

УДК621.735.34.001.24

Я.Б.Немировский, канд. техн. наук

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев

Особенности расчета геометрических, кинематических параметров очага деформации при деформирующем протягивании

В статье рассмотрен расчет геометрических и кинематических параметров очага деформации при деформирующем протягивании.

геометрические параметры, кинематические параметры, очаг деформации, деформирующее протягивание

Я.Б. Немировский

Институт надтвердых матеріалів ім. В.Н. Бакуля НАН України, м.Київ

Особливості розрахунку геометричних, кінематичних параметрів осередку деформації при деформуючому протягуванні

В статті розглянуто розрахунок геометричних та кінематичних параметрів осередку деформації при деформуючому протягуванні.

геометричні параметри, кінематичні параметри, осередок деформації, деформуюче протягування

Схема очага деформации – один из основополагающих вопросов при изучении процесса деформирующего протягивания (ДПР). Кинематические, геометрические и энергетические параметры очага определяют энергозатраты на процесс и качество обрабатываемого изделия.

Для расчета этих характеристик на основе вариационных принципов [1] была разработана математическая модель очага деформации для заготовок с небольшой толстостенностью. Схема очага деформации, которая положена в основу разработанной модели и соответствующие ей геометрические и кинематические параметры приведены на рис. 1. Очаг деформации состоит из трех зон: контактной (2 зона) и двух внеконтактных, примыкающих к зоне контакта.

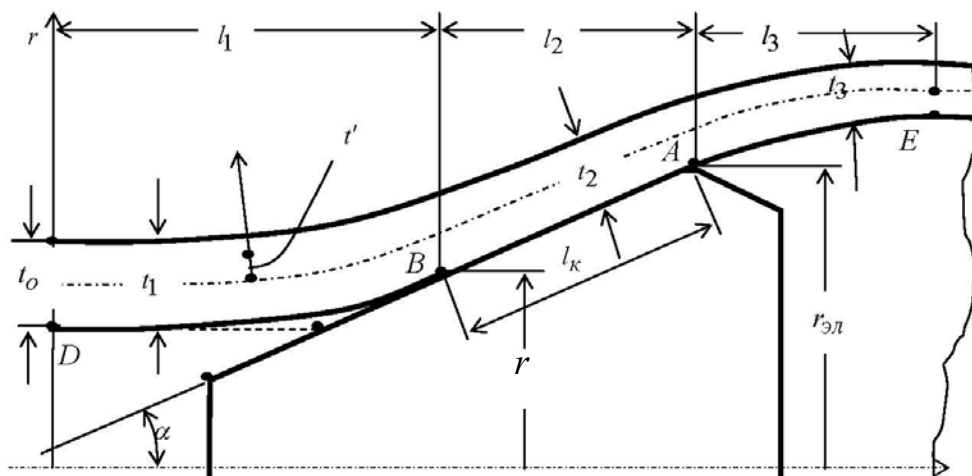


Рисунок 1 – Расчетная схема очага пластических деформаций при ДПР

Согласно разработанной модели полный функционал мощности внешних и внутренних сил

$$(W-QV_3)=\min, \quad (1)$$

где Q – осевая сила протягивания;

V – скорость течения в конце очага деформации.

Полный функционал мощности пластических деформаций определяется суммой функционалов мощности каждого из участков очага деформирования

$$W=W_1+W_2+W_3. \quad (2)$$

Значения W_1 и W_3 определяются из выражения (3).

$$W_{1,3} = 4\pi\tau_s \int_{-t_n/2}^{+t_n/2} dt' \int_{l_1+l_2}^{l_1,3} r \sqrt{\xi_\phi^2 + \xi_\phi \xi_z + \xi_z^2} dz. \quad (3)$$

Значение W_2 определяются из выражения (4).

$$W_2 = 4\pi\tau_s \int_{-t_2/2}^{+t_2/2} dt' \int_{l_1}^{l_1+l_2} V_z r' \sqrt{1-K_2 + K_2^2} dz, \quad (4)$$

где K - соотношения скорости осевой деформации срединной поверхности к скорости окружной деформации.

Следует отметить, что в пределах каждого участка очага деформации эта величина имеет свое постоянное значение K_1, K_2, K_3 .

Пять независимых параметров K_1, K_2, K_3, l_1, l_3 – являются варьируемыми параметрами. Их действительное значение обеспечивает в рассматриваемой модели минимум полной мощности.

