

Распределение стружки в канавках метчиков при нарезании метрической резьбы

И. В. Иванина, А. Е. Древаль

В статье в аналитическом виде получена зависимость распределения объема срезаемого слоя между режущими зубьями метчика от конструктивных и геометрических параметров режущей части инструмента. Установлено, что увеличение погрешностей углового шага между зубьями метчика, возникающих при изготовлении инструмента и при его переточках, приводит к существенному перераспределению объемов припуска, приходящихся на режущие зубья инструмента. Показано, что приближенное равенство распределения припуска обеспечивается при равномерном угловом шаге между зубьями метчиков, при этом характер распределения нагрузки между режущими зубьями зависит не только от погрешностей углового шага, но и от очередности вступления режущих зубьев в работу.

Ключевые слова:

резьбонарезание, метчик, объем срезаемой стружки, распределение стружки в канавках, погрешность углового шага между зубьями

УДК 539.232 | ВАК 2.2.10

DOI: 10.22184/2499-9407.2022.28.3.72.78

Одним из основных требований к профилю стружечных канавок метчиков является обеспечение достаточно пространства для свободного размещения, лучших условий образования и отвода стружки, предотвращения защемления и попадания ее под заднюю поверхность зубьев при вывинчивании инструмента из обработанного отверстия. Заполняемость стружечных канавок при одной и той же длине резьбового отверстия зависит от объема стружки, срезаемой режущими зубьями

инструмента. Геометрические параметры режущей части метчиков, погрешности их изготовления влияют на толщину стружки, срезаемой отдельными элементарными профилями. Это приводит к перераспределению срезаемого припуска между зубьями и, следовательно, различному заполнению стружечных канавок метчиков, что существенно влияет на работоспособность метчиков, приводит к различной силовой нагрузке на режущие профили и к возникновению неуравновешенной радиальной

силы, влияет на точность нарезаемой резьбы и изнашивание метчиков.

Особенно следует выделить влияние неравномерности заполнения стружечных канавок срезанным припуском на отказы метчиков по причине скалывания режущих профилей и разрушения инструмента. Это обуславливается переполнением канавок уплотненной (пакетированной) стружкой, препятствующей стружкообразованию, и резким возрастанием момента резания, приводящим к разрушению инструмента.

По данным работ [1, 5], до 80% отказов по причине поломки инструмента и скалывания зубьев возникает при реверсе метчиков из отверстия из-за попадания стружки из переполненной канавки под задние поверхности метчика. Этот эффект усиливается при нарезании резьбы в глухих отверстиях из-за дополнительного воздействия «корней стружки» [2, 3].

Возможность попадания отделившихся стружек под заточки зубьев зависит от вида стружек, профиля и объема стружечных канавок, величин задних углов, формы задних поверхностей и других конструктивных особенностей режущей части метчиков. Стружка, которая в процессе нарезания резьбы не выводится из зон резания, пакетируется в стружечных канавках режущего инструмента.

Из зависимости, приведенной на рис. 1, следует, что при малых диаметрах резьб объем стружечных канавок метчика становится меньше суммарного объема удаляемого материала, то есть размеры стружечных канавок недостаточны для пакетирования стружки при нарезании резьбы за один проход и необходим принудительный отвод стружки.

Экспериментально установлено [6], что при нарезании резьбы в отверстиях малых диаметров часть стружки, имеющей сливной характер, пакетируется в стружечной канавке режущего зуба (сливная стружка имеет вид сплошной ленты с гладкой внутренней (прирезцовой) и шероховатой внешней поверхностями). При этом объема стружечной канавки хватает для пакетирования стружки, полученной на 3–4 оборотах метчиков.

График (рис. 1) получен для метчиков с номинальным (равным) шагом между зубьями и расчет сделан для суммарного объема срезанного материала. Реальное распределение объема срезанного слоя между режущими зубьями метчика неравномерно и обусловлено особенностями генераторной схемы образования профиля резьбы. Наличие погрешности углового шага между зубьями инструмента ϵ , как будет показано ниже, может привести к существенному перераспределению суммарной толщины срезанного слоя, приходящегося на режущий зуб, и в этом случае полученные в работе [4] зависимости претерпят изменения.

