

УДК 621.9

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ РЕЗЬБЫ ПРИ ОХВАТЫВАЮЩЕМ РЕЗЬБОФРЕЗЕРОВАНИИ

Игорь Михайлович Головки<sup>(1)</sup>, Олег Вячеславович Мальков<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Студент 5 курса

Российская Федерация, г. Москва, Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э.Баумана, кафедра «Инструментальная техника и технологии»

<sup>(2)</sup>кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»

При проектировании резьбообразующего инструмента на основе резьбовой фрезы основное внимание необходимо уделять его резьбообразующей части, которая влияет на точность профиля нарезаемой резьбы.

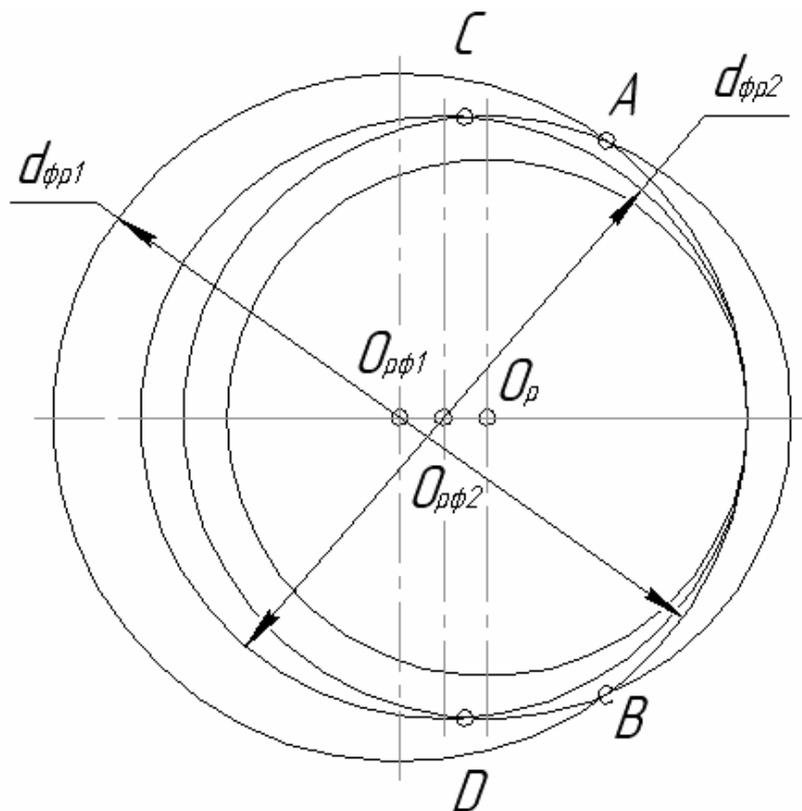


Рис.1. Схема сравнения величины дуги контакта нарезаемой резьбы с инструментами разного диаметра.

Выбор внутреннего диаметра резьбообразующей части инструмента зависит от ряда факторов. Например, с точки зрения производительности необходимо максимальное увеличение внутреннего диаметра резьбообразующей части инструмента. С другой стороны увеличение диаметра влечет за собой сложность реализации процесса обработки на станке из-за больших габаритов инструмента. Но в то же время величина внутреннего диаметра фрезы оказывает значительное влияние на точность профиля получаемой резьбы - при уменьшении внутреннего диаметра инструмента дуга его контакта с заготовкой увеличивается, что определяет увеличение разбивки профиля резьбы (рис. 1).

Таким образом, определяющей задачей является нахождение диаметра резьбообразующей части инструмента, при котором полученная резьба удовлетворяла бы требованиям степени точности.

В процессе формирования резьбового профиля каждый виток резьбы выполняется соответствующим ему резьбовым кольцом инструмента. Поскольку выполняется одинаковая работа по нарезанию каждого витка резьбы, ограничимся рассмотрением работы одного кольца.

На рис.2 профили резьбы и инструмента представлены в виде треугольника с теоретически острой вершиной и углом профиля  $60^\circ$ .

