

УДК 621.73

С.Б. КАРГИН, аспирант, ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь

ПОСТРОЕНИЕ ПОЛЕЙ ЛИНИЙ СКОЛЬЖЕНИЯ ПРИ ПРОТЯЖКЕ КРУГЛОЙ ЗАГОТОВКИ В ВЫРЕЗНЫХ ПРОФИЛИРОВАННЫХ БОЙКАХ

Построено поле линий скольжения для случая протяжки круглой заготовки в вырезных профилированных бойках. Приведены физические поля линий скольжения при обжатии указанными бойками, которые подтверждают правильность решения поставленной задачи.

Ключевые слова: бойки, протяжка, обжатие, подача, линия скольжения

Побудовано поле ліній ковзання для випадку протяжки круглої заготовки у вирізних профільованих бойках. Приведені фізичні поля ліній ковзання при обтисканні вказаними бойками, які підтверджують правильність рішення поставленої задачі.

Ключові слова: бойки, протяжка, обтискання, подача, лінія ковзання

The field of lines of sliding for the case of forging of round purveyance is built in carved profiled instruments. The physical fields of sliding lines are resulted at a preload indicated instruments, which confirm the rightness of decision of the put task.

Keywords: firing-pins, forging , preload, serve, sliding line

Постановка проблемы. Значительное увеличение производства в энергетическом и тяжелом машиностроении требует наращивания выпуска крупных поковок таких как валы, прокатные валки, валки блюминга, роторы и т.п. на универсальных гидравлических прессах. Практика кузнечно-прессового производства показывает, что 60÷70 % машинного времени занимает операция протяжки. Поэтому совершенствование протяжки остается объектом пристального внимания исследователей, несмотря на ранее проведенные обширные работы отечественных и зарубежных ученых [1, 2, 3].

Анализ последних исследований и публикаций. Теоретические исследования по совершенствованию технологии протяжки при ковке валов позволили предложить принципиально новые способы воздействия на макроструктуру слитка путем регулирования потоков пластического течения металла за счет изменения свободных и контактных поверхностей деформируемой заготовки, т.е. за счет изменения конфигурации слитка [4, 5, 6]. Однако литой, например, четырехлучевой слиток [7], не решает всю проблему, т.к. литому слитку присущи определенные недостатки, связанные с неоднородностью литой структуры и необходимостью затрат на изложницы специальной формы.

Нами предложен [8] способ изготовления четырехлучевой заготовки из

обычного кузнечного слитка путем обжатия его специальными вырезными бойками.

Цель статьи – построение полей линий скольжения при протяжке круглой заготовки в вырезных профилированных бойках. Имея сетку линий скольжения можно проанализировать форму очага деформации, найти распределение напряжений и получить энергосиловые параметры. Использование метода скольжения предполагает следующие основные допущения: объем металла включает в себя пластические и жесткие области, разделяемые линиями скольжения, процесс нагружения монотонный, а течение металла стационарно.

Изложение основного материала. Схема деформирования цилиндрической заготовки диаметром $2r$ четырьмя рабочими цилиндрическими бойками радиусом R , которые закреплены на опорных вырезных бойках, показана на рис. 1. Зона деформирования имеет две плоскости симметрии $x = 0$ и $y = 0$, поэтому при решении задачи по определению геометрических и энергосиловых параметров достаточно рассмотреть первую четверть зоны, которая примыкает к бойку с центром O_1 .

Форма заготовки, размеры очагов пластической деформации однозначно определяются следующими параметрами, первоначальным радиусом заготовки r , радиусом рабочего бойка R , углом опорного вырезного бойка β , расстоянием центра рабочего бойка от вершины вырезного U , расстоянием между центрами верхнего рабочего бойка O_1 и нижнего O_2 , равным $2H_1$.