Таким образом, основным требованием к профилю стружечных канавок метчиков является обеспечение достаточного пространства для свободного размещения и лучших условий образования и отвода стружки. Прогнозирование

процесса наполняемости стружечных канавок требует знания объема стружки, срезанной режущими зубьями инструмента. Аналитическая зависимость распределения объема срезанного припуска между режущими зубьями от конструктивных и геометрических параметров инструмента может в каком-то диапазоне быть использована при выборе числа режущих зубьев инструмента z , определения формы, размеров стружечной канавки, заточки угла наклона режущего лезвия λ , а также при обосновании ограничения длины резьбы при нарезании в глухих отверстиях.

Углы заточки режущей части метчиков – передний угол γ и угол наклона режущей кромки λ – при значениях, отличных от нуля, оказывают влияние на толщину стружки, срезанной отдельным зубом инструмента. При нулевых значениях указанных углов их влияние на толщину стружки отсутствует. Последнее позволяет отдельно оценивать влияние погрешности углового шага между зубьями, возникающей в процессе изготовления инструмента, на толщину стружки и заполняемость стружечных канавок. Это положение использовано в предлагаемой работе.

Сравнительный расчет перемещений резьбового профиля по траектории винтового движения и по окружности показал, что разница перемещений для метчиков в диапазоне размеров М3–М64 основного шага составляет несколько микрон, то же относится к сечениям стружки, срезанной элементарными режущими профилями. Это позволяет с приемлемой точностью рассчитывать объем срезанной стружки V , принимая движения элементарных режущих профилей по окружности и используя теорему Паппа-Гульдена [7], согласно которой объем тела, образованного вращением плоской фигуры вокруг оси, расположенной в той же плоскости и не пересекающей фигуру, равен

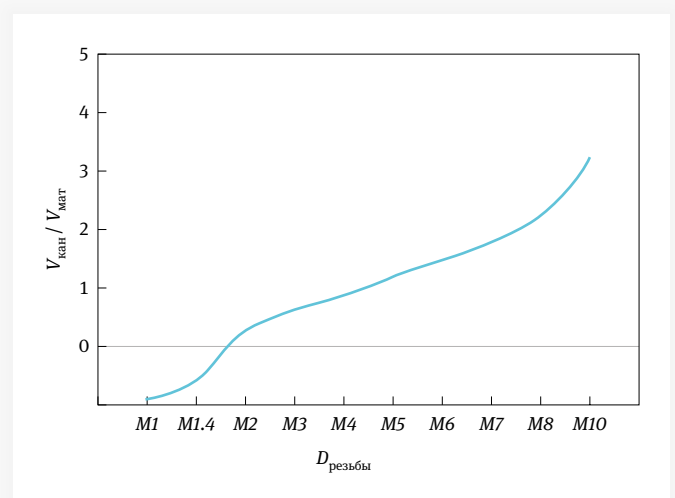


Рис. 1. Отношение объема стружечных канавок метчиков различного типоразмера к объему удаляемого материала в процессе резьбонарезания [4]

произведению площади фигуры S на расстояние от ее оси вращения до центра масс y_s :

$$V = S \cdot y_s \quad (1)$$

Форма и размеры сечения слоя, срезаемого элементарным режущим профилем, зависят от кинематической схемы резания, согласно которой все точки режущих лезвий в процессе резания находятся на разном, но неизменном расстоянии от оси вращения инструмента, что позволяет рассматривать закономерности пространственного движения режущих лезвий в плоскости осевого сечения резьбы.

На рис. 2а приведена схема формирования профиля резьбы трехзубым метчиком, на которой показан первый зуб инструмента с формообразующими режущими профилями; лезвия профилей второго и третьего зубьев метчика перенесены в плоскость передней грани первого зуба и обозначены цифрами, определяющими последовательные положения инструмента (осевую координату x) при повороте на угол, равный угловому шагу между зубьями ε .

