

К ВОПРОСУ ОБ ИСКАЖЕНИИ ПРОФИЛЯ ВНУТРЕННЕЙ РЕЗЬБЫ, ЗАВИСЯЩЕМ ОТ КИНЕМАТИКИ ПРОЦЕССА РЕЗЬБООБРАЗОВАНИЯ

К. С. Теплинский

Автором был разработан и предложен новый метод изготовления внутренних резьб без снятия стружки — путем пластической деформации металла изделия¹.

Изложим кратко сущность метода. Инструмент *A* (рис. 1), представляющий собой резьбовой стержень, наружный диаметр которого меньше диаметра отверстия под резьбу в детали *B* (внутреннего диаметра резьбы) с шагом и профилем резьбы таким же как и у изделия, вводить в отверстие на длину накатываемой резьбы соосно с ним или так, чтобы их оси были параллельны между собой (последнее зависит от соотношения диаметров резьбы изделия и инструмента). Затем инструменту сообщают поступательное движение, при котором центр его *O* совершает относительно оси отверстия *O'* движение по архимедовой спирали. При этом точки *I*, *II*, *III* и *IV*, лежащие на винтовой линии вершин профиля резьбовой нити инструмента, последовательно вступают в контакт с соответствующими точками *1*, *2*, *3* и *4*, лежащими на поверхности отверстия.

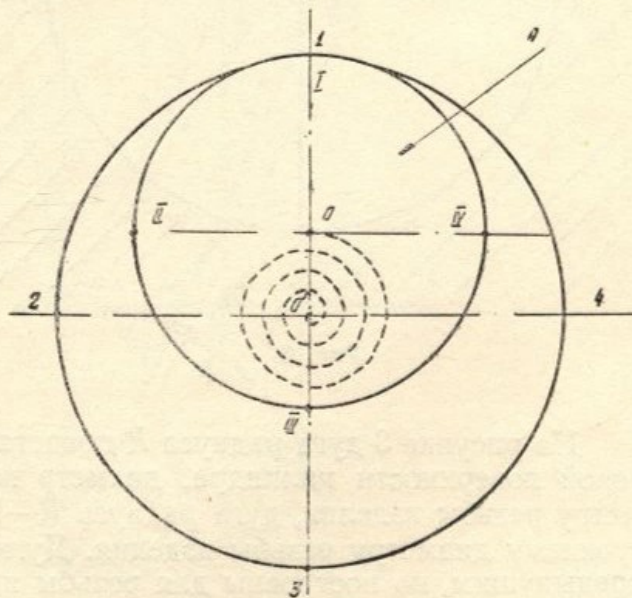


Рис. 1.

В результате такого движения инструмента резьбовые нити его постепенно внедряются в металл изделия и образуют на поверхности отверстия резьбу.

Осевого перемещения в процесс резьбообразования ни инструмент, ни изделие не совершают. Рассмотренная схема относится к образованию резьб в неподвижных деталях.

Если дать вращение и детали и инструменту вокруг своих осей с одним и тем же числом оборотов *n* в минуту в одну и ту же или в

¹ Авторское свидетельство № 100427.

разные стороны, при одновременном вдавливании ниток инструмента в изделие, получим резьбу на вращающихся деталях (рис. 2).

Одним из существенных преимуществ рассматриваемого метода является возможность резьбообразования одним и тем же инструментом резьб одного и того же шага, но значительно отличающихся своими диаметрами. При большом различии размеров резьб изделия и инструмента следовало бы ожидать большого искажения профиля резьбы изделия из-за различия в углах подъема винтовых линий.

Ниже приводятся результаты исследований, посвященных выяснению данного вопроса. При исследовании не рассматривались возможные искажения профиля резьбы, зависящие от упругих деформаций материалов

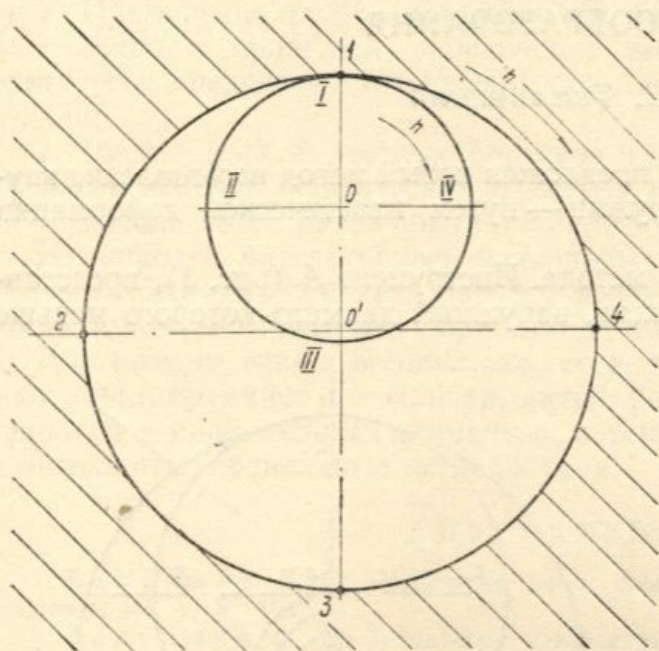


Рис. 2.

инструмента станка и изделия, а исследованию были подвергнуты возможные искажения профиля резьбы изделия, зависящие от специфики кинематики процесса.

Известно, что у метрических резьб углы подъема винтовых линий по своей величине значительно меньше угла профиля этих резьб. Результаты данного исследования показывают, что при изготовлении внутренних резьб предложенным методом, инструментом, диаметр которого значительно меньше диаметра, искажение профиля получается незначительное, не имеющее практического значения.

На рисунке 3 дуга радиуса R представляет собой проекцию части боковой поверхности цилиндра, диаметр которого равен наружному диаметру резьбы изделия, дуга радиуса $R-h$ то же, но соответственно внутреннему диаметру резьбы изделия. Дуги радиусов r и $r-h$ аналогичны предыдущим, но построены для резьбы инструмента. Для упрощения задачи исследования профили резьбы изделия и инструмента принимаем остроугольными, без притупления.

