

ОСНОВИ НА ПРОГРАМИРАНЕТО НА МАШИНИ С ЦПУ

РЪКОВОДСТВО С ВКЛЮЧЕНИ РАБОТНИ ЛИСТОВЕ

**РЪКОВОДСТВО
ПО
ОСНОВИ НА ПРОГРАМИРАНЕТО
НА МАШИНИ С ЦПУ**

Автори:

д-р инж. Петър В. Иванов

инж. Красимир Г. Георгиев

Консултант:

доц. д-р инж. Иван С. Георгиев

Редактор:

Косена П. Савова

2022 г.

Съдържание

1. УВОД	6
1.1 Управляваща програма	8
1.2 Изречение	9
1.3 Дума и адрес	9
1.4 Програмна памет. Режим на управление „Памет“	10
1.5 Режим „Външна памет“	10
1.6 Работна памет	10
1.7 Буферна памет	10
2. Режими на работа на металорежещите машини с ЦПУ	11
2.1 Режим „Редактиране“	11
2.2 Режим „Ръчно въвеждане на данни“	11
2.3 Режим „Ръчно управление – нестъпково“	11
2.4 Режим „Ръчно управление – стъпково“	12
2.5 Подрежим „Потиснатите изречения се изпълняват“	12
2.6 Подрежим „Проиграване“	12
2.7 Подрежими „Единични изречения“ и „Автоматична работа“	12
2.8 Подрежим „Машина заключена“	12
2.9 Подрежими „Ръчно абсолютно включено“ и „Ръчно абсолютно изключено“	13
3. Струг – програмиране	13
3.1 Абсолютно и верижно програмиране	13
3.2 Модални команди	14
3.3 Немодални команди	14
3.4 Пасаж на програмата	14
3.5 Групи команди	14

3.6	Координатна система	15
3.7	G – кодове	16
3.8	Разяснения на G-кодовете.....	20
3.9	M-кодове	25
3.10	Други команди	26
3.11	Корекции.....	28
	Работен лист №1	29
	Работен лист №2	30
	Работен лист №3	31
	Работен лист №4	32
	Работен лист №5	33
	Работен лист №6	34
	Работен лист №7	35
	Работен лист №8	36
	Работен лист №9	37
	Работен лист №10	38
	Работен лист №11	39
	Работен лист №12	40
	Работен лист №13	41
	Работен лист №14	42
	Работен лист №15	43
	Работен лист №16	44
	Работен лист №17	45
	Работен лист №18	46
	Работен лист №19	47
	Работен лист №20	48
4.	Фреза – програмиране.....	49

4.1	G-кодове за фреза.....	49
4.2	G-кодове за рязане	52
4.3	Движение с линейна интерполация	52
4.4	Кръгово интерполационно движение	52
4.5	Компенсация на инструмента	54
4.6	Общо описание на компенсацията на резеца	54
4.7	Настройки на подаването при компенсация на режещия инструмент.....	58
4.8	Кръгова интерполация и компенсация на инструмента	59
4.9	Повтарящи се цикли	63
4.10	Повтарящи се цикли за пробиване	63
4.11	Резбонарезни повтарящи се цикли	63
4.12	Цикли за разстъргване и райбероване	64
4.13	Равнини R.....	64
4.14	Гравирание	64
4.15	Фрезование на джобове	64
4.16	Огледално изобразяване	65
	Работен лист №1	66
	Работен лист №2	67
	Работен лист №3	68
	Работен лист №4	69
	Работен лист №5	70
	Работен лист №6	71
	Работен лист №7	72
	Работен лист №8	73
	Работен лист №9	74
	Работен лист №10	75
	Работен лист №11	76

Работен лист №12	77
Работен лист №14	78
Работен лист №15	79
Работен лист №16	80
Работен лист №17	81
Работен лист №18	82
Работен лист №19	83
Работен лист №20	84
5. Решения на казусите представени в работните листове.....	85
5.1 Раздел „Струг - програмиране“	85
5.2 Раздел „Фреза - програмиране“	94
6. Източници	102

1. УВОД

Какво представлява *CNC* програмирането?

CNC програмирането (*Computer Numerical Control Programming*) - компютърно програмиране с цифрово управление, се използва от производителите за създаване на програмни инструкции за компютри с цел управление на машинен инструмент. *CNC* навлезе силно в производствените процеси и подобрява както автоматизацията, така и гъвкавостта им (Фиг. 1.1) [1].



Фиг. 1.1 Източник: autodesk.com

Видове *CNC* машини:

- *CNC* фрезите варират по размери и конфигурации от настолна 3-осна конфигурация до 5-осна конфигурация с размери на стая (Фиг. 1.2) [1].



