

УДК 621.882

Ф.Н. Канареев, доцент, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053

root@sevgtu.sebastopol.ua

ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ КРУЧЕНИЯ РАБОЧЕЙ ЧАСТИ МЕТЧИКОВ НА ТОЧНОСТЬ ВНУТРЕННИХ РЕЗЬБ МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ (М2...М6)

Анализируются деформации рабочей части метчиков (М2...М6), их влияние на точность получаемых резьб.

Ключевые слова: метчик, погрешность, кручение.

В.В. Матвеевым [1] разработаны основы теории точности обработки резьб машинными метчиками. Для установления связей между размерами получаемой резьбы и различными технологическими факторами принята гипотеза «переноса» размеров рабочей части метчика при осуществлении процесса резания с учетом упругих и температурных деформаций.

Приведенный средний диаметр резьбового отверстия определяется через обобщенные факторы по следующей зависимости:

$$d_{np.p.} = D_{\Pi} + \sqrt[3]{732\Delta P_1 + \Delta P_2} - \sqrt[3]{732\Delta l + \Delta d}, \quad (1)$$

где $d_{np.p.}$ – приведенный средний диаметр резьбового отверстия; D_{Π} – производящий средний диаметр метчика; ΔP_1 – погрешность перемещения любой точки, лежащей на поверхности метчика, измеренная в осевом направлении; ΔP_2 – погрешность перемещения любой точки, лежащей на поверхности метчика, измеренная в диаметральной плоскости; Δl – деформация резьбового отверстия, измеренная вдоль оси; Δd – деформация резьбового отверстия диаметрально.

При рассмотрении связей обобщенных факторов с исходными определена качественная, а затем и количественная связь. Такой подход позволяет прогнозировать точность резьбовых отверстий и производить разработку практических рекомендаций.

Производящий средний диаметр метчика D_{Π} определяется собственно средним диаметром резьбы рабочей части метчика, отклонениями шага резьбы от номинального значения, отклонениями половины углов профиля от номинала, а также от величин упругих и тепловых деформаций:

$$D_{\Pi} = d_{cp} + \Delta d_1 - \Delta d_2 + \Delta d_3 + \Delta d_4 + \Delta d_5, \quad (2)$$

где d_{cp} – фактический средний диаметр резьбы метчика; Δd_1 – приращения среднего диаметра за счет погрешностей шагов метчика; Δd_2 – убывание среднего диаметра за счет погрешностей углов профиля метчика; Δd_3 – приращение среднего диаметра за счет деформации от кручения метчика (депланация поперечного сечения); Δd_4 – приращение среднего диаметра за счет деформаций изгиба метчика (растяжка и сжатие шагов при изгибе); Δd_5 – приращение от тепловых деформаций.

Величины d_{cp} , Δd_1 и Δd_2 определяют исходную геометрию рабочей части метчика и могут быть учтены, а допуски на них должны обеспечиваться при изготовлении метчиков.

При «ввинчивании» метчика в обрабатываемое отверстие на его рабочие поверхности действуют силы сопротивления со стороны обрабатываемого материала. Рабочая часть метчика испытывает деформации кручения и изгиба, в результате чего исходная геометрия рабочей части изменяется. При скручивании метчика поперечное сечение претерпевает депланацию, зубья рабочей части поворачиваются. Угол подъема резьбы в пределах зуба изменяется и не соответствует расчетному, зубья калибрующего участка расширяют профиль нарезаемой резьбы, что приводит к увеличению производящего среднего диаметра на величину Δd_3 , которая определяется по следующей зависимости:

$$\Delta d_3 = 1,732W_{\psi}, \quad (3)$$

где W_{ψ} – наибольшая величина депланации.

Для трехперых метчиков [1]:

$$W_{\psi} = 190 \frac{M_{кр}}{10^3 \cdot R^2}, \quad (4)$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент, Н·м; R – внутренний радиус резьбы метчика, мм.

