

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

621.9.02

РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕТЧИКОВ С ВНУТРЕННИМ РАЗМЕЩЕНИЕМ СТРУЖКИ

Д-р. техн. наук, проф. А. Е. ДРЕВАЛЬ, канд. техн. наук А. В. ЛИТВИНЕНКО, асп. НГУЕН ТУАН ХИЕУ

Основное конструктивное отличие метчиков с внутренним размещением стружки от стандартных - наличие внутренней цилиндрической полости для размещения стружки и подачи СОЖ в зону резания. Указанное отличие обуславливает ряд особенностей при расчете конструктивных элементов и геометрических параметров метчиков с внутренним размещением стружки, которые рассматриваются в статье.

The basic constructive difference of screw taps with internal arranging a swarf from standard - presence of an internal cylindrical hollowness for arranging a swarf and feeding of liquid coolant in a cutting zone. The specified difference stipulates series of features at calculation of structural components and geometrical parameters of screw taps with internal arranging a swarf which are examined in this article.

Опыт эксплуатации метчиков с внутренним размещением стружки (далее МВРС, рис.1) показывает ряд их преимуществ по сравнению с обычными метчиками, в частности снижение числа поломок инструмента, лучшее центрирование и направление его в отверстии заготовки, что приводит к более стабильным показателям точности нарезаемой резьбы. Основным конструктивным отличием МВРС от стандартных метчиков является наличие внутренней цилиндрической полости для размещения стружки и подачи СОЖ в зону резания диаметром d_0 и длиной l_0 , ось которой совпадает с осью инструмента. Это позволяет выполнить направляющую часть в виде непрерывной цилиндрической резьбовой поверхности. На хвостовой части имеется цилиндрический участок диаметром d_4 для размещения муфты подачи СОЖ и канал вдоль оси инструмента для ее подвода внутрь рабочей части.

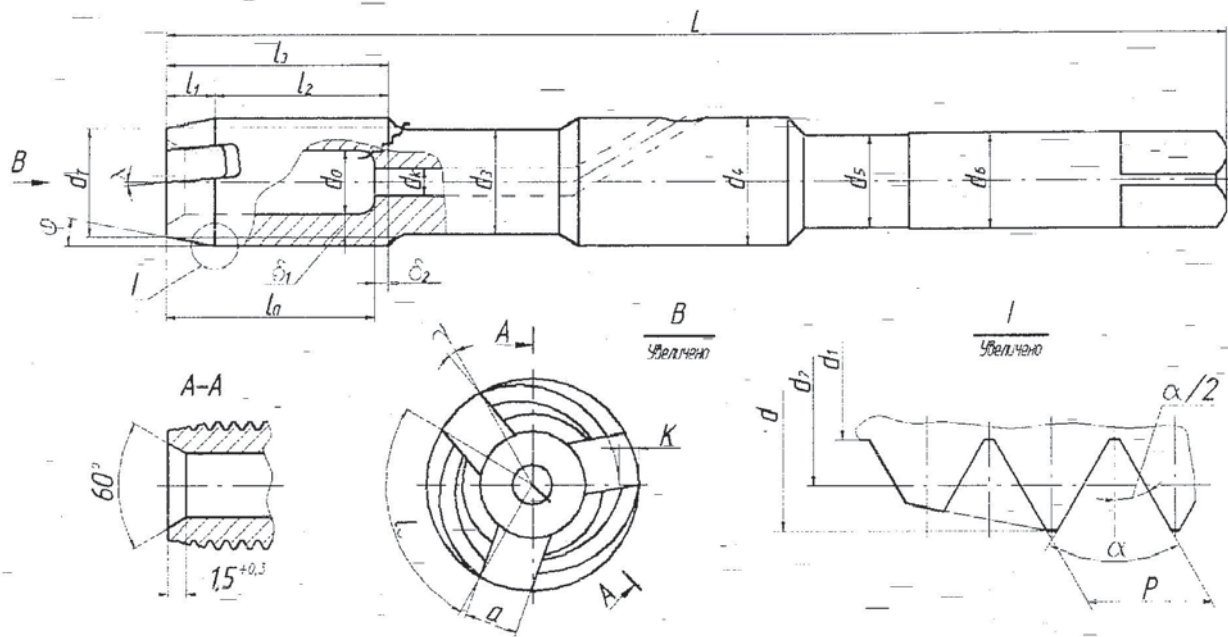


Рис. 1. Метчик с внутренним размещением стружки

Указанное отличие обуславливает ряд особенностей при расчете конструктивных элементов и геометрических параметров МВРС.

