

Възможности за определяне на граничните условия за нагъване по фланеца при дълбоко изтегляне на листов материал

Светлана Паскалева

Opportunities for determination of the limit conditions for wrinkling in deep drawing process of sheet metal: Numerical study of the impact of some of the factors, which determine the loss of resistance in the flange during cylindrical cup deep drawing process, is presented in this article. Strain paths for a finite element from the simulation model, lying on the periphery were built and the moment of the wrinkling occurrence was determined. A numerical method to obtain the Wrinkling Limit Diagram (WLD) is suggested. The ability to determine the local buckling by compressive hoop stress was investigated.

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

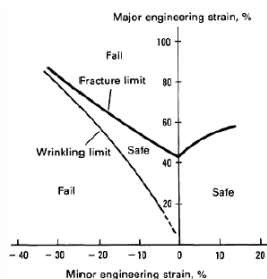
ВЪВЕДЕНИЕ

При дълбоко изтегляне, често срещан дефект е нагъване по фланеца на изтеглената заготовка. В повечето случаи наличието на гънки е неприемливо за крайния продукт и целите на сглобяване. Поради това са проведени много изследвания от различни автори, с цел да бъде предвидена появата на този дефект и да бъдат намерени начини за неговото предотвратяване [4, 5, 6, 7].

Съществуват тестове за определяне на нагъването. Такъв е тестът с дълбоко изтегляне на конусна чаша, описан в [3].

Резултати от експерименти, проведени с различни видове стомани за различни дебелини на заготовката при различна геометрия на инструмента са докладвани от J. Navránek, в редица негови публикации, във връзка с изследване на този вид дефект.

Нагъване възниква в стена, която няма опора, когато ефективните натискови окръжни деформации надвишат определена стойност, за съответното ниво на радиални деформации на опън, за съответните геометрия на инструмента и условия на формоване [3,4]. Критичните деформации, при които настъпва нагъване, могат да бъдат начертани в координатната система на главните мажорни и минорни деформации $0\varepsilon, \varepsilon_2$ (фиг.1), заедно с диаграмата на гранични деформации (Forming Limit Diagram-FLD). Получената диаграма се нарича диаграма на гранични деформации при нагъване (Wrinkling Limit Diagram-WLD) [3].



Фиг.1 Диаграма на гранични деформации при нагъване, изобразена заедно с диаграмата на гранични деформации [3]

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, изделието ще бъде без този дефект.

Достигането на критичната деформация на нагъване зависи силно от размерите на образеца и инструмента, смазването и силата на притискане. Измененията на тези променливи, които намаляват радиалното напрежение (увеличаване на радиуса на закръгление на ръба на матрицата, подобряване на смазването или намаляване на диаметъра на заготовката или силата на притискане), увеличават склонността към загуба на устойчивост, която се проявява чрез нагъване. Свойствата на конкретния материал, който се деформира също оказват влияние върху нагъването [3].

Различните автори са търсили различни критерии оценка на загубата на устойчивост, като са се основавали на различни принципи. В [5] например, е предложен фактор на нагъване (wrinkling factor), като критерий за относителна оценка, който показва положението и относителната вероятност за появата на нагъване. Основан е на енергийни критерии. 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, което иначе е доста трудно. Освен това резултатите при експериментално изследване могат да бъдат с доста голямо разсейване за малки отклонения на някои от факторите.

Като критерий за свиване при процеси на листово формование са широко използвани диаграмите на гранични деформации. Там може да бъде дефинирана променлива, която може да бъде изобразена с точка, каквато е деформацията. При загубата на устойчивост, граница на нагъването не може да бъде дефинирана само чрез една променлива, която да бъде изобразена с точка, като деформация, напрежение или кривина на листа. В този случай трябва да се вземат пред вид геометрията на листа и граничните условия, понеже влиянието им върху нагъването не е незначително [5]. Това важи особено за сложни процеси на листово формование.

ЧИСЛЕНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАГЪВАНЕТО ПО ФЛАНЕЦА НА ДЪЛБОКО ИЗТЕГЛЕНА ЧАША

Извършена е симулация на процес на дълбоко изтегляне на цилиндрична чаша, като е използван програмен продукт LS-DYNA. Разработени са някои програми в Matlab среда, които подпомагат изследването чрез числени симулации, като дават възможност за промяна на някои от факторите, които влияят върху протичането на процеса на дълбоко изтегляне и получаването на изделие без дефекти. Тези програми, както и числените изследвания, проведени с тях са представени в [1,2]. Настоящата работа се явява продължение на тези изследвания, с цел бъдеща оптимизация на процеса на дълбоко изтегляне.

1. Цели на изследването:

Установяване на влиянието на различни параметри на процеса, върху загубата на устойчивост (нагъването) по фланеца.

Определяне на граничните стойности на деформацията, при която би се получило нагъване.

Построяване на диаграма на гранични деформации при нагъване, в полето на главните деформации.

