

УДК 621.979.1

ВЛИЯНИЕ ТРЕНИЯ МЕЖДУ ЗАГОТОВКОЙ И ИНСТРУМЕНТОМ НА ПРУЖИНЕНИЕ ПРИ ИЗГИБЕ С РАСТЯЖЕНИЕМ**О. В. Троцко**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

Рассматриваются условия контактного взаимодействия заготовки с инструментом с учетом пружинения заготовки для предложенной схемы нагружения при изгибе с растяжением. Установлено, что наиболее эффективное снижение напряжений контактного трения достигается в условиях жидкостного и аномально низкого трения. Приведена схема нагружения, с помощью которой выведена формула для определения усилия гибки при изгибе с растяжением. Показано изменение истинного усилия растяжения по длине изогнутого элемента вследствие трения между заготовкой и инструментом. Установлено, что истинное усилие растяжения волокон является переменным вдоль линии контакта и уменьшается по мере удаления сечений от точки сбега, а истинная деформация растяжения практически не оказывает влияния на уменьшение пружинения. При этом пружинение будет разной величины в различных сечениях контура.

Ключевые слова: изгиб, растяжение, трение, пружинение.**ВПЛИВ ТЕРТЯ МІЖ ЗАГОТОВОЮ ТА ІНСТРУМЕНТОМ НА ПРУЖИНИСТІТЬ ПРИ ВИГІНІ З РОЗТЯГУВАННЯМ****О. В. Троцко**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

Розглядаються умови контактної взаємодії заготовки з інструментом з урахуванням пружинистості заготовки для запропонованої схеми навантаження при вигині з розтяганням. Встановлено, що найбільш ефективно зниження напруг контактного тертя досягається в умовах рідинного й аномально низького тертя. Наведено схему навантаження, за допомогою якої виведена формула для визначення зусилля згинання при вигині з розтяганням. Показано зміну справжнього зусилля розтягання по довжині вигнутого елемента внаслідок тертя між заготовкою та інструментом. Установлено, що справжнє зусилля розтягання волокон є змінним уздовж лінії контакту й зменшується в міру віддалення перетинів від точки стоку. Справжня деформація розтягання практично не робить впливу на зменшення пружинистості. При цьому пружинистість буде різної величини в різних перетинах контуру.

Ключові слова: вигин, розтягання, тертя, пружинистість.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Процесс гибки профильных заготовок находит широкое применение для изготовления деталей элементов каркаса. Наиболее актуальная проблема технологии гибки – это повышение точности и соответствующее сокращение работ по размерной доводке изогнутых заготовок. Применяя гибку по оправкам (гибочный пуансон), необходимо учитывать условия контактного взаимодействия заготовки с инструментом и пружинение заготовок.

Напряжения контактного трения, действующие между профильной заготовкой и пуансоном, уменьшают растягивающее усилие по мере удаления от крайних точек касания заготовки с пуансоном. Наименее нагруженными оказываются сечения, расположенные в середине очага деформаций.

Применение технологической смазки позволяет уменьшить силы внешнего трения на контактных поверхностях в очаге деформации. Известно, что от сил внешнего трения зависят в той или иной степени все кинематические и энергосиловые параметры процесса. Особенно важно, что с уменьшением сил трения снижаются энергосиловые затраты. Влияние сил трения на энергосиловые параметры проявляются тем резче, чем больше отношение длины дуги контакта к средней толщине полосы в очаге деформации.

Уменьшение растягивающих усилий приводит к увеличению пружинения заготовки и уменьшению точности получаемых деталей. Увеличение растягивающих усилий приводит к разрушению заготовки на свободных наиболее нагруженных участках заготовки [1, 2]. Поэтому необходимо располагать данными о распределении напряжений внешнего трения по поверхности заготовки и эффективными приемами их уменьшения. Это чрезвычайно актуально для повышения качества поверхности и точности получаемых деталей.

Целью данной работы является определение влияния трения, возникающего в процессе изгиба с растяжением между заготовкой и инструментом, на пружинение этой заготовки.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Для анализа рассматриваемого процесса гибки необходимо указать закон, по которому должны изменяться напряжения внешнего трения на контактных поверхностях заготовки.

В теории обработки металлов давлением применяют зависимости для определения величины напряжения контактного трения, у которых в качестве аргумента содержится какой-либо физический фактор (нормальное давление, предел текучести, вязкость смазки и др.). В зависимости от количества смазки, поступающей в зону контакта трущихся по-

верхностей, различают три основных вида трения: сухое, граничное и жидкостное. Принято также выделять промежуточные виды трения – полусухое и полужидкостное.

