



## 3D SIMULATION BY CAD/CAE SOFTWARE AND TOOLS DESIGN OF FOUR-CHANNEL EQUAL EXTRUSION

Valentin KAMBUROV, Jordan GENOV, Albena SERGISSOVA, Antonio NIKOLOV

**Abstract:** The deformation process during the four angular equal channel extrusion is analyzed by CAD/CAE software QForm 2D/3D Lite using 3D simulation. The deformation parameters are optimized and design according filling of the deformation tools space. The tools for physical modeling and simulation of SPD ECAE process with low melting alloys are design.

**Key Words:** severe plastic deformation, equal channel angular extrusion, CAD/CAE software 3D simulation

## 3D СИМУЛАЦИЯ С ПРОГРАМЕН CAD/CAE ПРОДУКТ И ПРОЕКТИРАНЕ НА ИНСТРУМЕНТАЛНА ЕКИПИРОВКА ЗА ЧЕТИРИЪГЛОВА РАВНОКАНАЛНА ЕКСТРУЗИЯ

Валентин КАМБУРОВ, Йордан ГЕНОВ, Албена СЕРГИСОВА, Антонио НИКОЛОВ

**Резюме:** Деформационният процес на четириъглова равноканална екструзия е анализиран чрез 3D симулация, проведена с CAD/CAE пакет за компютърна симулация на пластична деформация Quantor Form 2D/3D lite version 5.1.1. Определени са оптималните параметри на деформационното пространство по отношение на неговото запълване, които са използвани за проектиране на инструментална екипировка за физическо моделиране на процеса с нискотопими сплави.

**Ключови думи:** интензивна пластична деформация, равноканална ъглова екструзия, CAD/CAE програмна 3D симулация

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

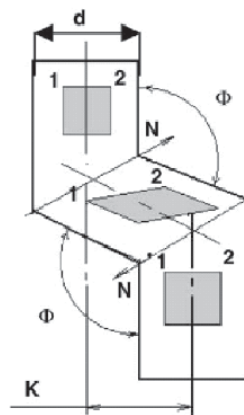
Процесът на интензифициране на пластичната деформация (ИПД) се използва като технология за постигане на структурни промени в подложените на обработка метали и сплави. Най-същественият ефект, получен след акумулирането на интензивна пластична деформация, е издребняване размера на зърната и обусловено нарастване на якостните характеристики на материала. Постигнатите значителни степени на деформация, без да се изменя съществено формата и размерите на изходните заготовки, са резултат от реализиране на деформационна схема на чисто плъзгане, съчетана с натисков сферичен тензор на напреженията [4].

Големите степени на пластична деформация без възможност за рекристализация водят до натрупване на дефекти, свързани с раздробяване на зърната и формирането на предимно високо ъглови граници между силно издребнените ултрафини зърна. Интензифицирането на деформацията се постига чрез съсредоточаването ѝ в сравнително малък участък от обработваната заготовка. Това води от опасност от натрупване на дефекти и до изчерпване ресурса на пластичност, следвано от разрушаване. Съчетаването на интензивна пластична деформация и натискови напрежения позволява обработваният материал да претърпи големи деформации без да изчерпи ресурса на пластичност в зоната на съсредоточаване на деформацията и без появата на микро пукнатини [1].

Като технологична схема за интензифициране на пластичните деформации се използва метода на ъглова равноканална екструзия, базирана на просто плъзгане (срязване), концентрирано в сравнително тесен деформационен участък, между пресичащите се равнини на каналите. Наличието на тези равнини на плъзгане, пресичащи се при всеки следващ преход, осигурява максимално издребняване на първоначалната структура [5]. За реализирането на схемата на равноъглова екструзия са нужни сравнително ниски стойности на силата, основно за преодоляване силите на контактно триене по стените на каналите. Това, в комбинация със сравнително простата инструментална екипировка, превръща методът в лесно реализуема лабораторна схема, чрез която може да се изследва връзката между акумулираните деформации, изменението на структурата, както и да се използва за оптимизиране параметрите на технологичния процес.