Основные выражения, приведенные в работе [1], для описания срединной поверхности, скорости течения, толщины стенки в конце каждого из участков имеют вид

I участок ДВ (рис. 1).

$$r = r_{cp} + \frac{3}{4} \frac{tg\alpha}{l_1} z^2 - \frac{tg\alpha}{8l_1^3} z^4; \quad (5)$$

$$V_z = V_0 e^{-K_1 \int_0^{l_1} \frac{r'}{r} dz}; \quad (6)$$

$$t_{1k} = t_0 e^{(k_1-1) \int_0^{l_1} \frac{r'}{r} dz}.$$

II участок ВА

$$r = r_{cp2} + \frac{5}{8} tg\alpha l_1; \quad (7)$$

$$V_{k_2} = V_0 \left[e^{\int_0^{l_1} \frac{r'}{r} dz} \right]^{-K_1} \left[e^{\int_{l_1}^{l_1+l_2} \frac{r'}{r} dz} \right]^{-K_2} ; \quad (8)$$

$$t_{k_2} = t_0 \left[e^{\int_0^{l_1} \frac{r'}{r} dz} \right]^{(K_1-1)} \left[e^{\int_{l_1}^{l_1+l_2} \frac{r'}{r} dz} \right]^{(K_2-1)}$$

III участок АЕ

$$r = r_{cp3} + tg\alpha z_3 - \frac{tg\alpha}{2l_3^2} z_3^3 + \frac{tg\alpha}{8l_3^3} z_3^4 ; \quad (9)$$

$$V_{z_3} = V_0 \left[e^{\int_0^{l_1} \frac{r'}{r} dz} \right]^{-K_1} \left[e^{\int_{l_1}^{l_1+l_2} \frac{r'}{r} dz} \right]^{-K_2} \left[e^{\int_{l_1+l_2}^{l_1+l_2+l_3} \frac{r'}{r} dz} \right]^{-K_3} ;$$

$$t_3 = t_0 \left[e^{\int_0^{l_1} \frac{r'}{r} dz} \right]^{K_3-1} \left[e^{\int_{l_1}^{l_1+l_2} \frac{r'}{r} dz} \right]^{K_2-1} \left[e^{\int_{l_1+l_2}^{l_1+l_2+l_3} \frac{r'}{r} dz} \right]^{K_3-1}$$

Полный функционал мощности пластических деформаций определяется из выражения (2), где каждая из слагаемых определяется соответственно по выражениям (3) и (4).

Для определения полного функционала мощности внешних и внутренних сил, согласно выражения (1), необходимо знать значение силы протягивания Q .

Однако само значение силы Q неизвестно и определяется полной энергетикой процесса с дополнительным учетом мощности трения в зоне контакта инструмента с заготовкой.

Для наших условий, соответствующие вариационные принципы теорий пластического деформируемого тела отсутствуют. Поэтому поставленная задача решалась по алгоритму последовательных приближения. При этом на каждом цикле этого алгоритма необходимые значения внешних нагрузок (сила Q и сила трения $F_{тр}$) задаются взятыми из предыдущего цикла.

Вначале был организован цикл итерационных расчетов при отсутствии сил

контактного трения, то есть $W_{тр}=0$. На каждом цикле находим минимум, соответствующий конкретному значению функционала на данном цикле при пяти варьируемых параметрах l_1, l_3, K_1, K_2, K_3 .

I цикл итераций при отсутствии трения.

1. Полагаем $Q=0$ и находим минимум функционала (1) без учета слагаемого QV_3 .

2. Вычисляем силу протягивания из условия равенства мощностей внешних и внутренних сил.

$$Q = \frac{W}{V_3}. \quad (10)$$

3. Подставляем значение Q в выражение (1) и находим минимум полного функционала при фиксированном значении найденной силы Q .

$$\Phi = (W - QV_3) = \min.$$

4. Находим Q второго приближения по зависимости (10).

5. Минимизируем Φ при новом значении Q .

Последующие приближения продолжаем до тех пор, пока значение Q двух смежных итераций не будут отличаться на заданную малую величину ε ,

$$\frac{Q_{n+1} - Q}{Q_i} < \varepsilon. \quad (11)$$

После окончания первого цикла итерационного процесса при уже найденной в отсутствии трения длине контакта $BA = l_k = \frac{l_2}{\cos \alpha}$, рассчитываем силу трения по известной [2] формуле

$$F_{TP} = \frac{Q_{i+1}f}{(f \cos \alpha + \sin \alpha)}, \quad (12)$$

где f – коэффициент трения по Кулону.