Введем систему координат  $X_p Y_p Z_p$  с центром в т.  $O_p$  на оси резьбы. В процессе работы инструмент совершает главное движение резания  $D_r$ , планетарное вращение  $D_{s2}$  вокруг т.  $O_p$  по окружности радиуса  $r_n = e$  и осевое перемещение  $D_s$ , которое можно оценить на развертке резьбы, представленной на правой проекции.

На рисунке приняты следующие обозначения: 1...9 - точки, обозначающие положение инструмента, через которые проходят осевые сечения (сечения, проходящие через оси резьбы и инструмента);  $1_0...9_0$  - точки, обозначающие положение центра вращения инструмента;  $\Theta$  - угол между соседними положениями инструмента;  $\eta_i$  - угол между сечением А-А и  $i$ -тым положением инструмента ( $\eta_i = m\Theta$ , где  $m$  - целое число, определяющее количество положений инструмента от положения инструмента в сечении А-А), на рисунке представлен углом  $\eta_9$ ;  $\psi$  - угол развертки резьбы по наружному диаметру.

Рассмотрим процесс формирования некоторого произвольного сечения А-А резьбы, которое образуется последовательными положениями инструмента 1...9. Для этого введем систему координат  $X_B Y_B Z_B$  с началом в вершине формируемого профиля резьбы, причем  $Z_p = Z_B$ ,  $Y_p = Y_B$ . В положении 1 резьбофреза еще не проходит через рассматриваемое сечение А-А. В положении 2...8 инструмент формирует резьбовой профиль, а в положении 9 инструмент уже

вышел из него. Координаты  $y_{Bi}$  и  $z_{Bi}$  (на рисунке представлены координатами точки 9) определяются на соответствующих проекциях и являются точками кривой движения вершины зуба инструмента во впадине резьбы относительно теоретического профиля резьбы. Из рисунка видно, что изменение координаты  $Z_B$  линейно, а изменение координаты  $Y_B$  нелинейно. Получается сложная, симметричная относительно оси  $Y_B$ , кривая, пересекающая теоретический профиль резьбы в некоторых точках с и d. Кривая также имеет две симметричные точки а и b, которые максимально удалены от теоретического профиля резьбы. Очевидно, что зуб формирует окончательный профиль именно тогда, когда его вершина находится в точках а и b. Таким образом, мы получили графически "разбитый" профиль резьбы с поднятыми на величину  $\Delta r_{max}$  средним и наружным диаметрами.

Опишем полученную проекцию траектории движения вершины зуба инструмента (рис. 2). Каждая точка кривой в сечении А-А определяется координатами  $y_{Bi}$  и  $z_{Bi}$ .

Рассмотрим геометрическое нахождение координаты  $y_{Bi}$ .

Из  $\Delta O_p 8_0 k$ :

$$\overline{8_0 k} = e \cdot \sin \eta_8,$$

$$\text{где } e = (D_{\text{фр}} - d_1) / 2 = [D_{\text{фр}} - (D_p - 2 \cdot h)] / 2,$$

$D_{\text{фр}}$  - диаметр резбифрезы по вершинам режущих зубьев,

$d_1 = D_p - 2 \cdot h$  - диаметр резьбы по впадинам,

$D_p$  - диаметр резьбы,

$h = 0,866 \cdot P$  - высота резьбового профиля,

$P$  - шаг резьбы.