Для метрической резьбы профили в диаметральном сечении на инструменте и изделии одного и того же шага одинаковые и представляют собой равносторонние треугольники.

Рассмотрим положение инструмента в изделии, когда центр его находится в точке O на окружности радиуса $R-r$ (рис. 3). Допустим, что это положение инструмента достигнуто радиальным перемещением центра инструмента O при наличии в изделии точной резьбы. Рассматриваемое положение инструмента относительно изделия получается в конце радиальной подачи, когда происходит калибрование резьбы.

Очевидно, что только в диаметральном сечении, проходящем через точку A , точку касания наружных окружностей витков инструмента и изделия и ось инструмента O , профили резьбы инструмента и изделия будут совпадать; в любом другом сечении такое совпадение невозможно

мещении инструмента. Покажем, что этим геометрическим местом точек будет служить дуга mBn окружности радиуса $R-r$ (рис. 3).

Поскольку центр инструмента движется по окружности радиуса $R-r$, при отсутствии вращения инструмента вокруг этого центра, любая точка инструмента также движется по окружности радиуса $R-r$, имеющей центр в соответствующем месте.

На проекции витков инструмента на плоскость, перпендикулярную осям изделия и инструмента, через некоторые точки $a_1 - a_2; b_1 - b_2; c_1 - c_2; a'_1 - a'_2; b'_1 - b'_2; c'_2 - c'_2$ проведем параллельные между собой

вертикальные плоскости, секущие витки инструмента на равном расстоянии друг от друга.

Сечения витков инструмента в проведенных плоскостях, расположенных слева от AB , при перемещении оси инструмента по часовой стрелке будут поочередно совмещаться с плоскостью AB изделия. Сечения витков инструмента, находящиеся по правую сторону от линии AB , при соответствующих предыдущих положениях оси инструмента также совмещались с плоскостью AB . Остальная часть проекции кольца — витка инструмента, следовательно, не будет проходить через сечение изделия полного

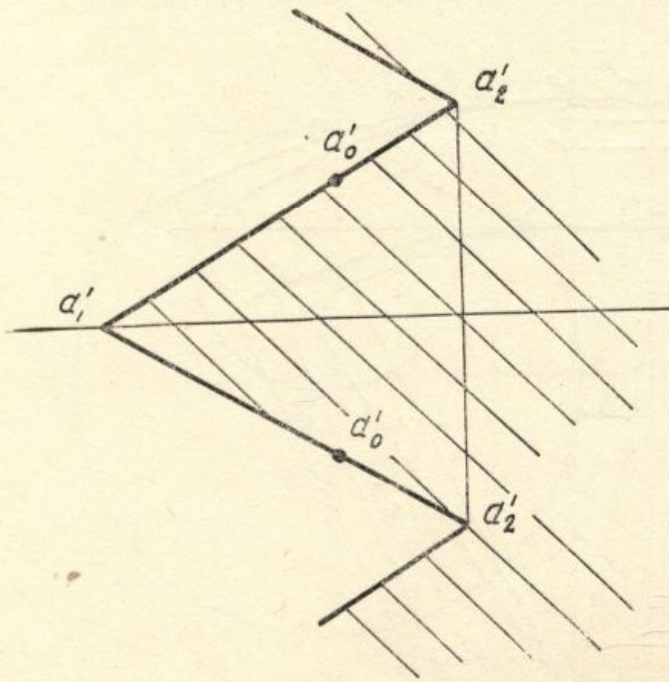


Рис. 1.

профиля. При перемещении центра инструмента по окружности радиуса $R-r$ секущая плоскость $a'_1 - a'_2$ будет находиться в плоскости AB в момент, когда центр инструмента переместится из точки O в точку a_0 . Для нахождения точки профиля инструмента сечения $a'_1 - a'_2$, проходящей на рассматриваемой проекции витков изделия через точку B , проведем касательные NM и PT к окружностям радиуса $R-h$ и $R-r$.

Взяв отрезок $1\bar{a}_0$, равный расстоянию от PT до точки a_0 , и отложив его от касательной NM по направлению к точке a'_1 , получим точку a'_0 , изображающую проекцию двух точек, расположенных по разные стороны профиля витка инструмента (рис. 4) в секущей плоскости $a'_1 - a'_2$, указанные точки a'_0 при совмещении плоскости $a'_1 - a'_2$ с плоскостью AB совпадут с точкой B .

Таким же образом определим положение точек b'_0 и c'_0 . Как видно из рисунка 3, точки a'_0 , b'_0 и c'_0 расположены на окружности радиуса $R-r$ с центром в O'' . Через сечение профиля изделия AB будет проходить часть витка резьбы инструмента, ограниченная с одной стороны дугой окружности радиуса r с центром в O , а с другой — окружности радиуса $R-r$ с центром в O'' .

Если рассмотреть картину в радиальном сечении изделия в момент совмещения с ним различных сечений инструмента (указанные выше

$a_1 - a_2; b_1 - b_2; c_1 - c_2; a'_1 - a'_2; b'_1 - b'_2$ и т. д.), то станет ясным вопрос об искажении профиля резьбы изделия. Если любая пара точек, расположенных на разных сторонах сечения профиля витка инструмента, проходит через плоскость полного профиля резьбы изделия в сечении AB , не выходя за его пределы, то эти точки инструмента искажать профиль резьбы изделия не будут; если же они выходят за стороны профиля, то искажение профиля резьбы изделия будет.

Для определения взаимного расположения профилей VAB изделия и профилей инструмента в сечениях $a'_1 - a'_2, b'_1 - b'_2$ и т. д. при совмещении последних с плоскостью профиля VAB найдем:

1) положение вершин a'_1, b'_1 и т. д. профиль резьбы инструмента в момент вышеуказанного последовательного совмещения плоскостей $a'_1 - a'_2, b'_1 - b'_2$ и т. д. с плоскостью VAB профиля резьбы изделия;

2) положения сторон профиля сечения витка инструмента $a'_1 - a'_2, b'_1 - b'_2$; и т. д. в указанном положении совмещения.

