

**Ключевые слова:**

резьбонарезание, метчик, погрешность углового шага между зубьями, толщина срезаемого слоя, геометрические параметры режущей части

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ УГЛОВОГО ШАГА МЕЖДУ ЗУБЬЯМИ МЕТЧИКОВ НА ТОЛЩИНУ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ ПРИ РЕЗЬБОНАРЕЗАНИИ

Алексей ДРЕВАЛЬ, Ирина ИВАНИНА

Приведены аналитические зависимости, устанавливающие допустимые значения погрешности углового шага между режущими зубьями метчика, обеспечивающие значения толщины срезаемого слоя, соответствующие рекомендуемым справочным значениям. Для различных значений конструктивных и геометрических параметров метчиков определена величина предельной погрешности углового шага, при которой зуб метчика выходит из процесса нарезания резьбы.

При нарезании резьбы машинно-ручными метчиками параметры сечений слоя припуска, срезаемого отдельными элементарными режущими профилями, расположенными на зубьях инструмента, различаются. Вследствие этого возникает неуравновешенная радиальная сила \overline{P}_R , которая циркулирует вместе с инструментом, что является одной из причин разбивания профиля нарезаемой резьбы [1]. Сила \overline{P}_R изменяется по величине и направлению действия по мере захода в работу режущей части метчика и остается постоянной при вступлении в работу калибрующей части инструмента.

Эффективность действия радиальной силы \overline{P}_R на разбивание зависит от величины площади опорных боковых сторон элементарных режущих профилей. По мере увеличения опорной площади, при последовательном вступлении в резьбонарезание режущих профилей, разбивка профиля нарезаемой резьбы уменьшается и становится стабильной за счет нарастания площади опорных поверхностей калибрующей части. Это определяет неравномерность разбивки первых резьбовых витков и отражено в правилах контроля резьбы калибрами, когда допускается свин-

чиваемость непроходного резьбового калибра с контролируемой резьбой не более чем на два витка.

Из обобщенных уравнений, составляющих силу резания [1], следует, что наибольшее влияние на величину радиальной силы оказывает толщина срезаемого слоя (толщина стружки) a_z . При заданных значениях шага резьбы P и главного угла в плане φ величина a_z прямо пропорциональна угловому шагу между зубьями метчика $\varepsilon = \frac{2\pi}{z}$, где z – число режущих зубьев.

При равномерном (номинальном) угловом шаге между зубьями инструмента ε элементарные режущие профили снимают стружку одинаковой толщины:

$$a_z = \frac{P}{z} \cdot \sin\varphi,$$

но различной формы. Целенаправленное изменение значения углового шага ε или наличие погрешности при изготовлении $\Delta\varepsilon$ приводят к перераспределению толщины срезаемого слоя a_z между зубьями инструмента и, как следствие, к изменению абсолютной величины и направления действия вектора суммарной радиальной силы \overline{P}_R [2].

Известны инженерные решения проблемы минимизации радиальных сил за счет выравнивания нагрузок между режущими зубьями путем изменения величины a_z . Так, в работе [3], с целью обеспечения наиболее плавного протекания процесса резьбонарезания, то есть равенства нулю радиальной силы в момент захода всей режущей части, предлагается изготовление метчиков с углом в плане φ , удовлетворяющим условию равенства суммарных площадей срезов, приходящихся на режущий зуб инструмента. Однако радиальные силы, возникающие на противоположных зубьях, не могут компенсировать друг друга даже в случае равной нагруженности режущих профилей, поскольку элементарные режущие профили расположены по винтовой линии и вступают в работу последовательно. Следовательно, площади срезов, приходящиеся на режущие зубья, не могут суммироваться как скалярные величины. Для нарезания резьб в деталях из труднообрабатываемых материалов – алюминиевых и титановых сплавов – в работе [4] предлагается конструкция метчиков с неравномерным угловым шагом режущих зубьев ε , то есть режущие зубья работают с разными толщинами среза, совершая вынужденные колебания, и, как следствие, отмечаются уменьшение момента трения и улучшение процесса презания.