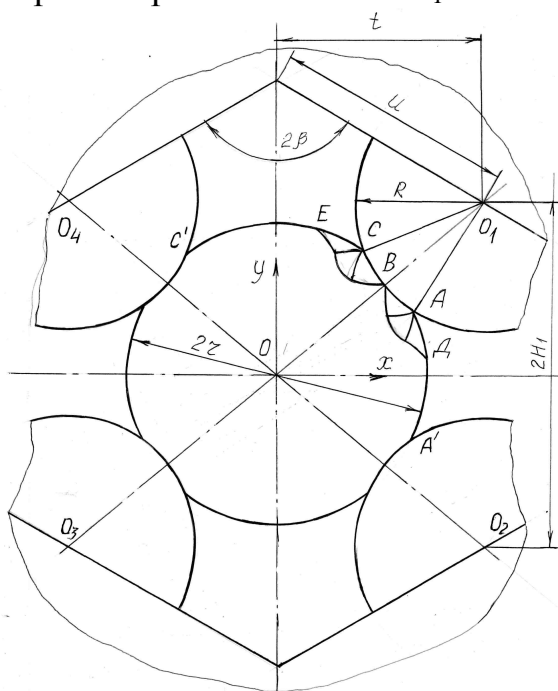


Рис. 1. Схема обжатия круглой заготовки вырезными профилированными бойками

отдельным рабочим бойкам, разделены жесткими зонами. По мере сближения верхних и нижних рабочих бойков крайние точки D и E пластической зоны, примыкающей к одному рабочему бойку, смещаются к осям симметрии. При этом

Расстояние между центрами рабочих бойков, установленных на одном вырезном, не изменяется. Соответственно боковая свободная поверхность AA' изменяется за счет вытекания металла в полость между верхним и нижним рабочими бойками и за счет смещения рабочих поверхностей этих бойков один относительно другого. Верхняя свободная поверхность CC' изменяется только за счет вытекания металла в полость между рабочими бойками на одном опорном. Поэтому соотношения дуг AA' и CC' в процессе деформирования будет изменяться. При анализе напряженного состояния методом линий скольжения эти дуги необходимо определять для каждого рассматриваемого момента деформирования. Процесс деформирования можно разбить на 2 стадии. На первой стадии зоны пластических деформаций, примыкающие к

области BAD и BCE симметричны относительно линии центров заготовки и рабочего бойка OO_i ($i = 1, 2, 3, 4$). Для примера показана схематично пластичная зона, примыкающая к бойку в первой четверти (см. рис. 1). Точка B является точкой раздела течения металла относительно бойка. Когда обе крайние точки D и E или одна из них достигнет плоскости симметрии, начинается вторая стадия деформирования. Точка раздела течения металла смещается в сторону той свободной границы, которая имеет меньшую длину. Пластические области, примыкающие к одному рабочему бойку, отличаются размерами и формой. При решении задачи необходимо строить отдельно линии скольжения для каждой области, используя граничные условия.

Рассмотрим процесс деформирования заготовки на первой стадии (рис. 2), пренебрегая трением на контактной поверхности ABC и искажением формы свободных поверхностей, т.к. деформации этих поверхностей малые. Соответственно изменение параметров очага деформации не окажет существенного влияния на результаты расчетов. Возможная ошибка будет соизмерима с погрешностями округления.

При заданных значениях U , β , R и r размеры очага деформации можно однозначно задать, если указать ход верхнего бойка относительно нижнего $2h$ или расстояние между осями этих бойков. Математические расчеты в этом случае усложняются. Более просто анализировать процесс, если задавать центральный угол 2γ , соответствующий дуге контакта рабочего бойка с заготовкой.