Момент разрушения МВРС определяется прочностью его зубьев и может быть рассчитан по зависимости [1], в которую входят размеры внутренней полости d_0 , l_0 и ширина зуба l_1 :

$$M_{\text{вр}} = [\sigma] \frac{z \cdot d_2 \cdot \alpha_z^{0,3} \cdot \omega (\alpha^2 - \sin^2 \omega) \cdot (d_1^2 - d_0^2)}{4(A^2 + 3B^2)^{0,5}}; \quad (1)$$

где:

$$A = 2l_1 \cdot d_1 \cdot \omega \left(2\alpha_z^{0,3} \cdot \cos \frac{\omega}{2} + 0,66 \sin \frac{\omega}{2} \cdot \sin^{0,26} \omega \right) (\omega + \sin \omega) \cdot \sin \frac{\omega}{2} + 4l_1 \cdot \omega \left(X_T - 0,5d_0 \cdot \cos \frac{\omega}{2} \right) \left(0,66 \cos \frac{\omega}{2} \cdot \sin^{0,26} \omega - 2\alpha_z^{0,3} \cdot \sin \frac{\omega}{2} \right) (\omega - \sin \omega)$$

$$B = \left[4\alpha_z^{0,3} (0,5\alpha_1 - X_T \cdot \cos \frac{\omega}{2}) \cdot \sin \frac{\omega}{2} - 1,32 X_T \cdot \alpha_1 \cdot \sin^{0,2} \omega \cdot \sin^2 \frac{\omega}{2} \right] (\alpha^2 - \sin^2 \omega)$$

z - число зубьев метчика;

$$\alpha_z - \text{толщина срезаемого слоя, } \alpha_z = \frac{P \cdot \sin \omega}{z};$$

l_1 - длина режущей части;

$$\omega - \text{центральный угол сектора кругового кольца, } \omega = \frac{2l_1}{d_1};$$

σ - предел прочности материала инструмента;

$$X_T - \text{центр тяжести сектора кругового кольца, } X_T = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sin \frac{\omega}{2}}{\omega} \cdot \frac{d_1^3 - d_0^3}{d_1^2 - d_0^2};$$

Размеры внутренней полости должны обеспечивать прочность зубьев инструмента и одновременно достаточное пространство для свободного размещения и беспрепятственного удаления стружки. Рассмотрим наиболее общий случай, когда стружка полностью размещается во внутренней полости

длиной, равной режущей части МВРС, то есть $l_0 = l_1$ и отсутствует перемещение стружки вдоль оси инструмента, что соответствует равенству угла наклона режущего лезвия λ нулю.

Объем внутренней полости МВРС определяется величинами d_0 и l_0 и должен превышать объем срезанной стружки: $V_{\text{полн}} \geq V_{\text{стр}}$. При принятой длине нарезания полнопрофильной резьбы l_p зависимость $d_{0\text{min}}$ от l_0 определяется следующим образом:

$$d_{0\text{min}} \geq 2 \sqrt{\frac{d \cdot S \cdot l_p \cdot K}{P \cdot l_0}} \quad (2a)$$

При обоснованно установленных значениях $d_{0\text{min}}$ и l_0 можно решить обратную задачу и определить длину нарезания полнопрофильной резьбы l_p :

$$l_p = \frac{d_0^2 \cdot P \cdot l_1}{4d \cdot S \cdot K} \quad (2б)$$

В обоих случаях величина диаметра полости d_0 не должна превышать значения, ограниченного прочностью инструмента, рассчитанного на базе формулы (1).

В формулах (2а) и (2б):

d - номинальный диаметр резьбы;

P - шаг нарезаемой резьбы;

l_p - длина нарезаемой резьбы;

S - площадь профиля нарезаемой резьбы, $S = 0,206P^2$ при диаметре отверстия заготовки d_{01} , соответствующем ГОСТ 19257-73;

K - безразмерный коэффициент, учитывающий плотность укладки стружки.

