Всички тези критерии са свързани по между си, а нивото им се определя от параметрите на режима на рязане (скорост на рязане v_c , подаване f и дълбочина на рязане a_p) на конкретната операция.

5.1. Възможности и методика

Основното (машинното) време при обстъргване се определя по израза:

$$T_{o(m)} = \frac{L_p}{V_f} \cdot p = \frac{L_p}{f \cdot n_c} \cdot \frac{Z}{a_p}, \text{ min} \quad (5.1)$$

където a_p – дълбочина на рязане, mm; L_p – дължината на един работен ход на инструмента, mm; V_f – подавателната скорост, mm/min ($V_f = f \cdot n_c$); n_c – честота на въртене на заготовката, min^{-1} ; p – брой на преходите (работните ходове - $p = Z/a_p$); Z – прибавката за обстъргване, mm.

Ако в зависимост (5.1) поставим израза за определяне на честотата на въртене

$$n_c = \frac{10^3 \cdot v_c}{\pi \cdot D}, \text{ min}^{-1}$$

където D , mm – диаметър на заготовката, ще получим

$$T_{o(m)} = \frac{L_p \cdot \pi \cdot D}{10^3 \cdot v_c \cdot f} \cdot \frac{Z}{a_p}, \text{ min} \quad (5.2)$$

Числителят във формула (5.2) може да се разглежда като пълният обем на прибавката за механично обработване, а знаменателят, като обема стружки, снеман за минута. За намаляване на машинното време $T_{o(m)}$ е необходимо да се увеличи, който и да е параметър от режима на

рязане, стоящ в знаменателя на (5.2). От теорията на рязането е известно, че тези параметри са свързани по между си чрез математическите зависимости за: мощност на рязане – P_p и трайност на инструмента – T .

$$\left\{ \begin{aligned} P_p &= \frac{F_z \cdot v_c}{60 \cdot 10^3} \\ v_c &= \frac{C_v \cdot k_v}{T^{m_v} \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}} \\ F_z &= C_F \cdot a_p^{x_F} \cdot f^{y_F} \cdot v_c^{m_F} \end{aligned} \right. , \quad (5.3)$$

където P_p – мощност на рязане, kW; T – период на трайност на инструмента, min; F_z – тангенциална съставляща на силата на рязане, N; m_v , m_F , x_v , x_F , y_v , y_F – степенни показатели; C_v , C_F – константи; k_v – коефициент.

Табл. 5.1. Параметри на режимите на рязане по традиционната методика
($T = 20$ min)

$T_{изч.}, \text{ min}$	$\Pi_p, \text{ sm}^3/\text{min}$	$v_c, \text{ m/min}$	$P_p, \text{ kw}$	$a_p, \text{ mm}$
20	148.9	248.2	3.1	0.5
20	218.1	181.7	4.7	1
20	291.4	161.9	6.4	1.5
22.8	362.6	151.1	8	2
58.1	351.1	121.9	8	2.4
182.5	337.5	93.8	8	3
271.5	321.5	91.9	8	3.5
538.7	314	78.5	8	4
986.1	307.6	68.3	8	4.5

➤ От решението на системата (5.3) следва, че при зададена мощност на рязане и период на трайност на инструмента, максималната производителност Π_p се достига при максимално подаване (фиг. 5.1), като при това a_p и v_c числено могат да се изменят, до колкото са свързани с f от системата (5.3), но при условие, че P_p и T не се променят.