Известни са различни модификации на процеса на равноканална ъглова екструзия, които в основата си са запазили първоначалната идея, на която е изградена тази схема. Хибридни разновидности на равноканалната ъглова екструзия са: многоходовата равноъглова екструзия, непрекъсната ъглова екструзия, Т-образна екструзия с кръстосани канали, както и въртящи се, пространствени конфигурации на каналите и пр. Всички те са разработени с цел да се повиши ефективността на процеса, като бъде подбрана най-подходящата от тях за масово производство.

Развитие на едноъгловата екструзия е метод, при който изтласкването на заготовката става през два паралелни един на друг канали - равноканална двуъглова екструзия фиг. 1-1 [2].  $\Phi$  е ъгълът, сключен между каналите, а  $K$  е изместването между каналите (разстоянието между осите на двата, еднакви по напречно сечение, входен и изходен канал) фиг. 1-1. Съотношението между тези два параметъра и напречното сечение на каналите оказват основно влияние върху екструдирването на материала и определят неговото напрегнато-деформационно състояние [6].



Фиг. 1.1 Принципна схема на двуъглова екструзия [3]

Отличителен белег на метода с паралелни канали (двуъглова екструзия) е, че заготовката се подлага двукратно на чисто плъзгане, но в диаметрално различни посоки и без завъртане. Това на практика означава, че има намаляване на броя на преходите, които са нужни за постигане на ултра финна структура. Теоретично логичната възможност за удвояване броя на деформационните зони при двуъгловата екструзия, което е свързано с ново намаляване броя на преходите и съответно изваждането на заготовката от деформационното пространство на инструмента, представлява концепцията за четириъглова екструзия.

В настоящата разработка са представени резултатите от изследване, проведено с цел установяване на възможността за реализиране на концептуалната идея за четириъглова екструзия, като ефективна технологична схема за издребняване структурата на метални тела.

## **2. 3D симулация на четириъглова равноканална екструзия и оптимизиране на геометричните параметри на деформационното ѝ пространство**

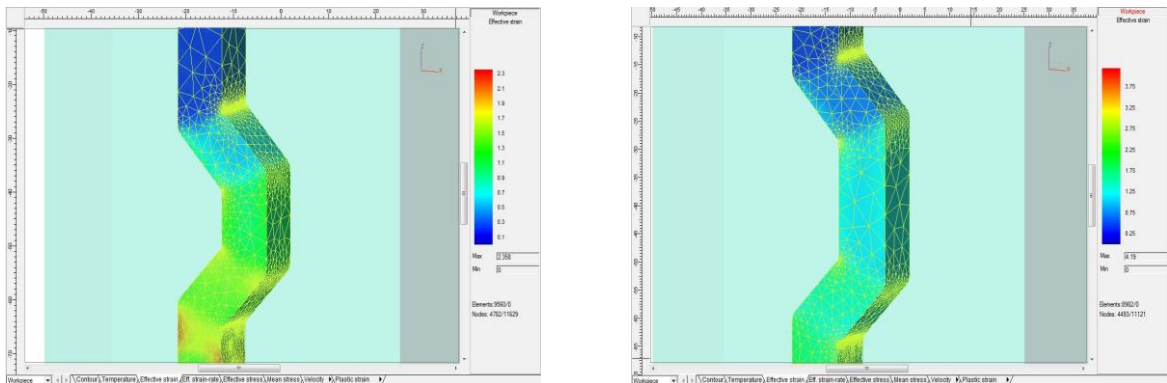
Симулирането на процеса, предмет на настоящата разработка, е базиран на теоретично описания процес на равноканална многоъглова екструзия, развит в насока повишаване на неговата ефективност. Процесът, наречен равноканална четириъглова екструзия, е базиран на

изследвания, разработени с реално изработена и работеща инструментална екипировка за двуъглова екструзия [3].