По известной силе трения рассчитываем среднее контактное касательное напряжение

$$\tau_K = \frac{F_{mp}}{S_K} = \frac{Q \cdot f}{\pi(r_{K_1} + r_{\varnothing}) \frac{l_2}{\cos \alpha} (f \cos \alpha + \sin \alpha)}. \quad (13)$$

Далее вычисляем мощность сил трения:

$$W_{mp} = \int_{l_1}^{l_1+l_2} 2\pi r \frac{dz}{\cos \alpha} \tau_K \frac{V_z}{\cos \alpha}, \quad (14)$$

где $\frac{V_z}{\cos \alpha}$ определяется по зависимости (8), а значение r_K по зависимости (7).

После вычисления W_{mp} осуществляется II цикл итерационного процесса по минимизации более полного функционала с фиксированной внешней силой Q и заданными силами трения по площадке контакта протяженностью l_k .

$$\Phi = (W + W_{mp} + QV_3) = \min$$

На каждом цикле итераций находится сила Q , которая на последующем этапе используется как заданная величина. Расчет ведется до тех пор, пока не выполнится условие (11).

По результатам последней итерации определяются искомые основные и производные параметры: $l_1, l_3, K_1, K_2, K_3, l_2, l_k, W_1, W_2, W_3, W_{тр}, W_0$. Схема алгоритма расчета мощности формоизменения очага деформирования представлена на рис. 2

