

РЕЦЕНЗИЯ

от доц. д-р инж. Розина Михайлова Йорданова

на дисертационен труд на тема:

„Разработване на нов иновативен процес „валцуване – пресуване“ за получаване на ултрадребнозърнеста структура на метала”,
разработен от инж. Евгений Александрович Панин от Казахстан,
свободен докторант към катедра *Физична металургия и топлинни агрегати*,
за придобиване на образователната и научна степен „Доктор”
по научна специалност *„Технологии, машини и системи за обработка чрез пластично деформиране“*, професионално направление 5.9 Металургия

научни ръководители на докторанта: доц. д-р инж. Тончо Койнов, ХТМУ

доц. ктн инж. Сергей Лежньов, КДИУ

1. Кратки биографични данни и характеристика на научните интереси на кандидата

През 2006г., инж. Евгений Панин завършва инженерно образование в Карагандинския металургичен университет, спец. *„Обработване на металите чрез пластична деформация, ОМПД“*, а по-късно през 2015г. придобива магистърска степен по машиностроене в Карагандинския държавен индустриален университет, (КДИУ).

В началото на 2016 година, АС на ХТМУ единодушно признава дипломата му за придобито висше образование и инж. Панин е зачислен като свободен докторант в катедра *Физична металургия и топлинни агрегати* в ХТМУ-София.

В периода 2006-2009 г. е преподавател в колежа към КДИУ, а по-късно, след придобиване на магистърска степен по технически науки, работи като асистент и главен асистент в катедра *ОМПД* към същия университет.

Научните интереси на инж. Панин са главно в областта на металургията и по-специално в технологиите, машините и системите за обработване на металите чрез пластична деформация. Инж. Панин е автор и съавтор на 140 публикации в научни издания от Казахстан, Русия, Чехия, Полша, България, Китай, Германия и Япония, както и на 7 патента в областта на методите за ОМПД.

Научната и преподавателската му дейности са свързани с изследването и разработването на нови технологични процеси за ОМПД, изучаване и разработване на комбинирани процеси за обработване на метали на база математическо моделиране, с цел получаване на висококачествен метал с високо ниво на механични свойства.

2. Преглед на дисертационния труд и анализ на резултатите

Дисертационният труд е написан на 162 страници, съдържа 99 фигури и 23 таблици. Цитирани са 145 литературни източника, като повече от половината са от последните 5 години, което показва, че литературният обзор и изводите, които следват от него, отразяват съвременното състояние на проблема. Дисертационният труд е представен в пет глави с изводи към всяка от тях и заключение.

Усъвършенстването на технологиите за пластична деформация с цел повишаване на качеството на деформирания метал е проблем, върху който се работи от много години, от различни изследователи. Учените се стремят да подобрят съществуващите технологични процеси за ОМПД с цел постигане на енергийна и икономическа ефективност при запазване или подобряване на структурата и свойствата на деформираните метали.

Голямото разнообразие и употреба на метални заготовки, получени по методите за пластична деформация, поставя повишени изисквания към тяхната структура, якостни и пластични свойства на изделията, изработени от тях. Интерес представляват металите със ултрадребнозърнеста структура, получена чрез интензивна пластична деформация. Процесът на интензивна пластична деформация се реализира чрез чисто плъзгане при натисково напрегнато състояние. През последните години се разработват редица нови процеси за получаване на метали с ултрадребнозърнеста структура, при които основният принцип е реализацията на проста схема на срязване. Това намалява разхода на енергия и се достига интензивност на деформация, достатъчна за получаване на ултрафини структури. Един от методите за интензивна пластична деформация е пресуването в равноканална стъпковидна матрица (равноканалното ъглово пресуване). Недостатък на този метод е, че не могат да се пресуват дълги заготовки и не може да се осигури непрекъснатост на процеса. Търсенето на технически и технологични решения за отстраняването на тези недостатъци е в основата на научните изследвания на представената дисертационна работа, което я прави актуална и значима. Целта на научните изследвания е да се разработи технология за получаване на качествени дълги метални заготовки с ултра дребнозърнеста структура и повишени механични свойства.