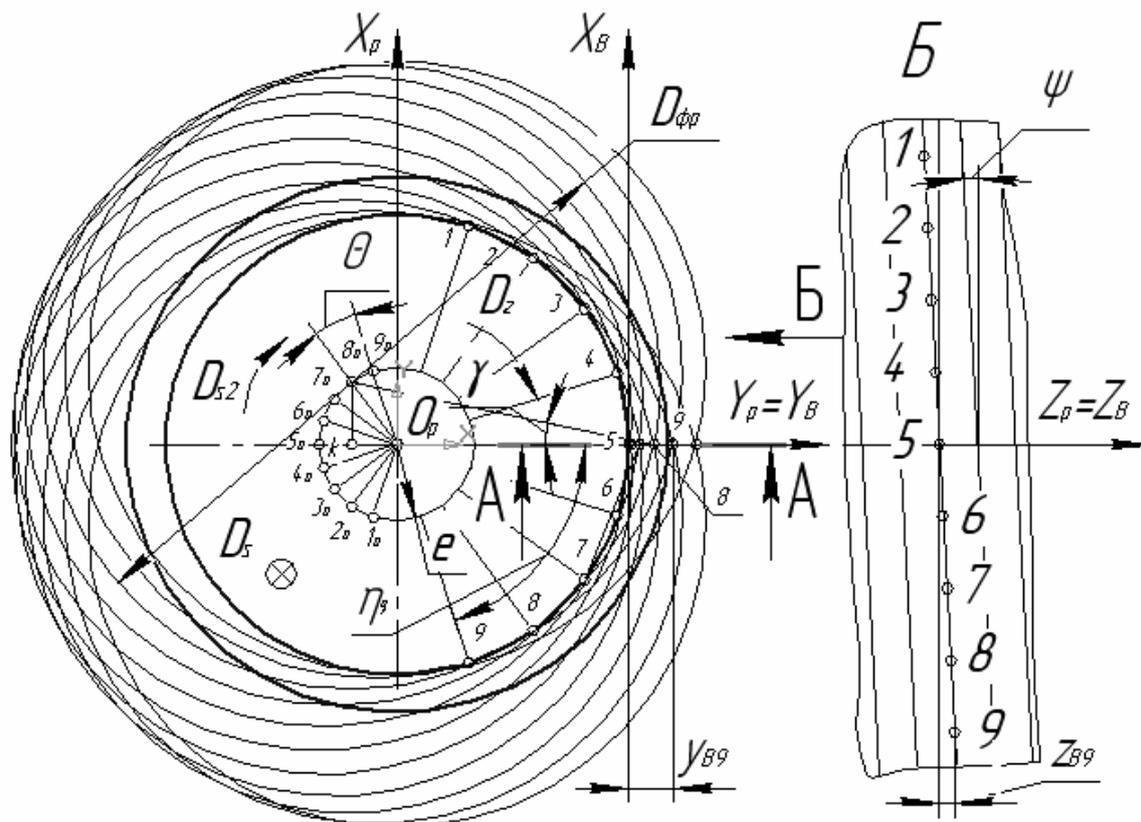
Из  $\Delta 88_0 k$ :

$$\sin \gamma = \frac{\overline{8_0 k}}{D_{\text{фр}} / 2} = \frac{e \cdot \sin \eta_8}{D_{\text{фр}} / 2};$$

$$\overline{k8} = \cos[\arcsin(\frac{e \cdot \sin \eta_8}{D_{\text{фр}} / 2})] \cdot \frac{D_{\text{фр}}}{2};$$

$$\overline{58} = y_{B8} = \overline{k8} - (e \cdot \cos \eta_8 + d_1) = \cos[\arcsin(\frac{e \cdot \sin \eta_8}{D_{\text{фр}} / 2})] \cdot \frac{D_{\text{фр}}}{2} - (e \cdot \cos \eta_8 + d_1 / 2);$$

$$y_{Bi} = \cos[\arcsin(\frac{e \cdot \sin |\eta_i|}{D_{\text{фр}} / 2})] \cdot \frac{D_{\text{фр}}}{2} - (e \cdot \cos |\eta_i| + d_1 / 2)$$