Фиг. 1.2 Източник: autodesk.com

- CNC машини за плазмено рязане. Тези машини се използват за рязане на метали с помощта на струя гореща плазма. Предлагат висока прецизност и производителност (Фиг.1.3) [1].



Фиг. 1.3 Източник: autodesk.com

- CNC машини за лазерно рязане. Могат да режат материали с различна дебелина в зависимост от мощността на лазера (Фиг.1.4) [1].



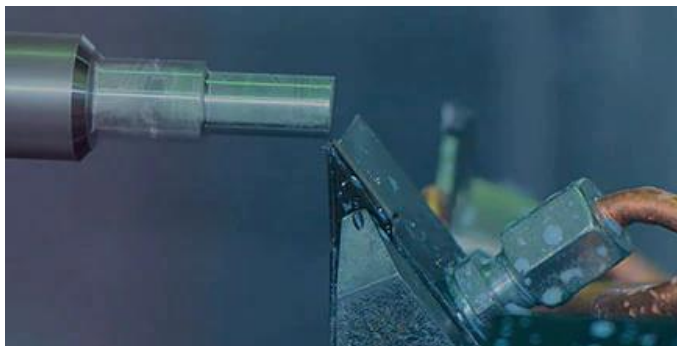
Фиг. 1.4 Източник: autodesk.com

- CNC стругове. (Фиг.1.5) [1].



Фиг. 1.5 Източник: autodesk.com

- Обработващи центри (Фиг. 1.6). Съчетават функциите на струг и фреза в един обработващ център [1].



Фиг. 1.6 Източник: autodesk.com

- Многоосни машини (Фиг. 1.7). Многоосното фрезование е добавяне на до две оси на въртене към конфигурацията за фрезование с 3 оси. Това позволява достъп до повече повърхнини на детайла [1].



Фиг. 1.7 Източник: autodesk.com

Металорежещите машини с ЦПУ (CNC) са предназначени за автоматична работа при единично, серийно и масово производство. Те са универсални машини – използват се за изработване на различни детайли, като е необходимо за всеки детайл да се въведе в управляващото устройство на машината управляваща програма и да се настроят приспособленията и инструментите [2].

1.1 Управляваща програма

Управляващата програма е кодиран запис на последователните движения и действия на машината при обработване на детайла. Програмата се разработва от технолога програмист, след което се прехвърля в паметта на машината чрез интранет мрежата, преносима памет и др. [2].

1.2 Изречение

Всяко изречение съдържа команди и данни за осъществяване на едно или няколко движения и действия, които се изпълняват едновременно или в приета последователност, например движение на инструмента и включване на охлаждащото [2].

За командване на движенията в изреченията в кодиран вид се задават:

- Типът на движението (позициониращо, линейно и т.н.) или типът на фиксираната последователност на движенията, например резбонарязващ цикъл, състоящ се от радиално подвеждане на ножа към заготовката, резбонарязващ проход, радиално изтегляне на ножа и осово връщане в изходно положение [2].
- Числените данни за осъществяване на движението, например координатите на крайната му точка, подавателната скорост и т.н. [2].

Пример за изречение [2]:

N123 G00 X150000 Z10000 M03 S630

Изречение № 123 програмира:

- **G00** – типа на движението (позициониращо);
- **X150000** и **Z10000** – координатите на крайната точка на движението ($X = 150000 \mu\text{m}$, $Z = 10000 \mu\text{m}$);
- **M03** – посоката на въртене на вретеното (по часовниковата стрелка, ако се гледа от задния към предния край на вретеното);
- **S630** – честотата на въртене на вретеното (630 min^{-1});

1.3 Дума и адрес

Всички записи в изреченията са кодирани чрез буквено – цифрови кодове, някои от които са показани в предишния пример (т. 1.2). Кодът винаги започва с латинска буква (адрес) и продължава с десетично число, което според случая може да бъде и отрицателно [2].

Вместо термина „код“ могат да се използват и термините „дума“, „команда“ или „функция“ [2].

Примерна програма е показана в разпечатка 1.3.1 [2]

Разпечатка 1.3.1

05231

програма номер 05231

N101 M03 S1200

изречение номер 101, включване на вретеното по часовниковата стрелка с 1200 min^{-1}

N102 M07	<i>включване на охлаждането</i>
N103 G00 Z300	<i>позициониращо движение до Z = 300 mm</i>
N104 G01 Z250 F150	<i>линейно движение до Z = 250 mm с подаване 150 mm/min</i>
N105 G00 Z500	<i>позициониране до Z = 500 mm</i>
N106 M02	<i>край на програмата</i>

1.4 Програмна памет. Режим на управление „Памет“

Обикновено по време на настройването на машината цялата външна памет се прочита еднократно от четящото устройство на системата за управление и по този начин цялата програма се въвежда в програмната памет на системата, в която може да се съхранява и при изключване на електрическото захранване. Самият външен носител се отстранява от машината. Програмата, записана в програмната памет, може да управлява машината, ако на пулта за управление се избере (*включи*) режимът „Памет“ [2].