Литературният обзор, представен в **Глава 1**, отразява теоретичните основи на пластичната деформация на металите и нейната роля при получаването на изделия с ултрадребнозърнеста структура и желани повишени механични свойства. Подробно са разгледани различни методи за интензивна пластична деформация и технически и технологични възможности за реализиране на непрекъснат процес на деформация.

Литературният обзор съдържа съвременни научни трудове на утвърдени автори, свързани с темата на дисертацията. Тематиката им и обема на разглежданите в тях проблеми позволяват на дисертанта да аргументира избраната тема и произтичащите от нея цел и задачи, а именно проучване и разработване на нов иновационен комбиниран процес на "валцуване – равно канално ъглово пресуване" на цветни и черни метали и сплави, чрез който да се получи ултрадребнозърнеста структура на полученото метално изделие.

В **Глава 2** е представен разработения от дисертанта нов комбиниран метод за интензивна пластична деформация „валцуване–равноканално ъглово пресуване”, който в сравнение с конвенционалното пресуване в равноканална матрица премахва ограниченията върху изходните размери на заготовките. Включването в технологичната линия на втора двойка валци след осъществяването на пресуването, дава възможност разработеният нов комбиниран процес да се реализира като непрекъснат.

Направени са теоретични изчисления, въз основа на фундаменталните представи на разглежданите процеси за пластична деформация.

Определени са енергосиловите и кинематични параметри на комбинирания процес, при отчитане на влиянието на валцуването в гладки и калибрирани валци, неколkokратната промяна на направление-то на движение на метала в пресовата матрица, ъгъла на каналите на матрицата, диаметъра на валците, силите на триене, размерите на заготовката.

Теоретично е определен ъгълът на каналите на матрицата, така, че да се осигури последващият процес на пресуване, т.е. силата на пресуване да е по-малка от силата на валцуване.

Получени са теоретични зависимости за определяне на силата на противодействие от страна на матрицата върху метала за сметка на силите на триене, създаващи се при валцуване съответно в гладки и калибрирани валци.

Построени са графичните зависимости на силата за пресуване и силата на валцуване при различна абсолютна деформация в зависимост от ъгъла на матрицата, съответно при валцуване в гладки и калибрирани валци. Въз основа на това е определен оптималния ъгъл на канала на матрицата и абсолютната деформация при валцуване съответно в гладки и калибрирани валци, както и началните размери на заготовката. Установено е, че използването на калибровани валци при едни и същи изходни данни позволява осъществяването на предложени комбинацион процес „валцуване пресуване“ при по-малък ъгъл на каналите на матрицата и значително по-малка абсолютна деформация, Δh . Освен това, използването на калибрирани валци дава възможност за контролиране на разширението на метала по време на неговото валцуване, което гарантира устойчивост на процеса при последващото пресуване.

Въз основа на проведените кинематични изчисления и анализи на предложени комбинацион процес са определени кинематичните параметри, обезпечаващи непрекъснатост на процеса. Въз основа на сравнителен анализ на получените резултати при използване на гладки и калибрирани валци е установено, че за постигане на оптимална скорост на метала на изхода на матрицата, ключов фактор се явява диаметърът на втората двойка валци, с варирането на който може да се достигне оптимална скорост на осъществяване на комбинационния процес.

Глава 3 е посветена на моделиране на разработения от дисертанта комбинацион процес «валцуване–пресуване в равноканална матрица», при използване на специализираните софтуерни продукти DEFORM и SIMUFACT. Компютърното моделиране и симулация на сложните и многофакторни процеси на пластична деформация на металите е мощен инструмент за оценка на напрегнатото и деформационното състояние на метала по време на деформация, да се предскаже появата на дефекти, както и да се определят оптималните параметри на инструмента и заготовката, за да се осигури протичането на най-добрия и устойчив деформационен процес, при получаване на желани структура и свойства на изходния деформиран метал.

Дисертантът успешно е приложил знанията си в областта на ОМПД, металознанието и термичното обработване при използването на специализирания софтуер за моделиране на технологични процеси. Получените резултати показват много доброто му познаване и владение на програмните продукти, които е използвал.