Вычисления, проведенные по формуле (4) показывают, что величина депланации для метчика М12 составляет 0,000217 мм, для метчика М4 – 0,0172 мм, то есть в 7,9 раза больше. Приращение приведенного среднего диаметра D_{Π} метчика за счет депланаций составляет $\Delta d_3=0,03$ мм. Величина допуска на средний диаметр резьбового отверстия М4-4Н5Н – 0,075 мм, то есть D_{Π} только за счет депланаций поперечного сечения должно составлять 1/3 поля допуска.

Разработанные основы теории точности механической обработки резьб машинными метчиком универсальны и могут быть использованы при рассмотрении точности внутренних резьб малых диаметров при образовании их режущими и деформирующими метчиками, однако, ряд положений требует уточнения и развития.

Целью настоящих исследований является установление взаимосвязи между деформацией кручения рабочей части метчиков и точностью резьбовых отверстий.

Для обеспечения требуемой точности внутренних резьб необходимо, чтобы геометрия (форма и расположение кромок зубьев) рабочей части и параметры её движения являлись функциями координат номинальной резьбовой поверхности детали.

Номинальная резьбовая поверхность детали предопределяет два движения метчика: вращение вокруг своей оси и поступательное движение вдоль нее. Метчик должен перемещаться с требуемым постоянным параметром винта. Любому углу поворота должно соответствовать совершенно определенное осевое перемещение.

Рассмотрим механизм образования погрешностей, а соответственно, и увеличения производящего среднего диаметра метчика D_n за счет деформаций кручения его рабочей части.

Примем, что производящие кромки зубьев соответствуют номинальному профилю, а шпиндель станка обеспечивает их перемещение с требуемым параметром винта.

При нарезании резьбы на поверхности зубьев заборного участка со стороны обрабатываемого материала действуют силы сопротивления резанию, в результате чего поперечные сечения рабочей части метчика закручиваются относительно поперечного сечения хвостовика, расположенного в плоскости его защемления. Приблизительно можно принять, что метчик деформируется подобно круглой балке [2]. В этом случае можно использовать гипотезу плоских сечений. На рисунках 1, а, б показан элемент наружной поверхности $abcd$ рабочей части метчика перед резьбонарезанием и в деформированном состоянии $a'b'c'd'$ (рисунок 1, в). Примем, что при деформации линейные размеры элемента остаются постоянными, а изменяются углы из-за смещения стороны cd относительно стороны ab . Отрезок ad переместится в положение $a'd'$, нижнее сечение метчика повернется на больший угол, чем верхнее. Винтовой параметр рабочей части метчика будет отличаться от требуемого винтового параметра номинальной резьбовой поверхности детали, что приводит к появлению погрешностей профиля и размеров резьбовых отверстий.

Если через одноименные точки $A_1, A_2, \dots, A_n$ каждого n -го зуба, принадлежащего передней поверхности пера метчика, и ось метчика провести плоскость $OO'BA_1$, то при скручивании метчика указанная плоскость трансформируется в криволинейную поверхность $OO'BA_1$ (рисунок 2, а), отстоящую от первоначальной плоскости в каждом поперечном сечении на угол ψ_n^k , в общем случае зависящий от величин, действующих на каждом i -ом из участвующих в резании K_p - зубьев крутящих моментов m_i ($i=1, \dots, K_p$), крутильной жесткости и длины различных участков стержня метчика. Величина смещения указанных точек в тангенциальном направлении определится по зависимости:

$$a_n^k = \psi_n^k \frac{d_i}{2}, \quad (5)$$

где d_i – диаметр расположения точек A_i .

Чтобы вернуть точку A'_n в осевую плоскость $OO'BA_1$, в которой измеряется профиль резьбы, необходимо метчик дополнительно повернуть против направления действия сил сопротивления на угол ψ_n^k . Так как все точки на профиле метчика при его "ввинчивании" в обрабатываемый материал в общем случае перемещаются по винтовой линии, шаг которой равен шагу резьбы метчика, точка A'_n на профиле метчика займет положение A''_n (рисунок 2, б). Условная схема возникающих при этом погрешностей профиля по длине образуемой резьбы показана на рисунке 3.