В работе [5] показано, что суммарная погрешность углового шага, обусловленная угловыми смещениями лезвия из-за погрешности изготовления режущей части метчика (биение режущих кромок и погрешность углового шага) при наличии переднего угла $\gamma \neq 0$ и угла λ , вносит поправку в расчетную толщину срезаемого слоя a_z и является сильнейшим фактором, влияющим на разбивку резьбы. В связи с чем предлагается нормировать погрешность углового шага таким образом, чтобы поправка к расчетной толщине срезаемого слоя, обусловленная погрешностью, не превышала 0,03 мм.

Для резьб (метчики М2–М14), применяемых в приборостроении и электротехнической промышленности, величины переднего и заднего углов выбираются исходя из толщины срезаемого слоя a_z , которая при значениях $\varphi = 6\text{--}14^\circ$ соизмерима с радиусом округления режущего лезвия [6] (рис. 1). При этом расчетная зависимость $a_z = f(\varphi)$ получена при номинальных значениях углового шага ε без учета погрешности $\Delta\varepsilon$, а значит, не исключена возможность работы одного или более режущих зубьев вхолостую.

Анализ исследований, выполненных различными авторами, показывает, что параметры срезаемого слоя, образуемые элементарными режущими профилями режущей части метчиков, зави-

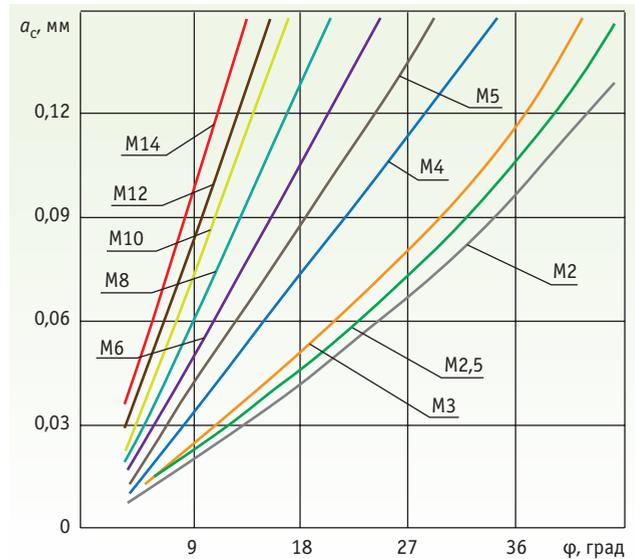


Рис. 1. Зависимость толщины срезаемых слоев от главного угла в плане [2]

сят от совместного влияния на них геометрических параметров режущей части метчика и точности их изготовления. Наибольшее влияние на толщину срезаемой стружки оказывает погрешность углового шага между зубьями $\Delta\varepsilon$. Степень влияния этой погрешности на толщину стружки зависит от геометрических параметров зубьев метчиков и рассматривается в предлагаемой работе.

Техническими требованиями на изготовление машинно-ручных метчиков ГОСТ 3449-84 не установлено ограничение на значение углового шага ε зубьев метчиков. Величина ε формируется на операциях фрезерования стружечных канавок и окончательно определяется на этапе шлифования передней поверхности зубьев метчика. В дальнейшем значение ε может быть изменено при переточках. Поэтому при расчетах использованы экспериментальные данные результатов измерений партии метчиков [7], где для типового технологического процесса изготовления зубьев определен диапазон рассеяния значений угла ε . При принятой надежности $P = 0,95$ границы доверительного интервала ε составили $\pm 6^\circ$. Пределы значений угла в плане φ и заднего угла α приняты в соответствии с ГОСТ 3266-81 «Метчики машинные и ручные»: $\varphi = 5^\circ 30' \text{--} 22^\circ$ и $\alpha = 4^\circ \text{--} 7^\circ$, с учетом данных литературных источников: $\varphi = 5^\circ \text{--} 45^\circ$ [8] $\alpha = 4^\circ \text{--} 20^\circ$ [9]. При расчетах значения переднего угла γ и угла λ приняты равными нулю.

Рассмотрим влияние конструктивных и геометрических параметров режущей кромки на толщину срезаемого слоя (рис. 2).