1.5 Режим „Външна памет“

Това е друг режим (*начин*) на управление на машината от програмата, при който външният носител е зареден в четящото устройство и от него последователно се прочитат и изпълняват изреченията: след като се изпълни едно изречение, се прочита следващото [2].

1.6 Работна памет

И при двата режима на работа (*т. 1.4 и т. 1.5*) от програмата се четат последователни изречения, поместват се в буферната памет (*виж т. 1.7*), а от нея данните на изречението се четат и поместват в строго определени регистри (*клетки*) на работната памет. В работната памет освен данните на даденото изречение на строго определени места се съхраняват и необходимите данни, запомнени при изпълнението за предишните изречения на програмата. Така подредените данни системата използва в строго определена последователност за управление на движенията и действията [2].

1.7 Буферна памет

В буферната памет се съдържа само едно изречение, прочетено от програмната памет или външния носител. По принцип системата би могла да работи и без буферна памет, обаче наличието ѝ е полезно поради редица причини. Например при режим „Външна памет“ могат да се обработват гладки повърхнини, програмирани с няколко изречения, без да се появяват резки от ножа, който спира да се движи по контур, докато се прочете следващото изречение от външния носител. Спирането на движението се избягва

благодарение на следния начин на работа. Докато се изпълнява изречението, чиито данни са поместени в работната памет, следващото изречение се прочита от външния носител и се запамятава в буферната памет. То остава там, готово за прехвърляне в работната памет, щом се приключи с изпълняването на изречението. След прехвърлянето му следващото изречение започва веднага да се изпълнява [2].

2. Режими на работа на металорежещите машини с ЦПУ

2.1 Режим „Редактиране“

Съвременните системи за управление на металорежещите машини с ЦПУ допускат редактиране на програмите, записани в програмната памет, т.е. изменение и изтриване на изреченията и думите на програмата и вмъкване на нови думи. За целта на пулта за управление се избира режимът „*Редактиране*“. При този режим цялата програма може да бъде прегледана от началото или от което и да е изречение в права и обратна посока, за да бъде намерена нужната дума на програмата и да се извърши самото редактиране [2].

2.2 Режим „Ръчно въвеждане на данни“

Всички системи с ЦПУ имат режим „*Ръчно въвеждане на данни*“. Той дава възможност машината да се управлява не по програма, а чрез отделни изречения, които настройчикът въвежда от пулта на системата. Ако програмите са разработени правилно, управлението по този начин се прилага само при някои действия, свързани с настройване на машината и подновяване на работа при аварийни ситуации (*спиране на тока, счупване на инструмента и др.*) [2].

Освен това този режим се използва и за :

- разчитане на причините за алармените ситуации;
- проверка и настройване на системите за управление;
- настройване на параметри и функции;

2.3 Режим „Ръчно управление – нестъпково“

При този режим движенията и действията се управляват чрез командните бутони, превключване на двупозиционни и многопозиционни превключватели, ръкохватки др. Например движението на напречната шейна се включва при натискане на съответния бутон и се изключва при отпускането му. Скоростта на това движение може да се настрои предварително чрез многопозиционен превключвател. Този режим е извънредно удобен, тъй като всяко желано действие може да се включи веднага и да се изключи по преценка. Използва се при настройване на машината, излизане от аварийни ситуации, раздвижване на работните органи, при почистване на машината и т.н. [2].

2.4 Режим „Ръчно управление – стъпково“

Различава се от предишния само по това, че движенията на напречната и надлъжната шейна (*при струговете*) и на масите (*при обработващите центрове*) могат да се управляват стъпково, т.е. да се командва преместването им на определен брой малки точни стъпки. Минималната стойност на стъпката е *0.001 mm*. Възможно е посредством превключвател да се настройва стойността на стъпката на *0.01 mm*, *0.1 mm* и т.н. [2].

Този режим е незаменим, когато е необходимо да се установи ножът на точен размер при пробна обработка и при разстъргване на меките челюсти на патронника, при докосване с ножа на заготовката и в други подобни случаи [2].