Правилният подбор на оптимални геометрични и технологични параметри има решаващо значение за възможностите за осъществяване на комбинационния процес „валцуване – равноканално ъглово пресуване“. Геометричните и технологичните параметри на инструмента и заготовката са подбрани в зависимост от направените предварителни енерго-силови изчисления на процеса с цел получаването на заготовка от стомана 35 със сечение 20x20 mm. При моделирането на комбинационния процес е взето под внимание обезпечаването на условието силата на валцуване да е по-голяма от силата на пресуване, както и избора на коефициенти на триене при валцуване и при пресуване в матрицата, обезпечаващи съответно максималната сила на валцуване и минимална сила на пресуване. В технологичната схема е включена втора двойка валци, на изхода от матрицата, изтегляща пресувания метал и осигуряваща непрекъснатост на процеса. Диаметърът на валците е определен съгласно предварително направените кинематични изчисления, представени в глава 2. Въз основа на проведените моделни изследвания е определен и ъгълът на каналите на матрицата – 140°.

Въз основа на разработения *базов модел* за получаване на заготовка с размери 20x20, дисертантът си е поставил за задача да се определят оптималните геометрични и технологични параметри за деформиране по предложени комбинацион метод за получаване на квадратни и правоъгълни заготовки с различен диаметър при използване

на гладки и калибрани валци. В глава 3 подробно са представени резултатите от изследванията на влиянието на геометричните и технологични фактори на протичащия комбиниран процес върху напрегнато-деформационното състояние на метала. Установено е, че предложената схема на деформиране обезпечава намаляване на възникналите опъновни напрежения и увеличаване на натисковите напрежения, което благоприятства формирането на свръхдребнозърнеста структура при интензивната пластична деформация. Резултатите от изследването на еквивалентните деформации на повърхността и в централните слоеве на заготовката показва, че разпределението по напречното сечение на този параметър е неравномерно.

В същата глава са представени резултати от изучаване на влиянието на всеки един от параметрите, определящи напрегнато-деформационното състояние на предлагания нов комбиниран процес. За тази цел, дисертантът въз основа на промяна само на един параметър в базовия модел, е разработил и описал още 5 модела. Параметрите, които е изследвал в тези модели са: дължината на първия канал в матрицата – 60 и 80 mm, температурата на заготовката преди валцуване – 550°C и 850°C, повишаване на ъгъла между каналите в матрицата на 160°; промяна на коефициентите на триене във валците и в пресовата матрица. Анализът на получените резултати от моделите показва, че такива фактори, като ъгълът между каналите в матрицата и температурата на нагриване на заготовките преди процеса имат значителен ефект върху разпределението на напреженията и натрупаната деформация в целия обем на заготовката при прилагането на предложения комбиниран процес, а промяната на стойностите на коефициента на триене и дължината на каналите в матрицата не променят съществено параметрите на напрегнато-деформационното състояние.

В главата е обърнато внимание и на ефективността от използване на универсална валцова клетки, вместо на две клетки с хоризонтални валци. Изследването на тази възможност и установяването на ползотворното влияние върху крайния продукт е още един принос в работата. В този случай, заготовката на входа в матрицата ще е получила деформация по височина, а на изхода от матрицата, изтегляйки се от вертикалните валци, ще се деформира по широчина. Ефективността от използването на хоризонтални и вертикални валци при осъществяването на предложения процес на деформация е оценена на базата на изучаване напрегнато-деформационното състояние с използване на коефициента на Лоде – Надаи. С помощта на този коефициент е направена оценка на това какъв вид деформация се реализира във всяка една точка от заготовката по дължина в различните зони на деформация, в които попада по време на осъществяване на комбинирания процес. Анализът на резултатите показва, че използването на вертикалните валци в края на процеса се явява най-доброто решение, тъй като в този случай при валцуване се реализира схема на деформация, аналогична на кантоването при 90°.

Съществена част в тази глава е посветена и на проведените симулации чрез специализирания програмен продукт Simufact и специализираната база данни с микроструктури на програмата Matilda, която се явява инструмент за моделиране на физико-химични процеси, протичащи в деформираните тела. Matilda използва данните за напрегнато-деформационното състояние, скоростта на деформация и температурата, както и данни за физико-химичните свойства на зададения материал. Чрез тези програмни продукти е прогнозирано и изучено влиянието на разработения нов комбиниран метод за интензивна пластична деформация „валцуване-равноканално ъглово пресуване“ върху микроструктурата на деформирания метал.