Точки инструмента, лежащие на вершине витка резьбы, расположенные на дуге mAn слева от сечения AB (рис. 3), придя в сечение VAB (см. 5), займут положение относительно биссекторной плоскости $A - A$, профиля VAB резьбы изделия, определяемое величиной подъема винтовой линии.

Подъем винтовой линии

$$Z_i = \frac{S}{2\pi} \psi_i,$$

где S — шаг резьбы в мм, а ψ_i — угол в радианах, на который отклонен луч Oa_i от радиуса OB (рис. 3). Одновременно с этим рассматриваемая точка на вершине витка инструмента, придя в сечение VAB , будет удалена от точки A в радиальном направлении к центру изделия вследствие перемещения центра инструмента по окружности радиуса $R - r$.

При совмещении сечения $a'_1 - a'_2$ с сечением VAB точка a'_1 будет находиться от точки A на расстоянии, равном сумме отрезков $\overline{A1'}$ и $\overline{1a_0}$. Отрезок $\overline{A1'}$ — превышение точки A (вершина резьбы) изделия над точкой a'_1 (вершины резьбы) инструмента. Отрезок $\overline{1a_0}$ — это смещение вниз оси инструмента относительно касательной PT за время перемещения инструмента $a'_1 - a'_2$ в плоскость сечения VAB изделия.

При совмещении сечений $b'_1 - b'_2$ и VAB точка b'_1 будет удалена от точки A на расстояние, равное сумме отрезков $\overline{A'_2}$ и $\overline{2b_0}$, точка c'_1 , придя в сечение VAB , будет находиться от точки A на расстоянии, равном сумме отрезков $\overline{A3'}$ и $\overline{3c_0}$.

Аналогично этому может быть определено положение каждой пары точек, лежащих на противоположных сторонах сечений $a'_1 - a'_2$ и т. д. витка резьбы инструмента.

Проекция всех точек x профиля инструмента, лежащих на дуге mBn радиуса $R - r$ (рис. 5), при соответствующем положении оси инструмента будут совмещаться с точкой B .

На рисунке 6 взята произвольная точка x на дуге mBn . Определим для нее Z_x , аналогичное предыдущему Z_i . Напишем уравнение, связывающее расстояние этой точки до центра O инструмента с ψ_x — углом отклонения луча Ox от плоскости AB .

$$(R - r)^2 = \rho_x^2 + (R - h)^2 - 2\rho_x(R - h) \cos \psi_x, \quad (1)$$

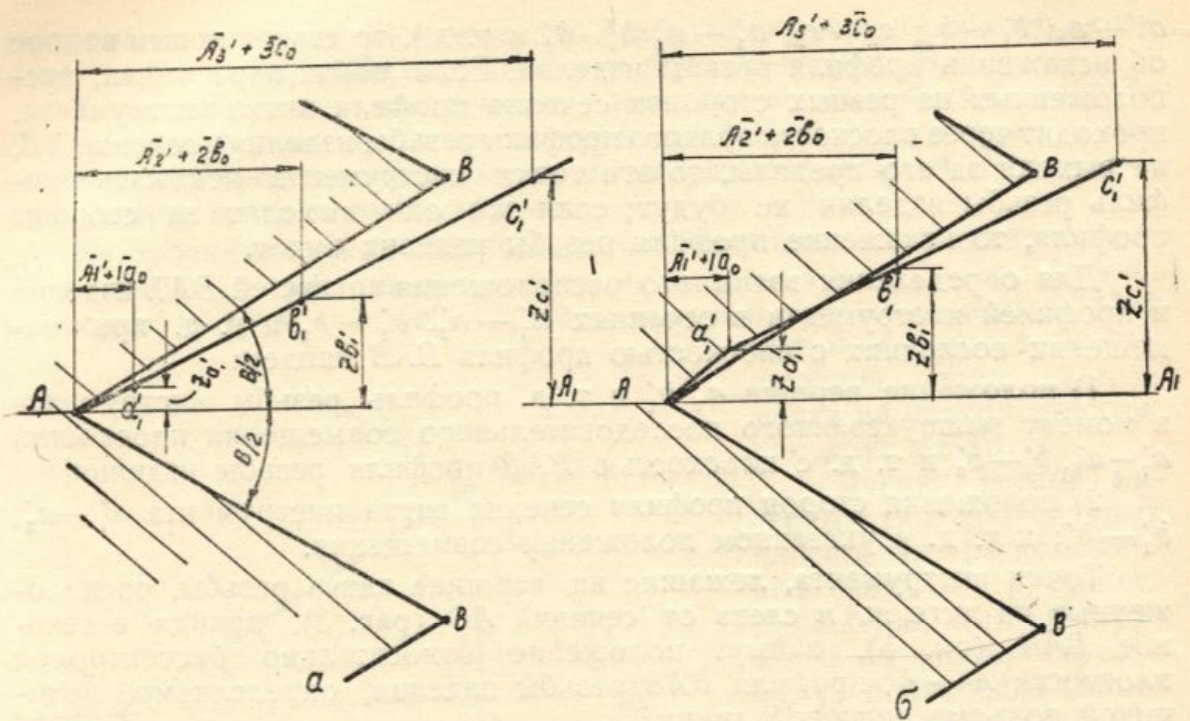


Рис. 5.

откуда

$$\rho_x = \cos \psi_x (R - h) \pm \sqrt{\cos^2 \psi_x (R - h)^2 - (R - h)^2 + (R - r)^2}. \quad (2)$$

Так как ρ_x не может быть больше r , то подкоренное выражение берем со знаком минус и уравнение (2) переписывается так:

$$\rho_x = \cos \psi_x (R - h) - \sqrt{(R - r)^2 - (R - h)^2 \sin^2 \psi_x}. \quad (3)$$

Угол ψ_x изменяется от 0 до ψ_0 , достигая значения ψ_0 при $\rho_x = r$.