2.5 Подрежим „Потиснатите изречения се изпълняват“

Изреченията на програмата, снабдени отпред със знака / (*наклонена черта*), се наричат потиснати. Нормално те се прескачат при изпълнението на програмата. За да се изпълняват, настройчикът трябва да избере на пулта за управление подрежима „*Потиснатите изречения се изпълняват*“. С потиснатите изречения се програмират движения, които се изпълняват само в определени случаи – например при пробни обработки, ако те се правят само след замяна на износените инструменти [2].

2.6 Подрежим „Проиграване“

При проверки на въведените програми (*тестване*) и в някои други случаи може да се спести време, ако работните ходове се изпълняват не с програмираните подавания, а със значително по-големи подавания, настроени чрез превключвател на пулта за управление. За целта се включва подрежимът „*Проиграване*“, т.е. ускорено изпълнение на програмата. Проиграването може да бъде включено и изключено във всеки момент [2].

2.7 Подрежими „Единични изречения“ и „Автоматична работа“

Нормално детайлите се обработват при подрежим „*Автоматична работа*“, при който след еднократно натискане на стартовия бутон се изпълняват последователните изречения до края на програмата. При настройване и излизане от аварийни ситуации често се използва подрежимът „*Единични изречения*“, при който след едно натискане на стартовия бутон се изпълнява само едно изречение [2].

Ако при автоматично изпълнение на програмата се включи подрежимът „*Единични изречения*“, започнатото изречение се изпълнява, но следващото не се започва [2].

2.8 Подрежим „Машина заключена“

При този подрежим връзката между системата, командваща движението на шейната на супорта и преводите, осъществяващи движенията на същите шейни, е прекъсната. В резултат програмата се изпълнява, честотите на вретеното се включват, включва се и се изключва охлаждането, завъртат се нождържачите, но супортът не се премества.

В същото време показанията на цифровата индикация на положенията на шейните се изменят, като че ли шейните се движат. Подрежимът се използва за по-безопасна проверка на програмата [2].

2.9 Подрежими „Ръчно абсолютно включено“ и „Ръчно абсолютно изключено“

Ако по някаква причина се прекъсне работата по програма и предстои да се премине към работа в режим „Ръчно управление“ (стъпково или нестъпково), може да се избира дали да се включи подрежимът „Ръчно абсолютно включено“ или подрежимът „Ръчно абсолютно изключено“ [2].

При първия подрежим системата продължава да следи координатите, достигнати от инструмента при ръчно управление, и във всеки момент „знае“ истинското му положение. Това позволява след подновяване на работа по програма инструментът да продължи движението по програмираната траектория дори ако не сме се погрижили да завършим ръчното движение в същата точка, от което то е започнато (Не всички машини имат този режим) [2].

При подрежима „Ръчно абсолютно изключено“ системата не следи преместванията, осъществени чрез ръчно управление. Тя продължава да „мисли“, че ножът се намира там, докдето е достигнал при работа по програмата. В резултат, ако в края на ръчното преместване ножът не се върне там, откъдето е започнало преместването, траекториите на всички следващи движения по програма ще бъдат отместени. Такова отместване в повечето случаи е нежелателно, но понякога може да се прави умишлено. Например ако операторът иска да види как се изпълнява една нова програма, може за по-голяма безопасност да измести всички траектории радиално, за да бъдат по-далече от патронника и задното седло, а при стругове без задно седло – осово и радиално [2].

3. Струг – програмиране

Типичната ЦПУ програма притежава три (3) части:

- Подготовка: тази част от програмата избира режещия инструмент, включва охлаждащата течност, задава оборотите на шпиндела и избира абсолютно или верижно позициониране за движение на ос [3].
- Рязане: Тази част от програмата определя пътя на инструмента и скоростта на подаването за рязането [3].
- Завършване: Тази част от програмата придвижва инструмента извън зоната на обработка, изключва шпиндела и изключва охлаждащата течност [3].

3.1 Абсолютно и верижно програмиране

Когато в изреченията, командващи движенията на шейните, се задават координатите на крайните точки на участъците, програмирането е абсолютно, а когато се задават големините и посоките на преместванията при движението по участъка, програмирането е

верижно. При разглежданите стругове е възможно при едновременно движение на двете шейни едното движение да се програмира абсолютно, а другото верижно, т.е. възможно е смесено програмиране [2].

3.2 Модални команди

Модални са командите, които щом са били въведени в системата (*при изпълнение на предишните изречения на програмата или в режим „Ръчно въвеждане на данни“*), се помнят и се изпълняват, докато не се отменят [2].

Модалните команди образуват групи на несъвместими, взаимноизключващи се команди. Ако при изпълнение на програмата или чрез ръчно въвеждане на данни, се въведе някоя модална команда, тя отменя действащата до този момент команда от същата група [2].