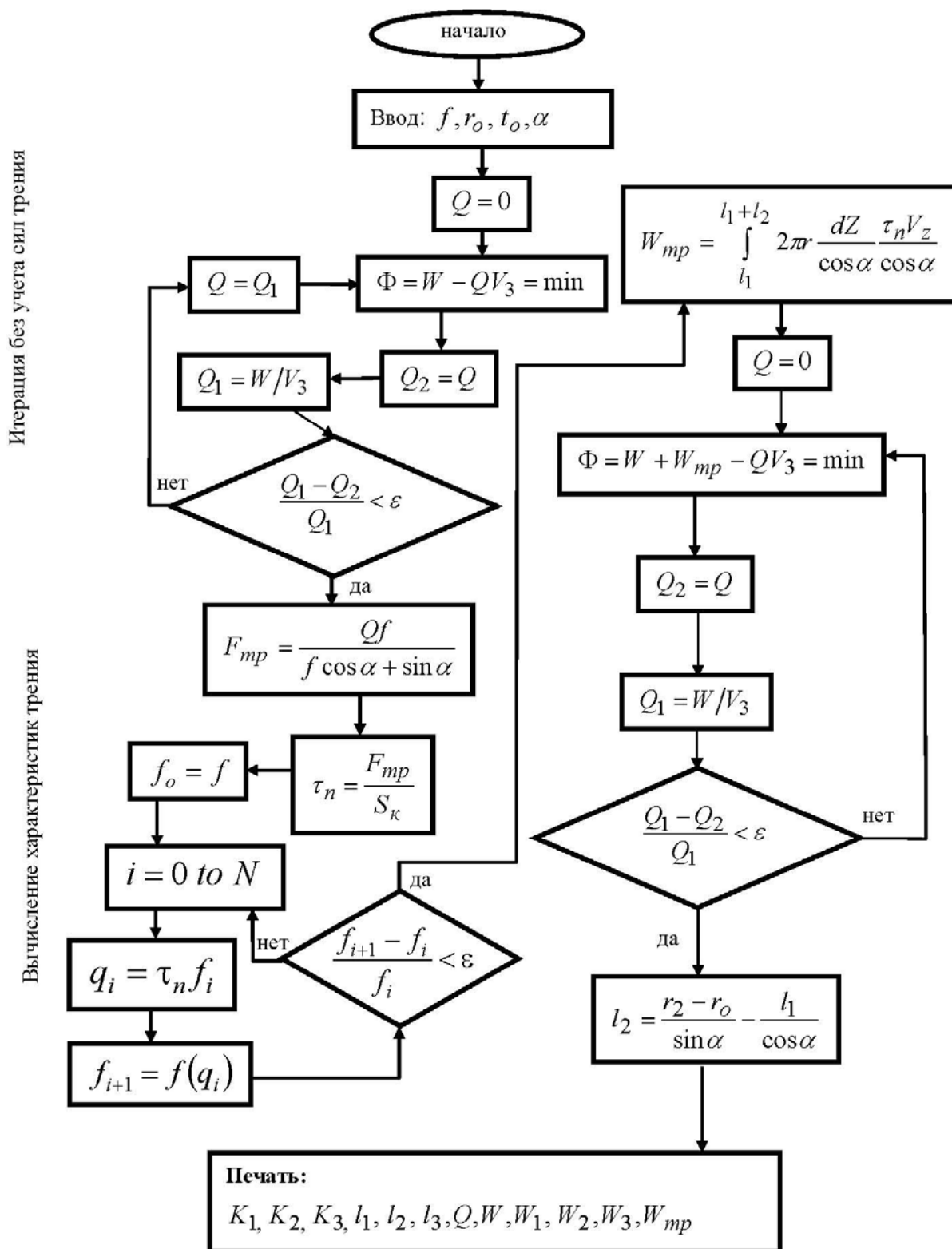


Рисунок 2 – Алгоритм расчета мощности формоизменения очага деформирования

Для реализации алгоритма была составлена программа на языке «PASCAL»*
 В результате численного моделирования на РС получены следующие наиболее важные результаты.

* Программа разработана доцентом ВГУ Балаганской Е.А.

На рис. 3 приведена зависимость длины внеконтактных зон от степени толстостенности заготовки. Хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных [2] наблюдается не только для тонкостенных заготовок, но и при более значительных толщинах стенки, например, более $t_0/r_0=0,5$ что расширяет область применения модели для определения рассматриваемого параметра.

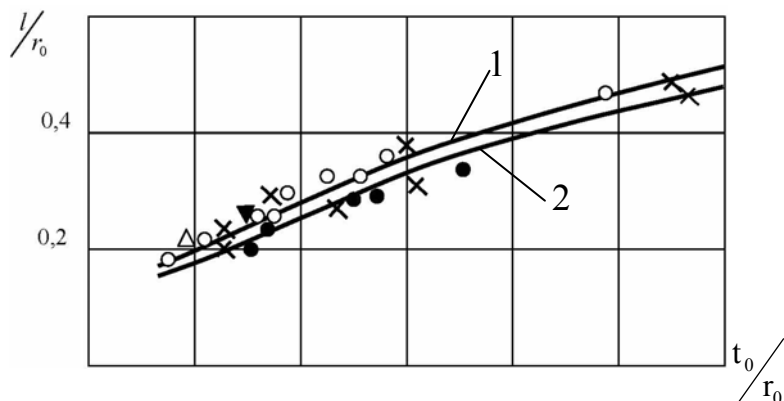
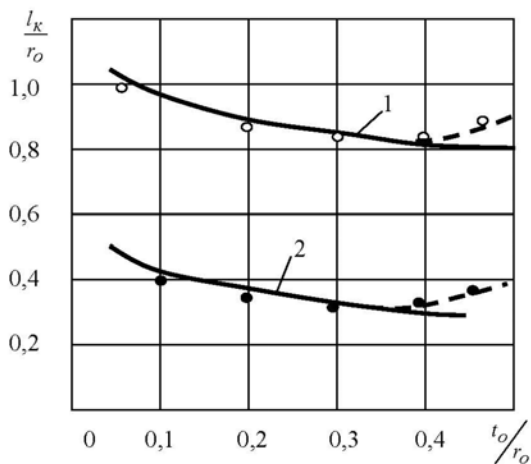


Рисунок 3 – Зависимость протяженности внеконтактных зон очага деформации от толстостенности заготовки при углах $\alpha = 2^{\circ} - 12^{\circ}$; натяг на элемент $a/d_0 = 0,0125 - 0,0375$.

1 – в.з. за инструментом, 2 – в.з. перед инструментом
данные эксперимента [2]: \circ – сплав АК6; Δ – сталь10; \blacktriangledown – Ст3;
 \bullet – сталь 30ХНМА; \times – сталь20.



Расчет 1 – $\alpha = 2^{\circ}$ 2 – $\alpha = 4^{\circ}$, $a/d_0 = 0,0375$

Рисунок 4 – Зависимость протяженности контакта от толщины стенки заготовки из стали 20 НВ125

Эксперимент - $\circ \bullet$

На рис. 4 показана расчетная и экспериментальная зависимости ширины контакта l от степени толстостенности заготовки. Их хорошее совпадение наблюдается до значений некоторой критической толщины стенки $t_{кр}/r_0$, при которой согласно работы [2] контактное давление достигает критической величины – $q_{кр}$, которое является физической константой обрабатываемого материала. При этом наблюдается появление локальной потери устойчивости обрабатываемого материала в виде «наплыва», что, естественно, приводит к увеличению l_k .

Рассмотрим влияние режимных факторов на ширину контакта l_k и на определяющий ее параметр высоту внеконтактной зоны $h_{в.з}$ (рис. 5а). Как показали

расчеты по разработанной модели величина $h_{в.з}$ практически не зависит от натяга. Из выражения (5) при $Z=l$ высота внеконтактной зоны зависит от толстостенности заготовки и угла α .