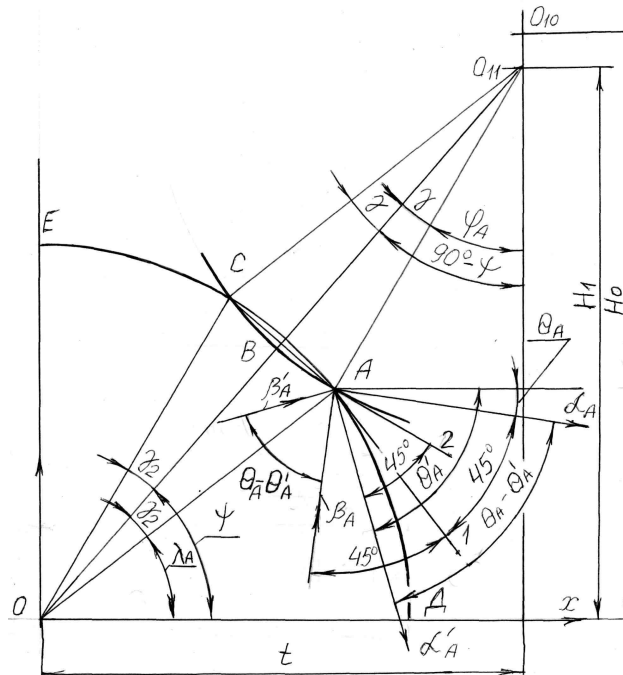


Рис. 2. Схема процесса деформирования круглой заготовки на первой стадии

При заданном значении γ геометрические параметры очага деформации определяются из геометрических соотношений по следующим формулам:

$$t = U \sin \beta ;$$

$$\gamma_2 = \arcsin (R \sin \gamma / r) ;$$

$$OO_{11} = R \cos \gamma + r \cos \gamma_2;$$

$$H_1 = \sqrt{OO_{11}^2 - t^2};$$

$$\psi = \operatorname{arctg}(H_1/t).$$

Чтобы определить ход рабочего бойка относительно оси заготовки, необходимо знать расстояние между осями верхнего и нижнего рабочих бойков, когда они касаются поверхности цилиндрической заготовки. В этом случае расстояние между осью заготовки и рабочего бойка:

$$OO_{10} = R + r.$$

Следовательно,

$$H_0 = \sqrt{(R + r)^2 - t^2},$$

а ход верхнего рабочего бойка относительно оси заготовки:

$$h/2 = H_0 - H_1,$$

а относительно нижнего:

$$h = 2(H_0 - H_1).$$

Рассмотрим статические условия задачи. На участках, свободных от нагружения (дуги AD и CE), где идет пластическая деформация линии скольжения пересекают границы под углами 45° , так как касательные напряжения на этих границах равны нулю. Нормальное напряжение σ (наибольшее в рассматриваемой точке границы), совпадает с направлением радиуса, поэтому линия α повернута относительно радиуса на 45° по часовой стрелке. Направление и положение линии α в точке A , которая принадлежит дуге AD , показано на рис. 2. Если проведена касательная к границе AD в точке A (линия $A1$), то положение линии α в этой точке определяется поворотом на 45° против часовой стрелки (линия βA). Положение линии β в точке A получим поворотом на 45° по часовой стрелке. Угол θ_A (угол между осью x и положительным направлением линии α в точке A) может определить, если известны углы ψ и γ_2 .

$$\theta_A = \lambda_A - 45^\circ = \psi - \gamma_2 - 45^\circ.$$

В других точках границы AD угол

$$\theta = \lambda - 45^\circ.$$

В точке D ($\lambda_D = 0$):

$$\theta_D = -45^\circ.$$

Нормальное напряжение во всех точках этой границы равно нулю, т.е.:

$$\sigma_1 = 0.$$

Тогда наименьшее нормальное напряжение из условия пластичности во всех точках границы AD :

$$\sigma_3 = -2k,$$

где $k = \sigma_T / \sqrt{3}$ – пластическая постоянная;

σ_T – предел текучести материала.

Таким образом, на границе AD известный угол θ и нормальные напряжения, т.е. выполняются условия задачи Коши, что позволяет строить сетку линий

скольжения, вдоль которых известен угол θ , позволяющий определять напряжения, используя интегралы Генки.

Так как AD – дуга окружности, то линиями скольжения являются логарифмические спирали, пересекающие радиусы окружности под углом 45° . В контактной поверхности ABC нормальные напряжения не известны, но направления линий скольжения можем определить, так как считаем известными касательные контактные напряжения. В таком случае линии скольжения пересекают контактную поверхность под углом 45° . Определим значение угла θ вдоль границы ABC . Так как под действием контактных напряжений металл перемещается относительно поверхности рабочего бойка, то наибольшее напряжение σ_1 направлено по касательной в соответствующей точке. Для точки A – это линия $A2$, перпендикулярная радиусу $O_{11}A$, который составляет с осью y угол φ_A . Направление линии α получим, отложив угол 45° по часовой стрелке. На рис. 2 – это линия α'_A . Для точки A контактной поверхности:

$$\theta'_A = -(\varphi_A + 45^\circ).$$

Таким образом, точка A – точка разрыва напряжений и центр веера линий семейств α и β . Крайние линии веера в точке A пересекаются под углом $\theta_A - \theta'_A$.