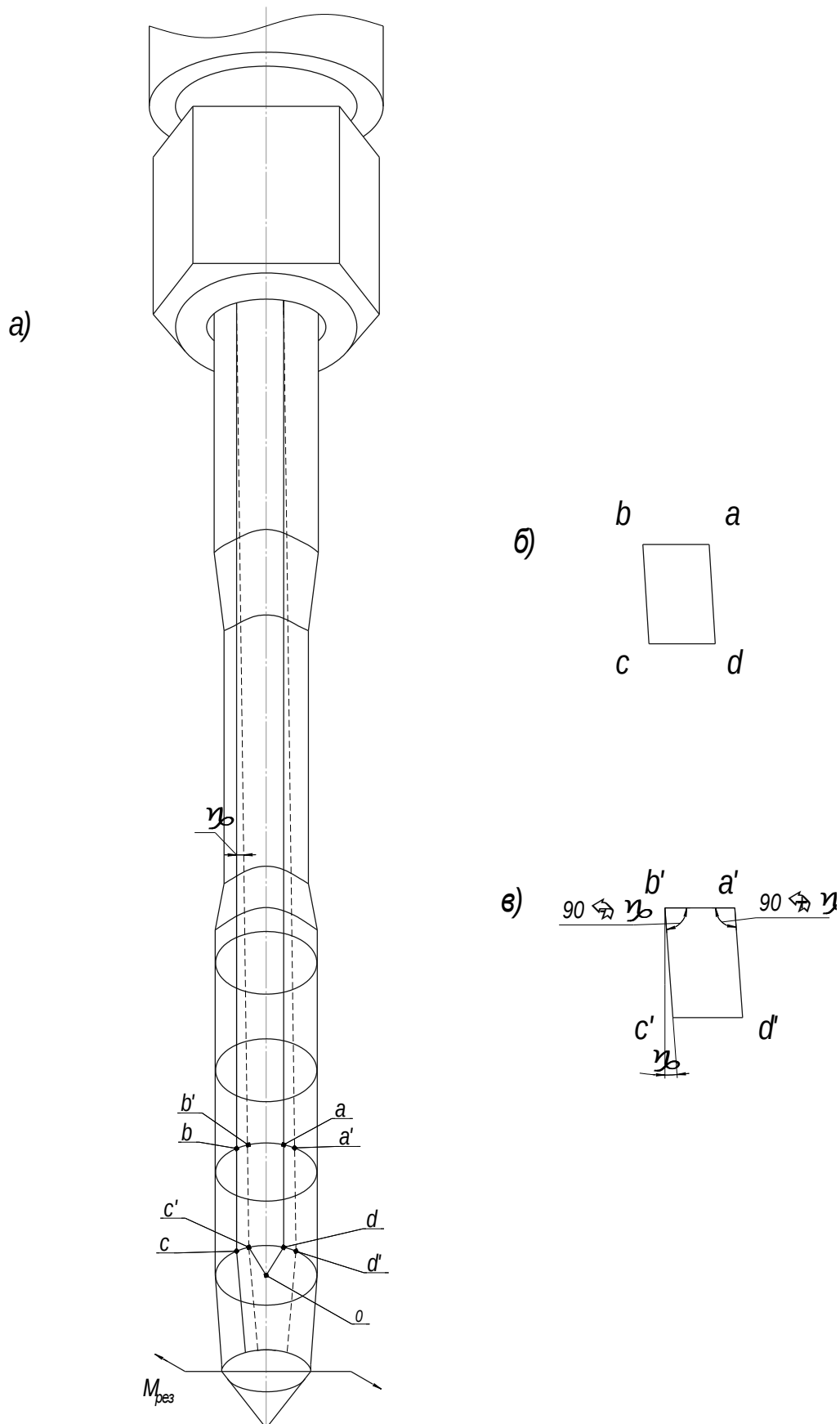


Рисунок 1 – Схема деформаций метчика при резании: а) деформации стержня метчика под действием сил сопротивления резанию; б) элемент наружной поверхности рабочей части перед резбонарезанием; в) элемент наружной поверхности в деформированном состоянии