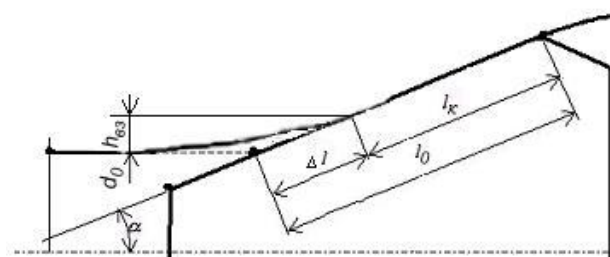
Как следует из рис. 5а

$$l_k = l_0 - \Delta l = \frac{a}{2 \sin \alpha} - \frac{h_{в.з}}{\sin \alpha}, \tag{15}$$

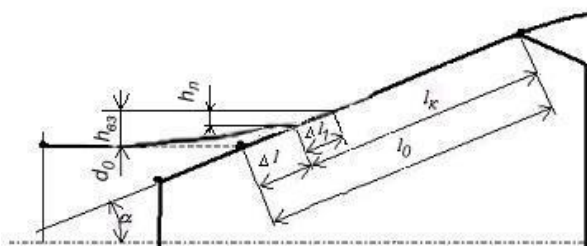
где $h_{в.з} = 5/8 l_1 \text{tg} \alpha$. Согласно работе [7] $l_1 = 0.611 t_0^{0.538} r_0^{0.462}$,

тогда

$$l_k = l_0 - \Delta l = \frac{a}{2 \sin \alpha} - \frac{5/8 \cdot 0.611 t_0^{0.538} r_0^{0.462}}{\cos \alpha},$$



а)



б)

Рисунок 5 –Схема очага деформации при ДПР

а график зависимости (15) имеет вид прямой.

Расчетные и экспериментальные значения $l_k=f(a)$ рис. 6 показали хорошее совпадение только при толстостенности заготовки $t_0 < t_{кр}$ и натягах не приводящих к появлению критических контактных давлений.

Как известно [2], с уменьшением натяга контактные давления растут. Поэтому реальное физическое взаимодействие инструмента с изделием при малых натягах меняет схему очага деформации, представленную на рис. 5а. Подтвердим это следующими рассуждениями. Поскольку $h_{в.з}$, а значит и Δl не зависит от натяга, то согласно зависимости при $\frac{a}{2} \rightarrow h_{в.з}$ протяженность контакта также будет стремиться к 0.

В действительности уменьшение l_k ведет к увеличению контактного давления, которые не могут для конкретного материала превысить предельные значения критических контактных давлений. Следовательно, физически при достижении l_k некоторой малой величины, ее уменьшение прекращается за счет возникновения в контактной зоне заметной локальной пластической деформации. Подобный факт приводится в работе [3]. Величиной этой локальной пластической деформации пренебрегать нельзя, поэтому схема очага деформации при наличии в зоне контакта давления близким $q_{кр}$ будет соответствовать рис. 5 б. В этом случае расчет l_k

необходимо производить по зависимости (16).

$$l_k = l_0 - \Delta l = \frac{a}{2 \sin \alpha} - \frac{h_{\text{гз}}}{\sin \alpha} + \frac{h_{\text{л}}}{\sin \alpha}, \quad (16)$$

где $h_{\text{гз}} = 5/8 l_1 \text{tg} \alpha$. тогда

$$l_k = l_0 - \Delta l = \frac{a}{2 \sin \alpha} - \frac{5/8 \cdot 0.611 t_0^{0.538} r_0^{0.462}}{\cos \alpha} + \frac{h_{\text{л}}}{\sin \alpha}.$$

Теоретически определение высоты локальной пластической деформации в зоне контакта затруднено, а его экспериментальное определение возможно исходя из графика $l_k = f(t_0/d_0)$ например (рис. 4), где разность между расчетными значениями ширины контакта и экспериментальным после точки минимума обусловлено наличием составляющей $h_{\text{л}}/\sin \alpha$.

Поэтому, при малых натягах зависимость $l_k = f(a)$, описываемая выражением (15) нарушается, и имеет нелинейный участок описываемый выражением (16) и представленный на рис. 6. Здесь также учтено, что при $a=0$, $l_2=0$.