Изследване на окръжното натисково напрежение, с цел търсене на критерий за определяне началото на загубата на устойчивост по фланеца на изтеглената чаша.

2. Стъпки на изследването:

2.1. Направена е симулация на процес на дълбоко изтегляне на цилиндрична чаша.

2.2. Разработена е програма в Matlab-среда, която построява пътищата на деформация на посочени крайни елементи.

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

2.4. При изследване на нагъването по фланеца, е разгледан краен елемент от модела на заготовката, намиращ се на периферията на изтеглената чаша (елемент с номер 175) фиг.2, понеже там натисковите окръжни напрежения са максимални.

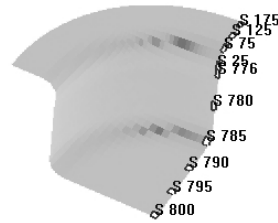
2.5. Като показател за появата на нагъване по фланеца е проследено повдигането на притискача, вследствие образуването на гънки по периферията на заготовката.

3. Проведени числени изследвания на нагъването по фланеца

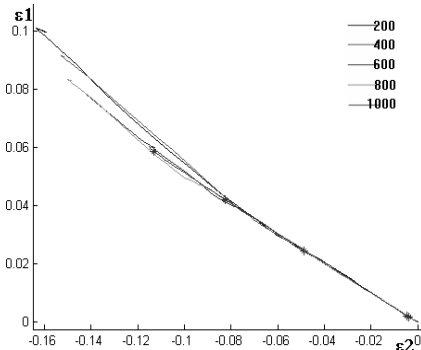
3.1. При различни сили на притискане

За различни сили на притискане са построени графиките на пътищата на деформация на елемент 175 от периферията и тези графики са изобразени в полето на главните деформации (фиг.3), заедно с получената по-рано крива на гранични деформации.

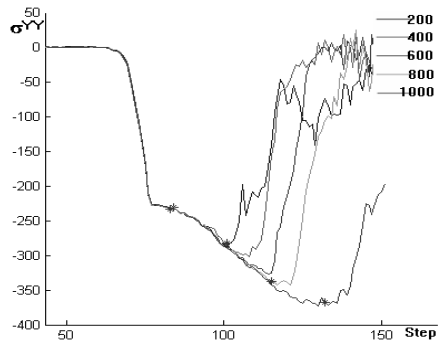
Цел: Да се види, къде се намират тези пътища на деформация в координатната система, как влияе силата на притискане върху изместването им и да се потърси подходяща крива на граничните деформации при нагъване, която да описва граничното състояние, при което е възможна появата на гънки.



Фиг.2 Модел на заготовката за процес на дълбоко изтегляне, с посочени номера на крайните елементи, лежащи на линията между центъра и периферията



Фиг.3 Пътища на деформация на краен елемент от ръба на периферията на модела, за сили на притискане от 200kN до 1000 kN.



Фиг.4 Разпределение на натисковото окръжно напрежение по стъпките на симулацията, за различни сили на притискане.

Получени резултати:

-От графиката се вижда, че колкото по-голяма е силата на притискане, толкова на по-късна стъпка от време започва нагъването.

-Силата на притискане не влияе много на пътя на деформация (фиг.3).

-Отделните криви за пътищата на деформация почти се припокриват.

-Само точките, съответстващи на деформационното състояние, при което започва нагъването се различават за различните сили. Следователно може да бъде построена една крива, която да минава през тези точки и която, като разположение и форма прилича доста на кривата на граничните деформации при нагъване, която е показана в литературата [6].

3.2. При различни дебелини на заготовката

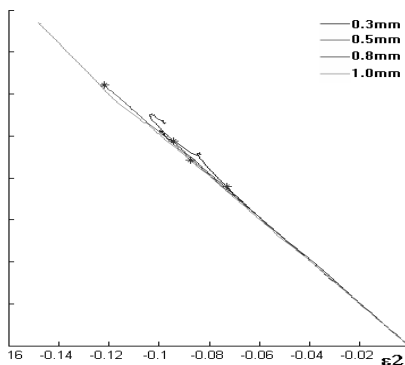
Изследвани са пътищата на деформация на елемент от периферията за дебелини на заготовката от 0.3mm до 1mm със стъпка 0.1mm.

Цел: Да се изследва влиянието на дебелината на заготовката, върху разположението на пътищата на деформация и появата на нагъване.

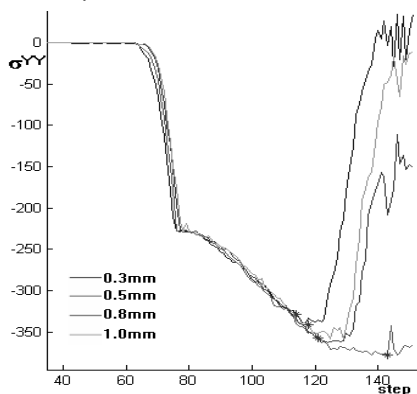
Получени резултати:

-Пътищата на деформация при различни дебелини на материала, почти съвпадат (фиг.5).