Наличие погрешности углового шага $\Delta\varepsilon$ приводит к изменению положения главной режущей

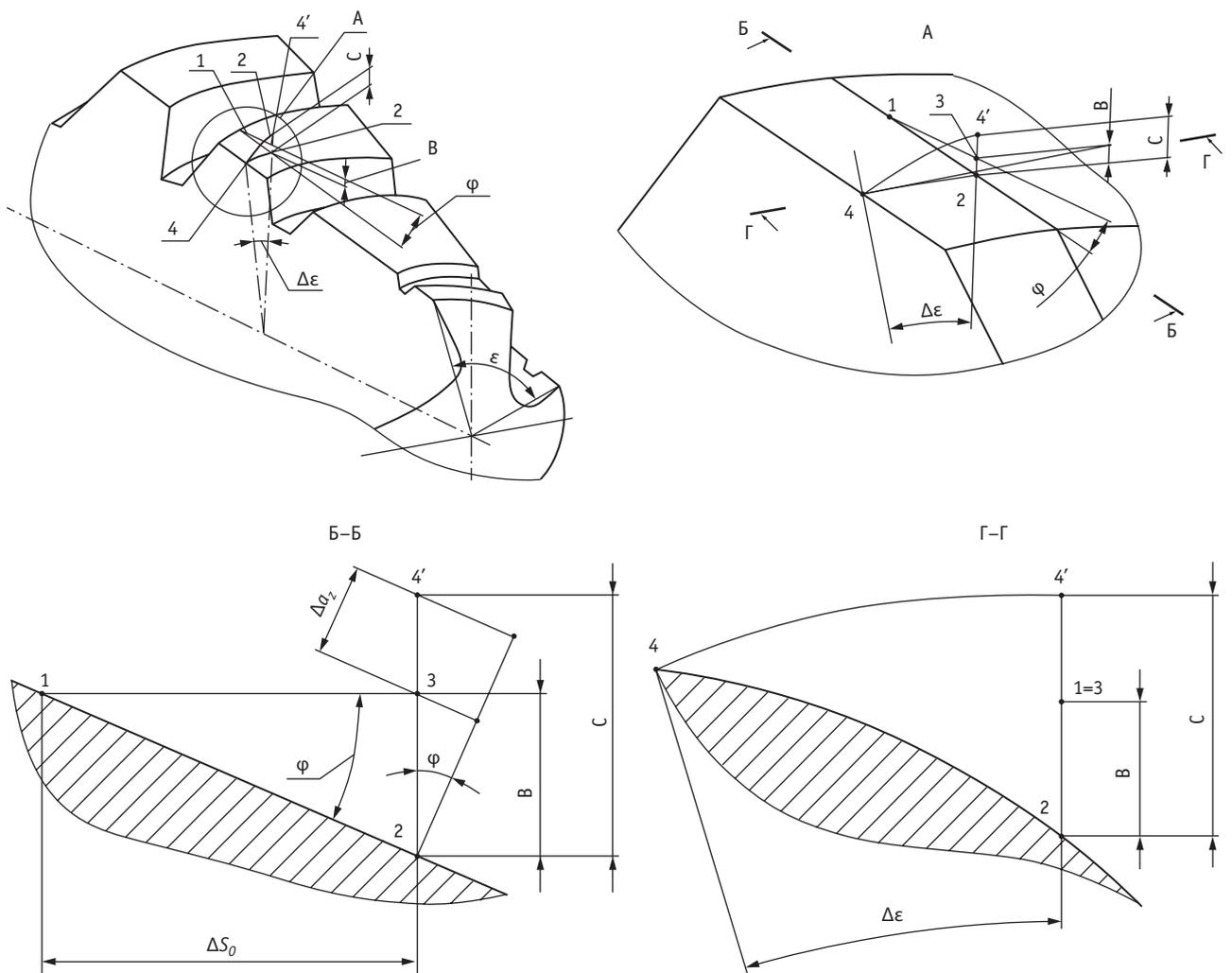


Рис. 2. Схема расчета толщины срезаемого слоя при наличии погрешности углового шага между зубьями метчика

кромки на элементарном режущем профиле. Отметим некоторую точку 1 (см. рис. 2), на главном режущем лезвии идеального метчика, не имеющего погрешности углового шага. При наличии положительной погрешности $\Delta\varepsilon$ углового шага действительное положение контура элементарных режущих профилей опережает расчетное положение, как показано на рис. 2. При повороте теоретического контура главной режущей кромки на угол $\Delta\varepsilon$ точка 1 переместится в осевом направлении на величину:

$$\Delta S = \frac{\Delta\varepsilon}{360^\circ} \cdot P \quad (1)$$

и займет положение точки 3. Но, ввиду наличия погрешности углового шага $\Delta\varepsilon$, на действительном контуре режущая кромка будет проходить через точку 4. Спроецировав по окружности точку 4 на осевую плоскость Б-Б, проходящую через точки 1 и 3, получим точку 4' – действительное положение

точки 3 на режущей кромке при наличии погрешности углового шага $\Delta\varepsilon$. Для получения расчетной схемы дополнительно построим два сечения: Г-Г и Б-Б секущими плоскостями, перпендикулярными оси метчика.