Във всяка група една от модалните команди е резидентна – тя остава да действа след изключване на тока или след прекъсване на цикъла с бутона „Аварийен стоп“ [2].

Обикновено в инструкциите на различните системи е записано кои команди са модални, към кои групи принадлежат те и коя команда от всяка група е резидентна. Тези сведения са необходими за настройчика и оператора за проследяване на действието на системата при подновяване на работата след аварийни ситуации [2].

3.3 Немодални команди

„Немодални“ са командите, които действат само при изпълнение на изречението, в което те са програмирани [2].

3.4 Пасаж на програмата

Така се наричат няколко последователни изречения, програмиращи някакво завършено действие. Например пасаж за обработване на пробна повърхнина, пасаж на даден инструмент (*програмира всичко от въвеждането на инструмента до отвеждането му от заготовката*) [2].

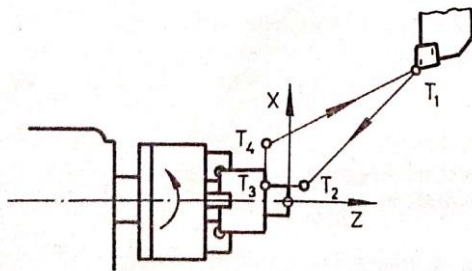
3.5 Групи команди

- Група 00 – *немодални*;
- Група 01 – *движение*;
- Група 02 – *избиране на равнина*;
- Група 03 – *режим на разстояние*;
- Група 05 – *режим на подаване*;
- Група 06 – *единици*;
- Група 07 – *компенсация на инструмента*;
- Група 08 – *офсет на дължината на инструмента*;
- Група 09 – *повтарящи се цикли*;
- Група 10 – *режим на връщане в повтарящи се цикли*;

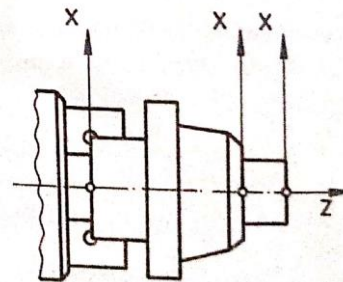
- Група 11 – мащабиране;
- Група 12 – избор на координатна система;
- Група 15 – точен стоп;
- Група 16 – завъртане;
- Група 23 – динамичен офсет на детайла;

3.6 Координатна система

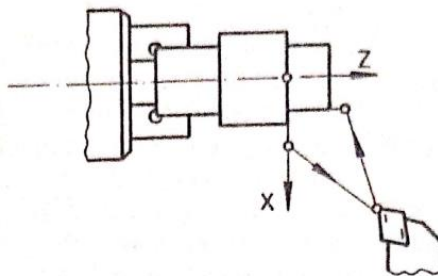
Настройчикът и операторът на един струг с ЦПУ се интересуват единствено от координатната система на детайла (фиг. 3.6.1).



Фиг. 3.6.1 Траектория на инструмента: T1, T2, T3 и T4 – възлови точки [2].



Фиг. 3.6.2 Примерни положения на началото на координатната система [2].



Фиг. 3.6.3 Координатна система при стругове с преден ножодържач [2].

Програмирането се осъществява в координатната система, като се задават координатите на възловите точки (Фиг. 3.6.1 – T1, T2, T3 и T4) на траекторията на инструментите. Във всички случаи се приема, че инструментът се движи в координатна система, която е неподвижна дори когато осовото движение се извършва от детайла [2].

Началото на координатната система винаги лежи на оста на детайла. Осовото положение на началото се определя от програмиста. То може да бъде на предното чело на детайла, на задното му чело или на което и да е междинно чело [2].

При всички стругове оста Z е насочена по оста на детайла, с посока от задния към предния край на шпиндела [2].

Оста X при стругове със заден ножодържач е насочена назад към ножодържача, както е показано на *фиг. 3.6.1* и *фиг. 3.6.2* [2].

Оста X при струговете с преден ножодържач е насочена напред към оператора, т.е. също към ножодържача (*фиг. 3.6.3*) [2].

И в двата случая координатите X в програмите почти винаги са положителни [2].

При струговете с два ножодържача посоката на оста X е избрана от производителя. При това положение в програмата координатите X на инструментите на единия ножодържач почти винаги са положителни, а на другия ножодържач – отрицателни [2].

3.7 G – кодове

G-кодовете се използват за подаване на команда към машината за определено действие като прости машинни движения. Те командват и по-сложни функции, които могат да включват опциите въртящи се инструменти и ос C [3].