-Означените точки, които съответстват на появата на нагъване също лежат на една крива, която е близка до тази, изобразена на фиг.3.



Фиг.5 Пътища на деформация на елемент от ръба на периферията за дебелина на заготовката от 0.3mm до 1.0 mm.



Фиг.6 Разпределение на натисковото окръжно напрежение по стъпките на симулацията, за различни дебелини на заготовката.

3.3. Изследване на напреженията

Изследвани са окръжните натискови напрежения, в елемент с номер 175.

Цел: Да се определи критичното натисково напрежение, при което започва загубата на устойчивост.

Получени резултати:

- Построени са графики на окръжните натискови напрежения, за случаите на различни сили на притискане фиг.4 и за различни дебелини на материала фиг.6, като върху тези графики е отбелязан моментът на нагъване, определен чрез критерия за повдигане на притискача.

- Символът, който отбелязва нагъването, се намира малко преди максималната стойност на натисковото напрежение.

- Разгледани са изходните файлове от симулацията, чрез пре-процесора на LS-DYNA. Така е определен моментът на нагъване по фланеца, като е наблюдавано кога се появяват първите гънки. Отчетен е моментът от време, в който започва нагъването и след това от изходния файл, съдържащ стойностите на напреженията, за същия този момент от време е отчетена съответната стойност на окръжното натисково напрежение.

- Сравнени са така получените стойности за окръжното напрежение със стойностите, получени чрез критерия за отместване на притискача, вследствие образуване на гънки и е установено, че тези стойности са близки.

ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

От числените изследвания на загуба на устойчивост на дълбоко изтеглена чаша, могат да бъдат направени следните **изводи**:

При промяна на силата на притискане по фланеца, пътищата на деформация на елементите по ръба на заготовката, не се отклоняват съществено един от друг, до момента на появяване на нагъване. При това положение, може да бъде построена една крива, която е геометричното място на всички точки, съответстващи на деформационното състояние в момента на започване на нагъване. Тази крива може да бъде приета за гранична крива на деформациите при нагъване (WLD). Ако

се приеме някакъв процент на сигурност, с който да бъдат увеличени граничните деформации, (напр. 10 %, както се приема при кривите на гранична деформация FLD), ще се получи област, в която вероятността от загуба на устойчивост е много висока. Над кривата, която ограничава тази област, ще бъде сигурната област.

При промяна на дебелината на материала, се забелязват много по-малки отклонения от пътищата на деформация. Може да се приеме, че дебелината на материала, не влияе съществено върху пътя на деформация.

От построените графики за окръжните напрежения на натиск и от резултатите от препроцесора се вижда, че и двата критерия за отчитане на нагъването дават близки резултати.

ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Направените числени изследвания на промяната на другите параметри, свързани с геометрията на инструмента: радиусите на закръгление на ръба на матрицата и поансона, както и хлабината между тях, показват също малка промяна на пътя на деформация, на изследвания елемент.

При положение, че има приемлив начин да бъде получена кривата на гранични деформации при нагъване, може заедно с диаграмата на гранична деформация, да бъде определен графично и аналитично технологичният прозорец, в който вероятността за получаване на качествено изделие при дълбоко изтегляне е най-голяма.

Понеже факторите, чието влияние е изследвано, са разглеждани поотделно, би било добре да се потърси начин за изследване на комплексното влияние, поне на тези от тях, с най-силно въздействие върху процеса.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Паскалева С. , И. Иванов. Определяне на допустимите стойности на притискащата сила при дълбоко изтегляне чрез компютърни симулации. Научни трудове том 44, Серия 2, РУ "Ангел Кънчев", Русе. 2005. ISSN 1311-3321, стр.169-174.
- [2] Паскалева С. , И. Иванов, Г. Попов. Изследване на влиянието на геометрията на инструмента върху възможността за дълбоко изтегляне. Сборник доклади на научна конференция, РУ "Ангел Кънчев", Русе. 2006. ISSN 1311-3321, стр.276-280.
- [3] Brian Taylor. ASM Metals Handbook Volume 14, Formability Testing of Sheet Metals, 1996.
- [4] [Hosford William, John Duncan](#). Sheet Metal Forming: A Review, Journal [JOM](#), **51 (11) (1999)**, pp. 39-44.
- [5] Kim J.B., D.Y. Yang. Prediction of wrinkling initiation in sheet metal forming processes. Engineering Computations, Vol.20, N1, 2003, pages 6-39
- [6] Kim Youngsuk, Youngjin Son. Study on wrinkling limit diagram of anisotropic sheet metals. Journal of Materials Processing Technology 97 (2000), pages 88-94.
- [7] Marciniak Z., J.Duncan, S. Hu. Mechanics of Sheet Metal Forming. Butterworth Heinemann, 2002.

За контакти:

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

Докладът е рецензиран.