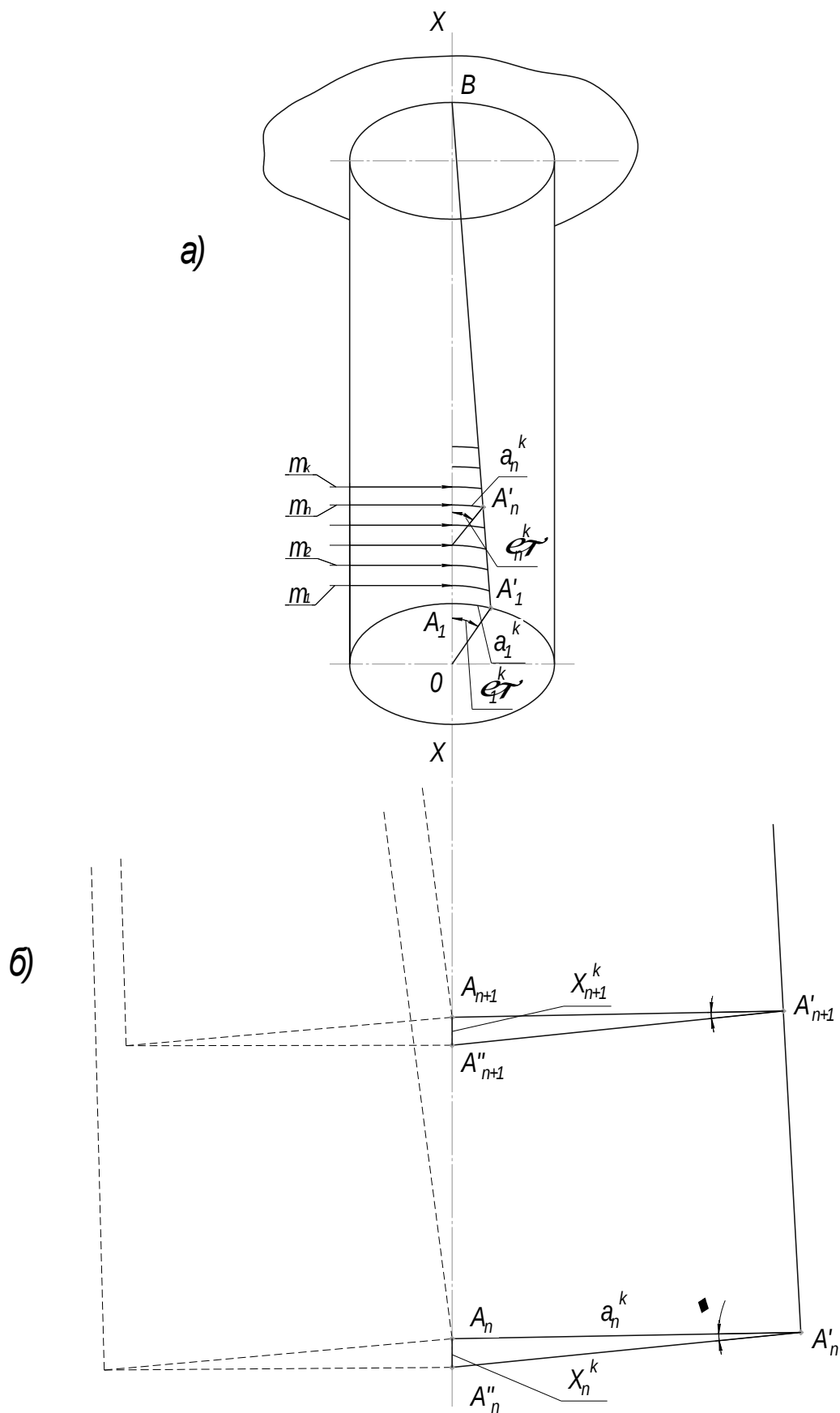


Рисунок 2 – Расчетная схема определения смещения точек профиля резьбы метчика:
 а) в тангенциальном направлении; б) в осевом направлении