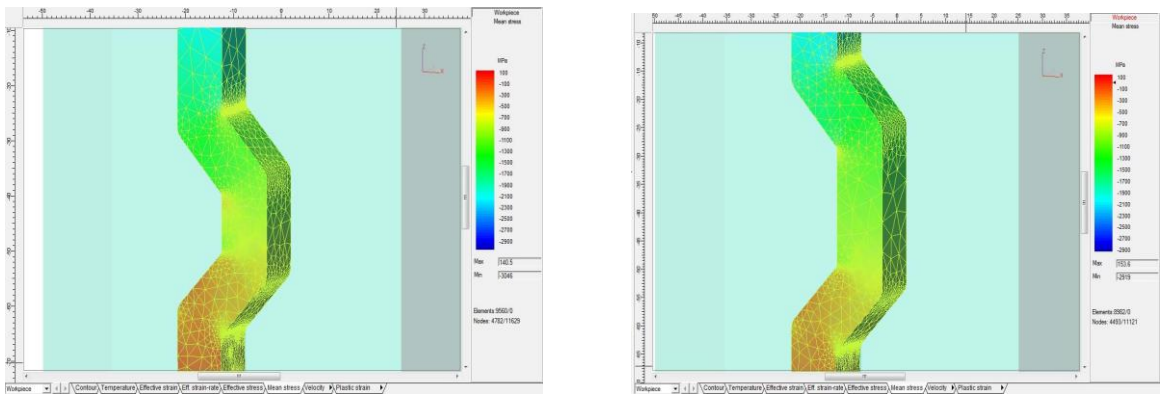
За целите са използвани 3D софтуерен продукт за триизмерно моделиране на формообразуващите инструменти и CAD/CAE пакет за компютърна симулация на процесите на обработване на материалите чрез пластична деформация. Софтуерът се използва за описване на геометричните характеристики на избраната схема на работа, използване на определена сплав, температурни условия, скорост на деформиране и контактно триене (смазващо вещество).

За реализиране на компютърната симулация на процесите на пластична деформация е използван програмният пакет CAD/CAE - продукт Quantor Form 2D/3D. В програмата геометрията е импортирана в неутрален формат, създаден в тримерния моделиер.

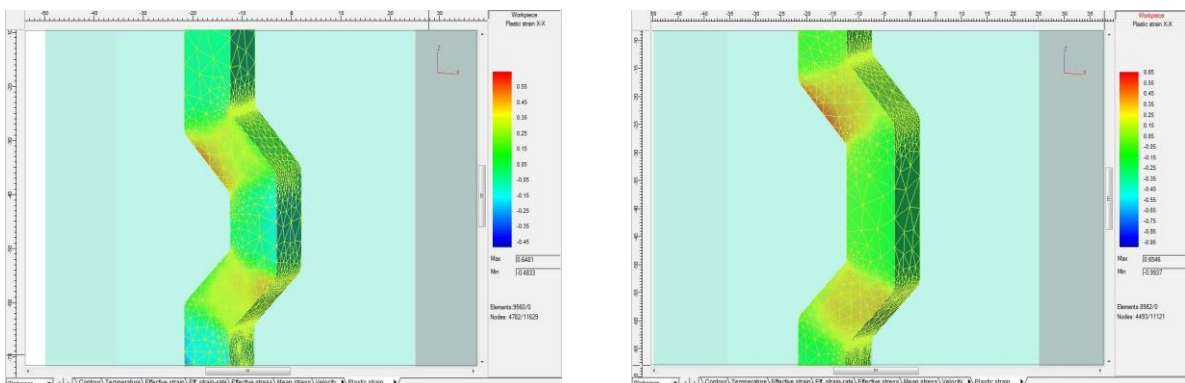
Целта на симулирането е оптимизирането на геометричните параметри на деформационното пространство по отношение неговото запълване с деформирувания материал, осигуряването на натискови напрежения в зоните с интензивна пластична деформация, както и степента на концентрирането им.



Фиг. 2.1. Разпределение на интензивността на деформациите



Фиг. 2.2. Разпределение на интензивността на напреженията



Фиг. 2.3. Разпределение на деформациите по оста X

Методът на четириъглова равноканална екструзия използва четири зони на чисто плъзгане, подобно на двете зони при двуъглова екструзия, като междинния канал е с изместена ос и с равно на основния канал сечение. От триизмерното моделиране на двуъглова екструзия са подбрани оптималните размери на каналите (при квадратно сечение 10.6 x 10.6 mm): - параметър K (разстояние между двете оси) - равно на ширината на напречното сечение на канала – 10.6 mm. Запазени са ъглите на пресичане ( $\Phi = 135^\circ$ ), външното закръгление ( $R = 2.5$  mm) и радиуса на огъване ( $r = 0.1$  mm) от реализираната двуъглова екструзия [2].

