

УДК 621.7.044

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ВЫТЯЖКЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МЕТАЛЛОВ С РАЗЛИЧНЫМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Т. В. Гайкова

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: vldrag@polytech.poltava.ua

Проведен анализ напряженно-деформированного состояния заготовки при вытяжке деталей коробчатой формы из биметалла. Намечены пути и способы интенсификации данного процесса. Показано, что при вытяжке в угловых участках контура детали происходит естественное утолщение фланца. Это явление учитывается при определении зазора между пуансоном и матрицей штампа для вытяжки: в угловых участках зазор должен быть больше, чем на прямолинейных участках контура матрицы. Направление зазора безразлично на всех операциях вытяжки, кроме последней. При вытяжке деталей с требуемыми наружными размерами зазор назначают, уменьшая размеры пуансона, при вытяжке деталей с требуемыми внутренними размерами, увеличивая размеры матрицы. Учитываются особенности деформирования различных слоев композиции, которые имеют неодинаковые механические свойства.

Ключевые слова: заготовка, локальная деформация, вытяжка.

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИ ВИТЯГУВАННІ ПРЯМОКУТНИХ ДЕТАЛЕЙ ІЗ МЕТАЛІВ З РІЗНИМИ МЕХАНІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Т. В. Гайкова

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: vldrag@polytech.poltava.ua

Проведений аналіз напружено-деформованого стану заготовки при витягуванні деталей коробчастої форми з біметалу. Намічено шляхи і способи інтенсифікації даного процесу. Показано, що при витягуванні в кутових ділянках контуру деталі виникає природне потовщення фланця. Це явище враховується при визначенні зазору між пуансоном і матрицею штампа для витягування: в кутових ділянках зазор повинен бути більше, ніж на прямолінійних ділянках контуру матриці. Напрямок зазору рівнозначний на всіх операціях витягування, крім останньої. При витягуванні деталей з необхідними зовнішніми розмірами зазор призначають, зменшуючи розміри пуансона, при витягуванні деталей з необхідними внутрішніми розмірами, збільшуючи розміри матриці. Враховуються особливості деформування різних шарів композиції, які мають неоднакові механічні властивості.

Ключові слова: заготовка, локальна деформація, витягування.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Детали коробчатой, прямоугольной в плане формы получили широкое применение в автомобилестроении, самолетостроении, при изготовлении различных изделий в электротехнике и энергетике. В основном они изготавливаются операциями вытяжки из листового материала, который имеет несколько слоев металлов с различными механическими характеристиками. За одну операцию вытяжки можно получить относительно неглубокие полые детали, так как при увеличении глубины действующие усилия возрастают настолько, что участки металла, нагруженные растягивающими силами, разрушаются в процессе деформирования вытяжкой. Поэтому при изготовлении глубоких полых деталей возникает необходимость в разделении процесса вытяжки на несколько операций с тем, чтобы избежать перенапряжения металла [1, 2]. Процессы вытяжки коробчатых деталей изучены и освещены в специальной литературе достаточно обширно и детально, но с применением новых материалов и методов совмещения операций возникает необходимость в доработке математических моделей деформирования, например двухслойных металлов с учетом неравномерности деформаций по слоям [3].

Цель работы – оценка напряженного-деформированного состояния при вытяжке прямо-

угольных деталей из металлов с различными механическими свойствами.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Для детального анализа напряженно-деформированного состояния заготовки в процессе вытяжки необходимо различать форму и геометрические соотношения коробчатых деталей [2]:

- а) с прямолинейными стенками с выпуклыми закруглениями на углах – квадратные и прямоугольные;
- б) с сочетанием прямолинейных стенок с выпуклыми и вогнутыми закруглениями;
- в) с криволинейными выпуклыми или вогнутыми стенками – овальные, эллиптические и т. п.
- д) детали, имеющие одну ось симметрии или асимметричные.
- г) детали, имеющие неодинаковую, заранее заданную толщину на различных участках.

В зависимости от формы детали формоизменение заготовки представляет собой процесс глубокой вытяжки в чистом виде, либо является сочетанием вытяжки с гибкой.

При вытяжке деталей коробчатой формы очаг пластической деформации находится в угловых участках фланца, он также охватывает зону сопряжения фланца и боковых стенок. Напряженное состояние углового участка фланца – плоское (сжато-рас-

тянутое), деформированное состояние – объемное. Стенки детали испытывают сложное и неравномерное напряженно-деформированное состояние: сжатие вдоль контура и растяжение по высоте (рис. 1). Чем выше деталь, тем характер распределения напряжений и деформаций более неравномерен. При вытяжке деталей коробчатой формы в угловых и криволинейных участках фланца возникают не только нормальные напряжения, действующие в радиальном и окружном направлениях, но и касательные напряжения, действующие в направлениях, ортогональных направлению нормальных напряжений (рис. 1). Эти касательные напряжения возникают вследствие отсутствия осевой симметрии деформирования и, следовательно, неравномерного распределения деформаций по контуру детали. На биссектрисе углового участка касательные напряжения отсутствуют (в связи с тем, что это ось симметрии данного участка), а в месте сопряжения криволинейного и прямолинейного участков контура достигают наибольшего значения [1].