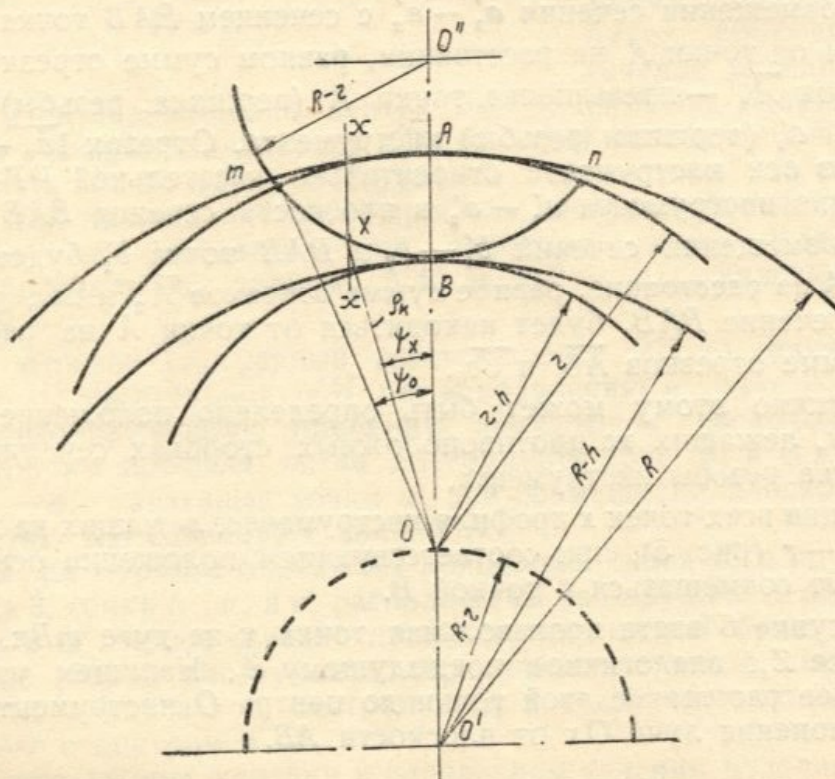


Рис. 6.

Определим значение ψ_0 из уравнения:

$$\cos \psi_0 = \frac{r^2 + (R - h)^2 - (R - r)^2}{2r(R - h)} = \frac{2R(r - h) + h^2}{2r(R - h)}. \quad (4)$$

Задавшись различными значениями ψ_x в пределах угла ψ_0 , определим Z_x — расстояния двух точек разных сторон профиля резьбы витка инструмента от биссекторной плоскости AA , сечения AB изделия, при совмещении сечения XX витка инструмента с плоскостью AB , при условии, что точка x , расположенная на дуге mBn радиуса $R - r$, является проекцией двух рассматриваемых точек.

$$Z_x = (r - \rho_x) \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \pm \frac{s}{2\pi} \psi_x,$$

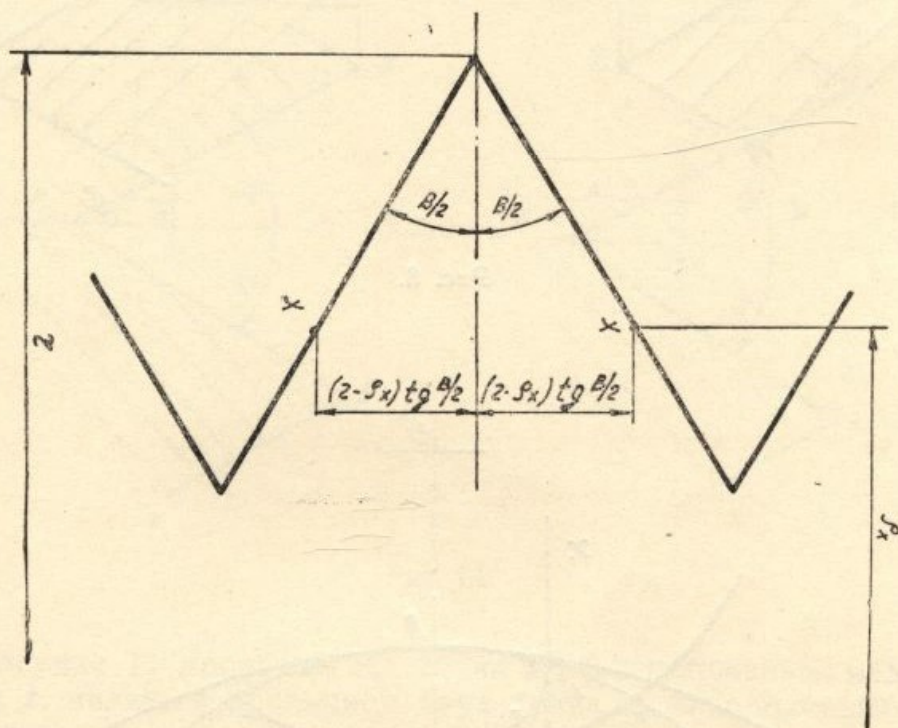


Рис. 7.

где $(r - \rho_x) \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$ определяет положение двух точек профиля витка инструмента, лежащих на дуге mBn в сечении, проведенном через ρ_x под углом ψ_x относительно биссекторной плоскости профиля витка резьбы инструмента (рис. 7).

Если накатывается правая резьба и инструмент движется по часовой стрелке, то при совмещении точек x , расположенных слева от AB , с точкой B (рис. 6) две точки витка инструмента, расположенные на разных сторонах профиля его, проекцией которых является точка x , займут относительно профиля BAV резьбы изделия положение a или b , указанное на рисунке 8.

Точки, лежащие на дуге mAn радиуса r (рис. 9), являются вершинами профиля резьбы инструмента.

