

Изследване влиянието на някои фактори и определяне на граничните условия за нагъване по фланеца при дълбоко изтегляне на листов материал

Светлана Паскалева

Investigation of the impact of the factors and limit conditions on flange wrinkling in a deep drawing process of sheet metal.: The results from investigations of the impact, some factors have on the loss of resistance in the flange during cylindrical cup deep drawing process are presented. The occurrence of wrinkling for a set of elements in a series of simulations with different blank holding forces have been examined in order to build diagrams of major / minor strains. Several cases with different blank / die diameter ratio were compared. A wrinkling limit diagram (WLD) was build using analytical functions, selected using the least square method.

Key words: Deep drawing process simulation, Wrinkling, Wrinkling limit diagram (WLD), Least squares method

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Нагъването на фланеца е често срещан дефект при процес на дълбоко изтегляне. То възниква като резултат от повишаването на ефективните натискови окръжни деформации над определена гранична стойност [7,12]. Този дефект води в повечето случаи до бракуване на изтегления детайл. Съгласно [5] до 80% от повредените части при дълбоко изтегляне в автомобилостроенето се дължат на нагъване на фланеца или по ъглите. Това обуславя необходимостта от проучване на причините за появяването на тази аномалия, както и възможните начини за управление на процеса на изтегляне, с цел нейното избягване. В [7,8,9,11] са представени изследвания на факторите, предизвикващи появата на този дефект. Различни автори правят опити за определяне на граничните състояния, като функция на параметрите на изтеглянето [3], подкрепени с цифрови симулации и тестови резултати. Докладвани са също резултати от експерименти, проведени с различни видове стомани за различни дебелини на заготовката при различна геометрия на инструмента. Достигането на критичната деформация на нагъване зависи силно от свойствата на конкретния материал [12], размерите на образеца и инструмента, силата на притискане, коефициента на триене и други параметри на процеса.

Диаграмите на гранични деформации (Forming Limit Diagram-FLD) служат като важна насока в анализа на процесите на листово формование за съответния метал. Те представляват графично изобразяване, поясняващо границите на главните деформации, на които листът може да бъде подложен без разрушаване, за даден процес на формование.

Граничната крива на формообразуване е предназначена да представя границите на комбинациите от деформации, които предизвикват нестабилност (нагоре от кривата) и/или разрушаване и онези, които са допустими във формовъчните операции (под кривата). Критерият на разрушаване представен от точките на граничната крива на формообразуване са локализация на деформациите (свиване) или скъсване.

Понякога към диаграмите на гранични деформации се добавят други линии, подобни на тези, представящи едноосен опън и едноосен натиск, двуосен опън и чисто плъзгане, за да позволяват по-добро представяне на състоянието на деформация на листа[10].

В предишна публикация [1] са разгледани някои от съществуващите критерии за загубата на устойчивост и е направена оценка на вероятността за възникване на нагъване. В тази публикация беше направен опит да бъде построена диаграма на

граничните деформации при нагъване (wrinkling limit diagram -WLD), като беше изследван само един краен елемент, намиращ се на ръба на фланеца.

Настоящият доклад изследва възможността за по-точно построяване на тази диаграма на гранични деформации при нагъване, като се използват получените данни при компютърни симулации за повече крайни елементи от фланеца. Също така има за цел аналитичното представяне на получената крива, което е част от по-нататъшното аналитично определяне на технологичния прозорец, в който се получава качествено изделие.

II. ЧИСЛЕНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА НАГЪВАНЕТО ПО ФЛАНЕЦА

1. Компютърни симулации на процеса дълбоко изтегляне

Проведени са симулации със създадените компютърни модели [1] на заготовката и инструмента за дълбоко изтегляне на цилиндрична чаша. Изследванията са за различни крайни елементи при различни сили на притискане по фланеца на заготовката и различни отношения на диаметрите на матрицата и заготовката, като е използван програмен продукт LS-DYNA.