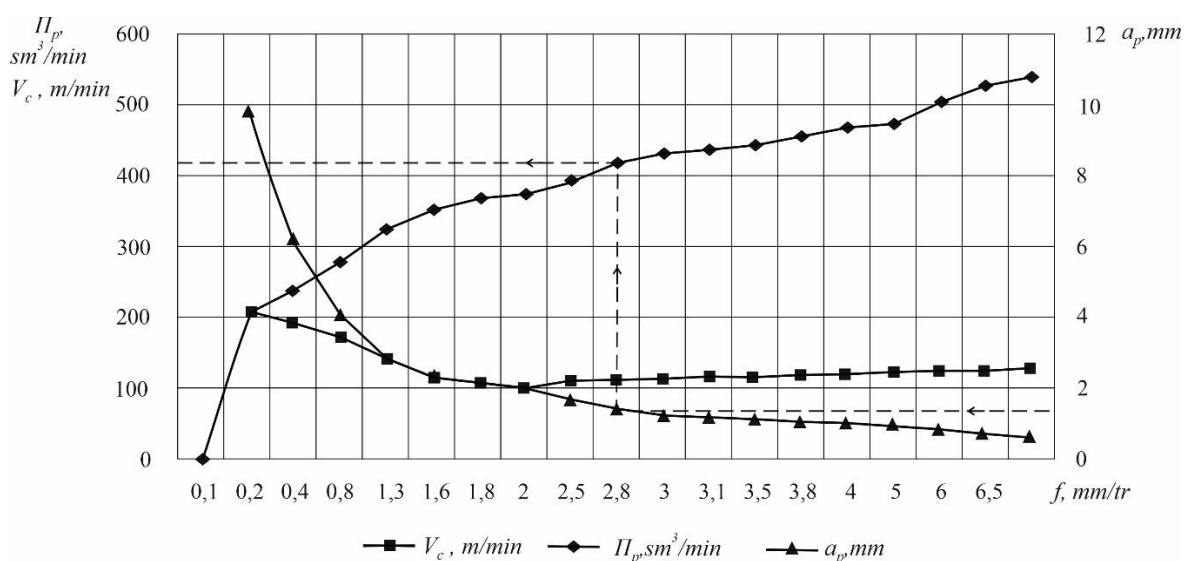
➤ От системата (5.3) следва, че с увеличаване на a_p , производителността на рязане – пада (фиг. 5.2) и следователно, при

определяне (задаване) на режими на рязане не трябва да се стремим към задаването на максимално възможна a_p .

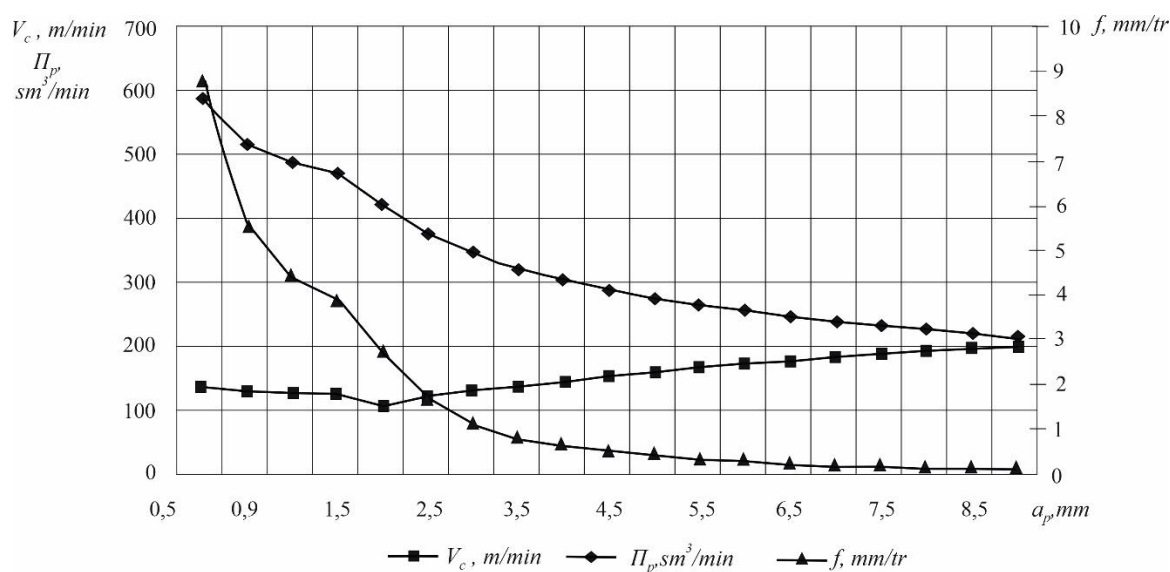
За пример сравняваме режимите на рязане при обстъргване на Ст 45, получени чрез решаване на системата (5.3) и по справочни таблици по традиционната методика [7].

В двата случая трайността на инструмента е приета за 20 min в съответствие с препоръките в [2], мощността на рязане допускана от машината е $P_p = 8 \text{ kW}$.