Превышение или понижение этих точек относительно биссекторной плоскости AA_1 профиля резьбы изделия в сечении AB определится по формуле

$$Z'_x = \frac{s}{2\pi} \psi'_x.$$

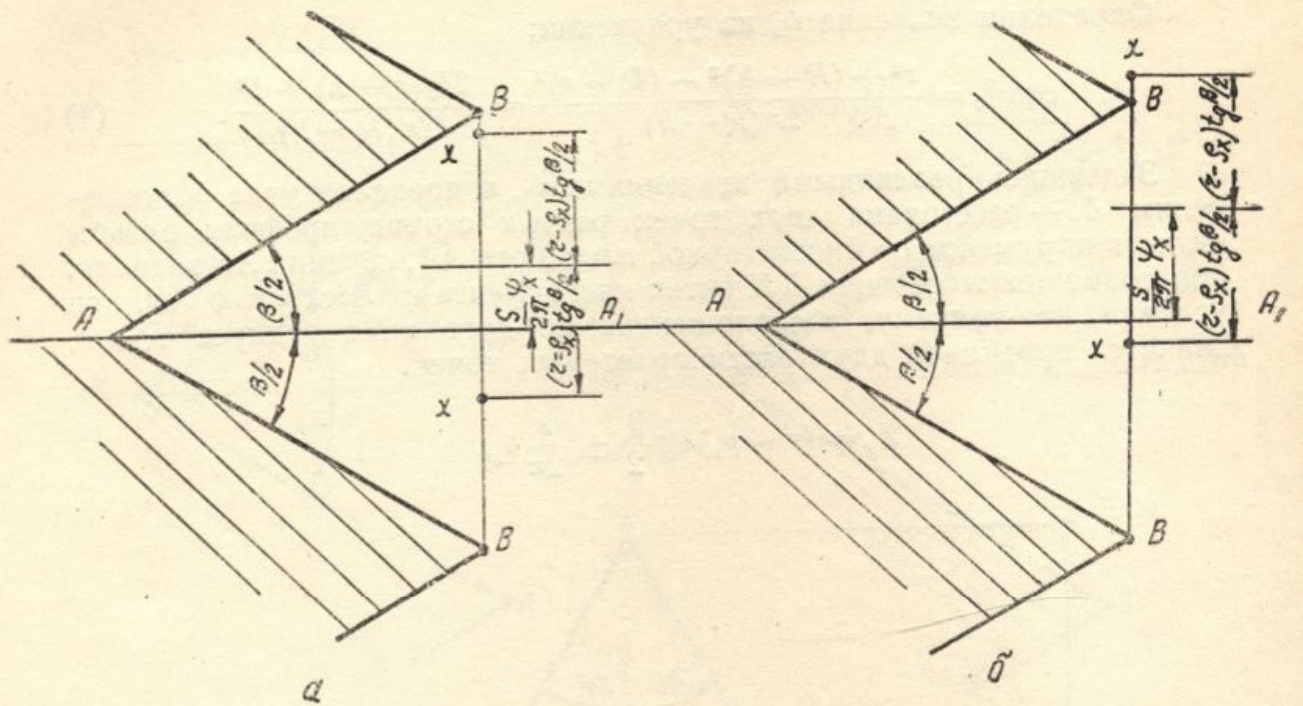


Рис. 8.

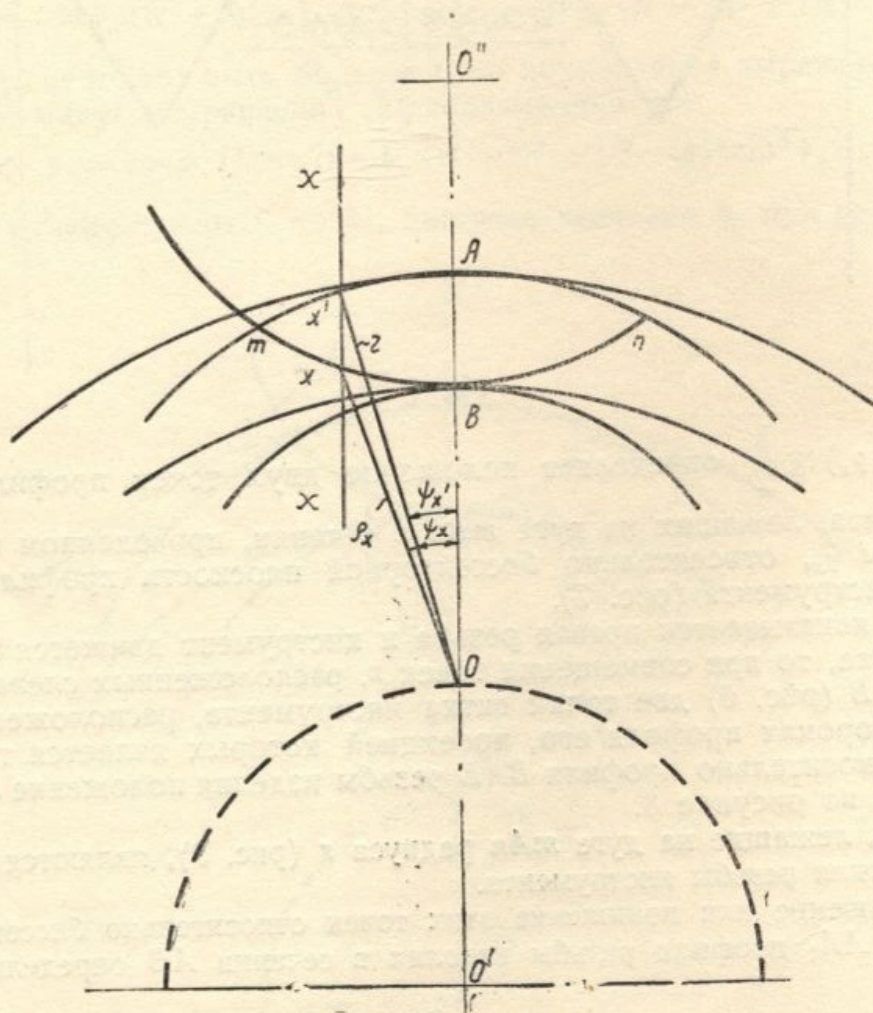


Рис. 9.