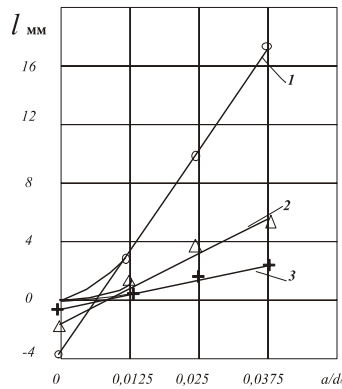


Рисунок 6 – Зависимость ширины контакта от натяга при обработке заготовок из Стали 20 размерами $t_0/d_0=0,15$ деформирующими элементами с углом α : 1 – 2°, 2 – 4°, 3 – 12°

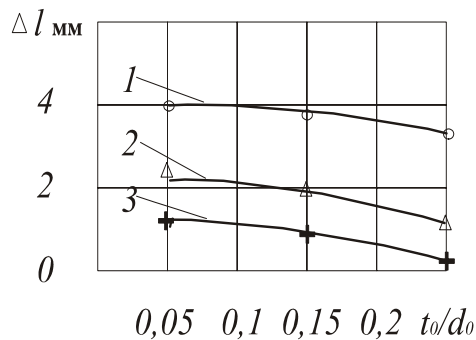


Рисунок 7 – Зависимость параметра Δl от толстостенности при обработке заготовок из Стали 20 деформирующими элементами с углом α : 1-2°, 2-4°, 3-12° с натягом $a/d_0 = 0,025$

Как следует из уравнения (16) при экстраполяции значений ширины контакта (1,2,3) на ось ординат можно получить значения Δl , то есть разности между геометрической и фактической шириной контакта.

Как следует из экспериментов (рис. 7) значение Δl зависит от толстостенности заготовки и угла α , причем с увеличением толстостенности значение Δl снижается, что указывает на рост фактической ширины контакта.

О подобном факте свидетельствуют данные, приведенные на рис. 4, где перегиб кривой $l=f(t_0)$ зависит от факторов, влияющих на контактные давления, а именно натяга на элемент и угла α .

Учитывая рост величины h_d с уменьшением натяга, а также утверждения автора [2], что внеконтактные зоны малозаметны при натягах $a \leq 0,25$ мм, необходимо выяснить целесообразно ли использовать схему очага деформации с внеконтактными зонами а также применима ли разработанная модель очага деформации при обработке заготовок с малыми натягами.

Для этого рассмотрим изменение l_k/l_0 при деформировании заготовок из чугуна СЧ20 с малыми натягами ($a = 0,05$) (рис. 8). Во всем диапазоне накопленной деформации для всех рассматриваемых толщин стенок отношение $l_k/l_0 < 1$. Это свидетельствует во-первых: о корректности схемы очага деформации с внеконтактными зонами даже при применении малых натягов; во-вторых: об определяющем влиянии внеконтактной зоны на ширину контакта при раздаче заготовок из такого малопластичного материала как чугун.

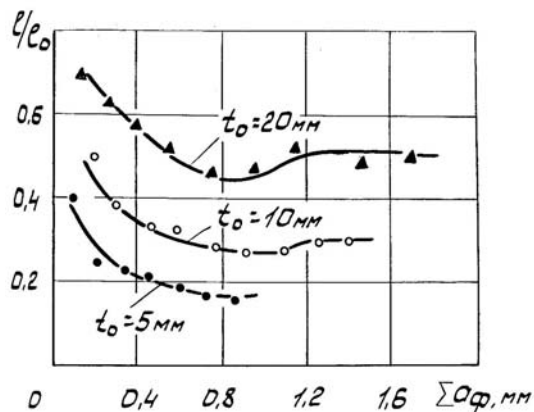


Рисунок 8 – Зависимость относительной ширины контакта от суммарного фактического натяга при деформировании заготовок из чугуна СЧ20 с $d_0 = 35,5$ мм, натяг на элемент $a = 0,05$ мм, угол $\alpha = 2^\circ$

Для более детального изучения второго утверждения проводились специальные опыты, позволившие зафиксировать состояние обрабатываемой поверхности в зоне контакта с рабочей поверхностью инструмента в процессе его установившегося движения.

Чтобы исключить влияние упругого восстановления, которое имеет место при остановке деформирующего элемента необходимо создать условия для мгновенного выхода из контакта обрабатываемой поверхности [4]. Это условие можно реализовать при мгновенном разрушении втулки вдоль оси при перемещении инструмента. Учитывая низкую пластичность чугуна, а также тот факт, что по данным работы [5] на поверхности деформируемой заготовки имеет место жесткий показатель напряженного состояния $\eta = +2$, что соответствует двусосному растяжению, требуемые условия реализуются за счет создания на наружной поверхности в требуемом месте искусственного концентратора напряжений. Он выполняется на наружной поверхности в виде неглубокой осевой канавки, находящейся в зоне установившегося движения инструмента. В момент прохождения деформирующего элемента через зону концентратора напряжений заготовка мгновенно разрушалась вдоль оси лишая деформирующий элемент контакта с обрабатываемой поверхностью. Изучение формы отпечатка проводилось на профилограммах, снятых с помощью профилографа-

профилметра «Talysurf-5».