*A-A ⊙ 90° (увеличено)*

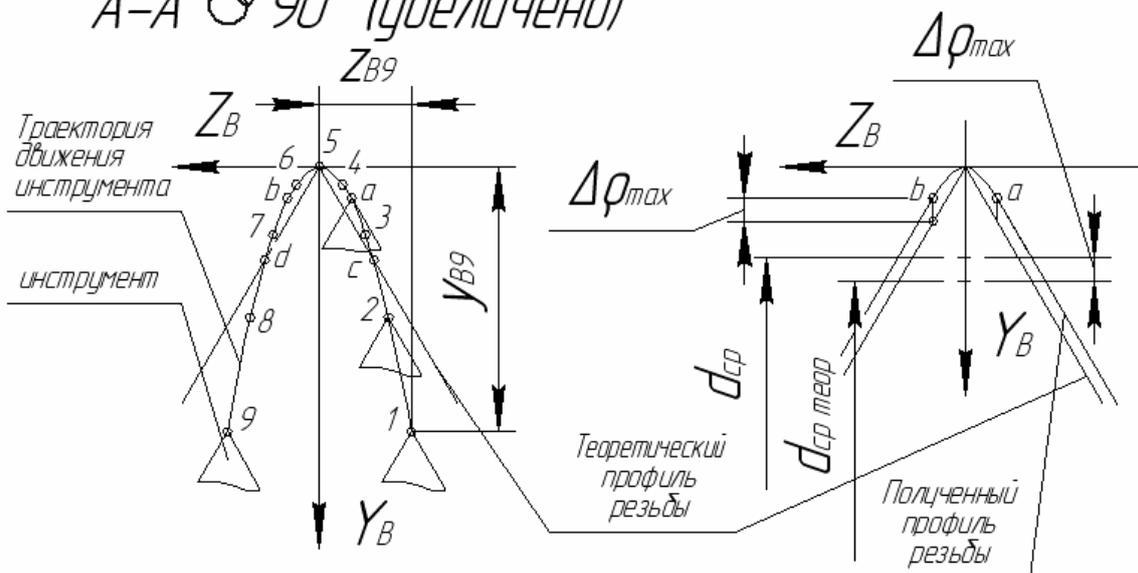


Рис. 2. Схема формирования наружного резьбового профиля охватывающей резьбофрезой.

Тогда проекция траектории движения вершины зуба инструмента описывается:

$$\begin{cases} y_{Bi} = \cos[\arcsin(\frac{e \cdot \sin|\eta_i|}{D_{\phi p} / 2})] \cdot \frac{D_{\phi p}}{2} - (e \cdot \cos|\eta_i| + d_1 / 2), \\ z_{Bi} = \frac{\eta_i}{2 \cdot \pi} \cdot P, \\ \eta_i \in [-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}]. \end{cases}$$

$$\begin{cases} y_{Bi} = \cos[\arcsin(\frac{\sin|\eta_i| \cdot [D_{\phi p} - (D_p - 1,732 \cdot P)]}{D_{\phi p}})] \cdot \frac{D_{\phi p}}{2} - (\cos|\eta_i| \cdot [\frac{D_{\phi p} - (D_p - 1,732 \cdot P)}{2}] + \\ + \frac{D_p - 1,732 \cdot P}{2}); \\ z_{Bi} = \frac{\eta_i}{2 \cdot \pi} \cdot P, \\ \eta_i \in [-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}]. \end{cases}$$

Теоретический профиль резьбы в координатах  $Y_B Z_B$ :

$$\begin{cases} y_{Bi} = \frac{\eta_i \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{6}}, \\ z_{Bi} = \frac{\eta_i}{2 \cdot \pi} \cdot P, \\ \eta_i \in [-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}]. \end{cases}$$

Разбивку резьбы  $\Delta\rho$  будем оценивать как разницу ординат функции теоретического профиля резьбы и функции траектории движения вершины зуба инструмента в координатах  $Y_B Z_B$ .

$$\begin{cases} y_{Bi} = \frac{\eta_i \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{6}} - (\cos[\arcsin(\frac{\sin|\eta_i| \cdot [D_{\phi p} - (D_p - 1,732 \cdot P)]}{D_{\phi p}})] \cdot \frac{D_{\phi p}}{2} - (\cos|\eta_i| \cdot [\frac{D_{\phi p} - (D_p - 1,732 \cdot P)}{2}] + \\ + \frac{D_p - 1,732 \cdot P}{2})); \\ z_{Bi} = \frac{\eta_i}{2 \cdot \pi} \cdot P. \end{cases}$$

Практический смысл несет рассмотрение функции при положительных значениях  $\Delta\rho$ .