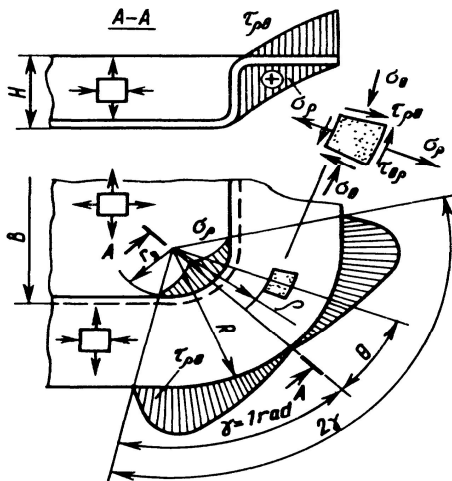


Рисунок 1 – Эпюры напряжений во фланце коробчатой детали на первом переходе вытяжки

Вследствие сплошности металла касательные напряжения постепенно убывают в двух взаимно противоположных направлениях: к биссектрисе угла 2γ (рис. 1) и в направлении прямолинейных участков контура. Касательные напряжения изменяются и по ширине фланца, увеличиваясь по мере приближения к периферийной его части. Таким образом, касательные напряжения изменяются вдоль двух координат – ρ и θ (рис. 1).

В работе [1] приведена формула для определения радиального растягивающего напряжения:

$$\sigma_{\rho} = \left[\frac{\sigma_s}{\gamma\sqrt{3}} \right] \left[\ln \frac{R}{\rho} - \theta^2 \right] + \frac{\mu Q}{\pi R s}, \quad (1)$$

где σ_{ρ} – растягивающее меридиональное напряжение; σ_s – предел текучести металла; Q – усилие прижима заготовки.

Анализ этой формулы показывает, что σ_{ρ} увеличивается с уменьшением ρ и θ . При $\rho = r_y$ и $\theta = 0$ радиальное растягивающее напряжение достигает максимума:

$$\sigma_{\rho} = \left[\frac{\sigma_s}{\gamma\sqrt{3}} \right] \left[\ln \frac{R}{r_y} - \theta^2 \right] + \frac{\mu Q}{\pi R s}. \quad (2)$$

Экспериментально установлено [1], что угол γ , определяющий протяженность очага пластической деформации, может быть принят равным одному радиану: $\gamma = 1$ рад. В этом случае максимальное по очагу деформации радиальное растягивающее напряжение будет равно

$$\sigma_{\rho} = \left[\frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} \right] \left[\ln \frac{R}{r_y} \right] + \frac{\mu Q}{\pi R s}. \quad (3)$$

Сравнивая полученный результат с выражением для вытяжки полой цилиндрической заготовки, было установлено [1], что при вытяжке коробчатых деталей напряжение $\sigma_{\rho max}$ на биссектрисе угла 2γ в 1,73 раза меньше, чем максимальное радиальное растягивающее напряжение, возникающее при вытяжке цилиндрических деталей. Указанное объясняется разгружающим действием касательных напряжений, возникающих вследствие отсутствия осевой симметрии деформирования при вытяжке коробчатых деталей и благоприятного направления этих напряжений к центру криволинейного участка контура на границе зон изгиба и вытяжки. Этот вывод хорошо подтверждается практикой – предельно допустимая степень деформации при вытяжке низких коробчатых деталей примерно в 1,5–2 раза выше, чем при вытяжке цилиндрических деталей [2].

Вследствие неодинаковых условий деформирования на различных участках контура, а также анизотропии механических свойств материала заготовки высота коробчатых деталей еще более неравномерна, чем высота осесимметричных деталей, получаемых вытяжкой. Поэтому в технологическом процессе изготовления таких деталей предусматривают обрезку неровного края. Припуск на обрезку зависит от относительной высоты детали. Чем она больше, тем больше припуск. В результате этого вытянутые детали (или полуфабрикаты) имеют неравномерную высоту: на угловых участках высота больше, а на прямолинейных — меньше. Кроме того, неравномерные по контуру матрицы условия втягивания заготовки вызывают неравномерное напряженное состояние стенок детали, что может привести к ее разрушению [2].