В качестве примера на рис. 9 приведена одна из таких профилограмм. На ней четко виден участок контакта, а перед ней зону пластической локальной деформации в виде наплыва. Приведенный пример подтверждает наличие локальной пластической зоны в начале контакта обрабатываемого материала с рабочей поверхностью инструмента, даже для такого малопластичного материала как чугун.

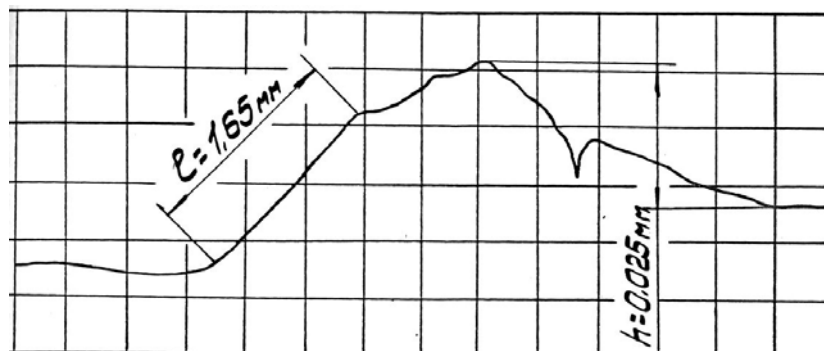


Рисунок 9 – Профилограмма контактной зоны при обработке заготовки из чугуна СЧ20 размерами $d_0=35,5$ мм, $t_0=25$ мм с натягом $a=0,15$ мм, $\Sigma a_\phi=1,37$ мм, угол $\alpha=4^\circ$ (вертикальное увеличение - 1000, горизонтальное - 20)

Следовательно, наличие в зоне контакта высоких гидростатических давлений, обусловленных толстостенностью заготовки и присутствие там напряженного состояния близкого к всестороннему сжатию приводит к появлению в начале зоны контакта заметного участка локальной пластической деформации, снижающего высоту внеконтактной зоны и увеличивающего ширину контакта. Это явление наблюдается независимо от обрабатываемого материала, режимов раздачи, а зависит только от наличия в зоне контакта критических контактных давлений.

Поэтому при использовании разработанной модели для определения ширины контакта для случая раздачи с наличием в зоне контакта критических контактных давлений необходимо расчет осуществлять по варианту модели, который описывается зависимостью (16), то есть учитывать в расчете $h_{л}$ – высоту локальной пластической зоны.

Утверждение, высказанное в работе [2] и свидетельствующее о независимости ширины контакта от обрабатываемого материала, справедливо при определении l_k согласно варианту (рис. 5а). В этом случае ширина контакта рассчитывается по зависимости (15) и исходя из нее определяется высотой внеконтактной зоны. Параметры этой внеконтактной зоны согласно данным [1] практически не зависят от обрабатываемого материала, а деформационное упрочнение практически не влияет на них.

В этом случае, когда раздача заготовки происходит при наличии в зоне контакта критических контактных давлений (рис. 5б) расчет ширины контакта следует вести по зависимости (16). Входящие в это выражение значение h_v зависит от пластических свойств обрабатываемого материала, а именно чем пластичнее материал, тем больше высота наплыва $h_{л}$, возникающего в локальной зоне пластического деформирования. Это положение подтверждают экспериментальные данные, приведенные в таблице. Эти данные представляют собой геометрическую и фактическую ширину контакта и их отношение при раздаче заготовок с бесконечной толщиной стенки. Значения ширины контакта для стали взяты из работы [2].