Изменение толщины срезаемого слоя из-за наличия погрешности углового шага Δa_z определяется зависимостью:

$$\Delta a_z = (C - B) \cdot \cos \varphi, \quad (2)$$

где B – расстояние между точками 1 и 2:

$$B = \Delta S \cdot \operatorname{tg} \varphi = \frac{P \cdot \Delta\varepsilon \cdot \operatorname{tg} \varphi}{360^\circ}; \quad (3)$$

C – расстояние между точками 4' и 2:

$$C = k \cdot \frac{\Delta\varepsilon \cdot z}{360^\circ}; \quad (4)$$

где $k = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \pi d}{z}$ – величина затылования.

Тогда, с учетом уравнений (2), (3) и (4) получим зависимость изменения толщины срезаемого слоя Δa_z от геометрических и конструктивных параметров метчика:

$$\Delta a_z = \left(\frac{k \cdot \Delta \varepsilon \cdot z}{360^\circ} - \frac{P \cdot \Delta \varepsilon}{360^\circ} \cdot \operatorname{tg} \varphi \right) \cdot \cos \varphi = \frac{\Delta \varepsilon \cos \varphi}{360^\circ} \cdot (k \cdot z - P \cdot \operatorname{tg} \varphi). \quad (5)$$

Действительная толщина срезаемого слоя $a_{z\Sigma}$ определяется с учетом полученной поправки Δa_z :

$$a_{z\Sigma} = a_z - \Delta a_z = \frac{P}{z} \cdot \sin \varphi - \frac{\Delta \varepsilon \cos \varphi}{360^\circ} \cdot (k \cdot z - P \cdot \operatorname{tg} \varphi). \quad (6)$$

Используя уравнение (6), рассмотрим основные закономерности влияния геометрических и конструктивных параметров на действительную толщину срезаемого слоя $a_{z\Sigma}$ на примере метчика М18 ($z = 4$, передний угол $\gamma = 0$) с погрешностью углового шага $\Delta \varepsilon = \pm 6^\circ$ (рис. 3, 4, 5).

Наличие погрешности углового шага между зубьями метчика $\Delta \varepsilon$ приводит к уменьшению действительной толщины срезаемого слоя $a_{z\Sigma}$ при увеличении заднего угла α (рис. 3). При этом

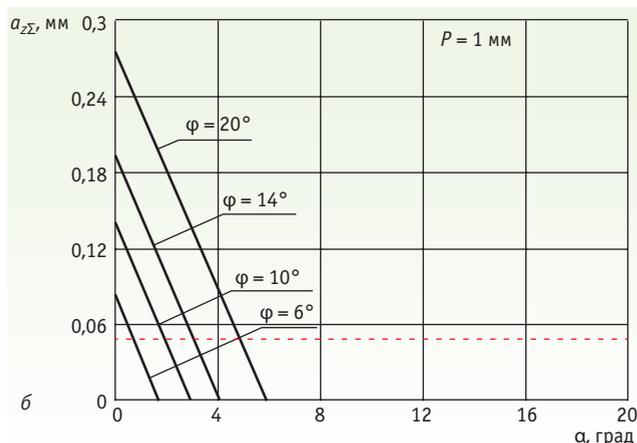
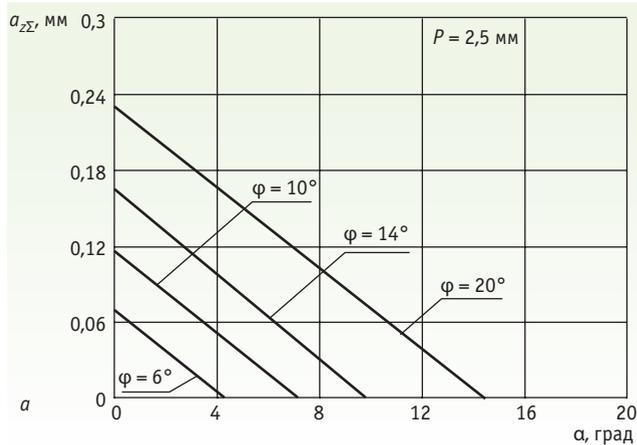


