



## ERRORS OF TECHNOLOGICAL SYSTEM AND METHODS FOR THEIR COMPENSATION

Petar HADJIISKI, Tsvetan KALDASHEV

**Abstract:** This report addresses the main errors of the technological system and methods for their compensation. The main focus is on machine tools with CNC and generation of control programs with CAM package. Issues discussed concern options for compensation offered by CNC, special control devices and software and postprocessor used of CAM package.

**Keywords:** CNC, POSTPROCESSOR, CAD/CAM.

## ГРЕШКИ НА ТЕХНОЛОГИЧНАТА СИСТЕМА И МЕТОДИ ЗА КОМПЕНСИРАНЕТО ИМ

Петър ХАДЖИЙСКИ, Цветан КАЛДЪШЕВ

**Резюме:** В този доклад са разгледани основните грешки на технологичната система и методите за тяхното компенсиране. Акцентира се върху металорежещи машини с CNC и генериране на управляващи програми с CAM пакет. Разгледани са различни възможности за компенсиране, които се предлагат от CNC, специални устройства за контрол и софтуер към него и използвания постпроцесор на CAM пакета.

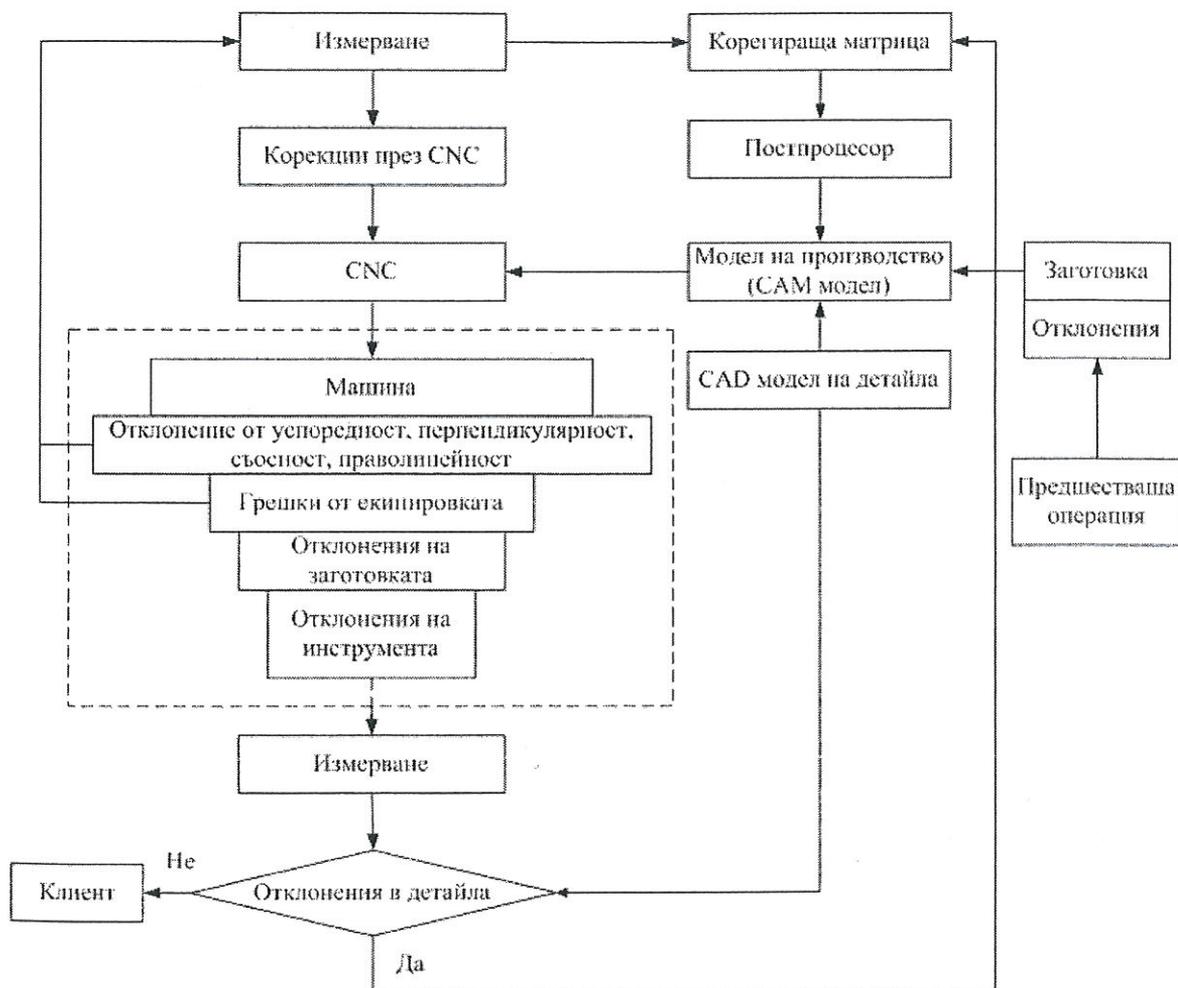
**Ключови думи:** CNC, POSTPROCESSOR, CAD/CAM.