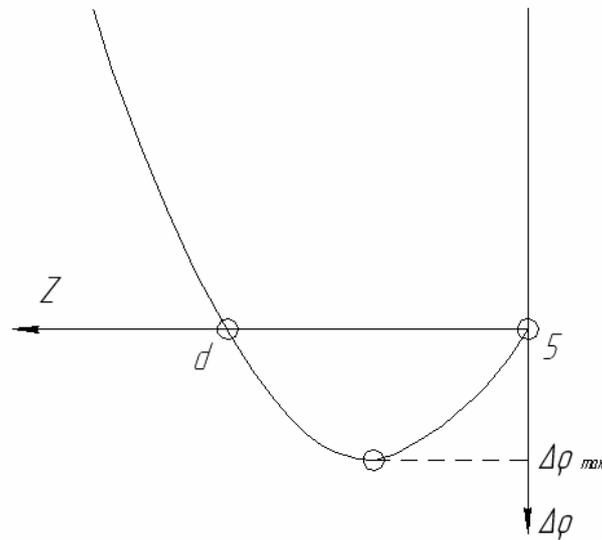


Рис. 3. График зависимости  $\Delta\rho(z)$ .

Найдем значение угла  $\eta_{\max}$ , при котором функция  $\Delta\rho$  разбивки резьбового профиля принимает максимальное значение.

В нашем случае разбивка резьбы задана функцией  $y = f(z)$  в параметрическом виде - системой двух уравнений  $y = \Delta\rho(\eta)$  и  $z = z(\eta)$ .

Составим уравнение (нахождение экстремума функции, рис.3):

$$f'(z) = 0,$$

$$f'(z) = \frac{dy}{dz} = \frac{\Delta\rho'(\eta)}{z'(\eta)},$$

где  $f'(z)$  - производная функции  $y = f(z)$ ;  $\Delta\rho'(\eta)$ ,  $z'(\eta)$  - частные производные по параметру  $\eta$ .

$$\Delta\rho'(\eta) = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{6}} + \left( \frac{\sin \eta \cdot [D_{\phi p} - (D_p - 1,732 \cdot P)]}{D_{\phi p}} \right) \cdot \frac{\cos \eta \cdot [D_{\phi p} - (D_p - 1,732 \cdot P)]}{2 \cdot \sqrt{1 - \frac{(\sin \eta \cdot [D_{\phi p} - (D_{\phi p} - 1,732 \cdot P)]^2}{D_{\phi p}^2}}} - \sin \eta \cdot \left[ \frac{D_{\phi p} - (D_p - 1,732 \cdot P)}{2} \right];$$

$$\Delta\rho'(\eta) = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{6}} + \frac{\sin \eta \cdot \cos \eta \cdot [D_{\text{фр}} - (D_p - 1,732 \cdot P)]^2}{2 \cdot D_{\text{фр}} \sqrt{1 - \frac{(\sin \eta \cdot [D_{\text{фр}} - (D_{\text{фр}} - 1,732 \cdot P)]^2}{D_{\text{фр}}^2}}} - \sin \eta \cdot \left[ \frac{D_{\text{фр}} - (D_p - 1,732 \cdot P)}{2} \right];$$

$$z'(\eta) = \frac{P}{2 \cdot \pi}.$$

$$\frac{\Delta\rho'(\eta)}{z'(\eta)} = 0 \Rightarrow \Delta\rho'(\eta) = 0$$

Подставив параметры исследуемой резьбы и фрезы в функцию  $f(\eta) = \Delta\rho'$  и решив уравнение  $\Delta\rho'(\eta) = 0$ , находим значение угла  $\eta_{\max}$ .

$$\frac{P}{2 \cdot \pi \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{6}} + \frac{\sin \eta \cdot \cos \eta \cdot [D_{\text{фр}} - (D_p - 1,732 \cdot P)]^2}{2 \cdot D_{\text{фр}} \sqrt{1 - \frac{(\sin \eta \cdot [D_{\text{фр}} - (D_{\text{фр}} - 1,732 \cdot P)]^2}{D_{\text{фр}}^2}}} - \sin \eta \cdot \left[ \frac{D_{\text{фр}} - (D_p - 1,732 \cdot P)}{2} \right] = 0 \Rightarrow$$

$$\eta_{\max} \Rightarrow \Delta\rho(\eta_{\max}) = \Delta\rho_{\max}$$

Получив необходимые зависимости, построим графики функций  $\Delta\rho_{\max}$  для наружной резьбы М30 в зависимости от шага нарезаемой резьбы Р (рис. 4) и диаметра охватывающей резьбовой фрезы  $D_{\text{фр}}$  (рис. 5).