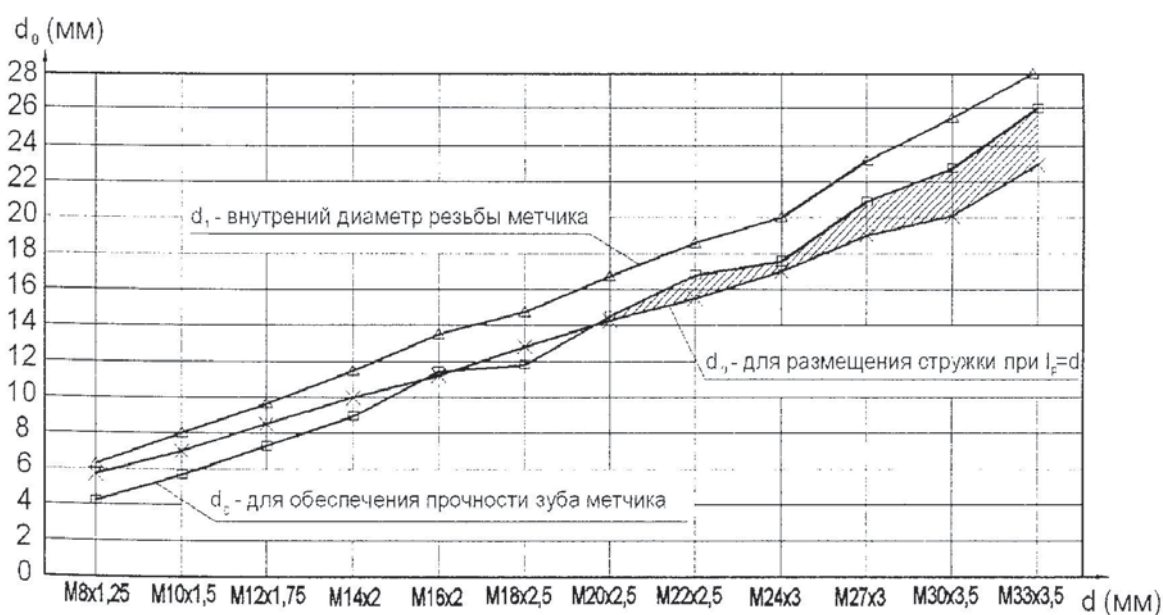


Рис.2. Зависимость диаметра внутренней полости от диаметра метчика.

В дальнейших расчетах значение коэффициента плотности укладки стружки принято равным 2,5 на основании данных по заполняемости стружечных канавок протяжек при протягивании по одинарной схеме снятия припуска в заготовках из качественной конструкционной стали. Такая оценка значения K является ориентировочной и нуждается в уточнении применительно к метчикам.

Для определения соотношения между диаметром внутренней полости d_0 , определяемым прочностью инструмента из зависимости (1), и диаметром, определяемым из условия размещения стружки (зависимость 2а), выполнен расчет их значений. В качестве примера на рис.2 представлены результаты расчета диаметра внутренней полости d_0 при нарезании резьбы полного профиля с крупным шагом глубиной, равной номинальному диаметру резьбы $l_p=d$ в сквозных отверстиях в заготовках из стали 45 НВ = 185 ÷ 190 МВРС с углом режущей части $\varphi = 12^\circ$. Из рис. 2 видно, что при указанных выше условиях обработки диаметр внутренней полости для инструмента от М8 до М16 ограничен его прочностью. Для размеров, превышающих М16, имеется некоторый запас на увеличение объема внутренней полости, так как диаметр внутренней полости для размещения стружки d_0 меньше диаметра внутренней полости, обеспечивающей прочностью инструмента. Таким образом, при номинальных диаметрах резьбы, меньших М16, нельзя обеспечить нарезание резьбы длиной, равной d .

Увеличение глубины нарезаемой резьбы l_p приводит к тому, что объема полости недостаточно для размещения стружки в пределах режущей части инструмента.