Въз основа на резултатите от тези симулации са построени графично пътищата на деформация на крайните елементи, намиращи се върху образуващата на изтегляната чаша в областта на фланеца и радиуса на закръгление на матрицата за съответната стойност на силата на притискане. Отчетен е моментът на поява на нагъване по фланеца и съответстващото му деформационно състояние е изобразено като точка на пътя на деформация за съответния краен елемент. По тези точки е построена графиката за една от стойностите на силата на притискане. Подобни графики са получени и за други сили на притискане.

Критичните деформации, при които настъпва нагъване, могат да бъдат начертани в координатната система на главните мажорни и минорни деформации $\theta, \varepsilon_1, \varepsilon_2$, заедно с диаграмата на гранични деформации. Получената диаграма се нарича диаграма на гранични деформации при нагъване (Wrinkling Limit Diagram-WLD) [12].

Подобно на диаграмата на гранични деформации, тя дава графична представа за това, при кои деформационни състояния има вероятност да се получи нагъване и при кои изделия ще бъде без този дефект [1].

Изследване чрез метода на крайните елементи на появата и развитието на нагъването, дава възможност да бъдат отчетени повечето фактори, от които зависи получаването на този дефект.

2. Цели на изследването:

Да се определят граничните стойности на деформацията, при които би се получило нагъване.

Да се определи аналитичният вид на уравнението на диаграмата на граничните деформации при нагъване.

Да се установи влиянието на силата на притискане върху загубата на устойчивост (нагъването) по фланеца.

Да се построи фамилия от диаграми на гранични деформации на нагъване в полето на главните деформации, за процеси с различни коефициенти на дълбоко изтегляне, за да се види влиянието на степента на деформация върху изместването на тези диаграми.

3. Стъпки на изследването:

3.1. Използвайки разгледания в [1] подход е извършена серия от симулации на процес на дълбоко изтегляне на цилиндрична чаша и са построени пътищата на деформация на множество от 11 радиално разположени крайни елемента.

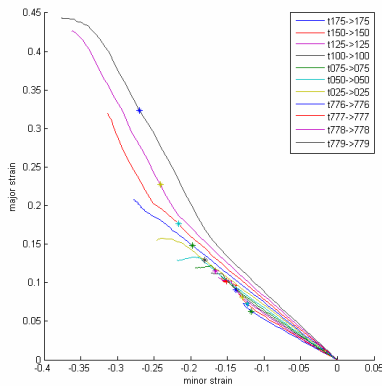
3.2. Понеже разглежданият детайл е ососиметричен (цилиндрична чаша), за да бъде определено деформационното състояние във всяка точка е достатъчно да бъдат определени пътищата на деформация на елементите, лежащи върху образуващата.

3.3. Разработена е програма в MATLAB среда, която, използвайки метода на най-малките квадрати, намира аналитично представяне на най-близката до резултатите от симулацията функция. Същата е начертана на общата графика.

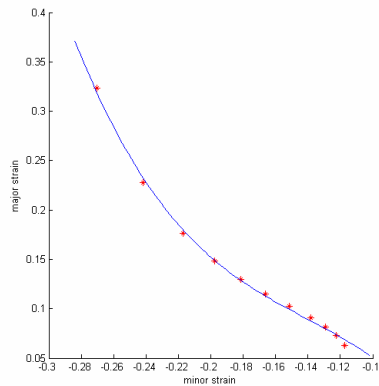
3.4. Построена е графика, обединяваща фамилията от гранични криви на нагъване (WLD) за различни коефициенти на дълбоко изтегляне и диаграмата на гранични деформации (FLD), построена на базата на литературни източници за съответния материал [2].

4. Проведени числени изследвания на нагъването по фланеца

4.1. Проведени са симулации за радиално разположени крайни елементи с номера 175, 150, 125, 100, 75, 50, 25, 776, 777, 778, 779, в посока от ръба на фланеца към центъра на изтегляната чаша. Получените пътища на деформация за сила на притискане 1000 kN са изобразени на (фиг.1). За същата сила на притискане на (фиг.2) е изобразена крива, която свързва точките, съответстващи на деформационните състояния на всички изброени крайни елементи в момента на настъпване на нагъване.