При данных условиях нагружения можно считать, что происходит полужидкостное трение. Под полужидкостным трением понимают сочетания жидкостного трения с граничным или сухим или тем и другим вместе. В этом случае между трущимися поверхностями имеется слой смазки, но толщина его недостаточна для полного разделения поверхностей; при скольжении происходит зацепление неровностей, а отдельных точках, т.е. существуют очаги граничного или сухого трения.

Полужидкостное трение является наиболее вероятным при высоких нагрузках и малых скоростях скольжения, а также при недостаточно совершенной смазке.

Наиболее широко применяемым для данных условий нагружения является закон трения Амонтона–Кулона, устанавливающий пропорциональную зависимость между силой трения и нормальной сжимающей силой.

Закон Амонтона–Кулона выполняется наиболее точно при холодной пластической деформации с применением технологических смазок. В жестких условиях трения при отношении силы давления к пределу текучести более чем в два или три раза, при отсутствии смазки применяют закон Зибеля. По современным представлениям механизма трения [3], закон трения при пластической деформации выражается уравнением:

$$t = q \cdot \left(\frac{a}{S_i} + b + K \cdot a_{эф} \cdot \sqrt{\frac{h_k}{R}} \right), \quad (1)$$

где S_i – сопротивление деформированию материала заготовки; b – коэффициент характеризующий увеличение прочности на срез от среднего нормального напряжения; a – коэффициент гистерезисных потерь; h_k – величина внедрения при скольжении; R – радиус неровностей.

Наиболее эффективное снижение напряжений контактного трения достигается в условиях жидкостного и аномально низкого трения. Зависимости для определения напряжений внешнего трения в условиях нестационарного очага деформации приведены в работе [4].

При сложном нагружении, в случае, когда растягивающая сила прикладывается после изгиба (схемы: изгиб – растяжение; растяжение – изгиб – растяжение), между деформирующейся заготовкой и инструментом возникают силы трения P_f . Эти силы направлены против перемещения материала при растяжении и препятствуют развитию деформации волокон e_0 .

Для создания заданной степени растяжения внешняя сила должна преодолеть не только сопротивление материала деформации, но и силы трения; ее величина должна быть равна сумме указанных сил.

В рассматриваемом способе формообразования деталей силы растяжения P_0 приложены по концам заготовки, изогнутой около инструмента – обтяжного пуансона (рис. 1).

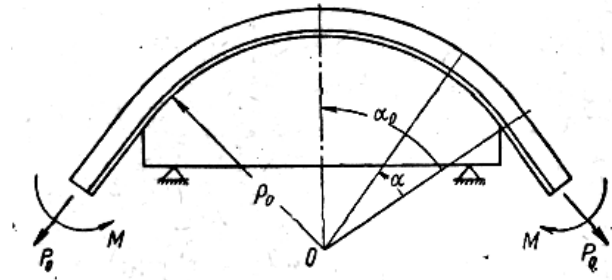


Рисунок 1 – Схема нагружения при изгибе с растяжением

Направлены растягивающие P_0 силы по касательным к изогнутой заготовке в точках сбега (отрыва) последней с поверхности инструмента.

Примем нормаль к точке сбега за начало отсчета угла a_i , определяющего положение сечений по длине изогнутого элемента. В целом длина заготовки, находящейся в контакте с обтяжным пуансоном, характеризуется углом обхвата $2a_0$, образуемым нормальными в точках сбега ее с инструмента.

При перемещении заготовки вследствие деформации растягивающей силой P_0 возникающая на участке $a = 0 \div a_0$ сила трения P_f в первом приближении может быть выражена известной формулой Эйлера:

$$P_f = \frac{e^{fa} - 1}{e^{fa}} P_0, \quad (2)$$

где f – коэффициент трения между заготовкой и инструментом; e – основание натуральных логарифмов.

Усилие, приходящееся непосредственно на деформацию растяжения волокон в произвольном сечении, расположенном от начального по дуге a :

$$P_a = P_0 - P_f \approx \frac{P_0}{e^{fa}}. \quad (3)$$

Изменение истинного усилия растяжения вследствие трения представлено на рисунке 2.