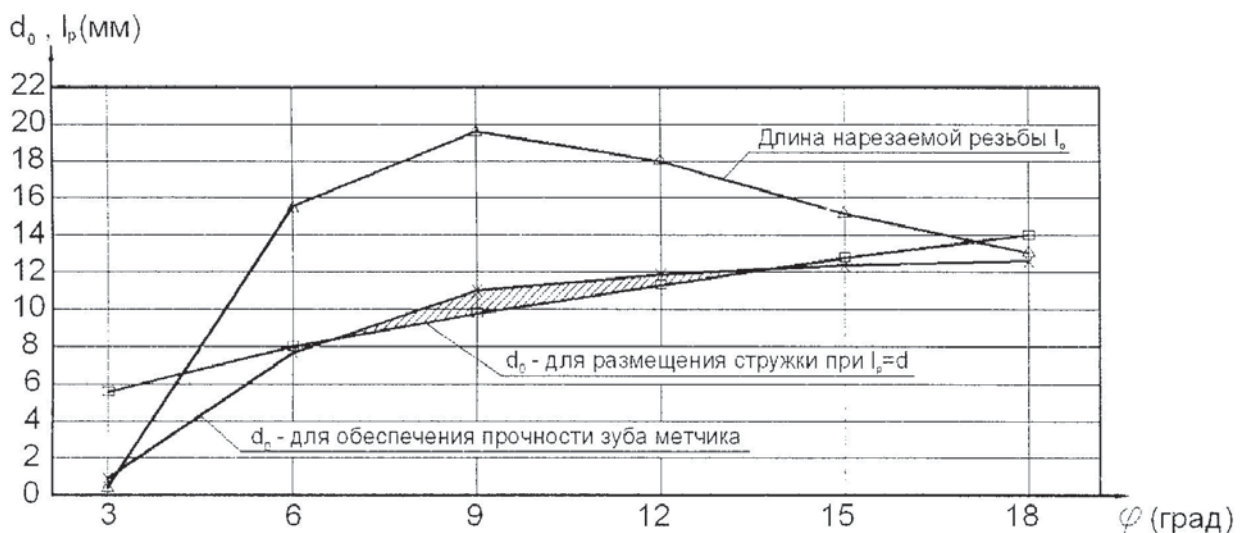


Рис.3. Зависимость диаметра внутренней полости и длины нарезаемой резьбы от угла режущей части метчика.

Влияние угла режущей части φ на длину режущей части l_1 , величину d_0 , определяемую из условия прочности зубьев инструмента, а, следовательно, и на объем внутренней полости, носит нелинейный характер. Поэтому зависимость длины нарезания полнопрофильной резьбы l_p также носит нелинейный

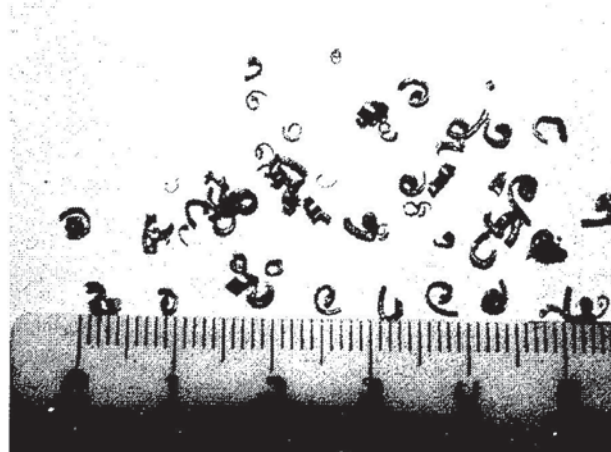
характер. Расчеты показывают наличие максимумов на зависимостях $l_p = f(\varphi)$, что подтверждается на примере нарезания резьбы М16 (рис.3). С уменьшением угла режущей части φ увеличивается высота зуба инструмента. При углах $\varphi \leq 9^\circ$ невозможно обеспечить прочность зуба и наличие стружечной полости, что характерно МВРС размерами М12 и менее. Для МВРС этих же размеров при значениях угла $\varphi > 9^\circ$ до 24° наличие стружечной полости возможно, то есть прочность зуба может быть обеспечена. Однако ее объем при условии размещения стружки только в пределах режущей части позволяет нарезать резьбу полного профиля длиной от 3 до 4 шагов. По этим причинам и с учетом технологических трудностей изготовление мелкогабаритных МВРС нецелесообразно.

Проведенные расчеты показывают ограниченность использования инструмента с длиной внутренней полости l_p , равной длине режущей части l_r , это обуславливает необходимость увеличения объема внутренней полости и обеспечение перемещения стружки вдоль оси инструмента.