При равномерном угловом шаге ε элементарные режущие профили снимают стружку одинаковой толщины и расстояние в осевом направлении между осями симметрии соседних (по резьбовому витку) элементарных режущих профилей определяется зависимостью $X_z = P/z$ (рис. 2а).

При неравномерном угловом шаге $\varepsilon_1 \neq \varepsilon_2 \neq \varepsilon_3$ возникает дополнительное смещение осей симметрии соседних режущих профилей в осевом направлении:

$$X_z = \frac{P}{z} + \Delta x_\varepsilon + \Delta x_d,$$

где $\Delta x_\varepsilon = \frac{\Delta\varepsilon \cdot P}{2\pi}$ – смещение из-за погрешности углового шага

$\Delta\varepsilon = \varepsilon - \frac{2\pi}{z}$; $\Delta x_d = \frac{k_{\Delta\varepsilon}}{\text{tg } \varphi}$ – смещение, возникающее при за-

тыловании инструмента, имеющего погрешность углового шага; $k_{\Delta\varepsilon} = a \cdot \Delta\varepsilon$ – падение задней поверхности зуба в пре-

делах угла $\Delta\varepsilon$; $a = \frac{kz}{2\pi}$ – постоянный параметр кривой

архимедовой спирали; k – величина затылования. Тогда

толщина слоя, срезаемого элементарным режущим профилем, определяется зависимостью:

$$a_z = x_z \sin \varphi.$$

При осевом перемещении метчика ряд последовательных положений образующей режущего конуса представляет собой семейство параллельных прямых, которое может рассматриваться как нарастающая длина сторон $KM(x)$, $KB(x)$ и $BM(x)$ треугольников KMD , KBA и BMC соответственно (рис. 2а). Для определения площадей сечения срезаемого слоя $S(x)$ область треугольника KMD , положенного в основу расчетной схемы, разделена на три зоны резания с границами по оси X – AD , FD , KD , которые для метрической резьбы ГОСТ 9150-81 определяются уравнениями [8]:

$$AD = \frac{P}{8} + \frac{10P}{16 \text{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) \text{tg } \alpha},$$

$$FD = \frac{5P \sin(\alpha + \varphi)}{16 \text{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) \sin \alpha \cdot \sin \varphi},$$