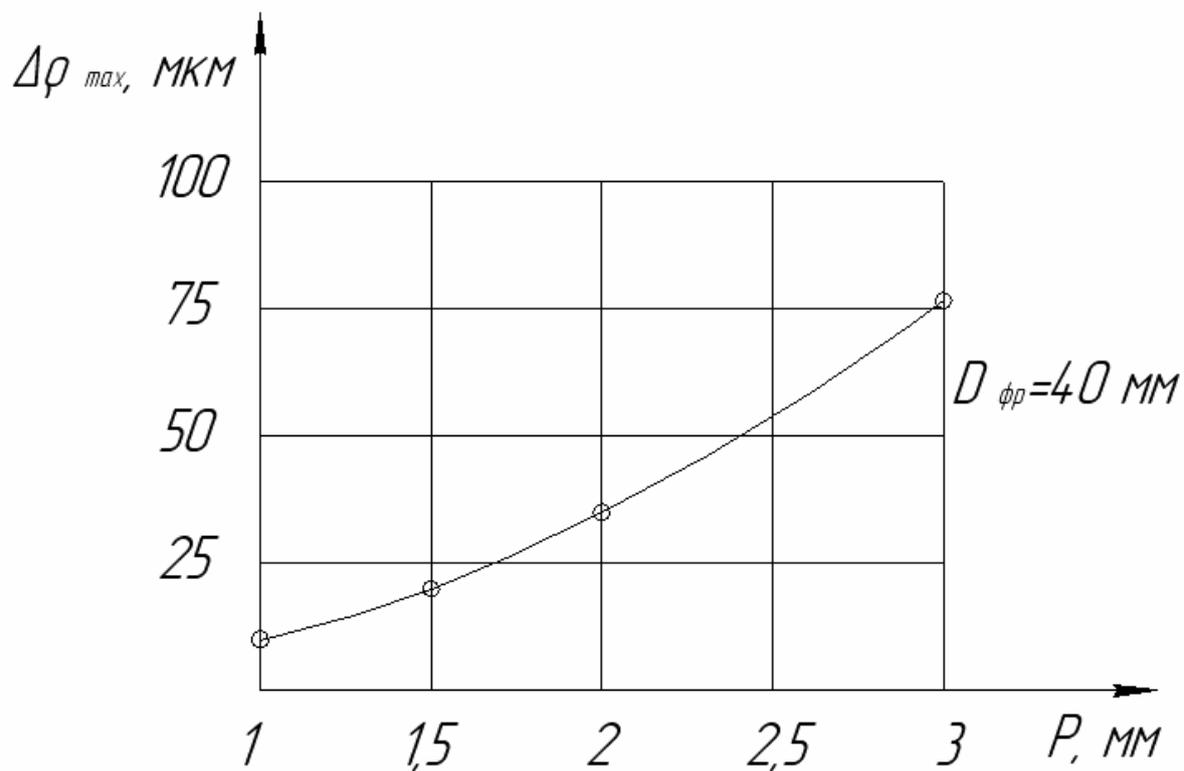


Рис. 4. График зависимости величины разбивки резьбы  $\Delta\rho$  от шага  $P$  нарезаемой резьбы.