Угол ψ'_x определится из соотношения $\frac{\rho_x}{r} = \frac{\sin \psi'_x}{\sin \psi_x}$,
откуда

$$\sin \psi'_x = \frac{\rho_x \sin \psi_x}{r}.$$

Точка x , лежащая на дуге mBn , при совмещении сечения $X-X$ с AB совпадает с точкой B , а точка x' будет удалена от точки B на величину отрезка $\overline{x'x}$.

Величина отрезка $\overline{X'X}$ определится из уравнения: $\overline{x'x} = r \cos \psi_x^a - \rho_x \cos \psi_x$ (рис. 10, положение a или b).

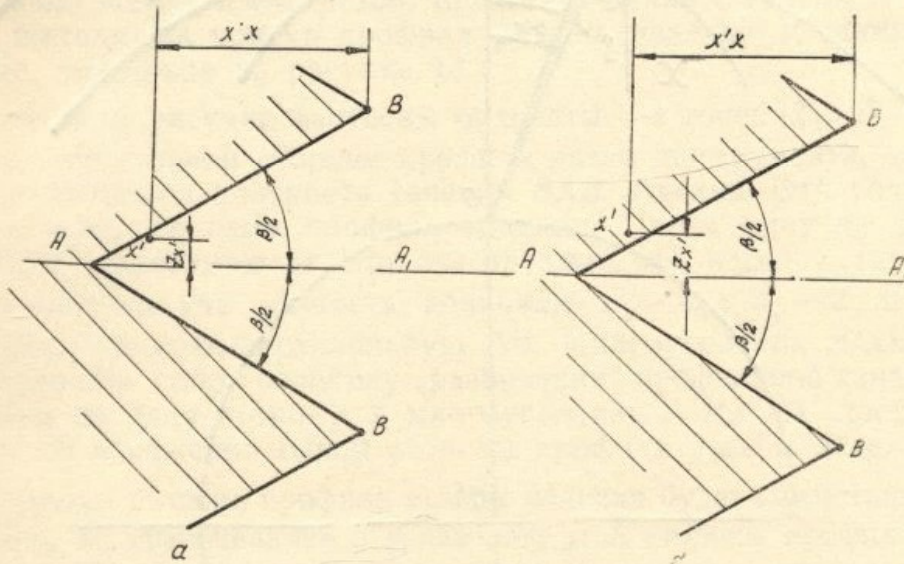


Рис. 10.

На рисунке 11 произвольная точка x'' , расположенная между точками x' и x , является проекцией двух точек противоположных сторон профиля сечения витка инструмента. Для определения положения этих точек относительно биссекторной плоскости AA , сечения AB изделия при совмещении сечения XX витка инструмента с AB произведем некоторые вычисления.

Пусть точка x'' находится на расстоянии $\frac{\overline{x'x}}{n} = \overline{xx_n}$ от точки x

Определим расстояние от точки x'' до точки O , обозначенное ρ_x'' , а также ψ'_x угол отклонения луча ρ_x'' от AB . Из рисунка 11 имеем:

$$y = \rho_x \sin \psi_x$$

$$y = \rho_x'' \sin \psi'_x$$

$$\rho_x'' = \sqrt{\rho_x^2 \sin^2 \psi_x + \rho_x \cos \psi_x + \overline{xx_n}^2}.$$

Расстояния двух точек витка инструмента, расположенных на разных сторонах профиля его, проекцией которых является точка x'' , от биссекторной плоскости AA_1 сечения BAB изделия определится из уравнения (рис. 12, положение a или b):

$$Z_x'' = (r - \rho_x'') \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \pm \frac{S}{2\pi} \psi_x''.$$