После построения линий скольжения, удовлетворяющих условиям на границе AD , получим первую линию веера семейства β , на которой лежит особая точка A (точка разрыва напряжений), т.е. получаем начальную характеристическую задачу, что позволяет численно или графически построить все линии β веера, в том числе и последнюю, которая в т. A составит с границей ABC угол 45° .

Таким образом, в области между контактной поверхностью и последней линией β веера выполняются условия смешанной задачи (линия скольжения пересекает линию, на которой известен угол θ под острым углом). Построение линий скольжения показано на рис. 3.

Угол θ в точке контактной поверхности легко определить, если известен угол φ , который составляют радиус рабочего бойка, проходящий через эту точку, с вертикальной линией центров рабочих бойков. Тогда:

$$\theta = -(\varphi + 45^\circ).$$

Линия семейства α , которая на первой стадии деформирования отделяет пластическую зону от жесткой, проходит через т. B (см. рис. 1). Поэтому:

$$\varphi_A \leq \varphi \leq \varphi_B,$$

где $\varphi_A = 90^\circ - \psi - \gamma$, $\varphi_B = 90^\circ - \psi$, что следует из рис.2.

Равнодействующая контактного давления со стороны заготовки на рабочий боёк направлена вдоль линии центров OO_{11} . Величина ее на единичной длине заготовки:

$$P_n = 2R \int_{\varphi_A}^{\varphi_B} q \cos(\psi - \varphi) d\varphi,$$

где q – контактное давление.

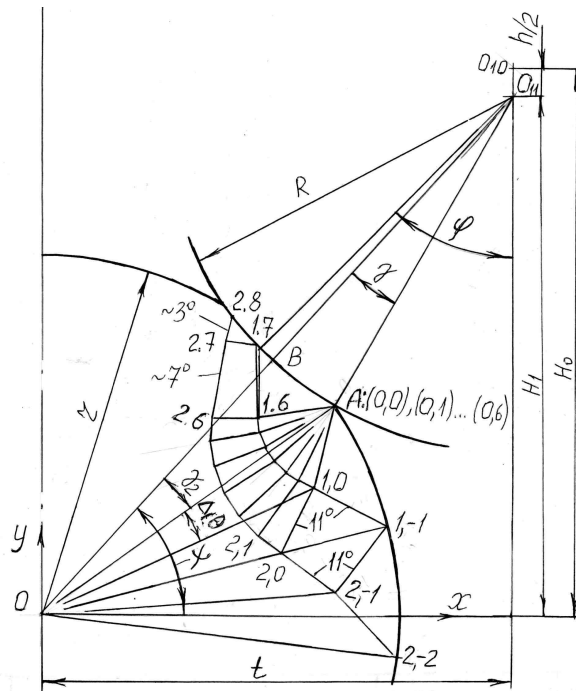


Рис. 3. Поле линий скольжения при обжати круглой заготовки вырезными профилированными бойками

В заданной точке контакта:

$$q = 2k [1 + 0,0175(\theta_A - \theta'_A + \varphi_A - \varphi)],$$

(множитель 0,0175 переводит градусную меру углов в радианную).

в точке A:

$$q_A = 2k [1 + 0,0175(\theta_A - \theta'_A)],$$

а в точке B:

$$q_B = 2k [1 + 0,0175(\theta_A - \theta'_A - \gamma)].$$

Без существенной погрешности при малых значениях γ :

$$P_n = 2R \sin \gamma (q_A + q_B).$$

Вертикальная составляющая этой силы:

$$P_y = P_n \cos \psi,$$

а горизонтальная:

$$P_x = P_n \sin \psi,$$

Усилие прессы при подаче заготовки L:

$$P = 2P_y \cdot L.$$

Подтверждением реализуемости полей линий скольжения, полученных графическим методом, является выявление физических полей линий скольжения.