Фиг.1 Пътища на деформация на радиално разположени елементи (сила на притискане 1000 kN)



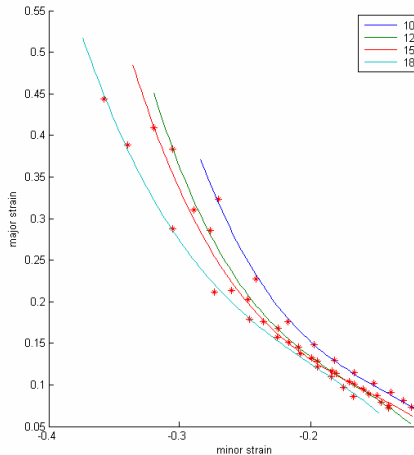
Фиг.2 Деформационни състояния, съответстващи на момента на възникване на нагъване за радиално разположени елементи (сила на притискане 1000 kN)

Като критерий за възникване на нагъване е използвано повдигането на притискача, вследствие образуването на гънки по фланеца на чашата. За да се приеме, че е възникнало нагъване, положението на притискача трябва да отговаря на следната зависимост:

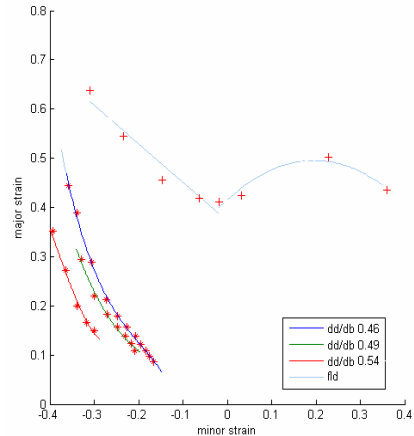
$\text{HolderPosition} > \text{blankThick} \cdot \text{HolderPosition} > \text{blankThick} \cdot \text{HolderPosition} \cdot \text{HolderPosition}$ (1),
където HolderPosition е разликата между достигнатата от притискача най-ниска позиция и неговата текуща позиция, blankThick е коефициент, отразяващ степента на чувствителност спрямо промяна на положението на притискача (за тестовите, обсъждани в тази статия blankThick е коефициент, отчитащ напреженията в заготовката (основава се на максималната стойност на второто главно напрежение,

измерена по време на симулацията за дадения елемент). BlankThick е дебелината на заготовката.

Цел: Да се види, къде се намират тези пътища на деформация в координатната система, как влияе силата на притискане върху изместването им и да се потърси подходяща крива на граничните деформации при нагъване, която да описва граничното състояние, при което е възможна появата на гънки.



Фиг.3 Криви на поява на нагъване за различни сили на притискане (1000,1200, 1500, 1800 kN)



Фиг.4 Криви на поява на нагъване за различни отношения dd/db и крива за гранични деформации FLD

Получени резултати:

- Пътищата на деформация (фиг.1), с приближаване на крайния елемент към центъра на чашата се отместват нагоре и точката, съответстваща на момента на нагъване се отмества наляво и нагоре.
- Повечето от точките на кривата (фиг.2), която се получава за нагъването, са разположени в долната част на втори квадрант.
- От графиката на (фиг.3) се вижда, че колкото по-голяма е силата на притискане, толкова кривата на нагъването се отмества надолу и наляво.
- На (фиг.4) са дадени двете диаграми на гранични деформации, тази на изтъняване и скъсване (FLD) и тази на нагъване (WLD). Диаграмите на нагъване са три и те са за различни стойности на dd/db (dd-диаметър на матрицата, db-диаметър на заготовката). С нарастване на отношението dd/db кривите се отместват надолу и наляво.

4.2. Използвайки метод на най-малките квадрати, е намерено аналитичното представяне на непрекъснатата функция, която максимално точно съответства на точките от симулациите, описани по-горе. Изследвани са полиноми от 1,2,3,4 ред. Функциите, удовлетворяващи това условие са:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= -35.673 * \varepsilon_2^3 - 20.798 * \varepsilon_2^2 - 5.103 * \varepsilon_2 - 0.34866 && \text{-за сила на притискане 1800 kN (2)} \\ \varepsilon_1 &= -43.585 * \varepsilon_2^3 - 20.581 * \varepsilon_2^2 - 4.0518 * \varepsilon_2 - 0.20514 && \text{-за сила на притискане 1500 kN (3)} \\ \varepsilon_1 &= -56.796 * \varepsilon_2^3 - 28.463 * \varepsilon_2^2 - 5.7242 * \varepsilon_2 - 0.3266 && \text{-за сила на притискане 1200 kN (4)} \\ \varepsilon_1 &= -53.694 * \varepsilon_2^3 - 22.673 * \varepsilon_2^2 - 4.0596 * \varepsilon_2 - 0.18226 && \text{-за сила на притискане 1000 kN (5)} \end{aligned}$$