Таблица 1 – Значения ширины контакта для различных материалов

№	Материал заготовки	Твердость	Натяг на элемент a_{ϕ}	Ширина контакта		l_k/l_0
				геометрическая l_0 , мм	фактическая l_k , мм	
	Сталь 10	110	0,05	0,36	1,92	5,3
	Сталь 38ХМЮА	300	0,05	0,36	0,6	1,65
	Сталь 40ХНМА	310	0,1	0,48	0,87	1,8
	Чугун СЧ20	170	0,05	0,36	0,5	1,38

Из нее следует, что при раздаче заготовок с бесконечной толщиной стенки ширина контакта явно зависит от обрабатываемого материала. Очевидно, преобладающее влияние высоты наплыва, образованного в локальной зоне пластического деформирования на ширину контакта. Так при раздаче заготовки из пластичного материала Сталь 10 фактическая ширина контакта l_k в несколько раз превосходит геометрическую l_0 . В то же время при раздаче заготовки из такого малопластичного материала как чугун $l_k \approx l_0$. Следовательно, при развитом пластическом течении, которое имеет место при деформировании заготовок с бесконечной толщиной стенки, ширина контакта при постоянном натяге определяется только свойствами обрабатываемого материала. Этим и объясняется известный факт [6] независимости ширины контакта от угла \forall при деформировании заготовок с бесконечной толщиной стенки.

Следовательно, расчет ширины контакта в зависимости от уровня критических контактных давлений необходимо производить по вариантам модели очага деформации, приведенных на рис. 5.

При раздаче одиночными деформирующими элементами управлять требуемым уровнем контактных нагрузок, которые позволяют использовать необходимый вариант схемы очага деформации, при заданной толстостенности заготовки, можно только такими технологическими факторами как натяг на элемент и угол α .

Таким образом, разработанный алгоритм и реализованный цикл расчета по разработанной модели очага деформации позволил выполнить анализ геометрических и кинематических параметров очага деформации, что позволило установить следующее:

- проведенная экспериментальная проверка разработанного алгоритма показала хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных при определении длины внеконтактных зон, что позволяет использовать этот расчет для определения длины внеконтактных зон в широком диапазоне изменения толстостенности заготовок;

- ширину контакта при ДПР необходимо рассчитывать по двум вариантам модели очага деформации, отличающимся между собой учетом влияния высоты наплыва, возникающего в локальной зоне пластического деформирования;

- при наличии у внеконтактной зоны давлений меньше критических необходимо использовать вариант модели без учета влияния высоты наплыва, при достижении контактными давлениями критических значений, расчет ширины контакта необходимо выполнять по варианту, учитывающему высоту наплыва;

- установлено, что при малых натягах $a < 0,2$ мм справедлива схема очага деформации с наличием внеконтактных зон;

- показано, что влияние обрабатываемого материала на ширину контакта имеет место только при достижении контактными давлениями критических значений;

- величин критических контактных давлений определяется только свойствами обрабатываемого материала и достигается при постоянной толстостенности

изменением натяга на элемент и угла α .

Список литературы

1. Я.Б. Немировский, Ю.А. Цеханов. Применение вариационных принципов для анализа энергетических и кинематических параметров процесса деформирующего протягивания //Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков, НТУ «ХПИ», 2001.-№60.-С.154-159.
2. Розенберг О.А. Механика взаимодействия инструмента с изделием при деформирующем протягивании. – Киев: Наук. Думка, 1981.-288с.
3. С.Е. Шейкин, Ю.А. Цеханов, Е.А. Балаганская. Анализ формирования поверхностного слоя при деформирующем протягивании //Резание и инструмент в технологических системах – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006-№70.-С.502-509.
4. Способ остановки процесса деформирующего протягивания: А.с.1395465 СССР, МКИ В24В39/02. /Я.Б.Немировский, А.В. Чернявский, А.И. Геровский. - №4141539/31-27, заявл. 31.10.86, опубл. 15.05.88, Бюл. №18. – 3с.
5. О.А. Розенберг, Ю.А. Цеханов, С.Е. Шейкин. Технологическая механика деформирующего протягивания. - Воронеж: ВГТА, 2001. – 203с.
6. В.В. Кривошея. Влияние угла рабочего конуса деформирующего элемента на процесс деформирующего протягивания цилиндрических отверстий:Автореф. дис.... Канд. техн. наук 105.03.01ИИИ АН УССР. – Киев, 1988.-16с.
7. К вопросу использования алмазов для изучения контактного взаимодействия инструмента с деталью при деформирующем протягивании/А.М. Розенберг, О.А. Розенберг, Ю.А. Цеханов, Я.Б. Немировский, В.В. Кривошея//Сверхтвердые материалы.-1984.-№3.-С.39-43.

J. Nemirovskiy

V. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

Features of the calculation of geometric, kinematic parameters of the deformation in deforming pulling

Calculation geometrical and kinematical parameters the deforming zone of deforming broaching are showed in this article.

The algorithm of calculation geometrical kinematical parameters the deforming zone of deforming broaching are presented in this article. The variants of the calculation contact square depending on the level contact pressure are described. The occurrence of influence material of details on the contact square are showed.

Одержано 21.03.13