Всеки G-код притежава номер на група (*виж т. 3.5*). Всяка група кодове съдържа команди за определена област. Например, G-кодовете от група 1 командват движения от точка до точка на осите на машината, група 7 е специфична за функцията „Компенсация на инструмента“ [3].

Всяка група има доминантен G-код, който се нарича G-код по подразбиране. G-код по подразбиране означава, че той е един за всяка група употреби на машината, освен ако не е зададен друг G-код от тази група. Например, програмирането на движения по X, Z, като това X – 2. Z – 4 ще позиционира машината, като използва G00 [3].

G-кодовете по подразбиране за всяка група са показани на екрана „Текущи команди“ във „Всички активни кодове“. Ако е подадена команда към друг G-код от групата (активен), този G-код се показва на екрана „Всички активни кодове“ [3].

Командите G са или модални, или немодални. Един модален G-код остава в действие до края на програмата или докато не подадете команда за друг G-код от същата група. Немодален G-код въздейства само на реда, в който е разположен; не повлиява следващия програмен ред. Кодовете от група 00 са немодални, от останалите групи са модални [3].

G-кодовете са показани в *таблица 1* [3].

Таблица 1

G - код	Описание	Група
G00	Позициониране с бързо движение	01
G01	Движение с линейна интерполация	01
G02	Кръгово интерполационно движение в посока по часовниковата стрелка	01
G03	Кръгово интерполационно движение в посока обратна на часовниковата стрелка	01
G04	Пауза	00
G09	Точен стоп	00
G10	Задаване на измествания	00
G14	Превключване на спомагателния шпиндел	17
G15	Отмяна на превключването на спомагателния шпиндел	17
G17	Равнина XY	02
G18	Равнина XZ	02
G19	Равнина YZ	02
G20	Избиране на инчове/ Цикъл на струговане Fanuc	06
G21	Избиране на метрична система	06
G28	Връщане към машинната нула	00
G29	Връщане от базова точка	00
G31	Функция на пропускане	00
G32	Нарязване на резба	01
G40	Отмяна на компенсация на режещия връх на инструмента	07
G41	Компенсация на режещия връх на инструмента - лява	07
G42	Компенсация на режещия връх на инструмента - дясна	07
G43	Компенсация на дължината на инструмента + (събиране)	08
G50	Ограничаване на оборотите на шпиндела	00
G50	Задаване на изместване на глобалната координата FANUC	00
G52	Задаване на локална координатна система FANUC	00
G53	Избор на машинна координата	00
G54	Координатна система #1 FANUC	12
G55	Координатна система #2 FANUC	12
G56	Координатна система #3 FANUC	12
G57	Координатна система #4 FANUC	12
G58	Координатна система #5 FANUC	12
G59	Координатна система #6 FANUC	12
G61	Модален точен стоп	15
G64	Отмяна на точен стоп G61	15
G65	Опция извикване на макрос подпрограма	00
G68	Завъртане	16
G69	Отмяна на въртене G68	16

G70	Цикъл на окончателна обработка	00
G71	O.D./I.D. Цикъл на снемане на прибавка	00
G72	Цикъл на снемане на прибавка от челото на детайла	00
G73	Цикъл на снемане на прибавка при неправилна траектория	00
G74	Цикъл на изработване на челен канал	00
G75	O.D./I.D. Цикъл на изработване на канал	00
G76	Резбонарезен цикъл, многопроходен	00
G80	Отмяна на повтарящ се цикъл	09
G81	Повтарящ се цикъл за пробиване	09
G82	Повтарящ се цикъл на точково пробиване	09
G83	Нормален пробивен повтарящ се цикъл с отвеждане на свредлото	09
G84	Резбонарезен повтарящ се цикъл	09
G85	Повтарящ се цикъл за разстъргване	09
G86	Повтарящ се цикъл на разстъргване и спиране	09
G89	Повтарящ се цикъл на разстъргване и пауза	09
G90	I.D./O.D. цикъл на струговане	01
G92	Резбонарезен цикъл	01
G94	Цикъл на челосване	01
G95	Въртящ се инструмент твърд метчик (челно)	09
G96	Включена постоянна повърхностна (окръжна) скорост	13
G97	Изключена постоянна повърхностна (окръжна) скорост	13
G98	Подаване в минута	10
G99	Подаване на оборот	10
G100	Деактивиране на огледално изобразяване	00
G101	Активиране на огледално изобразяване	00
G103	Ограничаване на прогнозирането на блокове	00
G105	Команда за задействане на обслужващия захранващ механизъм	09
G107	Цилиндрично картографиране	00
G110	Координатна система #7	12
G111	Координатна система #8	12
G112	Интерполиране от XY към XC	04
G113	Отмяна на G112	04
G114	Координатна система #9	12
G115	Координатна система #10	12
G116	Координатна система #11	12
G117	Координатна система #12	12
G118	Координатна система #13	12
G119	Координатна система #14	12
G120	Координатна система #15	12
G121	Координатна система #16	12
G122	Координатна система #17	12