ИЗВОДИ

От проведените числени изследвания, свързани с построяване диаграмата на гранични деформации при нагъване, могат да бъдат направени следните изводи:

- Построената, с помощта на числени експерименти крива на (фиг.2) е много близка като разположение и вид до кривата на гранични деформации при нагъване (WLD), показана в [11,12]. Начинът на построяването ѝ е принципно същия, както построяването на диаграмата на гранични деформации (FLD) (фиг. 3 2). [12]. Разположена е в същата област в полето на главните деформации $0 \leq \epsilon_1 \leq \epsilon_2$, където се получава и чрез експериментални методи, споменати в литературата. Следователно може да се приеме, че така получената крива би могла да бъде използвана за ограничаване на технологичния прозорец, в който се получава изделие без дефекти.
- Численото изследване на кривите на гранични деформации на нагъване, при изменение на силата на притискане и коефициента на дълбоко изтегляне (или степента на деформация) показват, че при нарастване на силата на притискане (фиг.3) и при нарастване на коефициента на дълбоко изтегляне (намаляване на степента на деформация), кривите на нагъване се изместват надолу, като разширяват технологичния прозорец и увеличават вероятността за получаване на изделие без нагъване по фланеца.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Паскалева С. , Възможности за определяне на граничните условия за нагъване по фланеца при дълбоко изтегляне на листов материал. Научни трудове том 47, Серия 2, РУ "Ангел Кънчев", Русе. 2008. ISSN 1311-3321, стр.169-174.
- [2] Паскалева С. Аналитично описание на деформируемостта на материала при технологичен процес на дълбоко изтегляне, чрез подходящи математически методи. Годишник на Технически университет – Варна, том I, 2008 г, стр. 159-164.
- [3] Ahmetoglu, M., Kinzel, G., Taylan, A., Forming of aluminium alloys – Application of computer simulations and blank holding force control. Journal of Materials Processing Technology, 71: pages 147-151, 1997.
- [4] Correia, J., Ferron, G Wrinkling predictions in the deep-drawing process of anisotropic metal sheets, Journal of Materials Processing Technology, 128: pages 178-190, 2002.
- [5] Dieter, G.E. Mechanical Metallurgy. McGraw-Hill, 1989.
- [6] Doege, E., El-Dsoki, T., Seibert, V., Prediction of necking and wrinkling in sheet metal forming, Journal of Materials Processing Technology, 50: pages 197-206, 1995
- [7] Hosford W., Duncan, J., . Sheet Metal Forming: A Review, Journal JOM, 51 (11), 1999, pages 39-44.
- [8] Kim J.B., Yang, D.Y., Prediction of wrinkling initiation in sheet metal forming processes. Engineering Computations, Vol.20, N1, 2003, pages 6-39.
- [9] Kim Y., , Youngjin S., Study on wrinkling limit diagram of anisotropic sheet metals. Journal of Materials Processing Technology 97, 2000, pages 88-94.
- [10] Kleiber M., J. Rojek, R. Stocki. Reliability assessment for sheet metal forming operations. Institute of Fundamental Technological Research, Warsaw, August 2001.
- [11] Marciniak Z., Duncan, J., Hu, S., Mechanics of Sheet Metal Forming. Butterworth Heinemann, 2002.
- [12] Taylor, B., ASM Metals Handbook Volume 14, Formability Testing of Sheet Metals, 1996.

За контакти:

Гл.ас.инж. Светлана Паскалева, Добруджански технологичен колеж гр. Добрич, e-mail: spaskaleva@abv.bg

Докладът е рецензиран.