Так как при вытяжке в угловых участках контура детали происходит естественное утолщение фланца, это явление учитывается при определении зазора между пуансоном и матрицей штампа для вытяжки: в угловых участках зазор должен быть больше, чем на прямолинейных участках контура матрицы. Согласно практическим данным на прямолинейных участках контура зазор между пуансоном и матрицей $z = 1,25s$ и на криволинейных участках $z = (1,3-$

1,4)с. Направление зазора безразлично на всех операциях вытяжки, кроме последней. При вытяжке деталей с требуемыми наружными размерами зазор назначают, уменьшая размеры пуансона, при вытяжке деталей с требуемыми внутренними размерами, увеличивая размеры матрицы. Для создания хотя бы приблизительно одинаковых условий вытягивания заготовки в матрицу по всему контуру на прямолинейных ее участках искусственно увеличивают сопротивление вытягиванию заготовки путем использования специальных перетяжных ребер, которые служат своеобразным тормозом при перемещении заготовки относительно матрицы. Перетяжные ребра применяют только по мере необходимости, поскольку их установка усложняет штамповку и увеличивает его стоимость [1].

Еще большую неравномерность деформаций вызывает вытяжка коробчатых деталей из биметаллов. На общую знакопеременность напряжений накладывается разная величина деформаций слоев биметаллической заготовки, что вызывает изгиб и коробление прямолинейных частей полуфабриката, и невозможность получения качественного изделия. В работе [3] на основе анализа напряженно-деформированного состояния заготовки в процессе вытяжки биметалла предложены следующие положения: если механические свойства слоев металла не отличаются, двухслойный металл ведет себя, как однослойный; если механические свойства слоев отличаются, то меняется соотношение толщин двухслойного металла после вытягивания. Так, при

уменьшении отношения $\frac{\sigma_{s1}}{\sigma_{s2}}$ уменьшается на выхо-

де толщина первого слоя, который имеет меньшие механические свойства; соотношение толщин после вытягивания зависит также от начального отношения толщин металла.

ВЫВОДЫ. На основе проведенного анализа напряженно-деформированного состояния можно предложить следующие методы и приемы для получения качественных деталей вытяжкой и экономии материала: применять металлы с близкими механическими свойствами; стремиться к увеличению кривизны угловых зон заготовки; производить расчет размеров заготовки для вытяжки с привлечением современного математического аппарата (метод потенциала); вместо тормозных ребер применять тормозные среды; влиять на очаг деформации, увеличивая действие разгружающих касательных напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология холодной штамповки: учебник для вузов по специальностям «Машины и технология обработки металлов давлением» и «Обработка металлов давлением» / Ю.А. Аверкиев, А.Ю. Аверкиев. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
2. Шофман Л.А. Элементы теории холодной штамповки. – М.: Оборонгиз, 1952. – 335 с.
3. Розраунок напружено-деформованого стану при витягуванні з потоншенням двошарового металу / В.А. Тітов, Р.С. Борис // Обработка металлов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2012. – № 1 (30). – С. 45–52.

THE ANALYSIS OF THE STRESS-STRAINED STATE OF SQUARE-ANGLED BLANKS DURING THE BAR METAL DRAWING FOR THE METALS WITH DIFFERENT MECHANICAL PROPERTIES

T. Haikova

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

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

The paper focuses on the stress-strained state of a blank at bar metal drawing process of box-shaped bimetal. The ways and methods to intensify this process are defined. It is shown that natural thickening of the flange in the angular edge details of the blank occurs under the drawing. This phenomenon is taken into account when determining the clearance between the punch and the drawing die: the clearance of angular areas should be superior to the clearance of straight parts of the matrix edge. The clearance direction makes no difference for all the drawing operations except the last one. For the drawing process of workpieces with the external dimensions specified the clearance should be set reducing the size of the punch; for the drawing of workpieces with the internal dimensions specified this should be done increasing the size of the matrix. The peculiarities of straining of the different layers of the composition that have distinct mechanical properties are taken into account.

Key words: blank, local deformation., drawing.

REFERENCES

1. Averkiev, Y.A., Averkiev, A.Y. (1989), *Tekhnologiya kholodnoi shtampovki* [Cold forming technology], Mashinostroenie, Moscow, Russia.
2. Shofman, L.A. (1952), *Elementy teorii kholodnoi shtampovki* [The elements of the theory of cold forming], Oborongiz, Moscow, Russia.
3. Titov, V.A., Boris, R. S. (2012), «The calculation of the intensely strained state in the process of stretching, followed by the thickening double layered metal», *Obrabotka metallov davleniem: collected works*, vol. 30, iss. 1, pp. 45–52, DSMA, Kramatorsk, Ukraine.

Стаття надійшла 07.12.2012.