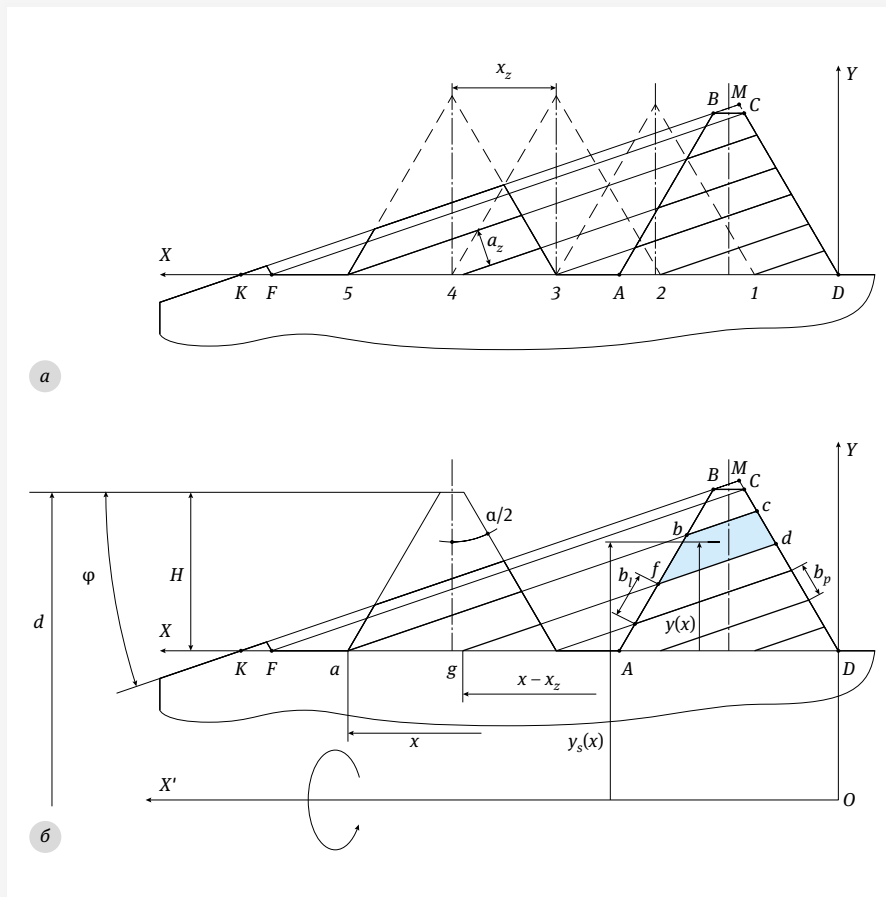


Рис. 2. Схема формирования профиля резьбы трехзубым метчиком

$$KD = \frac{P}{8} + FD.$$

Значение $S(x)$ для элементарного режущего профиля определяется сочетанием и величиной площадей треугольников KMD , KBA и BMC в зависимости от осевой координаты x метчика (см. врез).

Например, если осевая координата x элементарного режущего профиля принадлежит интервалу $AD < x \leq FD$ (рис. 2б), то площадь поперечного сечения слоя, срезаемого профилем (на рисунке затемнена), будет определяться уравнением:

$$S = S_{\Delta acd} - S_{\Delta gdD} - S_{\Delta abA} + S_{\Delta gFA}.$$

Этот же принцип использован и для определения координаты центра масс $y(x)$ сечения площадью $S(x)$ (рис. 2б) (см. врез).

Тогда в системе координат $X'OY$ расстояние от оси вращения инструмента до центра масс сечения срезаемого слоя $y_s(x)$ определяется уравнением:

$$y_s(x) = \frac{d}{2} - H + y(x),$$

где d – наружный диаметр резьбы, H – рабочая высота профиля резьбы.

Таким образом, решение уравнений (2) и (3) сводится к определению высоты $h(x)$ треугольников KMD , KBA , BMC , площади которых зависят от осевой координаты x :

- для $\Delta KMD(x)$ и $\Delta BMC(x) - h(x) = b_{p\Sigma}(x) \cos \frac{\alpha}{2}$;
- для $\Delta KBA(x) - h(x) = b_{\Sigma}(x) \cos \frac{\alpha}{2}$,

где $b_{p\Sigma}(x)$ и $b_{\Sigma}(x)$ – накопленная активная длина вспомогательных режущих кромок выходной b_p и заходной b_l сторон

Значение $S(x)$ для элементарного режущего профиля:

$$S(x) = \begin{cases} S_{\Delta KMD}(x) - S_{\Delta KMD}(x - x_z), & \text{если } 0 < x \leq AD \\ S_{\Delta KMD}(x) - S_{\Delta KMD}(x - x_z) - S_{\Delta KBA}(x) + S_{\Delta KBA}(x - x_z), & \text{если } AD < x \leq FD \\ S_{\Delta KMD}(x) - S_{\Delta KMD}(x - x_z) - S_{\Delta KBA}(x) + S_{\Delta KBA}(x - x_z) - S_{\Delta BMC}(x), & \text{если } FD < x \leq KD. \end{cases} \quad (2)$$

Определение координаты центра масс $y(x)$ сечения площадью $S(x)$:

$$y(x) = \begin{cases} \frac{S_{\Delta KMD}(x)y_{\Delta KMD}(x) - S_{\Delta KMD}(x - x_z)y_{\Delta KMD}(x - x_z)}{S_{\Delta KMD}(x) - S_{\Delta KMD}(x - x_z)}, & \text{если } 0 < x \leq AD \\ \frac{S_{\Delta KMD}(x)y_{\Delta KMD}(x) - S_{\Delta KMD}(x - x_z)y_{\Delta KMD}(x - x_z) - S_{\Delta KBA}(x)y_{\Delta KBA}(x) + S_{\Delta KBA}(x - x_z)y_{\Delta KBA}(x - x_z)}{S_{\Delta KMD}(x) - S_{\Delta KMD}(x - x_z) - S_{\Delta KBA}(x) + S_{\Delta KBA}(x - x_z)}, & \text{если } AD < x \leq FD \\ \frac{S_{\Delta KMD}(x)y_{\Delta KMD}(x) - S_{\Delta KMD}(x - x_z)y_{\Delta KMD}(x - x_z) - S_{\Delta KBA}(x)y_{\Delta KBA}(x) + S_{\Delta KBA}(x - x_z)y_{\Delta KBA}(x - x_z) - S_{\Delta BMC}(x)}{S_{\Delta KMD}(x) - S_{\Delta KMD}(x - x_z) - S_{\Delta KBA}(x) + S_{\Delta KBA}(x - x_z) - S_{\Delta BMC}(x)}, & \text{если } FD < x \leq KD, \end{cases} \quad (3)$$

где $y_{\Delta KMD}(x)$, $y_{\Delta KBA}(x)$, $y_{\Delta BMC}(x)$ – координаты центра масс треугольников $\Delta KMD(x)$, $\Delta KBA(x)$, $\Delta BMC(x)$ соответственно в принятой системе отсчета XDY .