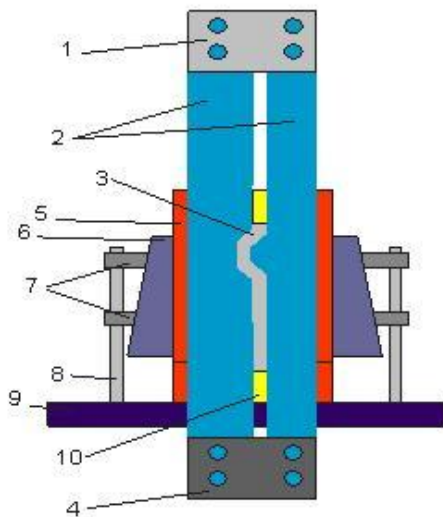
Симулирането е извършено за две дължини на междинния канал – равна и два пъти по-голяма от ширината на напречното сечение. Разпределението на напреженията и деформациите при четири ъгловата равно канална екструзия, като резултати от моделирането са дадени на фигури 2.1., 2.2. и 2.3.

При симулирането (фиг. 2.1) е установено, че деформираната заготовка изпълва изцяло деформационното пространство при дължина на междинния канал, равна или над ширината на напречното сечение. При такова запълване опасността от получаване на дефекти, възникващи в следствие на опънови напрежения, е сведена до минимум. Формирани са ясно четирите зони на интензивна пластична деформация и при четирите ъгловите изменения на канала. Това съответства на теоретичната постановка за извършваните преплъзвания на материала, типично за равноъгловата екструзия с цел интензифициране на пластичната деформация. Разпределението на интензивността на деформациите в напречното сечение на заготовката, след преминаване през зоните на равноканална екструзия е равномерно (съответно 1.9 – 2.0).

При намаляване на дължината на междинния канал под ширината на напречното сечение е установено незапълване на деформационното пространство при опъновата деформационна зона във външната част на ъгловите изменения на канала, както и липса на ясно разграничени зони на съсредоточена деформация на чисто плъзгане.

### 3. Проектиране на инструментална екипировка за четириъглова екструзия

Установените след проведената 3D симулация оптимални параметри на деформационното пространство при пресичащите се канали са използвани за проектиране на модул от инструментална екипировка за физическо моделиране на процеса на многоъглова екструзия с помощта на подвижна матрица-поансон и неподвижни контра-поансони (фиг.3.1).



3.1. Схема и макет на инструменталната екипировка

Заготовката се деформира в затворен обем, което е възможно благодарение на каналите в подвижната матрица-поансон, ограничени от неподвижните контра-поансони.

Разглобяемата и подвижна матрица-поансон е разположена в неподвижни междинни матрица и основен пресконтейнер, извън който са разположени двата контра-поансона. Така разработеният инструмент позволява чрез замяна на разглобяемата матрица-поансон да се коригират параметрите на деформационното пространство при многоъглова екструзия, което прави инструмента универсален и приложим за екструдирани при различни параметри и форма на пресичащите се канали.

Представеният на фиг. 3.1. модул от инструментална екипировка се състои от следните основни и спомагателни детайли: 1 - горен контра-поансон; 2 – съставна поансон-матрица; 3 - заготовка; 4 – разглобяеми държачи; 5 - междинна матрица, разположена в основен пресконтейнер; 6 – основен пресконтейнер; 7 - притискащи скоби; 8 – водачи; 9 - монтажна плоча; 10 – долен контра-поансон.

При движението на поансона-матрица (2) надолу, долният контра-поансон изтласква заготовката (3) през кръстосаните канали. Завъртането на основния пресконтейнер (6) с междинната матрица (5) на  $180^{\circ}$  позволява осъществяването на процеса с помощта на горния контра-поансон без изваждане на заготовката от деформационното пространство.

