ВИСША АТЕСТАЦИОННА КОМИСИЯ СПЕЦИАЛИЗИРАН НАУЧЕН СЪВЕТ ПО ТЕХНОЛОГИЯ НА МАШИНОСТРОЕНЕТО И МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ

Инж. Красимир Атанасов Иванов

РАЗРАБОТВАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА НОВА КОНСТРУКЦИЯ РЕЖЕЩО-ДЕФОРМИРАЩИ РЕЗБОНАРЕЗНИ ПЛАШКИ

АВТОРЕФЕРАТ

На дисертация за присъждане на образователна и научна степен "ДОКТОР"

Научна специалност: 02.01.13. "Рязане на материалите и режещи инструменти"

Научен ръководител: проф. д.т.н. инж. Велико Колев Иванов

Рецензенти: 1. проф. д-р инж. Ангел Атанасов Вачев 2. доц. д-р инж. Иван Колев Иванов

Русе 2010 г. Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита от катедрен съвет на катедра "Технология на машиностроенето и металорежещи машини" при РУ "А. Кънчев" – Русе, състоял се на 31.03.2010 г.

Докторантът е зачислен в свободна докторантура към катедра "Технология на машиностроенето и металорежещи машини" при РУ "А. Кънчев" – Русе.

Експериментите и изследванията по дисертацията са проведени основно в Лабораторията по рязане и режещи инструменти – катедра ТММРМ при РУ "А. Кънчев" – Русе под ръководството на **проф. д.т.н. Велико Колев Иванов.** Част от изследванията са извършени в "ПРЕЦИЗ – Интер Холдинг" – Русе.

Материалите от защитата се намират

Автор: Красимир Атанасов Иванов Заглавие: Разработване и изследване на нова конструкция режещо-деформиращи резбонарезни плашки Тираж: 60 броя Печатна база на РУ

І. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Актуалност на проблема

Новите образци инструментална екипировка, притежаващи подобрени конструктивни и експлоатационни характеристики, създават предпоставки за повишаване на ефективността на производството чрез намаляване на производствените разходи, допринасят за успешното решаване на специфични производствени задачи и водят до получаване на подобрени качествени параметри на изделията в машиностроенето.

В процеса на теоретичното и експериментално изпитване и изледване на нови режещи инструменти се получават нови факти, данни и модели, проверява се ефективността на нови методи за обработване, оптимизират се параметри и процеси. Решаването на такива многостранни проблеми е перманентна задача за всички области на машиностроителното производство.

2. Цел и задачи на дисертационния труд

В настоящият дисертационен труд "Разработване и изследване на нова конструкция режещо-деформиращи резбонарезни плашки " е поставена следната основна <u>ЦЕЛ</u>: Да се повиши качеството и да се намалят производствените разходи при нарязване на външни триъгълни резби, чрез разработване на нова конструкция режещо-деформиращи плашки с подобрена технологичност.

В съответствие с така поставената цел, са формулирани следните конкретни <u>ЗАДАЧИ:</u>

- 1. Да се проектират и изработят прототипи на режещо-деформиращи плашки, за нарязване на външни триъгълни резби върху електрозаварени алуминиеви тръби.
- 2. Да се анализира влиянието на параметрите на плашките върху елементите на сечението на срязвания слой и специфичната сила на рязане.
- 3. Да се разработи математичен модел за определяне на площта на сечението на срязвания слой във всеки един момент от работата на инструмента.
- 4. Да се изследва динамиката на съпротивителния момент при нарязване на триъгълни резби с плашки в зависимост от конструктивните им параметри.
- 5. Да се проведат лабораторни експериментални изследвания за определяне степента на влияние на основните конструктивни и геометрични параметри на режещо-деформиращите плашки върху специфичната сила на рязане, съпротивителния въртящ момент, и разпределението на натоварването по работните елементи.
- 6. Да се внедрят в производството на резбови изделия комбинираните режещо-деформиращи инструменти.

3. Научна новост на резултатите

1. Проектирана е нова конструкция резбонарезни плашки с подобрена технологичност, формиращи резбовите повърхнини чрез рязане и чрез повърхностно заглаждане. Получените резби се характеризират с подобрени качествени показатели.

2. Изцяло са дефинирани геометричните параметри на резбонарезните плашки в системата на инструмента и в работната система, а чрез математично моделиране е доказано, че предните γ_p и задните α_p ъгли на плашките са променливи по дължината на режещите ръбове.

3. Посредством методите на векторния анализ е изведено общото уравнение на производящата архимедова винтова повърхнина на режещата част на инструмента в цилиндрични координати.

4. Създаден е математичен модел, позволяващ да се определят дължините на режещите ръбове, площите на сеченията на срязвания слой и стойностите на гравната съставяща на силата на рязане и въртящия момент, в произволен момент от работата на гребеновиден резбови инструмент – плашка.

5. Изследвана е динамиката на промяна на елементарните сечения на срязвания слой и е доказано решаващото им влияние върху дебаланса, присъщ при работата на резбонарезните плашки.

6. Изследвано е формирането на въртящия момент при всички етапи на работа на резбонарезните плашки и е установено, че внесените като нов елемент в конструкцията цели деформиращи навивки изпълняват функцията на подвижна опора и значително допринасят за уравновесяването на радиалното натоварване на режещите гребени.

7. Експериментално са установени стойностите на специфичната сила на рязане за различни условия на работа при нарязване на резби с режещо-деформиращи плашки.

8. Получените данни потвърждават, че видът на обработваните материали е един от най-силно влияещите фактори върху формирането на специфичната сила и въртящия момент.

9. Установено е влиянието на най-важните сонструктивни и геометрични параметри брой режещи гребени z, установъчен ъгъл κ_p и преден ъгъл γ_p , изразено чрез функционална зависимост и чрез корекционни коефициенти.

10. Установени са границите на промяна на момента, създаван от целите навивки на плашките и е определен оптималният им брой за различни случаи на работа.

11. Доказано е, че основните качествени параметри на получаваните резби – точност на размерите 6g – 7g и грапавост Ra = 1,5 – 2,5 μm са по-добри от тези, получавани с класическите плашки при равни условия на работа.

4. Практическа полезност и приложимост на резултатите

Комбинираните режещо-деформиращи плашки притежават подобрени конструктивни, производствени и експлоатационни технологични характеристики, които създават предпоставки за съкращаване както на производствените им разходи, така и за повишаване на качествените характеристики на нарязваните с тях резби. Препоръчва се използването на комбинираните плашки при нарязването на резби върху тънкостенни тръбни детайли.

Полученните резултати за специфичната сила на рязане и въртящия момент намират широко приложение при решаване на проектно-конструкторските задачи в инструменталното производство, изпитванието и изследоването на режещи инструменти и в практическото използване на плашките.

5. Публикации по темата

Основните резултати от дисертационния труд са представени в 4 научни публикации.

6. Апробация на работата

Резултатите от дисертационния труд са представени пред:

1. Научна конференция на Русенски Университет/Съюз на учените – Русе, Русе, 2004.

2. Международна научна конференция АМТЕХ'07, Габрово, 2007.

3. Научна конференция на Технически Университет – София, филиал Сливен, ММММЕ08 – Сливен, 2008.

4. Семинар на Център за трансфер на технологии при РУ на тема "Пилотноиновационна разработка, подготвена за внедряване в машиностроителния сектор – прототип на режещо-деформираща плашка", Русе, 2008.

5. VI Международен конгрес "Машини, Технологии, Материали'09", София, 2009.

7. Структура и обем на дисертацията

Дисертационният труд е структуриран в пет части, като изложенито заема 153 страници и съдържа 82 фигури и 30 таблици. Посочени са 88 заглавия като ползвани литературни източници, от които 61 са на кирилица, 23 на латиница и три интернет сайта.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Литературен обзор

1.1. Методи за обработване на резби



Голямото многообразие и широкото практическо приложение на резбовите съединения са предпоставка за възникването и развитието на множество методи за тяхното формообразуване. Според класификациите, представени в литературните източници [21, 48, 49, 50, 57], те се разпределят в три основни групи (фиг.1.1): методи за първично формообразуване, резбонарязващи методи и методи за формообразуване чрез пластично де-

формиране.

Фиг.1.1. Методи за резбообработване [48,58].

1.2. Конструкции плашки

Кръглите плашки се използват за ръчно или машинно нарязване на външни резби, попадащи в широк диапазон от диаметри и стъпки. Съществуващите конструкции на този тип инструменти не се различават съществено по принцип на работа и по основните си конструктивни елементи и параметри независимо от фирма производител, предназначение и област на приложение. Най-разпространени са, [22, 42, 76, 82]:

- кръгли плашки (фиг. 1.2 а) и техните разновидности – шестостенни (фиг. 1.2 б) и квадратни (фиг. 1.2 в)

- тръбни плашки (фиг. 1.2 г)

- тръбни за ситни резби (фиг. 1.2 д)
- шлосерски призматични (за шлосерски клуп) плашки (фиг. 1.2 е) [42]

Режещите части са формирани по конусна инструментална повърхнина, в резултат на което, изрязването на прибавката (впадините на резбата) се разпределя











в)





Фиг. 1.2. Разновидности на е) шлосерска призматична

d)

определен между брой зъби и се реализира генераторна схема на работа на инструмента.