Изучена е микроструктурата, получена при осъществяване на разработения базов модел, както и на моделите при които е варирано с началната температура на

Въз основа на анализа на резултатите е установено, че графиките на валцуване и пресуване на алуминиевите и медните заготовки имат сложен характер и се различават само в абсолютните стойности на силата. Това се дължи на факта, че геометричните параметри остават непроменени в двата експеримента.

Комплексният сравнителен анализ на механичните свойства и микроструктурата на изследваните алуминиеви и медни образци, получени след реализиране на комбинирания процес и тези получени след равноканално ъглово пресуване на хидравлична преса показва, че комбинирания процес има неоспорими преимущества пред обикновеното равноканално ъглово пресуване от гледна точка на интензивно издребняване на микроструктурата и много високи стойности на механичните характеристики. Получените заготовки в изходно състояние имат среден размер на зърната съответно 110 μm и 90 μm , а след третия цикъл на деформация структурата издребнява съответно до 5 μm и 2 μm .

При използване на метална заготовка в отгрято състояние изходния среден размер на зърната е достатъчно голям така, че след прилагането на три прохода по предложената комбинирана схема на деформация да се достигне до 2-5 микрона размер на зърната. Дисертантът предлага този проблем да се реши по два пътя – увеличаване на броя на проходите или въвеждане в технологичната схема на допълнителен режим на предварително термично обработване на заготовката. Първият начин се оказва не удачен от гледна точка на бъдещото използване на получената заготовка. Ето защо, той насочва усилията си към изучаване на влиянието на различни предварителните режими на термично обработване върху микроструктурата на образци от двата изследвани материала.

След проведен анализ на литературни данни е избран режим на предварително термично обработване, включващ хомогенизационно отгряване при 600°C с последващо охлаждане с пеща; закаляване във вода от 520°C и нагряване до 100°C преди всеки проход. Установено е, че въвеждането на предварително термично обработване, което издребнява първоначалната структура и осъществяването на последваща интензивна деформация в три прохода по предложения комбиниран режим способстват за получаването на ултрадребнозърнеста структура в изследваната алуминиева сплав, като е достигнат среден размер на зърното от 600 nm. Аналогично, при изпитвания на образци от мед е достигнат размер от 1.5-2 микрона, което показва, че предварителното термично обработване влияе незначително върху издребняването на зърната.

В глава 5 са дадени и препоръки за внедряване на предложената от автора технология „валцуване – пресуване“ в производството. За целта са предложени две технологични концепции за реализиране на практика на предложения метод.

В края на главата е представен метод, посредством който е оценено качеството на получените експериментални данни. Резултатите от този подход отново доказват преимуществото на предложената комбинирана схема пред класическото пресуване в равноканална ъглова матрица.

3. Оценка за съответствието между автореферата и дисертационния труд

Авторефератът, в обем от 30 страници, напълно съответства на дисертационния труд, като отразява извършената работа, анализи и резултати. Той, сам по себе си, дава достатъчно пълна и вярна представа за дисертационния труд.

4. Характеристика и оценка на приносите в дисертационния труд

Дисертационният труд е актуален и в него са представени резултати, които имат теоретичен и практически характер.

Резултатите от дисертационния труд са свързани с разработването на нов технологичен комбиниран режим на интензивна пластична деформация „валцуване-пресуване“, компютърно моделиране и симулиране на процеси със специализирани програмни продукти с цел установяване на напрегнатото и деформационно състояние, както и промяната на микроструктурата в зависимост от геометричните и технологични параметри на процеса; разработването на лабораторна инсталация за реализиране на новият комбиниран технологичен процес „валцуване-равноканално ъглово пресуване“. Научните изследвания и разработената лабораторна инсталация са използвани за реално проведени експерименти върху алуминиева и медна сплав, които са подложени на интензивна пластична деформация по предложената технологична схема с цел получаване на изделие с ултрадребнозърнеста структура и повишени механични свойства. Структурата и свойствата са установени чрез металографски изпитвания и тествания на едноосен опън.