Рис. 3. Зависимость суммарной толщины срезаемого слоя $a_{z\Sigma}$ от заднего угла α при различных значениях главного угла в плане φ : а – $P = 2,5$ мм, б – $P = 1$ мм

в большей мере это сказывается при нарезании резьб с мелким шагом P , когда возможны сочетания значений углов α и φ (рис. 4б), определяющих нулевую толщину $a_{z\Sigma}$, – работу режущего зуба вхолостую или в условиях микрорезания, то есть при толщине срезаемого слоя, соизмеримой с радиусом округления ρ режущего лезвия, когда происходит упругопластическая деформация слоя обрабатываемого материала, что приводит к резкому увеличению момента резания и поломке инструмента. Величина радиуса округления режущей кромки ρ формируется на операции заточки метчиков и для нового инструмента находится в пределах $\rho = 7\text{--}15$ мкм [10], на рис. 3б эта граница показана пунктирной линией, и по мере наработки инструмента она будет смещаться вверх.

При уменьшении главного угла в плане φ и шага резьбы P уменьшается расчетная толщина срезаемого слоя a_z , а значит, увеличивается мера влияния погрешности углового шага $\Delta \varepsilon$ на действительное значение $a_{z\Sigma}$ (рис. 4). Вместе с увеличением заднего угла α это приводит к уменьшению суммарной толщины срезаемого слоя $a_{z\Sigma}$, а при определенных сочетаниях конструктивных и геометрических параметров режущей части инструмента может стать причиной выхода зуба метчика из процесса нарезания резьбы. Весь припуск при этом будет делиться между оставшимися зубьями.

Рассмотрим условие, при котором действительная толщина срезаемого слоя будет равна нулю, то есть выполняется равенство $a_z = \Delta a_z$, и запишем уравнение (6) относительно $\Delta \varepsilon$:

$$\Delta \varepsilon = \frac{360^\circ \cdot P \cdot \operatorname{tg} \varphi}{z \cdot (\operatorname{tg} \alpha \cdot \pi d - P \cdot \operatorname{tg} \varphi)}. \quad (7)$$

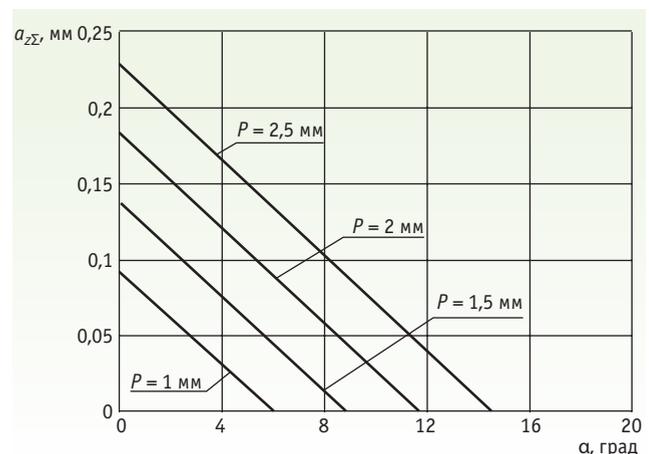


Рис. 4. Зависимость толщины срезаемого слоя от заднего угла α при $\varphi = 10^\circ$