Подробният преглед на геометрични всички И конструктивни елементи показва, че техните параметри се променят в точно определени граници, болшинството от случаите доста тесни, в резултат от което съобразно с влиянието на всеки от паравърху резултаметрите тите от работата, в голяма част от случаите не се реализират оптималните условия на рязане.

1.3. Технологични възможности

Опростената кинематична схема на метода и относително малкото натоварване при по-малките размери плашки. позволява да се използват за ръчно или машинно нарязване на външни цилиндрични или конусни резби с неголеми изисквания за точност и качество

повърхнините на един проход [37,56]. Формообразуването се характеризира с ниски скорости на рязане и самоподаване (самонавиване) върху току-що нарязаните навивки.

Профилът на резбата, получаван след врязването, поема изцяло натоварването на подаването, в резултат на което могат да възникнат деформации на профила и грешки в стъпката, несъосност и лоша грапавост на резбата. Отвеждането на плашката се осъществява чрез развиване от току-що нарязаната повърхнина, в резултат от което се увеличава спомагателното време и се създават предпоставки за повреждане, а триенето по задните повърхнини на инструмента намалява трайността му.



1.4. Силови характеристики на процеса рязане

1.4.1 Общи положения



Фиг. 1.3. Система от сили, действаща на режещия клин при резбонарязване [9].

на сечението на срязвания слой.

Предлагат се [45, 46] степенни зависимости за определяне и на въртящия момент при рязане :

$$M = C_{\mathcal{M}} D^q f^{\mathcal{Y}} K_{\mathcal{M}}, \tag{1.1}$$

където q, y са степенни показатели, вариращи в диапазона съответно $q = 1, 1 \div 2$ и $y = 1, 5 \div 1, 8$

1.4.2 Специфична сила на рязане

Друг подход, предложен за първи път от Кинцле (Kienzle O.) [69], определя главната сила F_c и момента на рязане М посредством зависимости от вида:

$$k_c = F_c / A, N / mm^2; \qquad (1.2)$$

$$M = F_c \cdot r = 10^{-9} \cdot k_c \cdot A \cdot d_{cp} / 2, N \cdot m$$
(1.3)

където е прието k_c да бъде силата на рязане, необходима за срязване на сечение с определена площ (обикновено $1 mm^2$) и да се нарича специфична сила.

 F_c е главната сила на рязане, N;

A - площ на сечението на срязвания слой, mm^2 .

Опитно е установено [28], [75] и др., че основен фактор, влияещ на специфичната сила на рязане е дебелината на срязвания слой (фиг.1.4.).

Системата от сили, действащи върху режещия клин на инструмента при резбонарязване е показана на фиг.1.3. [9]

Съществуват различни подходи за определяне на главната сила Fz. При някои от тях [12], се използват опитни зависимости от степенен вид :

$$Fc = C_{Fc} \left(\frac{l}{i} \right)^{x_{Fc}} f^{y_{Fc}} K_{Fc}$$
, където C_{Fz} , N е

константа определена при дадени условия на обработване, зависеща от механичните свойства на обработвания материал, свойствата на инструменталния материал, елементите на режима на рязане, геометричните параметри на инструмента, износването, МОТ и др.,

Зависимостите от този вид са удобни за използване при определен метод на обработване, не отразяват пряко физическата същност на процеса и не отчитат вида на резбата и формата



Чрез математично обработване на опитните данни е установен и математичният модел на тази зависимост, степенната функция от вида:

$$k_c = k_{c.1.1} / h^z$$
, (1.4)

където $k_{c.1.1}$ е основната (стандартна) стойност на специфичната сила на рязане при сечение на срязвания слой $A = b.h = 1.1 = 1 mm^2$;

Z - показател, характеризиращ степента на влияние на дебелината на срязвания слой.

1.4.3 Теоретични математични модели на специфичната сила на рязане

В основата на математичното моделиране на силовото натоварване при рязане е аналитичното му определяне, като се използват механични характеристики на обработвания материал и някои параметри на процеса на рязане и се приемат различни хипотези за деформацията на срязвания слой при превръщането му в стружка. Разглеждат се различни модели на деформацията на материала при рязане.

Предлаганите зависимости и параметрите, включени в тях, се отнасят за различни видове резбонарезни инструменти, което ограничава използването им в тесни граници.

1.5. Сечение на срязвания слой при резбонарязване с метчици, плашки, и резбонарезни гребени и глави

Сечението на срязвания слой при резбонарязване би могло да се представи, като съвкупност от свързани помежду си елементарни участъци, чиято форма и размери са в пряка зависимост от метода на резбонарязване, вида на резбата и схемата за изрязване на прибавката. Характерно за резбонарязването е и непостоянството във формата и площта на сечението. При гребеновидни инструменти с конусна режеща част (метчици, плашки и т.н.), всеки зъб изрязва сечение с различна форма, размери и площ. Поради сходството при схемите на изрязване на прибавката от единичен гребен на посочените инструменти, в специализираната литература се препоръчват общи изчислителни модели.

Площта на сечението на срязвания слой се определя най-често с помощта на геометрични изчисления [12,19,20,47,48], приема се да бъде с трапецовидна форма, при което общата площ на напречното сечение на снемания слой от всички зъби на режещата част на инструмента, е равна на лицето на този трапец.

 $S = h_c(a+b)/2$, (1.5)

където a,b са малката и голямата основа на трапецовидното сумарно сечение на слоя метал, снеман от режещата част на инструмента, mm,

 h_c - височина на същото сечение, *mm*.

1.6. Технологична оценка на разпространените конструкции плашки

Резбите, изработвани с кръгли плашки се характеризират със следните особености:

- точността на нарязваните резби като комплексен показател достига в найдобрия случай 8g (по-често 9-10g, при това със сравнително точни инструменти – 6g като правило)

- големи отклонения от допуските на средния диаметър на резбата, дължащи се на получаваната вълнообразност по направление на оста;

- големи стойности на натрупаната грешка на стъпката;
- неточности на профила на резбата;
- накъсване на част от резбата (в някои случаи);
- незадоволителна грапавост;
- по-ниски якостни характеристики.

За този тип резбонарезни инструменти са характерни следните конструктивни и технологични недостатъци:

- тесни граници за реализиране на подходящи стойности на геометричните и конструктивни параметри, съобразени с конкретните условия на работа;

- нерационални геометрични параметри и невъзможност за промяна на заложените им стойности чрез презаточване при обработване на материали с различна обработваемост;

- съществени ограничения за оптимизиране на режимите на рязане;

- ниски скорости на рязане, лимитирани преди всичко от качествените характеристики на нарязваните резби;

- необходимостта от развиване на плашките от обработената повърхнина, педопределя ниската им производителност;

- голям е относителният разход на време за заточване по предните повърхнини на режещите гребени с цел формиране на режещите ръбове и постигане на подходящи преден ъгъл γ_0 и ъгъл на наклона λ_s

- относително голям дял на отпадъка при изработване на плашките.

- еднакви конструктивни параметри на работните части, състоящи се от *z* на брой режещи гребени, всеки от които има режещи и калиброваща част.

1.7. Проблеми с нарязването на резби върху тънкостенни електрозаварени тръби

Фирма "Прециз – Интер Холдинг" ЕООД е специализирана в производството на тънкостенни алуминиеви електрозаварени тръби с диаметри в диапазона 10 – 64 mm. В зависимост от диаметрите, дебелините на стените на тръбите варират от 1,5 до 2,2 mm. Като важна производствена задача за условията на едросерийно производство е поставено нарязването на резби със ситни стъпки в двата края на тръбите. Такава технологична операция предизвиква съществени проблеми, анализът на които води до следните изводи: - Обработването чрез методите на пластично деформиране е неприложимо поради това, че се получава смачкване на тръбите.

- Обработването чрез рязане е също неприложимо поради това, че:

С резбонарезни ножове е нископроизводително и неточно;

- □ с резбонарезни гребени и глави е съпроводено от големи натоварвания, водещи до деформации на заготовката и неточни резби;
- резбофрезоване и вихрово резбонарязване скъпо оборудване и приложимост само при големи диаметри;
- □ с класически кръгли плашки големи натоварвания поради неподходящи геометрични параметри на инструментите, силов дебаланс, водещи до неточни резби и в някои случаи до скъсване на тръбата.

При тези условия възможните решения могат да бъдат сведени до проектирането на нова инструментална и технологична екипировка.

1.8. Изводи

При направеният преглед на специализираната литература, касаеща резбонарезните инструменти, беше констатирано, че недостатъчно пълно и подробно са описани всичките конструктивни параметри на кръглите плашки. Също така, липсват ясни и обосновани критерии за определянето на някои основни конструктивни параметри, каквито са броят на режещите гребени и факторите, които да ги определят, големината на главния установъчен ъгъл *Kr* и влиянието му върху силовото натоварване на процеса на резбонарязване и др.