Для определения полного усилия гибки необходимо заготовку разбить на элементы, близкие к окружности, тогда усилие гибки составит:

$$P_z = \sum_{i=1}^n S_s \cdot A_i \cdot \left(\ln \frac{R_{Hi}}{R_{Bi}} + \frac{f \cdot S_r}{p \cdot R_{Bi} \cdot S_s \cdot S_i} + \frac{S_i}{2r_{ci}} \right) \cdot \exp(0,5p \cdot f) \quad (4)$$

где S_s – текущий предел текучести; A_i – площадь поперечного сечения заготовки; R_{Hi} , R_{Bi} – соответственно наружный и внутренний радиус заготовки; S_i – текущая толщина заготовки.

Вследствие влияния трения изогнутой заготовки об инструмент, истинное усилие растяжения волокон является переменным вдоль линии контакта (рис. 2) и уменьшается по мере удаления сечений от точки сбега.

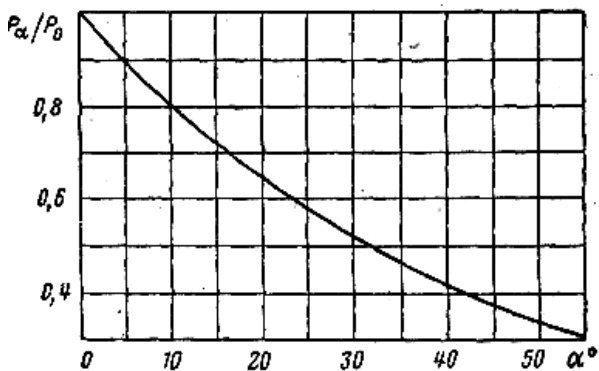


Рисунок 2 – Изменение истинного усилия растяжения по длине изогнутого элемента

Для уменьшения влияния трения возникающего на трущихся поверхностях заготовки и инструмента на пружинение заготовки необходимо чтобы выполнение процесса протекало в условиях жидкостного трения. В этом случае уменьшаются силы трения в

очаге деформаций, и практически отсутствует износ инструмента.

ВЫВОДЫ. При больших углах обхвата в средних по длине заготовки сечениях истинная деформация растяжения e_0 может снижаться до весьма малой величины и практически не оказывает влияния на уменьшение пружинения, т.е. последнее протекает, как и при чистом изгибе.

Ранее установлено, что изменение кривизны в результате пружинения материала при разгрузке зависит от истинной степени растяжения изогнутого элемента. Поскольку усилие растяжения вследствие трения по длине контакта является переменным, то и пружинение будет разной величины в различных сечениях контура.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ершов В.И. Интенсификация формоизменяющих операций листовой штамповки. – М.: Высшая школа, 1989. – 87 с.
2. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1977. – 278 с.
3. Федоров В.В. Основы эргодинамики и синергетики деформируемых тел. – Калининград: КГТУ, 2010. – 202 с.
4. Новые триботехнологии плакирования с применением взрывного нагружения / В.В. Драгобецкий, О.В. Троцко, Д.Л. Пирогов // Материалы VIII Международной научно-технической конференции «Авиа-2007». – К., 2007. – С. 60–63.

INFLUENCE OF FRICTION BETWEEN A BLANK AND THE TOOL ON SPRING BACK DURING BENDING WITH TENSION

O. Trotsko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

Conditions of contact interaction of a blank with the tool taking into account a spring back of the blank for the offered scheme of loading at bending with tension are considered. It is determined that the most effective drop of tension of contact friction is reached in the conditions of liquid and abnormally low friction. A loading scheme is provided by means of which the formula for determination of the effort of bending with tension is deduced. A change of the true effort of tension along the length of the bent element owing to friction between the blank and the tool is shown. It is determined that the true effort of tension of fibers is variable along the line of contact and decreases in the process of removal of sections from the point of contact; true deformation of tension practically doesn't influence on the reduction of spring back; the spring back will be of different size in various sections of the contour.

Key words: bending, tension, friction, spring back.

REFERENCES

1. Yershov V. I. *Intensification of forming operations of sheet stamping*. – M: Higher Sch., 1989. – 87 p. [in Russian]
2. Popov Ye. A. *Bases of the theory of sheet stamping*. – M: Mechanical engineering, 1977. – 278 p. [in Russian]
3. Fedorov V. V. *Bases of ergodynamics and synergetics of deformable bodies*. – Kaliningrad: KGTU, 2010. – 202 p. [in Russian]
4. New technologies of a friction of drawing of coverings with application of explosive loading / V.V. Dragobetsky, O.V. Trotsko, D.L. Pirogov // *Materials VIII of the International scientific and technical «Avia-2007» conference*. – K., 2007. – PP. 60–63. [in Russian]

Стаття надійшла 15.10.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Драгобецьким В.В.