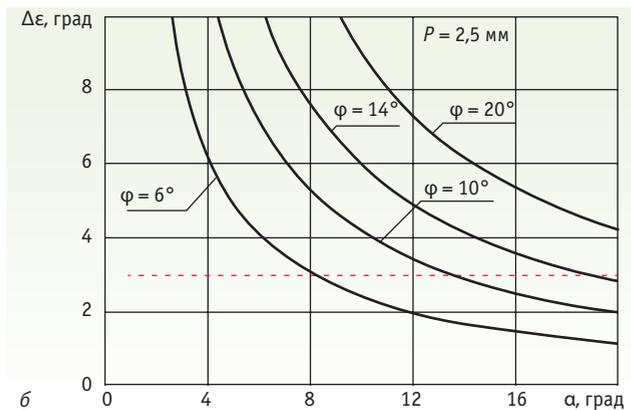
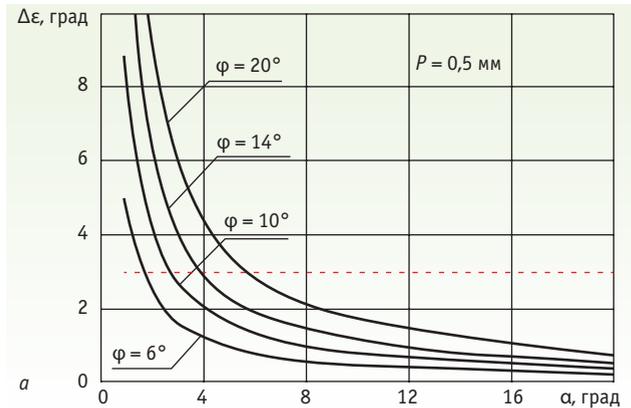


Рис. 5. Зависимость предельной погрешности углового шага $\Delta\varepsilon$ от заднего угла при различных значениях угла в плане: а – $P = 0,5$ мм, б – $P = 2,5$ мм

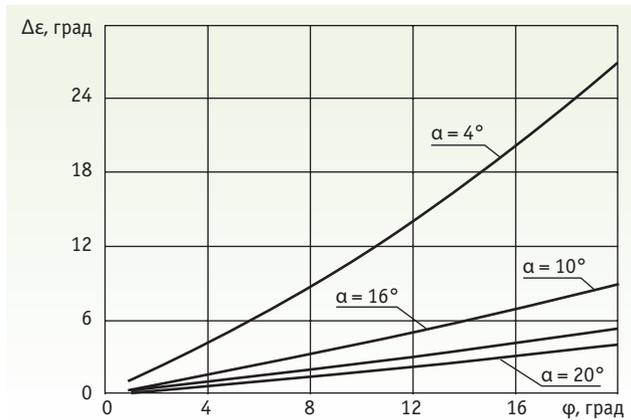


Рис. 6. Зависимость предельной погрешности углового шага $\Delta\varepsilon$ от главного угла в плане φ ; $P = 2,5$ мм

Уравнение (7) определяет величину предельной погрешности $\Delta\varepsilon$ – погрешности углового шага ε , при которой зуб метчика выходит из процесса нарезания резьбы.

На рис. 5, 6, 7 и 8 показаны графики функции, построенные по уравнению (7) для метчика М18, $z = 4$.

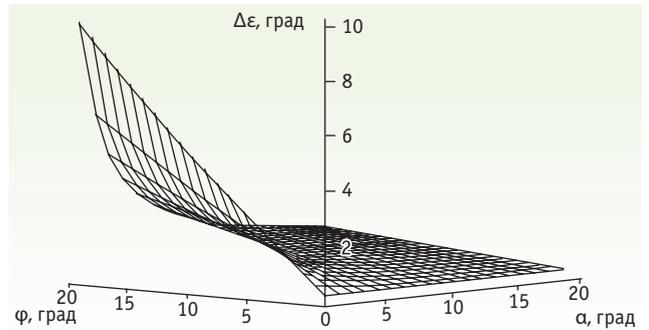


Рис. 7. Линия уровня предельной погрешности углового шага между зубьями для различных значений заднего угла α и главного угла в плане φ ; $P = 0,5$ мм

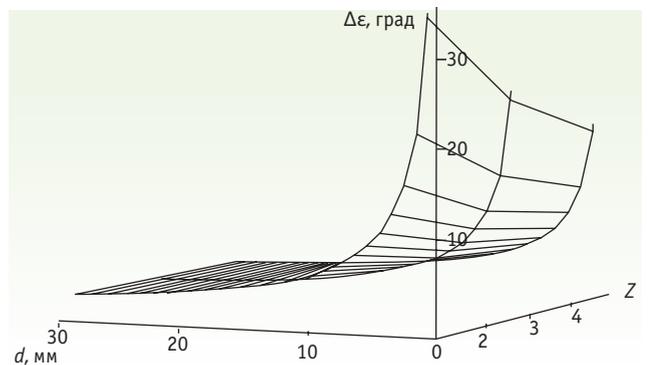


Рис. 8. Линия уровня предельной погрешности углового шага $\Delta\varepsilon$ от количества зубьев z и диаметра метчика d ($\alpha = 5^\circ$; $\varphi = 10^\circ$, $P = 0,5$ мм)