При разглеждането на процеса рязане се разчита на пълна аналогия с метчиците, което може частично да даде отговори на някои съществени въпроси, отнасящи се до проектирането на инструментите. Същият подход, най-често е приложен при аналитичните зависимости за определяне на режимите на рязане и силовото натоварване на технологичната система, в резултат на което по различните източници се получават големи разлики – до 300%. Последното особено силно важи за определяне на силовото натоварване на технологичната система.

Реално липсва практически приложима първична информация във всичките и́ форми – аналитична, графична или таблична, която да служи като обща основа при проектирането и при експлоатацията на плашките.

Анализът на продукцията на водещи фирми за производство на режещи инструменти – кръгли резбонарезни плашки показва, че в световен мащаб конструкциите на тези инструменти се свеждат до два основни вида – регулируеми и нерегулируеми, като разликите в геометричните параметри на режещите им части са минимални и на практика не оказват влияние върху схемата на рязане и резултатите от работата им.

2. Разработване на конструкция плашки с повишена технологичност 2.2. Изисквания към новата конструкция плашки

В началната фаза на проектната част са формулирани следните условия и изисквания към новите резбонарезни инструменти:

1. Новата конструкция да формира резбата така, че да се съчетават възможностите на пластичната деформация и на обработването чрез стружкоотнемане, при гарантиране на изходната форма и профила на нарязваната резба; 2. Да се запази генераторната схема на изрязване на прибавката на резбата;

3. Да се обединят в общ корпус режеща и пластично деформираща (заглаждаща) части;

 Новата конструкция да отговаря на условието за подобрена технологичност при процеса на изработването на плашките в условията на серийно производство;



Фиг. 2.1. Основни конструктивни и геометрични параметри на режещо-деформираща плашка

 Като резултат от работата на новите плашки да се получават резби с подобрени качествени показатели;

6. Конструкцията да осигурява възможност за промяна в широки граници на геометричните параметри на режещите части на инструментите.

7. Да се осигурят възможности за висока производителност при формирането на резбите;

8. Да се осигури точното и

надеждно закрепване на инструментите.

2.3. Описание на конструкцията

Създадена е нова конструкция кръгли резбонарезни плашки състояща се от следните основни елементи (фиг. 2.1; 2.2):

- 1 режещ гребен
- 2 режеща част с дължина *Lpeж*.
- 3 стружков канал
- 4 деформираща (заглаждаща) част с дължина *Lкал*.

Тези основни елементи са обединени в общ корпус с цилиндрична форма и външни размери както на класическите плашки, което облекчава въвеждането им в експлоатация, тъй като не е необходима подмяната на съществуващата технологична екипировка за производството и експлоатацията им.



Фиг. 2.2. Пробна серия на режещо-деформиращи плашки





Фиг. 2.3. Възможности за промяна на предните ъгли у и на отношението b/c

Технологичната схема, по която работят новите инструменти е комбинирана – резбата се формира последователно чрез рязане и пластично деформиране.

Режешата част на новата конструкция запазва гребеновидната си форма, като дължината Lреж., регламентирана дълбочината чрез на стружковите канали се определя такава, че при поне един от режещите гребени да се получи режещ зъб с пълен про-

фил на резбата.

Прекъснатата от стружковите канали резба на инструмента преминава в няколко цели навивки, които пластично заглаждат нарязаната от режещата част на инструмента резба и същевременно служат за водеща опора (люнет) на плашката. По този начин се осигурява точен профил на резбата, съгласно стандарт DIN EN 22568 и много добра грапавост на обработената повърхнина.

Стружковите канали, респ. режещите гребени, се изработват с равнинна форма на предната повърхнина, което дава възможност геометричните параметри на инструмента да се променят в много широки граници.

Посочената форма и съответните размери, вариращи също в широки граници, осигуряват голям ресурс на инструмента чрез лесно и многократно презаточване – Фиг.2.3.

Заточването по предната повърхнина се облекчава значително спрямо досега прилаганите методи, значително се разширяват възможностите за формиране на различни по големина ъгли на наклона λ_s .

Главните установъчни ъгли к_г и главните предни ъгли γ_р са независими и лесно могат да бъдат получавани с различни големини. Формирането на задните

ъгли на режещия клин α_p се осъществява чрез осово затиловане на режещия конус при запазване на съществуващата схема на обработване за класическите плашки.

2.4. Дефиниране на геометричните параметри на новата конструкция плашки

С цел да се постигне пълно определяне на геометричните параметри на режещата част на новата конструкция комбинирани режещо-деформиращи плашки



Фиг.2.4. Координатни равнини в инструменталната система

са решени следните задачи: определяни са координатните равнини - (фиг.2.4.) и основните ъгли в статичната инструментална система; дефинирани са работните равнини и ъгли на инструмента; изчислени са статичните геометрични параметри в различни секущи равнини и са определяни връзките между тях чрез векторно пресмятане.

2.4.1. Инструментална координатна система

Всички основни геометрични параметри са дефини-

рани за произволно избран главен режещ ръб S от на режещата част на плашката, тъй като разликите се свеждат само до дължините на режещите ръбове, без да оказват влияние на геометричните параметри. Като водещи термини и определения са използвани постановките на стандарт ISO 3002 част 1.

2.4.2 Работна координатна система

В работната система геометрията на режещата част е разгледана при осъществяване на процеса на рязане, когато се осъществяват главното и подавателното работни движения съответно със скорости V_c и V_j , векторната сума на които е резултантната скорост на рязане с вектор V_e , спрямо който са ориентирани секущите равнини на режещата част на инструмента.

2.4.3. Инструментални ъгли

В така дефинираната инструментална координатна система, при спазване на определенията от стандарт ISO 3002, са определени инструменталните ъгли в Основната равнина P_r , Работната равнина P_f , Осовата равнина P_p , Равнината на рязане P_s и Ортогоналната равнина P_o .

2.5. Определяне на връзките между геометричните параметри

2.5.1. Общо уравнение за режещата част

Спрямо режещата част на плашката, в тримерна Декартова координатна система XYZ, посредством методите на векторния анализ, за точка от произволен режещ ръб, е установено общото векторно уравнение на режещата част $tg\eta = tg\mu.sin\varepsilon - tg\beta.cos\varepsilon$, чрез което са определени зависимостите между ъглите $\alpha_{\rm f}, \gamma_{\rm f}, \alpha_{\rm p}, \gamma_{\rm p}, \kappa_{\rm r}, \lambda_{\rm s}, \alpha_{\rm n}$ и $\gamma_{\rm n}$ на плашките (фиг.2.5.).



Фиг. 2.5. Тримерна векторна система при определяне на общото уравнение на режещата част на режещо-деформираща

2.6 Математично моделиране на действителните задни ъгли при осово затиловане с коничен абразивен инструмент

Ако K_a е стойността на осовото затиловане, реализирано при оформяне на главната задна повърхнина на един режещ гребен на плашката, ограничено от централния ъгъл ε_{12} , то съответстващата му височина на радиалното затиловане ΔK_r е:

 $\Delta K_r = K_a tg(\kappa_r)$

(2.1)

Оста на абразивния инструмент е изместена на разстояние R_k от оста на плашката. Във всеки момент той контактува с формираната главна задна повърхнина в точки, в които се изпълняват условията за контакт - в контактната точка да имат обща тангентна повърхнина и общ нормален вектор.



Фиг. 2.6 Схеми на затиловане с коничен (а) и цилиндричен (б) абразивен инструмент

Задният ъгъл α_{pi} в коя и да е *i*-та точка от главния режещ ръб в сечение, перпендикулярно на оста на плашката се дефинира като ъгъл между допирателните към контактуващата окръжност и към обвиващата линия, минаващи през допирната им точка. Определянето

(2.4)

му се реализира чрез използване уравненията на обвиващата линия.

Използват се параметричните уравнения на семейството окръжности в координатната система *Oxy:*

$$x = (r_1 - a, \varphi) . \cos(t) . \cos(\varphi) - (r_1 - a, \varphi) . \sin(t) . \sin(\varphi) + R_k . \cos(\varphi)$$

$$v = (r_1 - a, \varphi) . \cos(t) . \sin(\varphi) - (r_1 - a, \varphi) . \sin(t) . \cos(\varphi) + R_k . \sin(\varphi)$$
(2.2)

и условието за контакт между коя и да е окръжност от семейството и обвиващата линия [57]

$$\partial x/\partial t. \partial y/\partial \varphi = \partial x/\partial \varphi. \partial y/\partial t, \qquad (2.3)$$

Съвместното им решаване води до математичната зависимост за определяне на задните ъгли в коя и да е точка от задната повърхнина, лежаща на обвиващата линия и на главния режещ ръб:

$$\alpha_{pi} = t - \varphi + arctg(y/x).$$

2.7. Определяне на предните ъгли по дължина на главния режещ ръб

За отделните точки по цялата дължина на главния режещ ръб на плашката, предните ъгли приемат различни стойности, поради това, че за всяка точка се дефинира отделна основна равнина P_r , ъглово отместена от диаметралното сечение през разглежданата точка.