Проведена экспериментальная оценка правомерности использования коэффициента укладки стружки $K = 2,5$. Исследовался весь объем стружки, образованной после нарезания резьбы М16х1,5 длиной, равной двум диаметрам, $l_p = 32$ мм в стали 45, НВ = 185 ÷ 190, МВРС и стандартными метчиками. Образованная стружка состоит из отдельных сильно деформированных серпообразных, в основном плоских элементов (рис.4). Длина дуги и угол развернутости элементов стружки, полученной стандартным метчиком, превышает эти параметры стружки, полученной на МВРС. Вследствие этого стружки, полученные разными инструментами, занимают различный объем в свободном состоянии.



а) Стружки стандартного метчика



б) Стружки МВРС

Рис.4. Формы и размеры стружек при нарезании резьбы

После каждого эксперимента полученными стружками заполнялся мерный цилиндр диаметром 10 мм, уплотнялся десятью встряхиваниями, и проводился замер полученного объема. Коэффициент укладки стружки определялся отношением объема, занимаемого стружкой, к объему срезанного припуска: $K = \frac{V_{стр}}{V_{прип}}$. При резьбонарезании стандартными метчиками $K_{ст} = 4,02$, при МВРС $K_{МВРС} = 3,22$,

то есть при обработке резьбы МВРС стружка укладывается более плотно. Для оценки способности стружки к уплотнению вдоль оси внутренней полости мерного цилиндра через подвижный поршень прикладывалась сила, затем измерялся объем стружки. Из результатов изменения объема стружки (рис.5) следует, что коэффициент укладки стружки изменяется в широком диапазоне значений от 3,22 до 2,01 в зависимости от приложенной силы. Такая оценка укладки стружки носит сравнительный характер и не отражает реального ее состояния, так как неизвестна система сил, действующих на стружку при нахождении ее в канавках инструмента, хотя позволяет качественно оценить влияние геометрических и конструкторских параметров инструмента на плотность укладки стружки. Проведенные эксперименты показывают правомочность принятия среднего значения $K = 2,5$ при нарезании резьбы в стали 45.

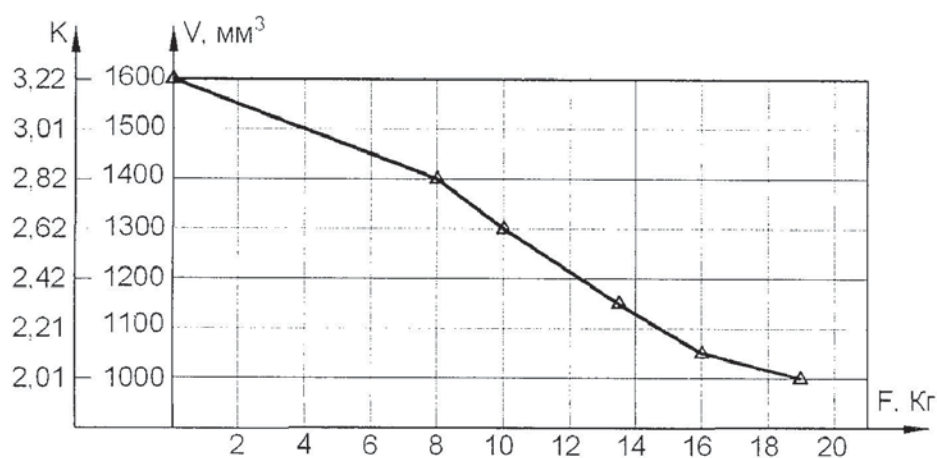


Рис.5. Зависимость объема и коэффициента укладки стружки от силы сжатия

Наблюдения за распределением стружки вдоль осей метчиков с углом $\lambda=0$ при вертикальном расположении инструмента показали, что при резьборезании МВРС стружка более подвижна вдоль оси в сравнении с резьборезанием стандартными метчиками. Это является следствием того, что при резьборезании МВРС стружка попадает в полость большого поперечного сечения, отдельные ее элементы меньше диаметра d_0 , свободно перемещаются вниз, не скапливаясь, под действием собственного веса и потока СОЖ.

Перемещение стружки при резьборезании стандартными метчиками более затруднено, так как элементы стружки попадают в отдельные канавки меньшего и переменного сечения, сопоставимого с их размерами. Это способствует ее застреванию в канавках и затрудняет прохождение СОЖ.