G123	Координатна система #18	12
G124	Координатна система #19	12
G125	Координатна система #20	12
G126	Координатна система #21	12
G127	Координатна система #22	12
G128	Координатна система #23	12
G129	Координатна система #24	12
G154	Избор на координати за детайла P1 - 99	12
G156	Повтарящ се цикъл на щосване	09
G167	Промяна на настройката	00
G170	Отмяна G171/G172	20
G171	Отмяна на програмирането на радиуса	20
G172	Игнориране на програмирането на диаметъра	20
G184	Реверс на резбонарезен повтарящ се цикъл за леви резби	09
G186	Реверс на въртящ се инструмент твърд метчик (за леви резби)	09
G187	Контрол на точността	00
G195	Въртящ се инструмент за радиално нарязване на резба с метчик напред (диаметър)	09
G196	Въртящ се инструмент за радиално нарязване на резба с метчик назад (диаметър)	09
G198	Деактивира синхронното управление на шпиндела	00
G199	Активира синхронното управление на шпиндела	00
G200	Индексиране в движение	00
G211	Ръчна настройка на инструмент	-
G212	Автоматична настройка на инструмент	-
G234	Управление на централната точка на инструмента (TCP)	08
G241	Радиален пробивен повтарящ се цикъл	09
G242	Повтарящ се цикъл за радиално пробиване на центрови отвор	09
G243	Радиален нормален повтарящ се цикъл на пробиване с отвеждане на свредлото	09
G245	Повтарящ се цикъл на радиално разстъргване	09
G246	Повтарящ се цикъл на радиално разстъргване и спиране	09
G249	Повтарящ се цикъл на радиално разстъргване и пауза	09
G250	Отмяна на мащабиране	11
G251	Мащабиране	11
G254	Динамично изместване на детайла	23
G255	Отмяна на динамичното изместване на детайла	23
G266	Линейно бързо движение на видимите оси	00
G268	Активиране на функция координатна система	02
G269	Деактивиране на функция координатна система	02
G390	Команда за абсолютна позиция	03
G391	Команда за инкрементална позиция	03

3.8 Разяснения на G-кодовете

- *G00*: този *G* код се използва за придвижване на осите на машината с максимална скорост. Използва се основно за бързо позициониране на машината в дадена точка преди всяка команда за подаване (*рязане*). Блок с *G00* кара всички следващи блокове да бъдат изпълнявани с бързи движения, докато не бъде указано друго движение на *рязане* [3].
- *G01*: Този *G* код осигурява праволинейно (*линейно*) движение от точка до точка. Движението може да се случи в една или повече оси. Можете да командвате *G01* с три или повече оси. Всички оси ще започнат и завършат движението по едно и също време. Скоростта на всички оси се контролира, така че зададената скорост на подаване да се постигне по действителния път. Оста *C* може също да бъде командвана и това ще осигури спираловидно движение. Скоростта на подаване на оста *C* зависи от настройката на диаметъра на оста *C*, за да се създаде спираловидно движение. Командата *F* (*скорост на подаване*) е модална и може да бъде посочена в предишен блок. Преместват се само посочените оси [3].
- *G02*: Използва се за указване на кръгово движение на линейните оси (*кръговото движение е възможно по осите X и Z*). Стойностите *X* и *Z* се използват за определяне на крайната точка на движението и могат да използват или абсолютно (*X и Z*), или инкрементално движение (*U и W*). Ако *X* или *Z* не са посочени, крайната точка на дъгата е същата като началната точка за тази ос. Има два начина за определяне на центъра на кръговото движение; първият използва *I* или *K*, за да определи разстоянието от началната точка до центъра на дъгата; вторият използва *R* за указване на радиуса на дъгата [3].
- *G03*: Същата функция, както при *G02*, но с различна посока на въртене (*обратно на часовниковата стрелка*) [3].
- *G04*: Указва забавяне или задържане в програмата[3].
- *G09*: Код *G09* се използва за указване на контролирано спиране на осите. Засяга само блока, в който е зададен. Той е немодален и не засяга блоковете, които идват след блока, където е дефиниран. Машината забавя скоростта до програмираната точка, преди управлението да обработи следващата команда[3].
- *G10*: Позволява да задавате отмествания в рамките на програмата. *G10* замества ръчното въвеждане на отместване (*т.е. дължина и диаметър на инструмента и отмествания на работни координати*) [3].
- *G14*: Кара вторичния шпиндел да стане основен шпиндел, така че вторичният шпиндел да реагира на команди, обикновено използвани за главния шпиндел. Например *M03*, *M04*, *M05* и *M19* засягат вторичния шпиндел, а *M143*, *M144*, *M145* и *M119* (*команди на вторичния шпиндел*) предизвикват алармено състояние [3].
- *G15*: Отменя действието на *G14* [3].