Смещение X_n^k точки A_n в положение A'_n вычисляется:

$$X_n^k = a_n^k \operatorname{tg} \gamma_p, \quad (6)$$

где γ_p – угол подъема резьбы метчика на диаметре d_i .

Как известно [3], угол закручивания стержня под действием крутящего момента определяется по зависимости:

$$\psi = \frac{LM_{кр}}{GJ_k}, \quad (7)$$

где $M_{кр}$ – приложенный крутящий момент; L – расстояние от плоскости приложения крутящего момента до плоскости, относительно которой измеряется закручивание; J_k – момент инерции поперечного сечения при кручении; G – модуль сдвига материала метчика.

Реальный метчик, например, выполненный по ДСТУ ГОСТ 3266:2008, представляет собой стержень, состоящий из участков с различными моментами поперечных сечений (рисунок 4, а). Угол закручивания каждого n -ого зуба под действием суммы крутящих моментов m_{ij} , приложенных к вступившим в процесс резания зубьям, вычисляется по зависимости:

$$\psi_n^k = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ij} l_{ij}}{GJ_{кр.ч.}} + \frac{\sum_{i=1}^k m_{ij}}{G} \left(\frac{0,5L_1}{J_{k1}} + \frac{L_2}{J_{k2}} + \frac{L_3}{J_{k3}} \right), \quad (8)$$

где L_1, L_2, L_3 – длины участков стержня метчика, соответственно, квадрата хвостовика, цилиндрической части хвостовика, переходной шейки; l_j – расстояние от переходной шейки до j -го зуба рабочей части (j принимается равным n при $i \leq n$; i – при $i > n$); $J_{k1}, J_{p2}, J_{k3}, J_{кр.ч.}$ – моменты инерции при кручении поперечных сечений, соответственно, квадрата хвостовика, цилиндрической части, переходной шейки и рабочей части.

Если аналитическое определение J_{k1} и J_{p2} не вызывает затруднений, то расчет J_{k3} и $J_{кр.ч.}$ переходной шейки и рабочей части, на которых выполнены стружечные канавки, затруднителен. Кроме того, реальные профили поперечных сечений последних двух участков, а также реальные значения модуля упругости материала метчика в значительной степени отличаются от теоретических.

Измерения геометрических параметров реальных метчиков размеров М2...М6 показали, что размеры поперечных сечений рабочей части отличаются от размеров, регламентированных ДСТУ ГОСТ 3266:2008. На метчиках выполнялись поперечные срезы, а затем сечения фотографировались с заданным увеличением. Полученные фотографии сравнивались методом наложения с теоретическим поперечным сечением по ДСТУ ГОСТ 3266: 2008, выполненным на кальке в том же масштабе (рисунок 5, а, б). Сравнение поперечных сечений показало, что реальные сечения меньше теоретических, хотя основной параметр – диаметр сердцевин d_c – практически одинаков. Уменьшение размеров поперечного сечения происходит в основном за счет увеличения радиуса скругления стружечной канавки. Значения полярных моментов сопротивления поперечных сечений реальных метчиков в среднем на 25% меньше теоретических. В результате расчетные углы закручивания поперечных сечений, полученные по формуле (8), будут отличаться от действительных.