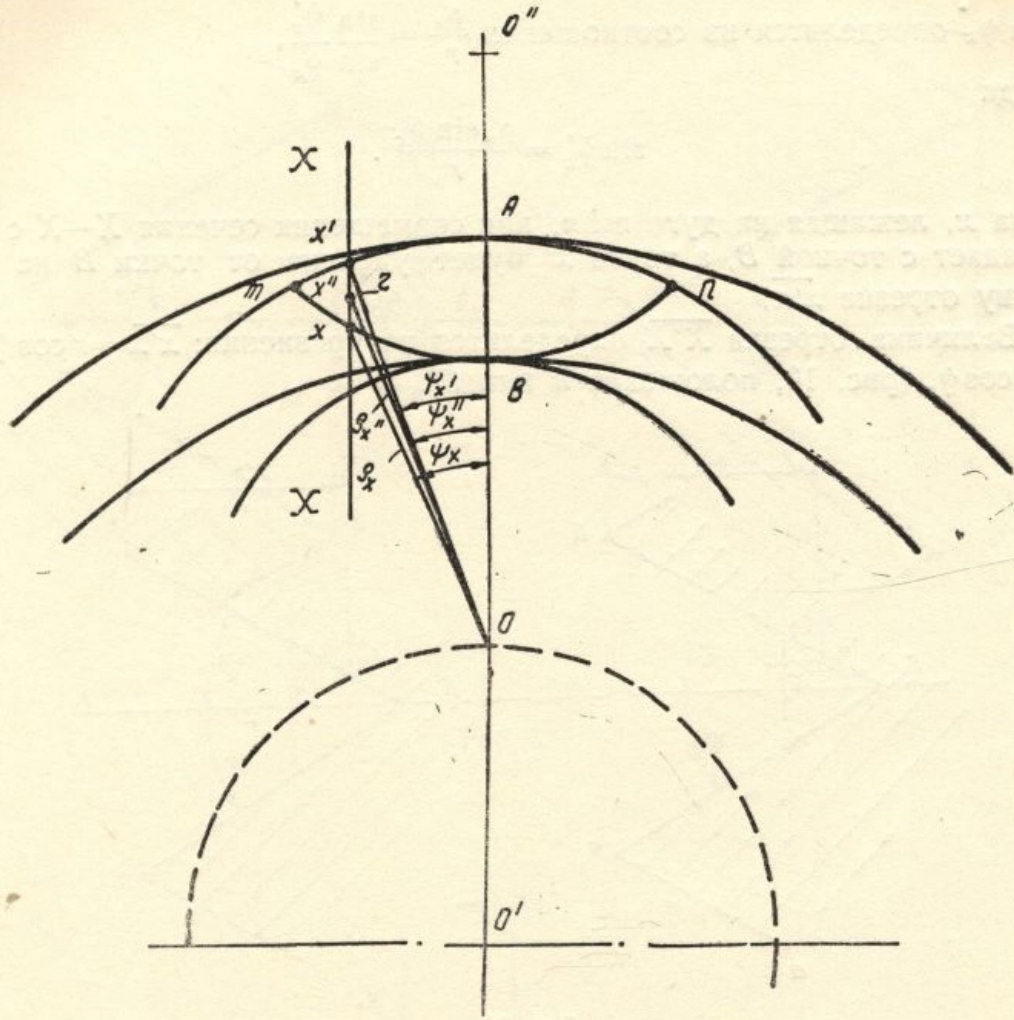


Рис. 11.

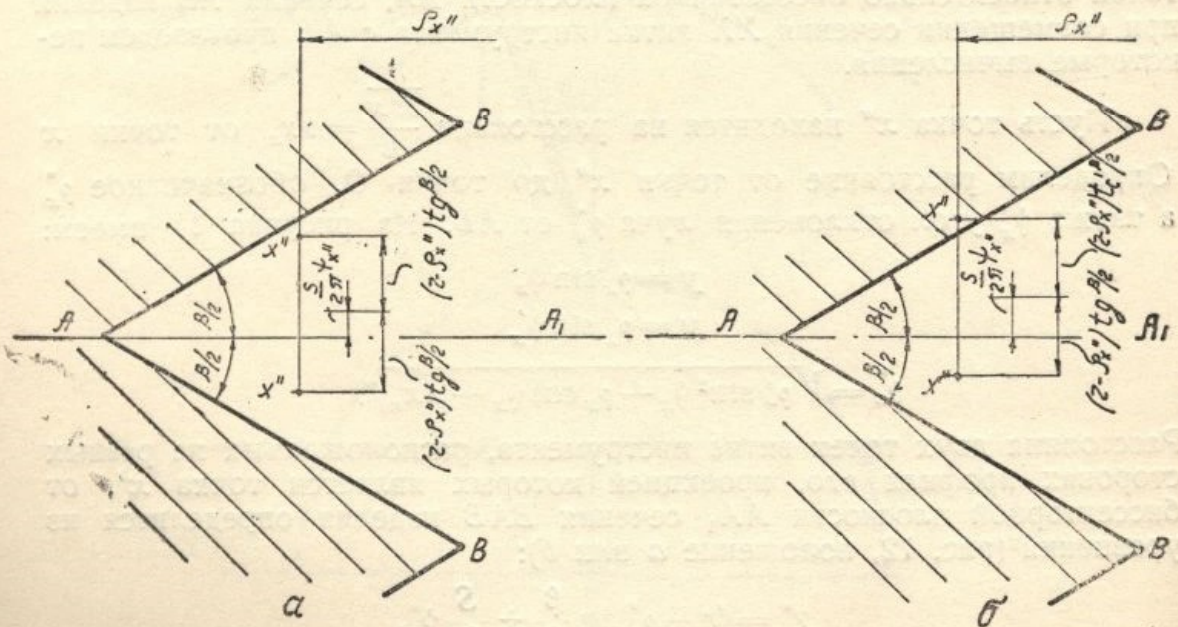


Рис. 12.

На основании выведенных формул был произведен подсчет возможных искажений профиля резьбы изделия, зависящих от специфики кинематики исследуемого процесса. Подсчет был произведен для метрических резьб $22 \times 1,5$; $38 \times 1,5$; $54 \times 1,5$; $72 \times 1,5$ при накатывании их одним и тем же инструментом, наружный диаметр которого был $d_0 = 18$ мм и шаг резьбы $S = 1,5$ мм.

Подсчитанные величины сведены в таблицу, из которой видно, что одна из каждой двух точек витка инструмента, расположенных по разные стороны профиля его, проекциями которых являются: точка x на дуге mBn и точка x'' , а также точка x' , расположенная на дуге mAn (рис. 11) при малых углах ψ_x , не превышающих 5° для рассмотренных нами метрических резьб, при совмещении с сечением BAB изделия, выходят за контур профиля резьбы изделия и занимают положение, указанное на рисунке 13.

На этом рисунке нанесены ординаты 3-х точек (Z_x , Z'_x и Z''_x), принадлежащих одной стороне профиля витка инструмента, отложенных от биссекторной плоскости сечения BAB изделия. Эти точки инструмента будут точками профиля изделия. Через одну из этих точек, наименее удаленную от стороны профиля AB изделия (это удаление отсчитывается как разность величины $Z_x - Z_{0x}$; $Z''_x - Z'_x$ и $Z'_x - Z'_{0x}$), проведем прямую, параллельную AB . Многоугольник $A'xVA'A'$ будет представлять собой величину „разбивания“ профильной канавки резьбы изделия на одну сторону, а многоугольник $A'x'x''xA'$ дает представление об искажении одной стороны профиля резьбы изделия.

Другая сторона профиля резьбы изделия будет симметрична рассмотренной, но «разбивание» и искажение этой стороны профиля будет вызывать часть витка инструмента, расположенная справа от AB . На рисунке 3 это будет часть витка инструмента $ABnA$.

На рисунке 13 Z'_{0x} ; Z''_{0x} ; Z_{0x} — расстояния точек теоретического профиля резьбы изделия от биссекторной плоскости AA_1 сечения BAB изделия; Z'_x ; Z''_x ; Z_x — расстояния точек инструмента x' ; x'' и x от биссекторной плоскости сечения BAB изделия в момент совмещения их с соответствующими точками сечения изделия BAB .

Из приложенной таблицы значений Z'_{0x} ; Z''_{0x} ; Z_{0x} ; Z'_x ; Z''_x и Z_x видно, что даже при отношении $\frac{d_0 \text{ инструмента}}{D_0 \text{ изделия}} = \frac{1}{4}$ „разбивание“ профильной канавки резьбы изделия на одну сторону не больше 4,3 микрона. Это „разбивание“ без каких-либо затруднений может быть устранено за счет некоторого прослабления среднего диаметра резьбы инструмента.