### 1. УВОД

Изискванията за точност, при обработване на детайли върху машини със CNC стават все по-строги. Пред съвременните металорежещи машини [1] се поставят високи изисквания по отношение на тяхната работна точност, производителност, надеждност и др. Високата работна точност е предпоставка за постигане на желаните размери, макро- и микрогеометрия на детайлите. Тя се формира от няколко компоненти: геометрична точност, кинематична точност, стабилност (силова и топлинна), виброустойчивост и др. Като цяло, неточността при CNC машините е причинена от геометрични грешки, грешки, причинени от топлинни деформации, триене в системата за задвижване, деформации, причинени от силата при рязане, вибрации и др. Най-общо грешките могат да бъдат разделени на систематични и случайни [2,6]. Систематичните грешки могат да бъдат описани и са предвидими въз основа на някои математически модели. Случайни грешки са трудни за моделиране, а от там и за компенсиране. Геометричната точност се характеризира с точността във взаимното разположение на работните органи на машините, които определят в крайна сметка взаимното разположение на инструмента и детайла. Един детайл може да се обработи точно, ако машината сама по себе си може да проследи точно трансформациите на координатната система, който възникват като резултат от праволинейни и ъглови премествания. Някои от причините за неточностите при многоосните обработки [2,3] са отклоненията между кинематичния модел, записан в системата за управление, както и кинематичните условия, които действително съществуват в машината. Това условие произтича от това, че реалната машина има геометрични отклонения свързани с метода на обработване и сглобяване. За постигане на минимални отклонения между кинематичният модел заложен в системата за управление и реалният такъв при сглобяване на машините се използва метод на нагаждане и метод на регулиране. Тези два метода имат своето място при сглобяване на машините тъй като осигуряват висока точност на затварящото звено на ъгловите и линейни размерни вериги.

### 2. БЛОК СХЕМА ЗА КОМПЕНСИРАНЕ НА ГРЕШКИТЕ НА ДЕТАЙЛИТЕ СВЪРЗАНИ С ГЕОМЕТРИЧНАТА ТОЧНОСТ НА МАШИНАТА

Върху готовият детайл комплексно влияние оказват грешките на технологичната система машина, приспособление, инструмент, детайл (фиг.1). Металорежещите машини се изработват с грешка, която в някои случаи не може да бъде компенсирана. Тази грешка е в следствие на самият метод на изработване. Най- често срещаните грешки са отклонение от успоредност, перпендикулярност и праволинейност на осите на преместване на машината. Тези грешки са характерни при машини с три управляеми оси. При машини с четири и пет управляеми оси се намесват и грешки свързани с отклонение от съосност на реалната с теоретичната оси на завъртане на кръговите оси. Измерването на грешките на машината е свързано с обработването на тестов детайл. След обработване той се подлага на измерване. Измерването може да се извърши с различни продукти. Един от тях е Power INSPECT. При него се прави измерване на физическия модел като стойностите получени от измерването се сравняват с размерите на виртуалния (CAD) модел. След установяване на геометричните отклонения има няколко възможности за компенсирането им. Едно от решенията е да се генерира управляваща NC програма, на която работната координатна система е завъртяна спрямо тази на машината така, че да се получи годен детайл. При Pro/ENGINEER модулът Pro/CMM дава възможност да се генерира измервателна програма която се изпълнява на машината непосредствено след обработване на детайла [4].