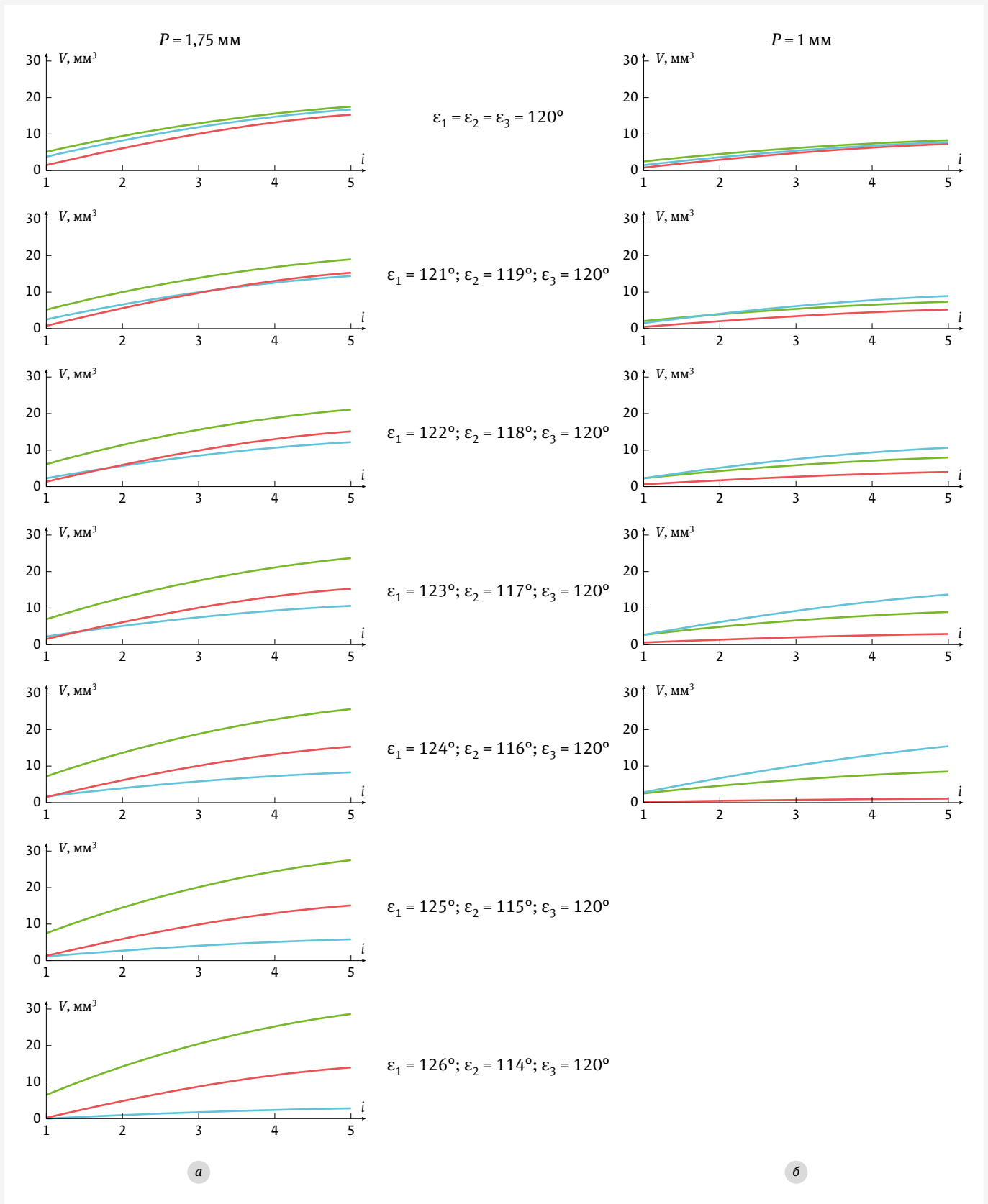


Рис. 4. Графики изменения накопленного объема срезаемого слоя, приходящегося на режущие зубья, при врезании режущей части инструмента (метчик M12, $\varphi = 6^m$, $z = 3$, $\alpha = 4^\circ$, $\gamma = 0$, $\lambda = 0$); а – $P = 1,75 \text{ мм}$; б – $P = 1 \text{ мм}$