Для упрощения расчетов и повышения точности определения углов закручивания примем допущение, что крутильная жесткость метчика постоянна по его длине. На основании этого выражение (8) приобретает вид

$$\psi_n^k = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ij} L_j + \sum_{i=1}^k m_{ij} L_{cm}}{GJ_k}, \quad (9)$$

где L_{cm} – длина стержня метчика (расстояние от плоскости закрепления хвостовика до рабочей части); J_k – усредненный по длине метчика момент инерции поперечного сечения при кручении (рисунок 4, б).

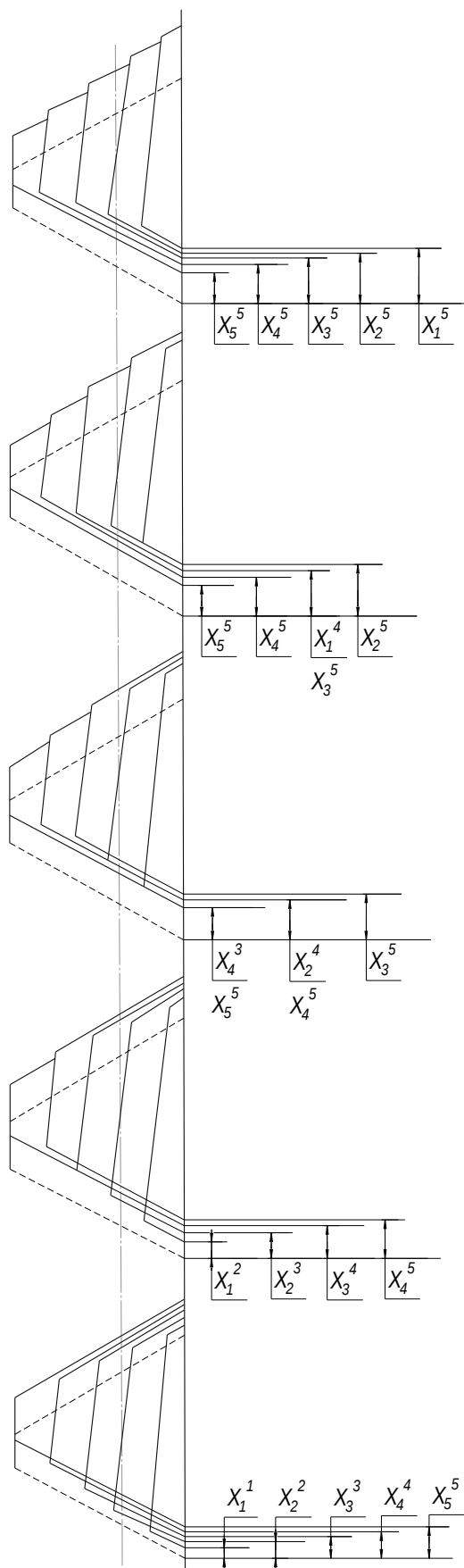


Рисунок 3 – Схема искажений профиля образуемой резьбы за счет деформации кручения рабочей части режущего метчика