Основният недостатък на метода на равноъглова екструзия е, че многократното деформиране на заготовката е свързано с необходимостта от изваждане, коригиране и обратно поставяне на заготовката в деформационното пространство, което налага постепенно намаляване на дължината ѝ. Проектираният инструмент с два контра поансона позволява многократно реализиране на равноканалното екструдирани само с въртене на пресконтейнера след всеки преход, без изваждане на заготовката от инструмента (фиг. 3.1). Това е особено важно при реализиране на четириъглова екструзия, при която крайните части от заготовката остават недеформирани (ако няма избутване чрез втора заготовка през кръстосаните канали).

Проектиран е прототип за физическо моделиране, който да бъде използван за експериментални постановки в реални условия и следващ анализ на получените чрез деформирани нискотопими метали и сплави резултати. На базата на принципната схема и макета за четириъглова екструзия са разработени монтажни чертежи на модул от инструментална екипировка за многоъглова екструзия, който е в процес на изработване.

#### **4. РЕЗУЛТАТИ И ИЗВОДИ**

Проведената компютърна симулация потвърди възможността за реализация на схемата на четириъглова равноканална екструзия при междинен канал с изместена ос и с равно на основния канал сечение.

Геометричните параметри на деформационното пространство са оптимизирани чрез 3D симулация с CAD/CAE продукта QForm 2D/3D Lite, като е установено че при дължина на междинния канал, равна или над ширината на напречното сечение се осигурява цялостно запълване на деформационното пространство и ясно разграничени зони на съсредоточена деформация на чисто плъзгане.

Проектиран е модул от инструментална екипировка за физическо моделиране на интензивна пластична деформация по схемата на равноканалната многоъглова екструзия, деформиращ заготовката в затворен канал от подвижна матрица-поансон, ограничен от неподвижни контра-поансони.

Резултатите от 3D симулацията са използвани при проектирането на подвижната матрица-поансон, разработена като модул за четириъглова екструзия от инструментална екипировка за физическо моделиране на процеса на многоъглова екструзия с нискотопими метали и сплави.

#### **БЛАГОДАРНОСТИ**

Изследванията са финансирани от Национален фонд „Научни изследвания“, България – Договор № 122пд 0015-05/2012 на НИС при Технически Университет – София.

Авторите изказват благодарност на съставителите и дистрибуторите на програмния пакет CAD/CAE - продукт Quantor Form 2D/3D lite version 5.1.1.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Azussima A., R.Kopp, A.Korhonen, D.Y.Yang, F.Micari, C.D. Lahoti, P. Groshe, J. Yanagimoto, N.Tsuji, A. Rocosovski, A. Yanagida, Severe plastic deformation (SPD) processes for metals, CIRP Annals –Manufacturing Technology, 2008, 57, 716-735;
2. Dobatkin, S.V., Bulk nanostructured materials obtained by severe plastic deformation, Машиностроителна техника и технологии, Варна, 2003, 3-6;
3. Kamburov V., J. Genov, R. Dimitrova, I.Jankova, Structural changes of low-melting single-phase alloys under equal channel two-angular extrusion, Journal of materials Science and Technology, IMSTHAC “Acad. A. Balevski”, BAS, v. 19, N 3, 2011;
4. Valiev, R.Z., I.V. Alexandrov, Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation, Moscow, „Logos”, 2000, 272 p. (in Russian);
5. Гагов В.И., Х.Р. Радев, Д.Д. Господинов, Е.Х. Янков, Някои тенденции в изследването и приложението на ултрадребнозърнести материали, АМО’09 конференция „Авангардни материали и обработки”, Кранево, България, 2009, т.1, 119-125;
6. Генов. Й., Камбуров В., Сергисова А., Мишев В., 3D симулация и оптимизиране на деформационния процес при интензифициране на пластичната деформация чрез двуъглова екструзия, Сливен, 2011.

## **КОРЕСПОНДЕНЦИЯ**

доц. д-р инж. Валентин КАМБУРОВ  
Технически Университет - София, катедра „Материалознание и технология на материалите”,  
e-mail: vvk@tu-sofia.bg

проф. д.т.н. инж. Йордан ГЕНОВ  
Технически Университет - София, катедра „Материалознание и технология на материалите”,  
e-mail: jgenov@tu-sofia.bg