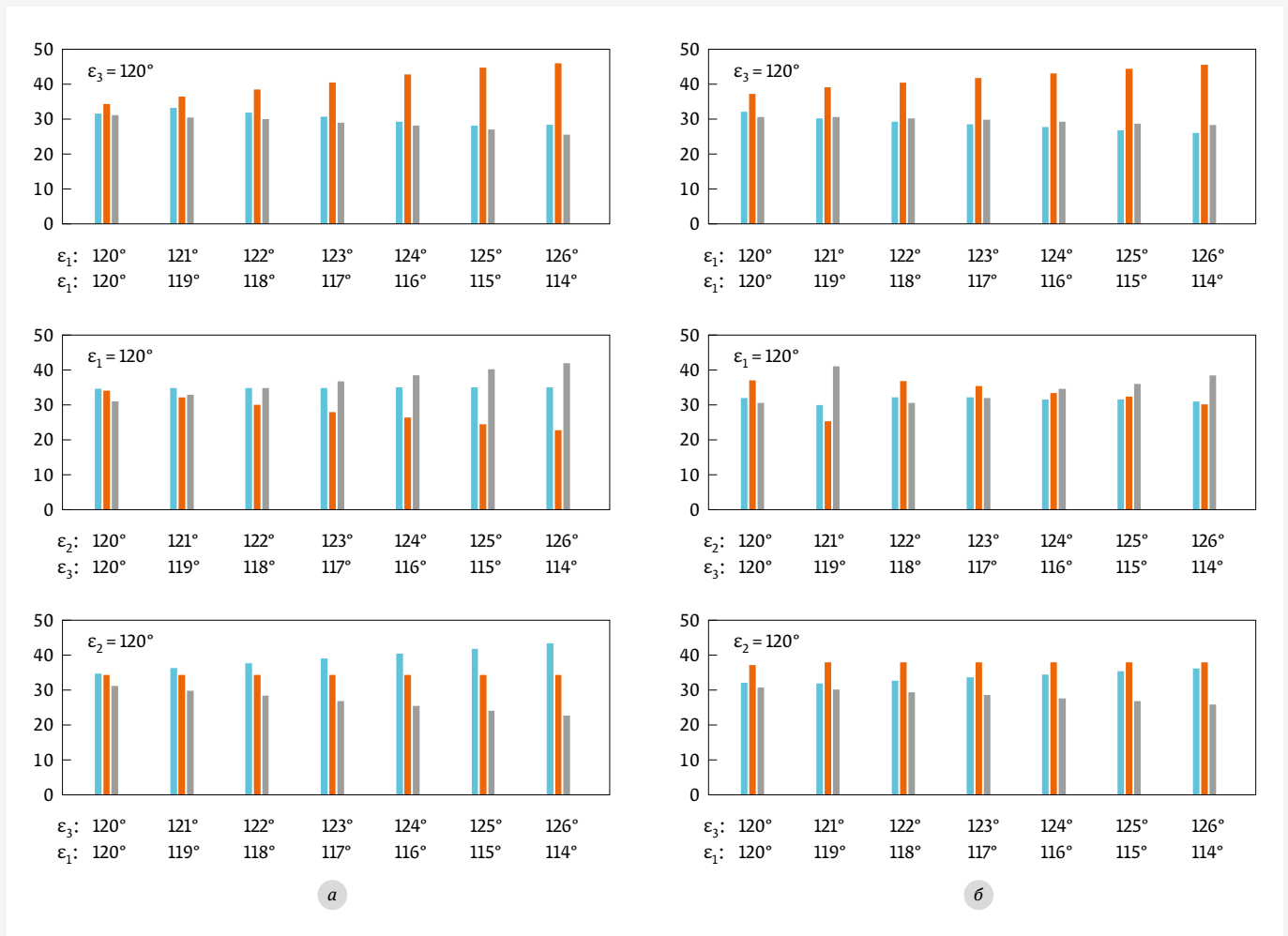


Рис. 5. Процентное соотношение распределения стружки по канавкам метчика в зависимости от погрешности углового шага между зубьями (метчик М12, $z=3$, $\alpha=4^\circ$, $\gamma=0$, $\lambda=0$); а – $\varphi=14^\circ$; б – $\varphi=20^\circ$

элементарных режущих профилей соответственно. Подробно алгоритм расчета активной длины вспомогательных режущих кромок приведен в работе [8] и в данной статье рассматриваться не будет.

С использованием уравнения (1) построены графики изменения объема срезаемого слоя, приходящегося на режущие зубья инструмента, для различных значений главного угла в плане φ , шага резьбы P и погрешности углового шага между зубьями $\Delta\varepsilon$ (рис. 4, 5). Полученные зависимости показывают, что равномерность нагрузки режущих зубьев наилучшим образом обеспечена при номинальном угловом шаге ε и, в целом, увеличение погрешности $\Delta\varepsilon$ приводит к существенному перераспределению объемов припуска, приходящихся на режущие зубья инструмента.

Вместе с тем, существуют сочетания значений ε , например, для метчика М12 с углом в плане $\varphi=14^\circ$ – ($\varepsilon_1=120^\circ$, $\varepsilon_2=121^\circ$, $\varepsilon_3=119^\circ$) или ряд сочетаний значений ε для того же метчика, но с углом $\varphi=20^\circ$ – ($\varepsilon_1=120^\circ$, $\varepsilon_2=123^\circ$, $\varepsilon_3=117^\circ$), ($\varepsilon_1=120^\circ$, $\varepsilon_2=124^\circ$, $\varepsilon_3=116^\circ$), ($\varepsilon_1=120^\circ$, $\varepsilon_2=125^\circ$, $\varepsilon_3=115^\circ$) (рис. 4),

обеспечивающих примерно такое же распределение нагрузки между режущими зубьями, как у метчиков с номинальным угловым шагом $\varepsilon_1=\varepsilon_2=\varepsilon_3=120^\circ$. Из рис. 4 следует, что характер распределения нагрузки между режущими зубьями может зависеть не только от погрешности углового шага $\Delta\varepsilon$, но и от очередности вступления зубьев в работу, что позволяет допустить возможность рассеяния ожидаемых эксплуатационных характеристик метчиков с одинаковой наибольшей погрешностью $\Delta\varepsilon$.