за класическите плашки:
$$\gamma_{p2} = \arccos\left(\frac{r_2^2 + \overline{1,2} - r_1^2}{2r_2 \cdot \overline{1,2}}\right) - \arcsin\left(\frac{\overline{1,2}}{2r}\right)$$

за плашките с равнинна предна повърхнина: $\gamma_{p2} = \arcsin\left(\frac{r_1}{r_2}\sin\gamma_{p1}\right)$

3. Математично моделиране на процеса 3.1. Сечение на срязвания слой при нарязване на външни резби

Ъгълът κ_r и стъпката на резбата P определят броя на навивките включени в режещата част на инструмента, което от своя страна оказва влияние върху елементите на сечението – дебелина h и ширина b на срязвания слой. В зависимост от текущото положение от работата на плашката спрямо заготовката ширината на срязвания слой е променлива. Това предопределя и различните размери и

площи на срязвания слой както за един от режещите зъби на инструмента, така и за сумарното сечение от всички активни за разглеждания момент зъби.



Фиг.3.1 Схема за определяне на уравнението на архимедова винтова повърхнина

нарезни инструменти е в точното определяне на площта на срязвания слой от всеки зъб и от всички едновременно режещи зъби.

Също така не може да се отчете достатъчно точно степента на влияние на един или друг параметър и най-благоприятното или найнеблагоприятното ИМ съчетаване. Освен опитно, изменението на натоварването на инструмента при навлизането му в заготовката трудно може да се определи.

За решаването на тези въпроси се предлага нов подход при разглеждането на проблема. Той се състои в математическото описване на режещата част на инструмента и математическо моделиране на работата му в заготовката.

3.2. Уравнение на архимедова винтова повърхнина на резбата

Всяка архимедова винтова повърхнина се образува при винтовото движение на вектора $\overrightarrow{M_1N_1}$, означен с \overrightarrow{u} - фиг.3.1. Във всеки момент на движението си, векторът и и линията, очертана през точките M_i и N_i съвпадат и преси-

чат ос Oz на координатната система Oxyz под ъгъл $(\pi/2 - \gamma)$.

В определен момент този вектор е в положение означено с $\overline{M_i N_i}$. Отчитайки схемата от фиг. 3.1, се записва следното векторно уравнение, описващо архимедовата винтова повърхнина:

$$\overrightarrow{ON_i} = \overrightarrow{OM_i} + \overrightarrow{M_iM_i} + \overrightarrow{M_iN_i}, \qquad (3.1)$$

в което съставляващите вектори са със следните координати в координатната система Охуг:

$$\overrightarrow{ON_i} = r = \begin{vmatrix} x \\ y \\ z \end{vmatrix}; \quad \overrightarrow{OM_i} = \begin{vmatrix} r\cos\theta_i \\ r\sin\theta_i \\ 0 \end{vmatrix}; \quad \overrightarrow{M_iM_i} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ p\theta_i \end{vmatrix}; \quad \overrightarrow{M_iN_i} = \begin{vmatrix} u_i\cos\gamma_0\cos\theta_i \\ u_i\cos\gamma_0\sin\theta_i \\ -u_i\sin\gamma_i \end{vmatrix} \quad (3.2)$$

В горните уравнения винтовия параметър на винтовата повърхнина *p* се определя по зависимостта:

$$p = nP/2\pi, \tag{3.3}$$

а големината на вектора \vec{u} - по зависимостта:

$$\vec{u} = (\rho_i - r) / \cos \gamma, \tag{3.4}$$

в които *P* е стъпка на резбата в mm;

 θ_i - текущ ъгъл на завъртане на вектора u.

След заместване на (3.2) в (3.1), матричното уравнение на винтовата повърхнина добива вида:

$$r(x, y, z) = \begin{vmatrix} x \\ y \\ z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} r\cos\theta_i + u_i\cos\gamma\cos\theta_i \\ r\sin\theta_i + u_i\cos\gamma\sin\theta_i \\ p\theta - u_i\sin\gamma \end{vmatrix}$$
(3.5)

3.3. Уравнение на конусната инструментална повърхнина на режещата част



Фиг. 3.2 Конусна повърхнина на режещите ръбове на плашката

Уравнението на режещата конусна повърхнина, върху която са разположени режещите ръбове на плашката се представя като уравнение на ротационна повърхнина, описана при въртенето на правата $\overline{1,2}$ около координатната ос *z* на същата координатна система *Oxyz* (фиг.3.2). При завъртането на текущия радиус-вектор ρ_{κ} на ъгъл θ_i , по трите координатни оси се получава:

$$\begin{vmatrix} x \\ y \\ z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \rho_k \cos \theta_i \\ \rho_k \sin \theta_i \\ \rho_k - r/tg\kappa_r \end{vmatrix}, \ \rho_k \in [r, R]$$
(3.6)

3.4. Проекции на винтовите линии в равнината Оху

При пресичането на винтовите повърхнини A и B с инструменталната конусна режеща повърхнина на инструмента се получават две пространствени конусни винтови линии. Съвместното решаване на уравнения (3.4), (3.5) и (3.6) ще даде уравненията на тези винтови линии, чиято проекция в равнината Oxy е архимедова спирала. В същата равнина, при пресичане на проекциите на линиите на режещите ръбове на инструмента със спиралите, могат да бъдат намерени крайните точки, които ограничават дължините на проекциите на всеки един от режещите ръбове, след което при отчитане на установъчните ъгли κ_r , да се получат действителните дължини на режещите ръбове.

Ако за произволна точка се приеме, че в даден момент принадлежи едновременно на винтовата повърхнина A и на конусната повърхнина, може да се определят координатите й по осите x, y и z:

$$x_{A} = x_{k} = r \cdot \cos \gamma + \vec{u} \cos \gamma \cos \theta = \vec{\rho}_{k} \cos \theta$$

$$y_{A} = y_{k} = r \cdot \sin \theta + \vec{u} \cos \gamma \sin \theta = \vec{\rho}_{k} \sin \theta$$

$$z_{A} = z_{k} = p\theta - \vec{u} \sin \gamma = \vec{\rho}_{k} / tg\kappa_{r}$$
(3.7)

След преработване и изразяване спрямо ρ_{κ} , се получава:

$$\vec{\rho}_A = a_1 \cdot \theta_i + r \tag{3.8}$$

Понеже
$$p = nP/2\pi = const$$
; $\gamma, \kappa_r = const$ и следователно

 $a_1 = \frac{p t g \kappa_r \cos \gamma}{\cos \gamma + \sin \gamma t g \kappa_r} = const$, то може да се твърди, че полученото уравнение

(3.8) е уравнение на архимедова спирала AS1с полярни координати ($\vec{\rho}_A, \theta$) в равнината *Oxy*.

За винтовата повърхнина *Б* по аналогичен начин се получава, че проекцията върху равнината *Оху* при пресичането й с инструменталната конусна повърхнина е архимедова спирала с уравнение:

$$\vec{\rho}_{E} = a_2.\theta_i + r$$
; където $a_2 = \frac{p \, tg\kappa_r \cos \gamma}{\cos \gamma - \sin \gamma \, tg\kappa_r} = const$

3.5. Разположение на върховите режещи ръбове върху инструменталната режеща част



Фиг.3.4 Проекции на конусните винтови линии върху равнината Оху

Ъгъл θi е текущият ъглов параметър за всяка от спиралите. В момента фиксиран с $\theta_i = 0$ се вижда, че $\rho_1 = R_1$, а $\rho_2 = R_1 + b$, T.e. AS2 в този момент ще има поголямо нарастване от AS1 на $\rho_2 - \rho_1 = b$ равно (Фиг.3.4). В съшото време AS1 се намира на окръжност R_1 , а AS2 е отдалечена от нея на разстояние b. Следователно тя в някой предишен момент е пресякла окръжност R_1 . За да се намери този момент, ще се използва условието, че тогава $\rho_2 = R_1$ и след заместване и съответно

преобразуване, се получава:

 $\theta_{H2} = \frac{(R_1 - r)(1 - tg \gamma tg\kappa_r)}{ptg\kappa_r}$; а за крайната стойност на общия ъглов параметър θ

се получава:

$$\theta_{\kappa p} = \frac{R - R_1}{a_1} + \left| \theta_{H2} \right| \tag{3.9}$$

Следователно обхождането на архимедовите спирали ще се извършва в интервала $\theta \in [0, \theta_{\kappa D}]$.