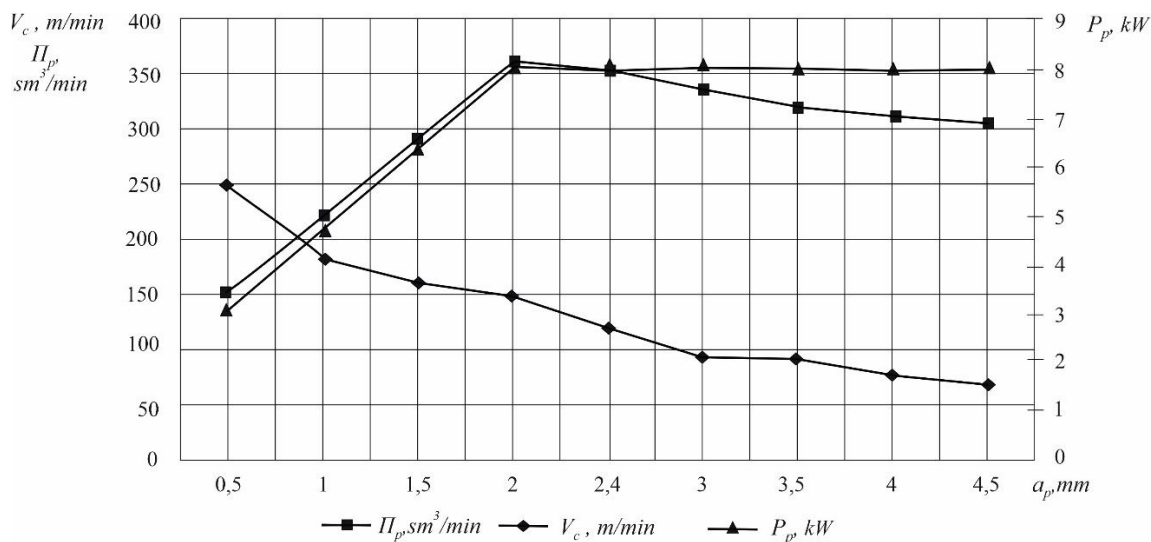
➤ По данните от изчисленията са построени графики (фиг. 5.1 и фиг. 5.3) – до колко първата методика предлага максимално увеличаване на f , а втората – на a_p , то на фиг. 5.1 са показани зависимости на основните параметри при увеличение на f , а на фиг. 5.2 при увеличение на a_p .



Фиг. 5.1 Зависимост на v_c , P_p и a_p от f , ($T = 20 \text{ min}$)



Фиг. 5.2 Зависимост на v_c , P_p и f от a_p , ($T = 20 \text{ min}$)



Фиг. 5.3 Зависимост на Π_p , v_c и P_p от a_p , (по методиката от [7])

Отчитайки резултатите от изследванията е предложена методика за избор на режими на рязане, основана на отчитане на връзката между параметрите на режима на рязане с техническите възможности на машината и режещия инструмент, изразени със системата (5.3). По нея от начало се задава максимално възможното подаване f , след решение на системата (5.3) се определя скоростта v_c и дълбочината на рязане a_p . Броят на работните ходове на инструмента p се определя, като цяла част (int) от израза:

$$p = \text{int} \left(\frac{Z}{a_p} \right) + 1.$$

Ако се базираме на особеностите при нормиране на програмни операции в [8], то можем да определим времето за обработване на един детайл.

За сравнение предложените режими на рязане по разработената и традиционната методика за обстъргване на заготовки от Ст 45 с диаметър $\varnothing 100$ mm до $\varnothing 80$ mm при мощност на главния превод на машината 10 kW, в първия случай $t_{e\partial} = 0,31$ min, а във втория $t_{e\partial} = 0,54$ min. Производителността на процеса по предложената методика е 74% повече.

5.3. Изводи

1. При определяне на параметри на режима на рязане, изхождайки от критерия „трайност при максимална производителност“, при наличие на ограничение по мощността на рязане, повишаването на производителността на обработването е възможно с увеличаването на дълбочината на рязане.

2. В разработената методика за определяне на режимите на рязане в качеството на критерия „производителност на обработването” е използван обема на снемания материал за единица време, като едновременно с това, връзката между a_p , f и v_c е отчетена чрез мощността на рязане и трайността на инструмента – това позволява увеличаване на производителността до 74 %.