При нарезании резьбы в глухих отверстиях элементы стружки перемещаются вниз и постепенно скапливаются на дне отверстия. По мере приближения инструмента к дну отверстия стружка заполняет его и внутреннюю полость инструмента и частично уплотняется его торцом. В соответствии со схемой размещения стружки в канавках стандартного метчика и внутренней полости МВРС в пределах режущей части V_1 и недореза резьбы V_2 и V_3 (рис.6) должно выдерживаться соотношение:

$$V = V_1 + V_2 + V_3, \quad (3)$$

где V - объем срезанной стружки на участке полнопрофильной резьбы l_p и сбега резьбы X с учетом плотности ее укладки, то есть:

$$V = \rho \cdot d \cdot S \cdot K \cdot \left(\frac{l_p}{P} + 1 \right);$$

V_1 - объем внутренней полости МВРС или стружечных канавок стандартного метчика в пределах режущей части инструмента l_1 ;

V_2 - объем цилиндрической части в пределах недореза a ;

V_3 - объем конического участка на дне отверстия под резьбу.

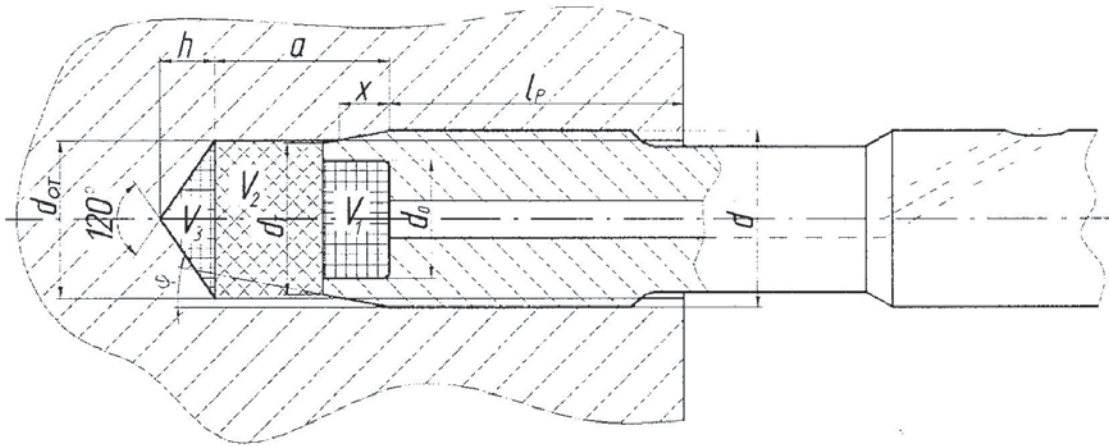


Рис.6. Схема расчета объема размещения стружки

Соотношение объемов (3) для МВРС может быть записано:

$$\pi \cdot d \cdot S \cdot K \cdot \left(\frac{l_p}{P} + 1 \right) = \frac{\pi \cdot d_{\text{от}}^2}{4} \cdot l_1 + \frac{\pi \cdot d_{\text{ср}}^2}{4} \cdot (a - X) + \frac{\pi \cdot d_{\text{от}}^3 \cdot \text{tg} 30^\circ}{12}, \quad (3a)$$

l_1 - длина режущей части инструмента принимается равной длине сбега резьбы X . В ГОСТ 27148-86 установлены размеры сбегов и недорезов для метрической резьбы ГОСТ 3266-81. Рассматриваются три случая сбегов и недорезов: нормальный, короткий и длинный.

Из соотношения (3a) можно определить допустимую длину нарезания полнопрофильной резьбы в глухих отверстиях МВРС:

$$l_p = \frac{\left(\frac{d_{\text{от}}^2}{4} \cdot l_1 + \frac{d_{\text{ср}}^2}{4} \cdot (a - X) + \frac{d_{\text{от}}^3 \cdot \text{tg} 30^\circ}{12} - d \cdot S \cdot K \right) P}{d \cdot S \cdot K}, \quad (4)$$

Для стандартных метчиков объем стружечных канавок в пределах режущей части l_1 определяется с помощью твердотельной модели метчика, построенной в программной среде AUTODESK INVENTOR 2008.