При известна стойност на ъгъла κ_r може да се определи дължината на всеки върхов режещ ръб:

$$b_i = (\rho_2 - \rho_1) / \sin \kappa_r , \qquad (3.10)$$

а сумарната дължина на активните в даден момент режещи ръбове: $b_{\sum j} = \sum_i b_i$

слой



Фиг. 3.5 Параметри на сечението на спязвания слой

площта на сечението му е:

$$S_i = \frac{a_i + b_i}{2} a_z$$

3.6. Площ на сечението на срязвания

Поради това, че режещите гребени на инструмента се изработват през една и съща ъглова стъпка, то всички трапецовидни сечения на срязвания слой, изрязвани от последователно работещите в съответното междузъбие зъби на плашката са с еднаква дебелина a_z .

Всеки трапец има за основи главния режещ ръб b_i и основата на срязваното сечение a_i и височина a_z - фиг.3.5. Следователно

(3.11)

Основата на срязвания слой се получава от пресичането на резбовата винтова повърхнина с конусна повърхнина, но отместена спрямо конуса, формиращ главните режещи ръбове на разстояние a_z . Пресечниците на тази конусна повърхнина с винтовите повърхнини на резбата също ще бъдат архимедови спирали, но отместени спрямо тези на главния режещ ръб.

В резултат от решаването на тази задача, за дължините на основите на срязвания слой се получава:

$$a_{i} = \frac{\rho_{2} - \rho_{1} + a_{z} \cos \alpha \left(\frac{1}{\cos(\alpha + \kappa_{r})} - \frac{1}{\cos(\alpha - \kappa_{r})}\right)}{\sin \kappa_{r}}$$

С цел определяне на моментите, създавани от елементарните сечения на срязвания слой, се предлага зависимост и алгоритъм за определянето на радиусите на центрите на тежест за всяко от сеченията:

$$\Delta \rho_{IIT} = \left(\frac{b}{2} + h_c \frac{\left(a_z tg(\alpha_{10} + \kappa_r) + \frac{a}{2}\right) - \frac{b}{2}}{a_z}\right) sin\kappa_r + h_c \cos\kappa_r , \qquad (3.12)$$

където $a = \frac{C_2 - C_1}{\sin \kappa_r}$ е дължина на главния режещ ръб, (3.13)

4. Анализ и моделиране на натоварването на плашките 4.1. Сечение на срязвания слой

Формата на елементарните сечения се изобразява с три различни равнинни фигури: разностранен триъгълник, неравнобедрен трапец и неравностранен петоъгълник. Площите на тези сечения f_{pi} се променят в широки граници. Те за-



Фиг. 4.1. Относително разпределение на сумарното сечение на срязвания слой между режещите зъби на кръгла плашка M25x1,5

висят от подреждането на зъбите по винтовата линия и от ъгловото изместване на режещите гребени спрямо условното ú начало. Това подреждане е различно за всяка плашка и не се контролира при нейното изработване.

Неравностойното участие на режещите зъби в изрязването на прибавката е заложено в конструкцията на кръглите плашки и не може да бъде преодоляно. То е причина за неравномерното натоварване на зъбите и се отразява неблагоприятно върху трайността на инструмента и резултатите от неговата работа. Неравномерното разпределение на сечението на срязвания слой върху режещите зъби на плашката дава отражение върху натоварването на нейните гребени. Изчислени са сумите от дължините на върховите режещи ръбове ΣI_{pi} , mm и от площите на еле-

ментарните сечения Σf_i в mm^2 , които се разпределят на всеки от гребените на плашката (фиг. 4.1, 4.2.). Гребените са разгледани в пет от безбройните последователни положения, които може да заемат спрямо условното начало на винтовата линия в зависимост от това, къде в напречното сечение са прорязани стружковите канали.

Максималната относителната разлика за дължината на върховите режещи ръбове, изчислена въз основа на усреднените стойности, може да достигне 27%, а ако се изчисли с абсолютните стойности - до 34 %.

Максималната относителна разлика за площта на сеченията, изчислена въз основа на усреднените стойности, може да достигне до 24%, а ако се изчисли с абсолютните стойности - до 34%.

При теоретичното моделиране на плашките може да се намери оптимален вариант за разположение на режещите гребени спрямо условното начало на винтовата повърхнина на резбата, което да гарантира минимално динамично дебалансиране, но реализацията му практически е невъзможна.



4.2. Съпротивителен момент при нарязване на триъгълна резба с кръгли комбинирани плашки

Общият съпротивителен момент M_C при нарязване на триъгълна резба с кръгла плашка се формира от силите на стружкообразуване и силите на триене, действащи в режещите и калиброващия участъци. Той може да се представи като сума от четири момента:

 $M_C = M_1 + M_2 + M_3 + M_4$, Nm

където M_I е моментът от силите на рязане, действащи на върховите и страничните ръбове на режещите зъби от активната страна на плашката;

 M_2 - момент от силите на триене по задните повърхнини на режещите зъби;

*M*₃ - момент от силите на рязане, възникващи при дооформяне на резбата от калиброващите зъби;

 M_4 - момент от силите на триене по задните повърхнини на калиброващите зъби и на режещите зъби от обратната (неактивната) страна на плашката.

От специализираната литература по резбонарязване не са известни теоретични модели, които може да се използват за изчисляване на съставляващите на общия момент. Тази нелесна задача се решава частично по експериментален път, като моментите се определят чрез динамометриране по двойки - M_1 съвместно с M_2 за режещата и M_3 с M_4 за калиброващата и неактивната режеща част на плашката. В този случай уравнението се трансформира във вида: $M_C = M_{PEK} + M_{KAJ}$, Nm

На фиг. 4.3. е представен запис на диаграмата на изменение на съпротивителния момент M_B при нарязване на триъгълна резба M20x1,5 върху заготовка от въглеродна стомана У10 с твърдост НВ=200. Използвана е едностранно режеща комбинирана плашка с пет гребена, главен установъчен ъгъл $K_r = 20^\circ$ и преден ъгъл $\gamma = 10^\circ$.





Може да се твърди, че при нарязване на триъгълна резба с кръгли комбинирани плашки стойностите на общия съпротивителен момент M_C са съизмерими с тези при обикновените кръгли плашки. Развитието на момента при двата вида плашки е идентично, но характерът на съпротивлението е различен.

Представляващият интерес в случая относителен дял на съпротивителния момент в деформиращата част на плашката $M_{KA\Pi}$ при нарязване на заготовки от стомана У10 е в границите от 7 до 15% и в това отношение на практика е без значение вида на калиброващата част на инструмента.

Деформиращите навивки на комбинираната плашка по-добре стабилизират нейното движение по резбата и уравновесяват радиалните сили, действащи в режещите гребени.

5. Експериментални изследвания

5.1. Методика и условия на експерименталните изследвания

5.1.1. Методика за определяне на въртящия момент

а) компоненти на въртящия момент

Общият съпротивителен момент при нарязване на триъгълни резби с кръгли плашки M_C може да се представи като сума от два момента [17]:

$$M_C = M_{pexc} + M_{\kappa a \pi}$$

- 23 -

Моментът в режещата част $M_{peж}$, може да се определи, като се използва равнодействащата на силите на рязане F_C , N, приложена към радиуса на центъра на тежестта R_{um} на сумарното сечение, изрязвано от всички зъби, mm:

$$M_{pexc} = \frac{F_z R_{um}}{1000}$$
, Nm

При използване на равнодействащата на силите на рязане, действащи по предните повърхнини на режещите зъби, F_C , N, участват сумарните сечения на срязвания слой f, mm^2 и специфичната сила на рязане k_c , N/mm^2 :

$$F_C = k_c f , N$$

При съвместното решаване на горните уравнения се получава окончателното уравнение за пресмятане на общия съпротивителен момент M_C при нарязване на триъгълна метрична резба:

$$M_C = \frac{K_M \cdot P^2 \cdot d \cdot k_c}{5755}, Nm$$
(5.1)

Експерименталното определяне на общия съпротивителен момент M_C и на зависимостта му от определени променливи фактори е реализирано чрез динамометриране при различни предварително определени условия на работа.

б) методика на планирания експеримент

За определяне на влиянието на параметрите на плашката - брой гребени z, установъчен ъгъл κ_r и преден ъгъл γ_p върху специфичната сила на рязане k_c , по метода на статистическото планиране е проведен трифакторен експеримент от вида 2^3 [27]. На заготовки от алуминиева сплав Д16Т е нарязвана резба с девет вида режещо-деформиращи плашки M32x1,5, изработени с различни параметри. От диаграмата на съпротивителния момент в режещата част $M_{peж}$ е определена специфичната сила. За всяка точка от плана е използван отделен инструмент, като са извършвани най-малко по три повторения, при спазване на правилото за рандомизация на опитите и отсейване на големите отклонения на резултатите.

в) определяне на специфичната сила на рязане k_c

Специфичната сила на рязане k_c зависи от следните фактори:

материал и физикомеханични характеристики на заготовката – якост, твърдост, пластичност, коефициент на триене; конструктивни и геометрични параметри на режещата част на плашката – брой на режещите гребени *z*, главен установъчен ъгъл κ_r , преден ъгъл γ_p и ъгъл на радиално затиловане по задните повърхнини на върховите режещи ръбове α_p ; скорост на рязане v_c ; големина на износването V_в; вид на мажещо-охлаждащата течност (MOT).