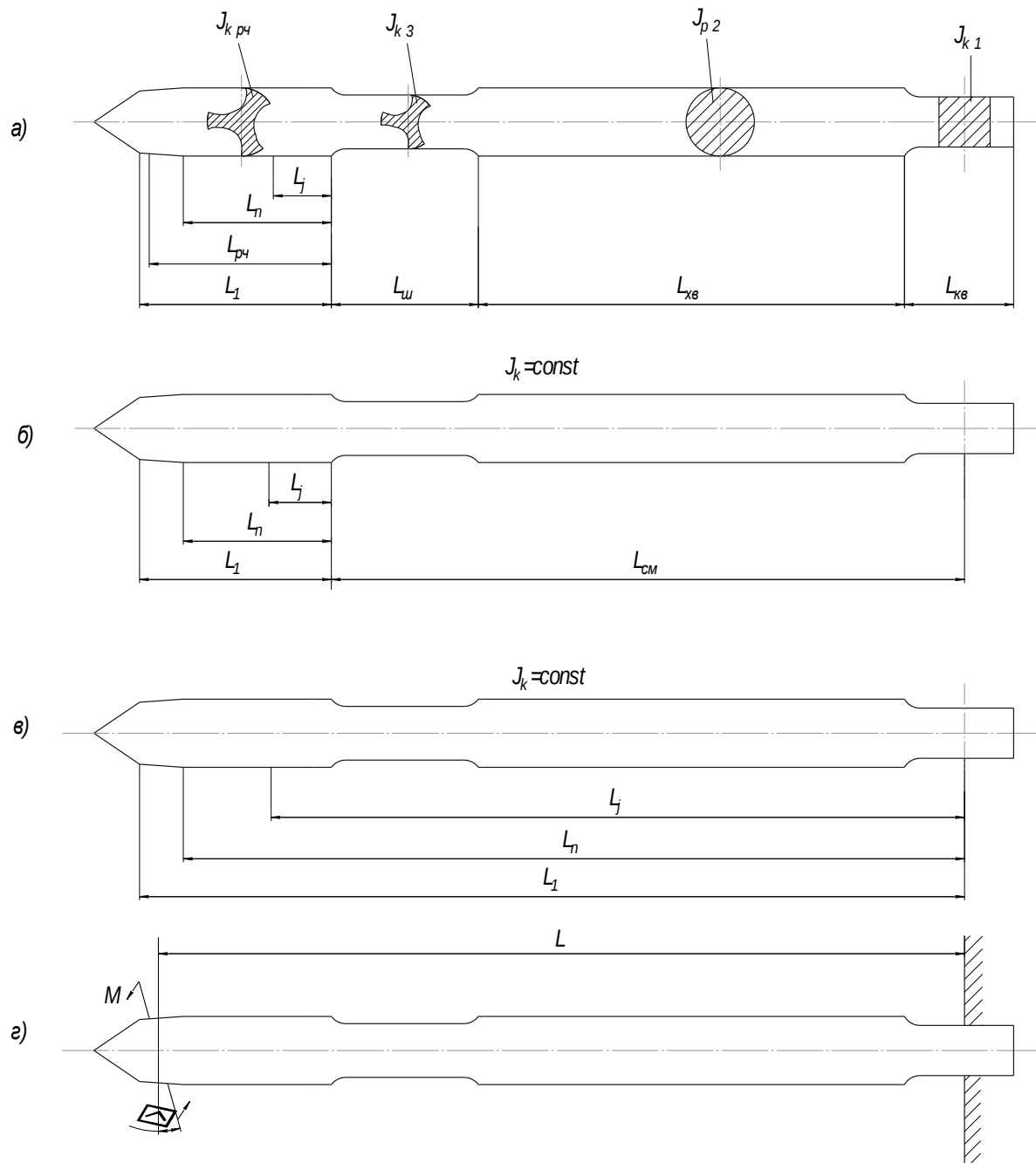


Рисунок 4 – Расчетные схемы для определения углов закручивания стержня метчика:
 а) поперечные сечения участков метчика; б) с усредненным по длине моментом инерции поперечного сечения стержня; в) при измерении расстояний от плоскости закрепления;
 г) экспериментальное определение крутильной жесткости стержня

Если расстояние до j -го зуба рабочей части измерять не от переходной шейки, а от плоскости закрепления (рисунок 4, в), выражение (9) можно записать

$$\psi_n^k = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ij} L_j}{G J_k}, \quad (10)$$

где L_j – расстояние от плоскости закрепления до j -го зуба рабочей части.