Приносите в дисертационния труд могат да бъдат обобщени по следния начин:

Научни и научно приложни приноси:

1. Разработен е нов комбиниран метод за интензивна пластична деформация „валцуване-равноканално ъглово пресуване“, даващ възможност за осигуряване на непрекъснат процес с получаване на дълги заготовки.
 2. Разработена е методика за изчисляване на енергосиловите и кинематични параметри на предложения нов комбиниран метод, при отчитане на влиянието на валцуването в гладки и калибристи валци, неколнократната промяна на направлението на движение на метала в пресовата матрица, ъгъла на каналите на матрицата, диаметъра на валците, силите на триене, размерите на заготовката. Изведени са теоретични зависимости за определяне на силите при валцуване и пресуване в комбинирания процес. Установено е, че за постигане на оптимална скорост на метала на изхода на матрицата, ключов фактор се явява диаметърът на втората двойка валци, с варирането на който може да се достигне оптимална скорост на осъществяване на комбинирания процес.
 3. Създаден е компютърен базов модел на предложия нов комбиниран метод за интензивна пластична деформация. Въз основа на компютърни симулации е изследвано течението на метала в процеса на деформиране. Установена е зависимостта на влиянието на геометричните и технологични параметри върху напрегнато-деформационното състояние на метала в зоната на деформация.
 4. Въз основа на базовия модел са разработени модели, показващи влиянието на всеки един от параметрите, определящи напрегнато-деформационното състояние на предлагания нов комбиниран процес - дължината на първия канал в матрицата, температурата на заготовката преди валцуване, ъгъла между каналите в матрицата; коефициентите на триене във валците и в пресовата матрица. Установено е, че фактори, като ъгълът между каналите в матрицата и температурата на нагряване на заготовките преди процеса имат значителен ефект върху разпределението на напреженията и натрупаната деформация в целия обем на заготовката при прилагането на предложия комбиниран процес, а промяната на стойностите на коефициента на триене и дължината на каналите в матрицата не променят съществено параметрите на напрегнато-деформационното състояние.
1. Конструирана, изработена и окомплектована е експериментална инсталация, за осъществяване на разработения нов комбиниран метод. Проектирана и изработена е равноканална стъпковидна матрица, която в инсталацията е поставена между два лабораторни валцови стана ДУО-200 и ДУО-250.
 2. Проведени са тестови изпитвания с оловни образци:

- а. Получена е формула, отчитаща влиянието на инструмента и силата на триене, даваща възможност за определяне на разширението, така че да се осигури последващото пресуване в равноканалната стъпенчата матрица.
 - б. Определен е и интервалът на стойността на ъгъла между каналите в матрицата – 135-155°.
 - с. Определени са енерго-силовите параметри на предлагания нов комбиниран метод. Силовото условие за да протичане на процеса се изпълнява.
3. Проведено е изследване на механичните свойства и микроструктурата на алуминиеви и медни заготовки, получени чрез предложени нов комбиниран метод и чрез конвенционално равноканално ъглово пресуване. Установено е, че предложени от автора нов комбиниран процес има доказани предимства като чрез него се постига по-интензивно издребняване на структурата и по-високи механични свойства на получените заготовки.
 4. Изучено е влиянието на предварителното термично обработване върху структурата на деформираните заготовки. Установено е, че въвеждането на предварително термично обработване, което издребнява първоначалната структура и осъществяването на последваща интензивна деформация в три прохода по предложени комбиниран режим способстват за получаването на ултрадребнозърнеста структура в изследваната алуминиева сплав, като е достигнат среден размер на зърното от 600 nm, а при медната сплав е достигнат среден размер на зърното 1,5 ÷ 2,0 μm.

Приложни приноси

1. Чрез прилагане на предложени нов метод за интензивна пластична деформация „валцуване–равноканално ъглово пресуване“ се осигуряват дребнозърнеста структура и по-високи механични свойства на получените заготовки в сравнение с тези получени чрез обикновена равноканална ъглова деформация.
2. Предложената нова технология позволява получаването на дълги заготовки и непрекъснатост на деформационния процес.
3. Конструирания лабораторна инсталация, може да послужи като модел при разработването на промишлена инсталация за получаване на заготовки с правоъгълно и квадратно сечение от цветни метали по разработената технологична схема, при отчитане на характеристиките на материала.
4. Получените резултати ще бъдат полезни в практиката при реализирането на процеси за получаване на метали и сплави с ултрадребнозърнеста структура.