Влиянието на всеки от факторите може да бъде представено чрез поправъчен коефициент, включен в опитната зависимост:

$$k_c = k_{ce\kappa cn} K_{HB} K_z K_{\kappa_r} K_{\gamma} K_{\alpha} K_V K_{h_{\alpha}} K_{MOT}, N/mm^2,$$
(5.2)

където k_{cekcn} е изчислената специфична сила, компонент на експериментално установения за конкретни условия въртящ момент M_C .

Специфичната сила k_c всъщност не се получава само от съпротивлението при рязане. Към нейната стойност като неделима компонента се включва и триенето по предната и задните незатиловани повърхнини на режещата част на инструмента. Заради невъзможността за отделното отчитане на тези компоненти при експерименталните изследвания, се въвежда понятието условна специфична сила $k_{c_{yc}}$.

г) определяне на момента от триене на калиброващо-деформиращата част

Силата на триене, създаваща $M_{KA\Pi}$ зависи от два компонента – притискаща сила и специфичен за различните двоици материали коефициент на триене μ . На практика за големината на μ , освен характера на връзките между триещите се материали, определящ е и техният брой, т.е. – реалната контактна площ.

За разглежданите случаи на експериментални изследвания, може да се предположи, че в съответствие с излизането на целите навивки от контакт със заготовката, ще се наблюдава пропорционално намаляване на $M_{KAЛ}$, поради съответното намаляване на контактната площ. При различен брой цели навивки на плашката, би следвало да има съответното пропорционално преразпределяне на $M_{KAЛ}$ за всяка от тях.

5.1.2. Условия на експерименталните изследвания

а) изследвани инструменти

Изследвани са опитни образци режещо-деформиращи кръгли плашки, изработени в Завод за резбонарезни инструменти – Габрово, с размери M16x1,5, M20x1,5, M24x3, M25x1,5 и M32x1,5.

б) металорежеща машина и измервателни инструменти

Всички експериментални изследвания са проведени на универсален струг С11МВ. Динамометърът за измерване на въртящия момент е установен на задното седло на струга, а заготовката е закрепвана в универсален тричелюстен



патронник. Всички повърхнини, подготвяни за изследването са измервани с шублер и микрометър с точност до 0,01 mm.

в) динамо метрична уредба

За измерване на въртящия момент е използван динамометър с

Фиг.5.1. Динамометър за измерване на въртящ момент Д35 1 – втулка за закрепване на плашка; 2 – подвижна плоча; 3 – неподвижна плоча; 4 – еластични звена; 5 – опашка МК4; 6 – индуктивен датчик IWT102; 7 – тарировъчно рамо.

еластични звена Д35, конструиран и изработен в Лабораторията по режещи инструменти на РУ.

Динамометърът (фиг 5.1) е с диапазон на измерване 0 – 35 Nm и чувствителност 0,01 Nm. Сигналът на датчика се обработва от аналогов усилвател N2301. Към усилвателя е включено двукоординатно записващо устройство Endim 662.01, настроено за работа със скорост на преместване 2 s/sm по ос X.

Динамометричната уредба е тарирана преди всеки цикъл експерименти.

г) заготовки и материал на заготовките

При експерименталните изследвания са нарязвани резби на заготовки от конструкционна стомана 40Х, въглеродна инструментална стомана У10, неръждясваща стомана 12Х18Н9Т, алуминиева сплав Д16, алуминиева сплав 5086Н26, бронзов и месингов прокат.

Независимо дали заготовките са прокат или тръби, преди всеки опит чрез обстъргване са подготвяни така, че да се оформи водеща шийка с диаметър d_{e} , равен на вътрешния диаметър на нарязваната резба.

е) мазане и охлаждане

Експерименталните изследвания са провеждани без използването на мазане и охлаждане, т.е. в условията на сухо триене. Препоръчва се големината на попра-



въчния коефициент K_{MOT} за влиянието МОТ в зависимост от условията на работа и от вида на използваните мажещи вещества при обработване на стомани да бъде в границите 0,97 – 0,75.

5.2. Резултати от експерименталните изследвания

5.2.1. Определяне на специфичната сила $k_{c_{yc}}$ и на коефициента K_M

а) – стомана Х18Н9Т. б) - стомана 40Х. в) - стомана У10.

плашки:

момент М_В при нарязване на метрична резба M16x1,5 на стоманени заготовки с комбинирани

За определяне на коефициента K_{M} ,

специфичната сила $k_{c_{yc}}$ и поправъчните коефициенти са проведени подробни изследвания на съпротивителния момент. По записите на диаграмите на изменение на съпротивителния момент (фиг.5.2) са определени някои от параметрите в зависимости (5.1) и (5.3).

Резултатите от експеримента показват че, специфичната сила на рязане при резбонарязване е най-голяма при неръждясваща стомана 12Х18Н9Т. Най-малка е при алуминиева сплав 5086Н26, която има и най-малка твърдост от всички из-ползвани материали.

При алуминиевите сплави, калиброващата част на плашката добавя минимален съпротивителен момент – до 10%. Това може да се обясни с незначително еластично възстановяване на обработената повърхнина след контакт с режещия клин на инструмента, с минимално съпротивление на повърхностния слой срещу деформиране и с малки стойности на коефициента на триене.

Таблица 5.1. Максимални стойности на съпротивителните моменти M_{pew} и M_{C} , условната специфична сила k_{cyc} и коефициента K_{M} при нарязване на метрична резба с комбинирани плашки

Vē no ped	Обработван ма- териал	Твърдост НВ	Размери на резбата, тт	Съпр. момент от режещата част М _{рено} Nm	Сумарно сечение f, mm ²	Условна специфична сила k _{Gyo} N/тт ²	Общ съпротивителен момент М _О Nm	Коефициент К _М
1	Стомана 40Х	200	M16x1,5	16,56	0,60	3505	21,50	1,30
2	Стомана У10	180	M16x1,5	25,10	0,63	5043	28,50	1,14
3	Стомана 12X18Н9Т	170	M16x1,5	23,05	0,57	5151	25,65	1,11
4	Бронз БрФ6,5-0,4	93	M16x1,5	16,70	0,63	3365	30,20	1,81
5	Месинг	88	M16x1,5	8,63	0,63	1734	12,50	1,45
6	Ал. сплав Д16Т	107	M25x1,5	19,20	0,74	2076	20,60	1,08
7	Ал. сплав 5086Н26	72	M25x1,5	9,63	0,63	1156	10,60	1,10

При стоманите, съпротивителният момент в калиброващата част е от 10 до 30%. Прави впечатление значително по-голямата специфична сила при стомана У10 в сравнение със стомана 40Х.

При медните сплави е нужно да се отбележи, че специфичната сила за бронза е почти два пъти по-голяма от тази при месинга, а също така и големият относителен дял на момента от калиброващата част на плашката, по-конкретно от целите деформиращи навивки – от 40 до 85%. Обяснение за първото може да се търси в по-голямата твърдост на бронза, а за второто с подчертано по-голямата му еластичност.

Нужно е да се отбележи също така, че стойностите, посочени в табл. 5.1, са валидни само за условията, при които са провеждани експериментите.

Твърдостта на обработвания материал като фактор, от който зависи специфичната сила, не може да се разглежда и оценява изолирано от другите му характеристики – химичен състав, структура, пластичност, жилавост якостни показатели. При стоманите, използването на K_{HB} е необходимо, тъй като дори и да не са термообработени, твърдостта им се променя в сравнително широк диапазон – *HB* 150 – 250. За тази група могат да се ползват резултати от други източници [22], представени в табл. 5.2.

Таблица 5.2. Стойности на поправъчния коефициент К_{нв}, отчитащ влиянието на твърдостта на стоманите върху специфичната сила [4]

Твърдост НВ 140 - 170 170 - 200 200 - 230 230 - 260 260 - 290 Коефициент К _{НВ} 0.91 0.96 1 1.04 1.08				1 /) 1	L
Коефициент К _{нв} 0,91 0,96 1 1,04 1,08	Твърдост НВ	140 - 170	170 - 200	200 - 230	230 - 260	260 - 290
	Коефициент К _{нв}	0,91	0,96	1	1,04	1,08

5.2.2. Определяне влиянието на параметрите на плашката брой гребени z, установъчен ъгъл κ_r и преден ъгъл γ_p върху специфичната сила на рязане k_c

За определяне на влиянието на параметрите на плашката брой гребени z, установъчен ъгъл κ_r и преден ъгъл γ_p върху специфичната сила на рязане k_c , по метода на статистическото планиране е проведен трифакторен експеримент от вида 2^3 [27]. В табл. 5.3 е представена матрицата на планиране и средните стойности на измерените резултати от проведените опити.

Таблица 5.3. Матрица на планиране и експериментални резултати за определяне на зависимостта на специфичната сила k_c от парамет-

рите	на	плашката	Z,	$K_r U$	γ_n .
			_,	/	10.