Искажение профиля, как это вытекает из проведенных исследований, для рассмотренных нами метрических резьбы не превышает одного микрона.

На основании изложенного можно сделать вывод, что при изготовлении внутренних резьб предложенным методом искажений профиля резьбы изделия, зависящих от специфики кинематики процесса, практически нет.

В этом заключается одно из больших технологических преимуществ предлагаемого нами метода образования внутренних резьб.

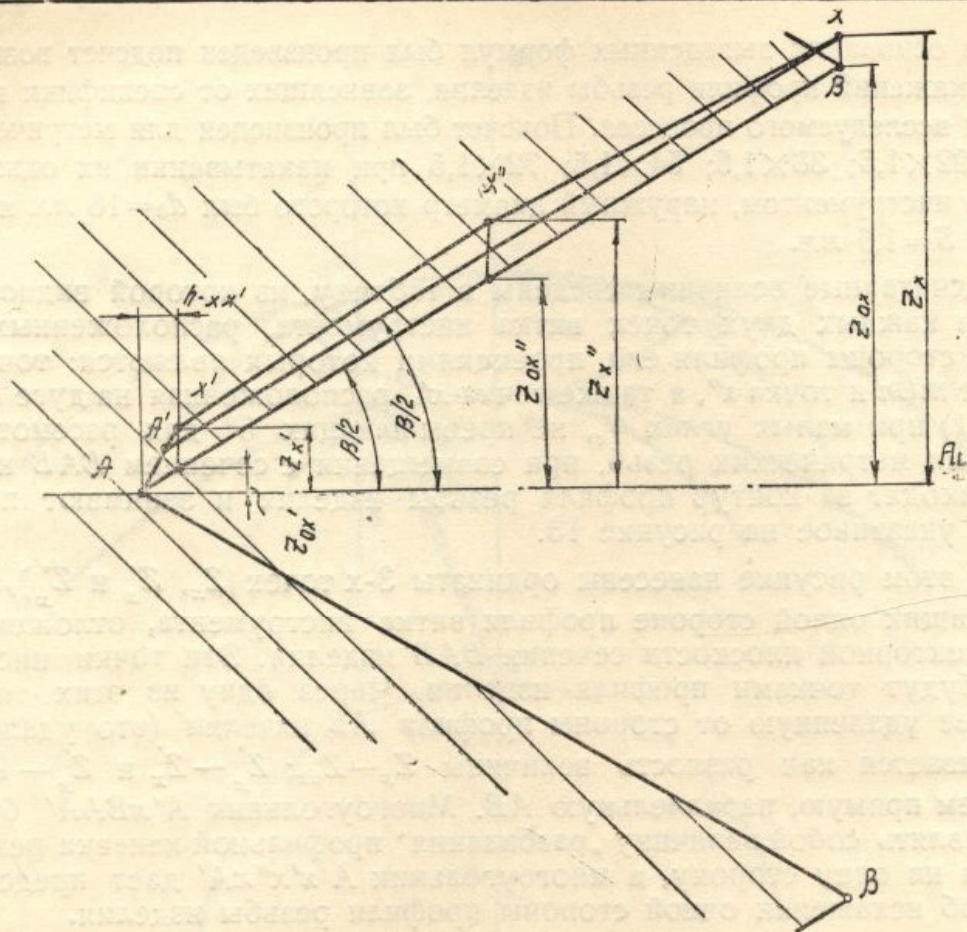


Рис. 13

Значения координат Z'_x ; Z''_x ; Z_x и соответствующих им координат теоретического профиля резьбы изделия — Z'_{0x} ; Z''_{0x} и Z_{0x}

ψ_x^0	Z'_{0x} мм	Z'_x мм	Превы- шение Z''_x над Z'_{0x} в μ	Z''_{0x} мм	Z''_x мм	Превы- шение Z''_x над Z''_{0x} в μ	Z_{x0} мм	Z_x мм	Превы- шение Z_x над Z_{0x} в μ
------------	-----------------	--------------	---	------------------	---------------	--	----------------	----------	--

d_0 инструмента = 18 мм D_0 изделия = 22

1	0,003	0,0035	0,5	0,37648	0,3771	0,5	0,75	0,75086	0,86
2	0,0128	0,0071	0	0,3814	0,3797	0	0,75	0,7449	0

d_0 инструмента = 18 D_0 изделия = 38

1	0,001	0,0035	2,5	0,3754	0,3781	2,7	0,75	0,7528	2,8
2	0,0043	0,0071	2,8	0,3771	0,3801	3	0,75	0,7536	3,6
3	0,0089	0,0106	1,7	0,3794	0,3809	1,5	0,75	0,7515	1,5
4	0,0176	0,01441	0	0,3837	0,3813	0	0,75	0,7482	0

d_0 инструмента = 18 D_0 изделия = 54

1	0,0008	0,0035	2,7	0,3754	0,378	2,6	0,75	0,75306	3,06
2	0,0034	0,0071	3,7	0,3766	0,380	4,2	0,75	0,7543	4,3
3	0,0077	0,0106	2,9	0,3778	0,3812	3,4	0,75	0,7537	3,7
4	0,0136	0,0141	0,5	0,3817	0,3815	0	0,75	0,7511	1,1
5	0,0284	0,0181	0				0,75	0,7459	0

d_0 инструмента = 18 D_0 изделия = 72

1	0,0008	0,0035	2,7	0,3753	0,3772	1,9	0,75	0,75306	3
2	0,0028	0,0071	4,3	0,3764	0,3813	4,9	0,75	0,7549	4,9
3	0,0069	0,0106	3,7	0,3784	0,3820	3,6	0,75	0,7544	4,4
4	0,0123	0,01428	1,9	0,3811	0,3835	2,4	0,75	0,75264	2,6
5							0,75	0,7486	0