3. За стругови машини с ЦПУ, многопроходното обработване при снемане на грубата прибавка е по-ефективно от еднопроходното – максимална производителност на рязане се достига при максимално подаване на инструмента.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Научно-приложни

1. Предложеният аналитико-изчислителен метод за определяне стабилността на технологичната система при обработване на сложнопрофилни повърхнини и определяне на очакваната грешка на формата в надлъжно и напречно сечение с отчитане на динамиката на промяната на прибавката за механично обработване .
2. Изведените аналитични зависимости за пресмятане на променливото натоварване на режещия инструмент и разкриващи взаимовръзката му с фактическата дълбочина на рязане.
3. Изведените експериментални модели, даващи полезна практическа информация за определяне на грапавостта с отчитане промяната на технологичните показатели, на механична обработка.
4. Получените тримерни модели за грапавостта, отчитащи влиянието на технологичните параметри на процеса рязане.
5. Предложената методика за определяне на режимите на рязане на база критерия производителност представен чрез обема на снемания материал за единица време.

Приложни

1. Разработените методики и планове на експерименталното изследване.
2. Предложените технологични схеми за провеждане на експерименталните изследвания, симулиращи обработване на детайли съчетаващи сложнопрофилни повърхнини.
3. Разработената методика за управление параметрите на грапавостта чрез промяна режимите на обработка и броя на технологичните преходи.
4. Разработените препоръки за практическо използване на изведените експериментални и аналитични зависимости при внесено новото виждане за формиране на качествените показатели на обработваните повърхнини и подходите за тяхното определяне.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

1. А. Ленгеров, Л. Рачовска, Оптимизация процеса механично обработване на ротационни детайли върху стругови машини с ЦПУ, сп. Машиностроене и машинознание, бр.31, год. XVI, кн.1, Варна, 2021, р.102-106, ISSN 1312-8612.
2. А. Ленгеров, Л. Рачовска, Математично моделиране параметрите на процеса рязане при струговане на детайли със сложнопрофилни повърхнини, сп. Машиностроене и машинознание, бр.32, год. XVII, кн.1, Варна, 2022, р.75-79, ISSN 1312-8612.
3. Л. Рачовска, А. Ленгеров, Аналитично определяне на стабилността на технологичната система при струговане на сложнопрофилни повърхнини, Младежки форум „Наука, технологии, иновации, бизнес“ есен, 25-26.11.2021, Сборник доклади, Пловдив, 2021, р. 138-142, ISSN 2367-8569.
4. Л. Рачовска, А. Ленгеров, Г. Левичаров, Оптимизиране на технологичните параметри на процеса рязане при разстъргване на сложнопрофилни вътрешни ротационни повърхнини, сп. Машиностроене и машинознание, бр.33, год. XVIII, кн.1, Варна, 2023, р. 62-66, ISSN 1312-8612.

ANNOTATION

OPTIMIZING THE INDICATORS OF ACCURACY AND EFFICIENCY IN THE MECHANICAL PROCESSING OF MECHANICAL PRODUCTS ON CNC MACHINES

Author: Eng. Lili Rachovska, MSc

In the dissertation work, research has been conducted with the aim of optimizing the processing modes when realizing cutting with a varying allowance on details combining complex-profiled surfaces. The analysis of the problems of choosing the modes of mechanical processing shows that the optimal conditions for the production of details with complex-profiled surfaces with automated equipment is an important technical-economic task and in the technical literature there are not enough studies published related to the issues of creating mathematical models for the mechanical processing process and their application in solving technological issues. It has been established that there are no methodologies for parametric optimization taking into account technological limitations. The goal of the development is: To increase the efficiency of lathe machining of details with a complex shape on CNC machines under conditions of variable cutting, based on the modes of processing.

Formulation and tasks for achieving the goal:

- Mathematical description of various complex surfaces, analysis of the methods for their formation, and the technology for their machining on lathe machines with CNC (Computer Numerical Control).
- Obtaining mathematical dependencies for determining the tool life, its wear, and the cutting time when processing various elementary surfaces (end, conical, spherical, ellipsoidal, and other profiled surfaces that can be described with analytical dependencies) with a variable cutting regime.
- Development of mathematical models for determining the cutting time, tool life, and wear when machining a detail with a complex shape, representing a combination of elementary surfaces, as well as in multi-pass machining under conditions of variable cutting.