Nona			Резултати					
л⊻ на општа	$Z, (x_l)$		κ r, (.	$\kappa_{r,}(x_2)$		$\gamma_{p_1}(x_3)$		k _c ,
onumu	Бр.	Код	Град.	Код	Град.	Код	Ńт	N/mm^2
1	4	-1	16	-1	0	-1	28,70	2501
2	8	+1	16	-1	0	-1	31,40	2736
3	4	-1	30	+1	0	-1	25,40	2214
4	8	+1	30	+1	0	-1	27,80	2423
5	4	-1	16	-1	20	+1	22,60	1917
6	8	+1	16	-1	20	+1	27,80	2353
7	4	-1	30	+1	20	+1	17,04	1485
8	8	+1	30	+1	20	+1	19,00	1678
							27,80	2427
9	6	0	20	0	10	0	26,70	2327
							27,50	2400

Като резултат уравнението на регресия в кодиран вид добива вида: $k_c = 2001 + 134x_1 - 213x_2 - 305x_3 - 34x_1x_2 + 23x_1x_3 - 63x_2x_3 - 27x_1x_2x_3$

При статистическата обработка коефициентите на модела b_0 , b_1 , b_2 , b_3 са значими, а коефициентите - b_{12} , b_{13} , b_{23} , b_{123} не издържат на проверката за значимост, а хипотезата за адекватност на регресионния модел се приема.

След преобразуване на кодираните фактори x_1 , x_2 и x_3 и преработване е получен крайният вид на математичния модел в натурален вид:

 $k_c = 2603,85 + 67z - 16,14\kappa_r - 30,5\gamma_p$, N/mm² (5.3)

Влиянието на трите параметъра на плашката, изразено чрез горното уравнение, отразява адекватно връзката им със сечението на срязвания слой, разпределено между режещите зъби и механизма на стружкообразуване. Резултатите от планирания експеримент позволяват да се построи в графичен вид опитната зависимост $k_c = f(a)$ за сплав Д16Т в изследвания диапазон (фиг. 5.3). Прекъсването на монотонността при $a \approx 0.1$ mm може да се обясни със



Фиг. 5.3. Графична зависимост на въртящия съпротивителен момент М_{реж} от дебелината на срязвания слой а.



зъби върху специфична та сила. което също зависи от z И Кг.

Опитната зависимост (5.3) и особено графиките на фиг. 5.3 добре представят значителнот 0 влияние на предния ъгъл Yn. Специфич-

ната сила намалява C *увеличаване* -то на Yp поради намаляването дефорна мациите B зоната на рязане. Този ефект е ясно изразен, тъй като при работа с

метчици и плашки се изрязват слоеве със сравнително малка дебелина – а = 0,05 - 0,25 mm. По тази причина с нулеви и отрицателни стойности на γ_p може да се работи по изключение.

За удобство при пресмятането на съпротивителния момент, влиянието на параметрите на плашката z, к, и у, е представено чрез поправъчни коефициенти, изчислени от уравнението на регресия. Техните стойности са представени в таблица 5.4 и са валидни при промяна на факторите в изследваните граници.

	p <i>n</i> sure κ_c .						
<i>z</i> , бр.	4	5	6		7		8
k_z	0,96	1,0	1,0 1,04		1,08		1,12
<i>к</i> , град.	15°	20°		25°			30°
k _w	1,05	1,05 1,0		0,96			0,91
<i>ү_р</i> , град.	0°	5°	10°		15°		20°
kγ	1,41	1,31	1,21		1,10		1,0

Таблица 5.4. Стойности на коефициентите k_z , k_{κ} и k_{γ} за специфичната сила на рязане k_c .

Резултатите от планирания експеримент дават възможност да се определят оптималните стойности на геометричните параметри на плашката, при които се постига минимален съпротивителен момент. Това са:

- брой на режещите гребени z = 4;
- главен установъчен ъгъл $\kappa_r = 30^{\circ}$;
- преден ъгъл $\gamma_p = 20^{\circ}$.
- 5.2.2. Разпределение на натоварването на инструмента по работни елементи
- а) натоварване на режещата част

В резултат от извършените експериментални изследвания, е получена възможност за точно описване на натоварването на плашките при работа, както по отделни режещи ръбове, така и по режещите гребени. В табл. 5.5 са представени стойностите на разпределението на момента M_{peso} , Nm, в зависимост от площите на елементарните сечения на срязвания слой A, mm² и радиусите на центрите на тежест на тези сечения. Представените резултати са валидни при работа на режещо-деформираща плашка M20x1,5, но резултатите от обработените експериментални данни показват, че картината е подобна при всички останали изследвани плашки, с което се потвърждават изводите от т. 4.

Таблица 5.5. *Разпределение на момента* $M_{peж}$, Nm, в зависимост от площите на елементарните сечения на срязвания слой A, mm² и радиусите на

	/ 1					
№ на сечението на срязвания слой	Горна основа на трапеца <i>a</i> , mm	Долна основа на трапеца <i>c</i> , mm	Височина на трапеца <i>h</i> , mm	Радиус на центъра на тежестта г _{цт, mm}	Площ на сечението <i>A</i> , mm ²	Съпр. момент от режещата част М _{реж,} Nm
1	Трі	иъгълна форм	ма	9,950	0,0300	0,6197
2	0,3220	0,5820	0,1	9,920	0,0452	0,9308
3	0,5820	0,8520	0,1	9,890	0,0717	1,4721
4	0,8520	1,1120	0,1	9,835	0,0982	2,0050
5	1,1120	1,1820	0,03	9,804	0,0344	0,7004
6	1,1820	1,0720	0,07	9,724	0,0789	1,5926
7	1,0720	0,9320	0,1	9,620	0,1002	2,0011

центрите на тежест r_{ит, тт}.

8	0,9320	0,7952	9,506	0,0864	1,7043	
9	0,7952	0,6520	0,1	9,397	0,0724	1,4116
10	0,6520	0,5120	9,275	0,0582	1,1206	
11	0,5120	0,3720	9,160	0,0442	0,8405	
12	0,3720	9,043	0,0246	0,4618		
13	К	0,0027	0,0497			
	Общо з	0,7470	14,9102			

б) натоварване от деформиращите навивки на плашката

От съществено значение за обосновката и оптимизирането на новата конструкция плашки е изясняването на делът на калиброващо-деформиращата част във формирането на въртящия момент при работата, влиянието ѝ върху качествените параметри на получаваните резби и като краен резултат, отговорът на въпроса какъв да бъде броят на деформиращите навивки като важен конструктивен параметър на плашките. При проведените експериментални изследвания с режещо-деформиращи плашки, също е установено, че основен влияещ фактор върху еластичното възстановяване и върху стегнатостта между заготовката и целите навивки на инструмента е вида на обработвания материал.



Фиг. 5.5 Диаграми на изменение на момента $M_{KAЛ}$ при нарязване на метрична резба M16x1,5 на стоманени заготовки с комбинирани плашки: a) – стомана 40X, б) - стомана У10, в) - стомана X18H9T.

Като цяло стойностите на $M_{KA\Pi}$ в съответствие с излизането на целите навивки на инструмента от работа са помалки от приетите условни теоретични стойности. с най-голямо отклонение за първата навивка – 12,7%, 3,7% за втората и 4,3% за третата (фиг. 5.5).

Относителният дял на отделните навивки при формирането на $M_{KAЛ}$ е с по-големи отклонения. Първата цяла навивка е със среден принос от 42%, втората с 23,3% и третата с 30,6%. Останалите около 4% се формират от непълната четвърта навивка за M25x1,5 (фиг. 5.6).



Фиг. 5.6. Изменение на относителния дял на момента М_{КАЛ} за отделните калиброващодеформиращи навивки на комбинирана плашка.

При измерени стойности на МКАЛ от 0,12 до 0,5 Nm за третата цяла навивка, малките отклонения момента на лават голямо нарастване на относителния лял. Може да бъде направен важният извол. че само елна цяла калиброващо-деформираща навивка е недостатъчна за стабилното установяване И водене на плашката при работа, а изработените четвърта и пета цели навивки не оказват съшествено впияние стабилното върху

водене на плашките, допълнително увеличават МКАЛ и се оказват излишни.

III. ОБОБЩЕНИ ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

1. Чрез новата конструкция кръгли резбонарезни плашки, работещи по комбинирана технологична схема, е създадена възможност геометричните параметри на инструмента да се променят в много широки граници – важна предпоставка за оптимизиране на конструкцията, силовото натоварване на технологичната система и режимите на рязане в зависимост от конкретните условия на работа;

2. Дефинирани са геометричните параметри на новите инструменти, съгласно ISO 3002 част 1, както в статичната, така и в работната инструментални системи и са определени връзките между отделните геометрични параметри;

3. Предвид особеностите на осовото затиловане на плашките при изработването им, е създаден математичен модел и алгоритъм за решаване на задачата за определяне на задните ъгли в зависимост от параметрите на технологичната система и е доказано, че получаваните задни ъгли са променливи по дължина на главния режещ ръб с основен влияещ фактор параметъра на осово затиловане K_a . Установени са зависимостите за промяна на предните ъгли в челно сечение на плашките по дължина на главния режещ ръб от конструктивните и геометричните им параметри при криволинейна и равнинна форма на предните повърхнини.