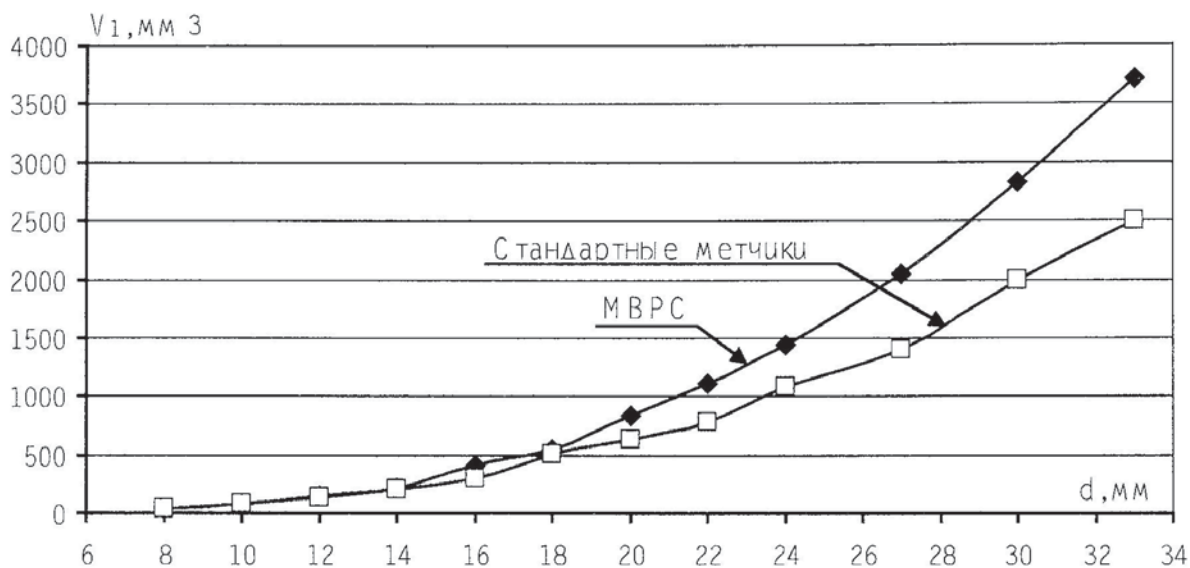


Рис. 7. Зависимость объема внутренней полости для размещения стружки в пределах режущей части от диаметра метчика

Представленное на рис. 7 сравнение объемов полостей для размещения стружки V_1 стандартных метчиков и МВРС в пределах режущей части с углами $\varphi \approx 14^{\circ}30'$, определяемыми стандартной величиной нормального сбega, показывает, что объем внутренней полости для размещения стружки МВРС с размерами от М8 до М14 примерно равен объему стружечных канавок стандартных метчиков в пределах режущей части инструмента. Для метчиков размерами, превышающими М14, объем V_1 МВРС превышает объем стружечных канавок стандартных метчиков.

Выполнен расчет возможной длины нарезания полнопрофильной резьбы с крупным шагом в глухих отверстиях МВРС по зависимости (4). Установлено, что при нормальной величине сбega и недореза, которые обеспечиваются инструментом с углом режущей части φ от $14^{\circ}30'$ до $14^{\circ}50'$, возможно нарезание полнопрофильной резьбы длиной примерно $2d$. При нарезании резьбы с коротким сбегом и недорезом при φ от $19^{\circ}20'$ до $21^{\circ}30'$ длина полнопрофильной резьбы в глухом отверстии равна примерно $(1 \dots 1,25)d$. При нарезании резьбы с длинным сбегом и недорезом при $\varphi = 7^{\circ}30'$ в глухих отверстиях может быть нарезана полнопрофильная резьба размерами более М12, и длиной равной $(1,8 \dots 2,2)d$ (см. табл. 1).