5. Мнение за публикациите на кандидата по темата на дисертационния труд

Основните публикации по дисертацията са 18 на брой, включително получените 4 патента в Казахстан. Материалите са докладвани на престижни международни конференции в Румъния, Русия, Китай, Япония, Полша, Австрия, Чехия, България. Девет от публикациите по дисертацията са в списания, реферирани в “Scopus” и “Web of Science”, включително в JCTM.

6. Критични бележки и коментари

В работата няма погрешни постановки или пропуски, които биха могли да компрометират получените резултати, отразени в приносите. Нямам съществени критични бележки към докторанта, касаещи научната стойност на работата. Приносите би могло да бъдат формулирани по-обобщено и да бъдат класифицирани като научно-приложни и приложни.

Към докторанта имам следните въпроси:

1. След валцуването металът попада в канала на пресовата матрица. Бихте ли изяснили как решавате проблема с еднаквостта по ширина на изходящия метал и входа на пресовата матрица?
2. Бихте ли изяснили ролята на триенето при реализиране на комбинирания процес?
3. Как определите температурата от 700°C като начална температура на метала при осъществяване на комбинирания процес в три прохода?
4. Къде виждате приложението на заготовки от цветни и черни метали, получени по предложения от вас метод на деформация?

7. Лични впечатления от дисертанта

Запознах се с инж. Панин, в началото на 2016 г. при посещението му в ХТМУ, когато той представи пред катедра ФМТА научно изследователските теми, по които работи колективът от КДИУ в областта на ОМПД, моделирането и симулирането на технологични процеси и тяхното усъвършенстване. С удоволствие подкрепих неговото зачисляване като свободен докторант в катедрата, защото след представяне на части от дисертационния си труд бе затвърдено много доброто впечатление от него като млад, мотивиран, ентусиазиран и амбициозен изследовател.

Изграденото положително впечатление от инж. Панин като упорит, последователен и инициативен млад учен и изследовател се потвърди от неговото представяне на изпита по научната специалност и от участието му с доклади по темата на дисертацията на Международната конференция по металургия и материали в София през септември 2017 г., организирана от ХТМУ и ФММ. Много добро впечатление ми направи и фактът, че дисертационният труд беше представен в катедрата на руски и английски език.

Отлични впечатления имам и от вътрешната защита на дисертационния труд. Дисертантът демонстрира отлично познаване на теорията и практиката на процесите за пластична деформация на металите, направи добро впечатление със способността да се изразява ясно и логично.

8. Заключение

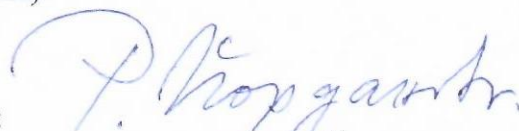
В заключение считам, че дисертационният труд е актуален и с доказана новост (потвърждава се от издадените патенти). Резултатите са добра основа за разработване на промишлена технология на база разработения технологичен режим за интензивна пластична деформация. Дисертантът притежава задълбочени теоретични знания в областта на технологиите за ОМПД. Реализираните и представени в дисертационния труд изследвания са осъществени с използването на адекватни за изпълнение на формулираните задачи методики, методи, експериментална екипировка, специализиран софтуер.

Всичко казано до тук ми дава основание да считам, че дисертационният труд отговаря на всички изисквания за придобиване на образователната и научна степен „доктор”, а именно съдържа научни и научно приложни резултати, които представляват оригинален принос в науката.

Давам положителна оценката на дисертационния труд с автор инж. Евгений Панин и препоръчвам на Почитаемото научно жури да го удостои с образователната и научна степен „доктор” по научната специалност 5.9 металургия (Технологии, машини и системи за обработка чрез пластично деформиране).

11 септември 2017 г.

Рецензент:


доц. д-р инж. Розина Йорданова