4. Определени са уравненията на винтовите повърхнини, ограничаващи резбата от двете й страни, като функция на външния и вътрешния диаметри на резбата на плашката, винтовия параметър p, стъпката на резбата P и на профилния ъгъл α . Доказано е, че проекцията на винтовата линия, получена от пресичането на винтовата повърхнина на резбата с инструменталната конусна режеща повърхнина в нормална на оста на плашката равнина Oxy е архимедова спирала и са изведени уравненията на тази спирала;

5. Посредством анализ на обхождането на архимедовите спирали (проекциите на винтовите линии), са установени граничните случаи – начало и край на спиралите. Изведен е модел, посредством който се пресмятат разликите между текущите стойности на радиус-векторите на архимедовите спирали в произволна точка, представляващи проекциите на режещите ръбове на плашката в равнината *Оху*. Разработени са алгоритми за пресмятане на действителните дължини на режещите ръбове и елементарните и общата площи на сечението на срязвания слой за произволен инструмент.

6. Проведен е теоретичен анализ на натоварването на плашката при работа и са изведени зависимости за определяне на специфичната сила на рязане k_c и въртящия момент M_C . За точното пресмятане на M_C е изведена зависимост и е разработен алгоритъм за определяне на радиусите на центрите на тежест за всяко елементарно сечение на срязвания слой. Решеният числов пример за конкретен инструмент доказва точността на предлагания математичен модел и предимството от прилагането му при решаването на проектно-конструкторски и изследователски задачи.

7. Чрез проследяване последователната работа на режещите зъби на плашката поотделно и по режещи гребени и пресмятане на сеченията на срязвания слой, е доказано неравномерното им участие в процеса на формиране на резбата, водещо до динамичното им неравновесие при работа и отразяващо се върху качеството на нарязваната резба.

8. Подробният анализ на диаграмите на изменение на общия момент M_C , води до извода, че при класическите кръгли плашки и при новите режещо-деформиращи плашки се преминава през пет характерни етапа на работа в съответствие с работата на отделните елементи на инструментите, като развитието на момента при двата вида плашки е идентично, но характерът на съпротивлението е различен. Този извод е от особена важност за правилното организиране на експерименталните изследвания на новите плашки.

9. Установено е, че благодарение на целите деформиращи навивки на комбинираната плашка при нейното движение по резбата, се поемат и уравновесяват радиалните сили, действащи в режещите гребени.

10. При различните обработвани материали, специфичната сила на рязане k_c се променя в широки граници – от 1156 N/mm² за алуминиева сплав 5086H26 до 5151 N/mm² за неръждаема стомана 12X18H9T, в резултат на което *Мреж* също варира в широки граници – от 9,63 Nm до 25,1 Nm, а коефициента K_M се променя от 1,1 до 1,81. Получените резултати определят обработвания материал като един от най-силно влияещите фактори върху формирането на k_c и M_C .

11. Потвърдена е хипотезата, че материалите с по-голяма пластичност, имащи съответното увеличаващо се еластично възстановяване (неръждясваща стомана, бронз и месинг), формират и по-голямо триене в калиброващите навивки поради нарастващата стегнатост с обработените повърхнини.

12. В резултат от проведен планиран експеримент е установено влиянието на трите параметъра на плашката - брой гребени z, установъчен ъгъл κ_r и преден ъгъл γ_p върху специфичната сила на рязане k_c , изразено чрез уравнение (5.3), което отразява адекватно връзката им със сечението на срязвания слой, разпределено между режещите зъби и механизма на стружкообразуване.

13. Нарастването на ъгъл κ_r , чрез увеличаване на дебелината на срязвания слой *a*, води до съответно увеличение на относителната деформация на сечението на срязвания слой и на специфичната сила на рязане. С нарастването на *z*, дебелината *a* намалява, намалява и специфичната сила. Това се отразява съответно на стойностите на поправъчните коефициенти $k_{\kappa r}$ и k_z . Установено е, че специфичната сила намалява с увеличаването на предния ъгъл γ_p поради намаляването на деформациите в зоната на рязане. В резултат на това, поправъчният коефициент k_{γ} се променя от 1,0 до 1,41 в изследвания интервал на промяна на γ_p - от +20° до 0°.

14. Доказано е, че неравномерното разпределение на сечението на срязвания слой по режещи гребени води до съответните разлики в силовото натоварване на гребените (до 17-20%), предизвикващо дебаланс при работа на плашките.

15. Момента от триене $M_{KA,T}$ на целите навивки е с различен относителен дял за всяка деформираща навивка - 42%, 23,3% и 30,6%, съответно за първа, втора и трета. Доказано е, че оптималният брой цели навивки в зависимост от обработвания материал и съответното еластично последействие е 2 до 4 навивки.

16. Измерените качествени параметри на резбите, нарязвани с комбинирани плашки са по-добри от тези, получавани с класически плашки при равни условия на работа и могат да достигнат параметрите за степен на точност 6g и грапавост в границите $Ra = 1,5 - 2,5 \mu m$.

IV. ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Научно-приложни приноси

1. Създадена е нова конструкция кръгли резбонарезни плашки с подобрени геометрични и конструктивни параметри и технологичност, използването на които, води до получаването на по-качествени резби;

2. Чрез методите на векторния анализ е изведено общото уравнение на архимедовите винтови повърхнини, оформящи производящата инструментална повърхнина на плашките. На тази база са разработени и математични модели за определяне на параметрите на сечението на срязвания слой при всеки момент на работа на инструмента;

 Дефинирани и изследвани са геометричните параметри в инструменталната и работната системи на новата конструкция плашки и са определени връзките между тях; 4. Чрез методите на диференциалната геометрия е разработен математичен модел за определяне на задните ъгли на плашката при осово затиловане с коничен инструмент и е доказана и изследвана тяхната променливост по дължина на главните режещи ръбове;

5. Доказана е променливостта и са установени зависимостите за промяна на предните ъгли в различните участъци на режещите ръбове на плашките;

6. Проведен е теоретичен анализ на натоварването на плашката при работа и са изведени зависимости за определяне на специфичната сила на рязане и въртящия момент в произволен момент от работата на гребеновидни резбови инструменти.

7. Изследвано и доказано е неравномерното натоварване на режещите зъби на гребеновидните резбонарезни инструменти, което е предпоставка за тяхната нестабилност по време на работа и за неблагоприятното влияние върху качеството на резбите;

8. Изследвано е формирането на въртящия момент във всички етапи от работата на плашките и е определен относителният дял на отделните му компоненти.

Приложни приноси

1. Получени са данни за стойностите на специфичната сила на рязане при различни условия на работа на плашките и са препоръчани оптималните параметри на плашките;

2. Получена са опитни зависимости за определяне на въртящите моменти при различни условия на работа на новата конструкция плашки.

3. Доказано е, че целите калиброващи навивки на новата конструкция плашки значително допринасят за уравновесяване на радиалното натоварване и за подобряване на качеството на резбата;

4. Новата конструкция плашки е внедрена в серийното производство на триъгълни резби със ситна стъпка върху тънкостенни електрозаварени тръби от алуминиеви сплави.

V. ПУБЛИКАЦИИ ВЪВ ВРЪЗКА С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Иванов К., Геометрични параметри на режещо-деформиращи плашки, Научни трудове на РУ "А. Кънчев", Русе, 2004

2. Вичев С. В., К. А. Иванов, Разпределение на сечението на срязвания слой при нарязване на триъгълна резба с кръгли, АМТЕХ'07, Габрово, 2007

3. Вичев С. В., К. А. Иванов, Съпротивителен момент при нарязване на триъгълна резба с кръгли комбинирани, НК ММММЕ08 – Сливен, 2008

4. Иванов В., К. А. Иванов, А. Иванов, Затиловане на резбонарязващи плашки, НК МТМ09, София, 2009

A new round thread dies design working on a combined method – cutting and surface thread deformation is proposed in the thesis. In a common body the cutting and the deforming (smoothing) parts of the tool while the screw chasers are formed by front radial channels and the deforming part consists of several uninterrupted screws.

The geometric parameters of the tool have been completely defined and the relations between them have been set. The alteration of the clearance angle has been modeled with axial relieving of the rake angles in transverse section in every point of the cutting edge.

A mathematical model of the hellicoidal surface allowing the determination of the cutting edges' lengths and the cut section areas in every moment of the tool's working process.

The torque forming and its main elements have been analyzed.

Trough detailed experimental researches the values of the specific cutting force and the torque have been estimated during different working conditions. The influence of the main geometric and design parameters on the workload has been determined trough functional relations. The torque contribution of the cutting and deforming parts has been subjected to separate researches.