ВЫВОДЫ

Установлено, что наличие погрешностей углового шага между зубьями метчика, возникающих при изготовлении инструмента и при его переточках, влияет на однородность толщины стружки, снимаемой разными зубьями. Особенности влияния зависят от шага резьбы, значений заднего угла и угла режущей части.

Представленные зависимости позволяют устанавливать допустимые значения погрешности углового шага между зубьями метчика, при которых обеспечиваются значения толщины срезаемого слоя, соответствующие рекомендуемым справочным значениям, принятым с учетом вида обрабатываемого материала, требуемой стойкости инструмента и качества обработанной поверхности.

При заданных геометрических параметрах метчиков по представленной зависимости можно определять величины погрешности углового шага, при которых выполняется ограничение на толщину срезаемого слоя, определяемое радиусом округления режущей кромки и принятое в резании металлов: $a_z \geq 0,02$ мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Матвеев В.В.** Нарезание точных резьб. М.: Машиностроение, 1978. 85 с.
2. **Иванина И.В.** Влияние угла в плане и углового шага между зубьями на плавность работы резбонарезного инструмента при генераторной схеме резания // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2004. № 10. С. 56–63.
3. **Фрумун Ю.Л.** Высокопроизводительный резбообразующий инструмент. М.: Машиностроение, 1977. 180 с.
4. **Гусейнов Р.В., Рустамова М.Р.** Метчик // Патент 2542217. Б.И. № 5. РФ. 2015.
5. **Древаль А.Е.** Влияние геометрии режущей части и точности угла между зубьями метчика на параметры срезаемого слоя // Известия вузов. Машиностроение. 1972. № 4. С.147–152.
6. **Мерзлов А.В., Харченко А.О.** Анализ особенностей формообразования внутренних резьб М2...М6 // Сб. ст. Всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых ученых. 20–23 мая 2019 года "Современные технологии: проблемы и перспективы". ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» 2019. С. 94–97.
7. **Древаль А.Е., Литвиненко А.В.** Влияние рассеяния геометрических параметров осевых инструментов на их работоспособность // Вестник МГТУ Сер. Машиностроение. 1998. № 1. С. 60–68.
8. **Ящерицын П.И., Еременко М.Л., Жигалко Н.И.** Основы резания материалов и режущий инструмент. Минск: Вышэйшая школа, 1981. 560 с.
9. **Таурит Г.Э., Пуховский Е.С., Добрянский С.С.** Прогрессивные приемы резбоформирования. Киев: Техніка, 1975. 237 с.
10. **Рыкунов А.Н.** Тонкое точение. Металлическая модель, режимные границы, физические особенности и технологические возможности процесса. Рыбинск РГАТА 2003. 258 с.

ДРЕВАЛЬ Алексей Евгеньевич –
доктор технических наук, профессор
МГТУ им. Н.Э. Баумана

ИВАНИНА Ирина Владимировна –
кандидат технических наук, доцент
МГТУ им. Н.Э. Баумана

КАЗАНЬ 2021



**МАШИНОСТРОЕНИЕ
МЕТАЛЛООБРАБОТКА
СВАРКА**

1-3/12

ОСНОВНЫЕ ЦИФРЫ ВЫСТАВКИ 2019 ГОДА

223 компании

из 29 регионов
России и 3-ти стран мира

9013 посетителей

из 86 городов РФ
и 6 стран мира

4031 кв. м.

выставочной площади

21-я международная специализированная выставка
ОБОРУДОВАНИЯ, ПРИБОРОВ И ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ,
МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ И СВАРОЧНОЙ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Оргкомитет выставки

Тел/факс: (843) 202-29-03

Россия, 420059, г. Казань,

Оренбургский тракт, д. 8,

ОАО «Казанская ярмарка»

www.expromach.expokazan.ruE-mail: expo-kazan@mail.ru

Место проведения:

МВЦ «Казань Экспо»

Забронировать
стенд

16+