Для выявления физических полей линий скольжения применялась методика, разработанная на кафедре кузнечно-штамповочного производства ПГТУ. Эксперименты проводились на образцах $\varnothing 30$ мм из стали 10. На рис. 4 приведены фотографии физических полей линий скольжения на торцах заготовок обжатых вырезными профилированными бойками.

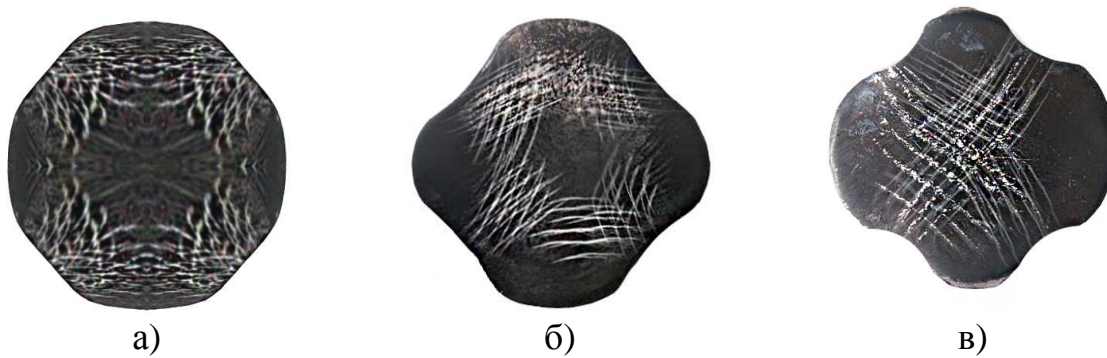


Рис. 4. Физические поля линий скольжения при обжатии круга вырезными профилированными бойками: а) $\varepsilon \square 7\%$; б) $\varepsilon \square 14\%$; в) $\varepsilon \square 21\%$

Как видно из фотографий, наблюдается хорошее совпадение графических полей линий скольжения с физическим, полученным экспериментальным путем. Это подтверждает корректность теоретического решения задачи.

Выводы. Методом линий скольжения решена задача по исследованию напряженно-деформированного состояния, и определению энергосиловых параметров при протяжке круглой заготовки вырезными профилированными бойками.

Экспериментально получены физические поля линий скольжения, которые подтвердили корректность теоретического решения задачи.

Список литературы: 1. Тюрин В.А. Инновационные технологииковки с применением макросдвигов / В.А. Тюрин // Кузнечно-штамповочное производство. – 2007. – № 11. – С. 15-20. 2. Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства / Я.М. Охрименко. – М.: Машиностроение, 1976. – 560 с. 3. Ковка слитков на прессах / Л.Н. Соколов, Н.М. Золотухин, В.Н. Ефимов [и др.]; под общ. ред. Л.Н. Соколова. – К.: Техника, 1984. – 127 с. 4. Тюрин В.А. Инновационные технологииковки / В.А. Тюрин // Кузнечно-штамповочное производство. – 2006. – № 5. – С. 27-29. 5. Мигачёв Б.А. Экспериментальное исследование деформированного состояния при формоизменении заготовок с тrefообразным поперечным сечением / Б.А. Мигачёв, В.П. Волков // Кузнечно-штамповочное производство. – 1995. – № 10. – С. 5-7. 6. Балувев С.А. Влияние формы слитка и технологии егоковки на качество поковок валков / С.А. Балувев, В.А. Тюрин // Кузнечно-штамповочное производство. – 1985. – № 1. – С. 7-10. 7. Михайленко Б.Е. Исследование влияния конфигурации модельных слитков на их качество и поковок из них / Б.Е. Михайленко, И.Г. Сорокин, Г.С. Гребенюк, В.П. Королев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1979. – № 8. – С. 10-12. 8. Патент UA № 52289, В 21 j 5/00, Пристрій для ковальської протяжки / Каргін С.Б., Каргін Б.С., Кухар В.В., Тихоненко Р.І.; Опубл. 25.08.2010, Бюл. № 16, 2010.