Из уравнений (5), (6) и (7) смещение точек профиля образуемой резьбы вдоль оси составит

$$X_n^k = \frac{P}{2\pi} \frac{\sum_{i=1}^k m_{ij} L_j}{GJ_k}. \quad (11)$$

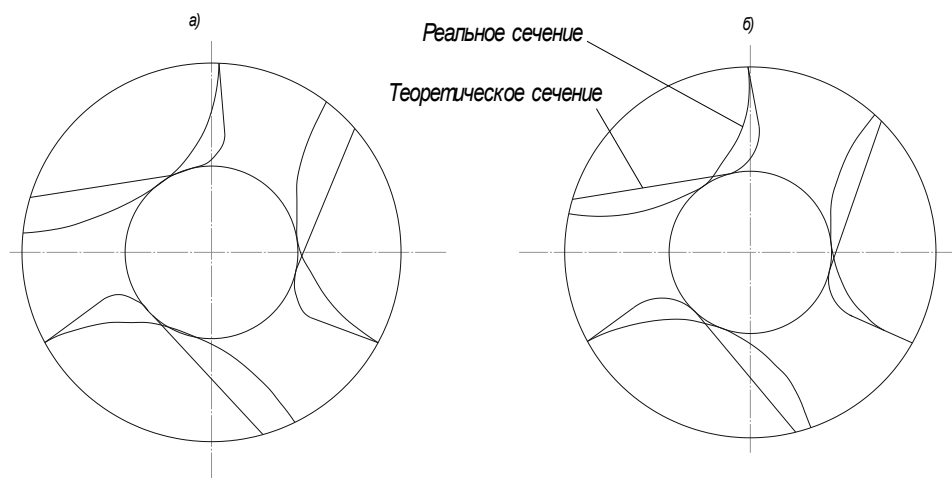


Рисунок 5 – Теоретические и реальные поперечные сечения рабочей части метчиков:
а) машинно-ручных ДСТУ ГОСТ 3266:2008; б) гаечных ДСТУ ГОСТ 1604:2008

Крутильная жесткость метчика GJ_k , усредненная по длине, может быть определена экспериментально по углу закручивания ψ двух поперечных сечений метчика, отстоящих на расстояние L , под действием фиксированного крутящего момента $M_{кр}$, по зависимости (7).

Для расчетов необходимо определить величины крутящих моментов m_{ij} , действующих на каждом i -ом зубе рабочей части.

Механизм образования погрешностей размеров резьб, получаемых деформирующими метчиками, за счет деформаций кручения их рабочей части качественно такой же, как и при изготовлении резьб режущими метчиками. Для деформирующих метчиков по ДСТУ ГОСТ 18839:2008 принята коническая схема образования резьбового профиля в обрабатываемой детали. Погрешности при их использовании определяются в основном деформациями кручения калибрующего участка и могут быть рассчитаны по формуле (11); деформации заборного участка не влияют на окончательную форму профиля образуемой резьбы.

При получении резьб пластическим деформированием необходимо также учитывать «усадку» образования резьбы, которая в некоторой степени компенсирует увеличение приведенного среднего диаметра.

В дальнейшем планируется исследование особенностей динамики процесса обработки резьб машинными метчиками малого диаметра.

Библиографический список использованной литературы

1. Матвеев В.В. Нарезание точных резьб / В.В. Матвеев — М.: Машиностроение, 1978. — 88 с.
2. Арутюнян Н. Х. Кручение упругих тел / Н.Х. Арутюнян, Б.Л. Абрамян. — М.: Физматгиз, 1968. — 686 с.
3. Беляев Н. М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев. — М.: Физматгиз, 1959. — 856 с.

Поступила в редакцию 15.07.2010 г.

Канарєєв Ф.М. Вплив деформацій кручення робочої частини мітчиків на точність внутрішніх різьб малих діаметрів (М2...М6)

Аналізуються деформації робочої частини мітчиків (М2...М6), їх вплив на точність отримуваних різьб.

Ключові слова: мітчик, погрішність, кручення.

Kanareev F.N. Influence of twisting deformations of the working part of markers on accuracy of internal carvings of small diameters (M2...M6)

Deformations of the working part of markers (M2...M6) and their influence on the accuracy of the obtained carvings are analyzed.

Keywords: marker, error, twisting.