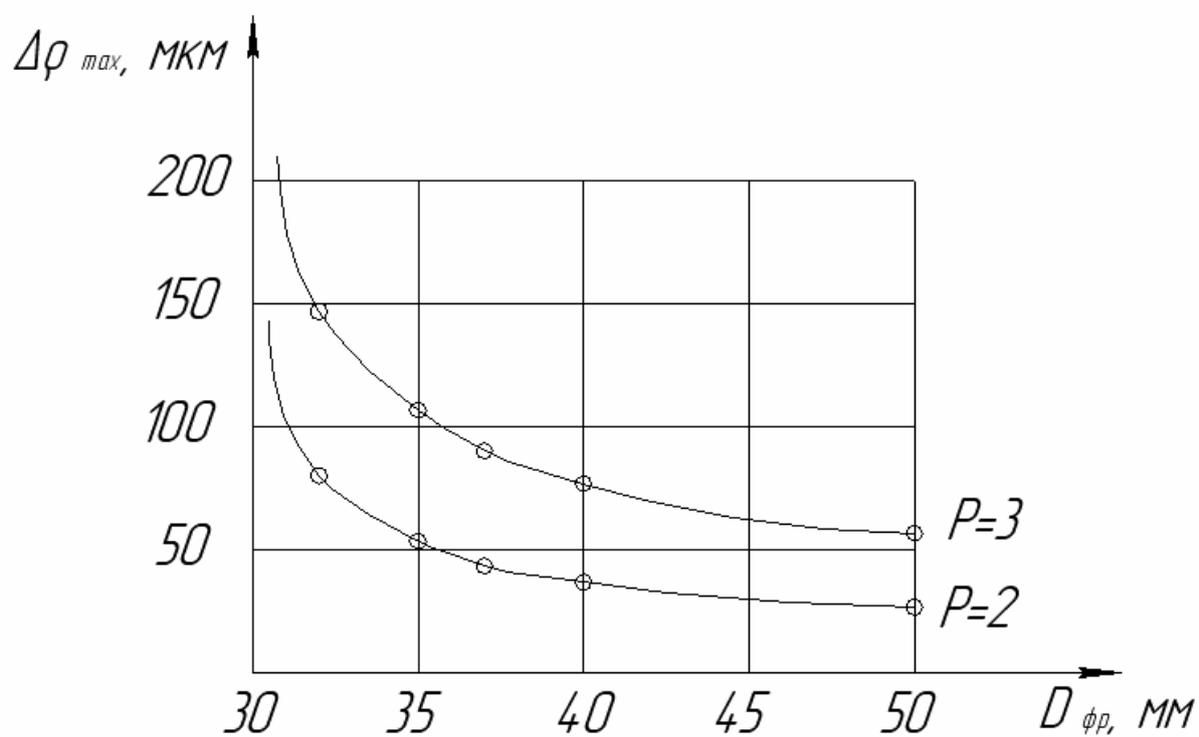


Рис. 5. График зависимости величины разбивки резьбы  $\Delta\rho$  от диаметра  $d_{\phi p}$  резцофрезы.

График зависимости  $\Delta r_{\max} = f(D_{\text{фр}})$  позволяет определить диаметр фрезы, удовлетворяющий нарезанию резьбы принятой степени точности. Совокупность же графиков  $\Delta r_{\max} = f(D_{\text{фр}})$  для различных диаметров резьб, в относительно небольшом диапазоне, позволяет определить возможность обработки одним определенным диаметром охватывающей резьбофрезы набор наружных резьб.

Выводы:

1. При резьбофрезеровании полученный профиль резьбы не совпадает с теоретическим, т.е. средний диаметр полученной резьбы уменьшается по отношению к теоретическому на величину геометрической погрешности профиля нарезаемой резьбы.

Из анализа графиков следует:

2. На величину разбивки профиля большое влияние оказывает шаг резьбы (рис. 4), поскольку с увеличением шага увеличивается угол подъема резьбы и, следовательно, степень подреза профиля.

3. Значительное влияние оказывает соотношение диаметров охватывающей резьбофрезы и наружного диаметра резьбы (рис. 5), чем оно ближе к единице, тем больше разбивка, поскольку увеличивается угол контакта инструмента и нарезаемой резьбы.

**Список литературы:**

1. Мальков О.В, Литвиненко А.В. Выбор наружного диаметра резьбовой части сверлорезьбофрезы // Вестник МГТУ. Машиностроение.- 1997.- №3.- С. 78-84.