Таблица 1

Длина полнопрофильной резьбы l_p при резбонарезании метчиками с внутренним размещением стружки в глухих отверстиях при стандартных значениях сбега и недореза

Инструмент			Длина полнопрофильной резьбы l_p					
d, мм	P, мм	z	нормальный сбег и недорез		короткий сбег и недорез		длинный сбег и недорез	
			φ ,	l_p , мм	φ ,	l_p , мм	φ ,	l_p , мм
12	1,75	3	14°25'	25,40	19°48'	13,05	7°20'	Не обеспечение прочности зуба
14	2		14°42'	25,79	19°17'	13,36	7°29'	30,69
16	2		14°42'	34,24	19°17'	18,41	7°29'	43,23
18	2,5	4	14°50'	30,26	20°44'	17,79	7°33'	Не обеспечение прочности зуба
20	2,5		14°50'	38,09	20°44'	22,70	7°33'	35,73
22	2,5		14°50'	45,45	20°44'	27,61	7°33'	49,86
24	3		14°42'	47,57	21°29'	26,92	7°29'	42,68
27	3		14°42'	58,97	21°29'	34,28	7°29'	65,08
30	3,5		14°47'	61,34	20°18'	35,28	7°32'	64,16
33	3,5		14°47'	72,75	20°18'	42,82	7°32'	81,87

Близкие результаты по величине нарезания полнопрофильной резьбы в глухих отверстиях при тех же условиях получены при резбонарезании стандартными метчиками тех же размеров.

Полученные расчетные зависимости носят общий характер и могут быть применены при расчете размеров полостей для размещения стружки при резбонарезании инструментами с мелкими шагами и длин резьбы, превышающих вышеуказанные. В этом случае при резбонарезании в глухих отверстиях при принятых значениях сбега и недореза необходимо увеличить объем внутренней полости в МВРС. Из условия прочности зубьев МВРС должны быть установлены значения d_0 и увеличена длина полости l_0 , рассчитанная по зависимости (2). Глубина l_0 МВРС ограничена прочностью опасного сечения по углу дна внутренней полости, где возникают максимальные напряжения (на рис. 1 отмечено волнистой линией). Это подтверждается моделированием с использованием программной среды ANSYS напряженного состояния при приложении момента резбонарезания к инструменту. Установлено, что прочность инструмента обеспечивается при выдерживании соотношения $\delta_1 = (1,3 \dots 1,5) \delta_2$ (см. рис. 1). При этом предпочтительно обеспечить перемещение стружки вдоль МВРС в сторону направляющей части инструмента l_2 посредством заточки угла λ .

При сохранении равенства длин внутренней полости и режущей части МВРС возможен другой вариант изготовления резьбы – производить резьбонарезание за несколько проходов.

Выводы

- 1) Выполненный анализ показывает, что диаметр стружечной полости МВРС следует устанавливать из условия обеспечения прочности зубьев инструмента. Это обеспечивает работоспособность инструмента с размерами менее М14 и запас по объему для размещения стружки у МВРС размерами более М14.
- 2) Объемы стружечных канавок стандартных метчиков и метчиков с внутренним размещением стружки в пределах режущей части примерно одинаковы в диапазоне размеров от М8 до М14 при значениях углов φ , обеспечивающих прочность зубьев МВРС. Объемы стружечных полостей метчиков с внутренним размещением стружки размерами более М14 превышают объемы стружечных канавок стандартных метчиков. Это подтверждает рациональность применения МВРС с номинальными размерами более чем М12.
- 3) При длине стружечной полости, равной длине режущей части, обеспечивающей стандартные значения сбегов и недорезов резьбы в глухих отверстиях, использование МВРС позволяет нарезать резьбу полного профиля с крупным шагом длиной: при нормальном сбеге и недорезе примерно равной $l_p = 2d$, при коротком сбеге и недорезе $l_p = d$, при длинном сбеге и недорезе $l_p = 2,5 d$.
- 4) Угол режущей части φ нелинейно влияет на объем стружечной полости, расположенной в пределах режущей части МВРС. Следовательно, зависимость длины нарезаемой резьбы полного профиля от угла φ носит нелинейный характер и имеется максимум $l_{p\max}$. При необходимости нарезания резьбы в глухих отверстиях, длина которых превышает $l_{p\max}$, необходимо увеличить объем стружечной полости за пределы режущей части, ограничивая ее длину достижением соотношения толщины стенок направляющей части δ_1 и дна полости δ_2 , равным $\delta_1 = (1,3 \dots 1,5)\delta_2$. Для перемещения стружки в стружечной полости рекомендуется затачивать углы λ на величины, рекомендуемые для стандартных метчиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Древаль А. Е., Литвищенко А. В., Нгуен Туап Хиеу Расчет момента разрушения метчиков с внутренним размещением стружки // Известия ВУЗов «Машиностроение» МГТУ им. Баумана. – 2008. - №2. – С.