Фиг.1. Блок схема на компенсиране на грешките, определени от геометричната неточност на машината

След измерване и установяване на стойностите на грешките съществуват няколко различни метода за тяхното компенсиране. Едната възможност е отклоненията да се компенсират от CNC на машината като измерените грешки се въвеждат в параметри. При по-старите CNC управления могат да се компенсират систематичните грешки като те се въвеждат в параметрите на CNC с обратен знак. В това число влизат грешки от позициониране по линейните и кръгови оси. При съвременните системи за управление HEIDENHAIN, SINUMERIK

са разработени специални измервателни кинематични цикли. Те дават възможност да бъдат зададени параметрите на измерване в диалогов режим. Като средство за измерване се използва 3D Touch Probe и сфера закрепена на масата на машината по която става измерването. След измерване на грешките компенсират им се извършва автоматично от самото CNC управление. Този начин на компенсиране на грешките има предимството, че освен систематичните грешки, компенсира и грешките от геометрична неточност. Някои производители на CNC управления предлагат G команди, с които може да се компенсират грешките чрез тяхното директно задаване и по този начин управлението изчислява координатите на точките спрямо компенсираното положение. При системи FANUC това е команда G54.2. При тази команда може да се компенсират грешките от радиално и челно биене на кръговите оси (отнася се само за машини с 4 и 5 оси). Характерно за нея е това че ако са известни стойностите на грешките при съответен ъгъл то те се задават спрямо опорна точка на машината. При нея координатите на оста на завъртане се задават с вектор спрямо оста на завъртане на масата. Инструмента се премества в следваща работна позиция като новото му положение се задава спрямо координатната система на детайла дефинирано с вектора на завъртане. Друга възможност за компенсиране на грешките е използването на постпроцесор създаден за конкретната машина [5]. Постпроцесора съдържа два вида информация. Първият и основен вид информация е свързан с машината като компоновка, работни ходове, команди за движение и др. Вторият вид информация е свързан с наличните грешките на машината записани в коригиращата матрица на генерализираният постпроцесор G- POST. След въвеждането на измерените стойности на грешките след генериране на управляваща програма на нейният изход се получава една „изкривена“ програма, с грешки равни по стойност, но обратни по знак на тези на машината.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализирани са възможностите за компенсиране на грешки на детайлите при обработване, посредством постпроцесора за генериране на NC програмите за съответната машина с контрол на различни фази на обработване на детайла.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящите изследвания са свързани с проект № BG051PO 001-3.3.06-0046 "Подкрепа за развитието на докторанти, постдокторанти и млади учени в областта на виртуалното инженерство и индустриалните технологии". Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Попов Г, Металорежещи машини част II: Конструирани и пресмятане, ТУ- София 2002.
2. Петрова Й, Технология на автоматизираното производство, ТУ, - София, 1993.
3. Хаджийски П. Програмиране на CNC машини, ТУ- София, 2010 г.
4. CAD/CAM Pro/ENGINEER. PTC Global Services, 2007. Patr Modeling Users Guide, Pro/MANUFACTURING and Pro/NC- CHECK User's Guide. Parametric Technology Corporation.
5. Хаджийски П., Калдъшев Цв., Компенсиране на грешките от геометрична неточност посредством постпроцесор, Международен конгрес Машини, технологии, материали, 2011г.
6. Kurfess Thomas, Precision Manufacturing, Georgia Institute of Technology, 2002 by CRC Press LLC.

### КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

1. Проф. д-р инж. Петър Хаджийски,  
Машинно- технологичен факултет, Технически университет- София,  
бул. „Кл. Охридски“ 8, Република България  
e-mail: [phad@tu-sofia.bg](mailto:phad@tu-sofia.bg)
2. Маг. инж. Цветан Калдъшев,  
Машинно- технологичен факултет, Технически университет- София,  
бул. „Кл. Охридски“ 8, Република България  
e-mail: [kaldashev.cvetan@abv.bg](mailto:kaldashev.cvetan@abv.bg)