Выводы

1. Предложенная расчетная схема определения объема слоя, срезаемого элементарными режущими профилями, может быть применена для резб с прямолинейными профилями при генераторной схеме формообразования.
2. Аналитическая зависимость распределения объема срезаемого слоя между режущими зубьями от конструктивных и геометрических параметров режущей части инструмента позволяет оценить наполняемость

- стружечных канавок срезаемым припуском, что особенно важно при нарезании резьбы в глухих отверстиях.
- Увеличение погрешности углового шага между зубьями приводит к существенному перераспределению объемов припуска, приходящихся на режущие зубья инструмента. Приближенное равенство распределения припуска обеспечивается при равенстве углов между зубьями метчиков.
 - Полученные расчетные данные распределения стружки по канавкам метчика подтверждают целесообразность нормирования у метчика отклонений углового шага между зубьями.

Литература

- Евстигнеева О. Н.** Повышение надежности работы метчиков при нарезании резьб в глухих отверстиях конструкторско-технологическими методами: дис. ... канд. техн. наук. М., 2003. 132 с.
- Куликов М. Ю., Ягодкин М. В.** Исследования надежности процесса резбонарезания в отверстиях сверхмалого диаметра // Кабардино-Балкария: Известия КБГУ. 2015. № 5. С. 153–156.
- Древаль А. Е., Литвиненко А. В., Нгуен Т. Х.** Моделирование отказов машинных метчиков при реверсе // Наука и образование. 2016. № 1. С. 1–9
- Ягодкин М. В.** Особенности пакетирования стружки в стружечных канавках метчика в процессе резбонарезания в отверстиях сверхмалых диаметров // Научные технологии в машиностроении. 2019. № 4. 2019. С. 26–30.
- Толмачев С. А.** Повышение надежности работы метчиков при нарезании резьб в глухих отверстиях стальных деталей: Дис. канд. техн. наук. М., 2001. 143 с.
- Блинов Р. М., Аверьянов О. И., Аверьянова И. О.** Экспериментальное исследование процесса стружкообразования при нарезании резьбы в глухих отверстиях // СТИН. 2005. № 3. С. 22–24.
- Фихтенгольц Г. М.** Курс дифференциального и интегрального исчисления М.: Наука, 1969. 800 с.
- Иванина И. В.** Имитационная модель резбонарезания по генераторной схеме // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. 2002. № 4. С. 56–68.
- Феодосьев В. И.** Сопrotивление материалов. Учебник для вузов. М.: Наука, 1986. 512 с.

Авторы

- Иванина Ирина Владимировна** – кандидат технических наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана
- Древаль Алексей Евгеньевич** – доктор технических наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



Пронякин В.И.

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ И МЕТРОЛОГИЧНОСТЬ ПРОСТАНОВКИ РАЗМЕРОВ НА ЧЕРТЕЖАХ. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ.

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2022. – 280 с.

ISBN 978-5-94836-646-3

В книге изложены принципы обеспечения технологичности и метрологичности конструкции в машиностроении и приборостроении. В практической части особое внимание уделено технологичности и метрологичности простановки размеров, а также взаимосвязанных требований к выбору баз, назначению шероховатости, отклонений формы и расположению поверхностей деталей механообработки.

Сформулированы основные правила простановки размеров при конструировании цилиндрических и призматических деталей. Рассмотрен анализ чертежа. Книга предназначена конструкторам, технологам, метрологам преподавателям, специалистам, работающим с конструкторской документацией и студентам средних и высших учебных заведений.

Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91
По факсу: (495) 956-33-46

E-mail: knigi@technosphere.ru
sales@technosphere.ru

Информация о новинках
www.technosphere.ru



www.prombvk.ru

РОССИЙСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ

16-18 ноября 2022

Специализированные выставки

- Машиностроение
- Металлообработка
- Инновационный потенциал Уфы

ВДНХ **ЭКСПО** УФА



МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ЭНЕРГЕТИКИ
И ИННОВАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



АДМИНИСТРАЦИЯ
ГОРОДСКОГО ОКРУГА г. УФА РБ



БАШКИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ



ОРГКОМИТЕТ: +7 (347) 246 41 80, 246 42 37
promexpo@bvkeexpo.ru



Мероприятия проводятся с учетом всех
требований Роспотребнадзора