- *G17*: Този код дефинира равнината, в която се извършва движението на траекторията на инструмента. Кодовете за избор на равнина са модални и остават в сила, докато не бъде избрана друга равнина [3].
- *G18/G19*: Подобни на *G17* [3].
- *G20/G21*: Тези кодове избират инчове/метрични единици за програмата. Използвайте настройка 9, за да изберете между инчово и метрично програмиране. *G20* в програма предизвиква аларма, ако настройка 9 не е настроена на инчове и обратно, ако в програмата присъства *G21*, а настройка 9 не е настроена на метрична система също ще се включи аларма [3].
- *G28*: Връща всички оси (*X, Y, Z, B* и *C*) едновременно в нулевата позиция на машината, когато изрично не е посочена ос [3].
- *G29*: Премества осите в определена позиция [3].
- *G31*: Този *G*-код премества програмираните оси, докато не получи сигнал от системата за измерване (*сигнал за прескачане*). Посоченото движение се стартира и продължава, докато се достигне позицията или измервателната система получи сигнал за прескачане. Ако измервателната система получи сигнал за прескачане по време на движението на *G31*, управлението издава звуков сигнал и позицията на сигнала за прескачане се записва в макро променливи. След това програмата изпълнява следващия ред код. Ако измервателната система не получи сигнал за прескачане по време на движението *G31*, управлението не издава звуков сигнал, позицията на сигнала за прескачане се записва в края на програмираното движение и програмата продължава [3].
- *G32*: Различава се от другите цикли за нарязване на резба по това, че конусът и/или изпреварването могат да варират непрекъснато в цялата резба. Освен това не се извършва автоматично връщане на позицията в края на операцията по нарязване на резба [3].
- *G40*: Отменя *G41* или *G42* [3].
- *G41/G42*: Избират компенсация на върха на инструмента. *G41* премества инструмента вляво от програмираната траектория, за да компенсира размера на инструмента и обратно за *G42* [3].
- *G43*: Избира компенсация на дължината на инструмента в положителна посока. Дължината на инструмента в страницата за отмествания се добавя към зададената позиция на оста [3].
- *G50*: Може да се използва за ограничаване на максималната скорост на шпиндела. Управлението няма да позволи на шпиндела да надхвърли стойността на *S* адреса, посочена в командата *G50*. Това се използва в режим на постоянно повърхностно подаване (*G96*) [3].
- *G52*: Този код избира потребителската координатна система [3].
- *G53*: Този код временно отменя отместванията на работните координати и използва координатната система на машината. Този код също така ще игнорира отместванията на инструмента [3].

- G54 - G59: Дефинирани от потребителя координатни системи, #1 - #6, за работни отмествания. Всички последващи препратки към позициите на осите се интерпретират в новата координатна система. Отместванията на работната координатна система се въвеждат от страницата за показване на активно работно отместване [3].
- G61: Използва се за указване на точно спиране. Бързите и интерполирани движения ще се забавят до точно спиране, преди да бъде обработен друг блок. При точно спиране движенията ще отнемат повече време и няма да има непрекъснато движение. Това може да причини по-дълбоко рязане там, където инструментът спира [3].
- G64: Отменя точното спиране и избира нормален режим на рязане.
- G68: Когато задавате G68, управлението завърта всички стойности на X, Y, Z, I, J и K около център на въртене до определен ъгъл (R) [3].
- G69: Отменя режима на въртене [3].
- G70: Може да се използва за завършване на траектории на рязане, които са грубо изрязани с цикли за отстраняване на материал като G71, G72 и G73 [3].
- G71: Този стандартен цикъл се използва за окончателна обработка на детайла. Всички команди F, S или T дефинирани в реда на G71 или в сила по време на действието на G71 се използват през целия цикъл на груба обработка [3].
- G72: Подобен е на G71, но премахва материала по протежение на челото на детайла [3].
- G73: Стандартен цикъл, който може да се използва за грубо рязане на заготовки като например отливки [3].
- G74: Използва се за нарязване на канали върху челната повърхност на детайли [3].
- G75: Стандартен цикъл, който може да се използва за нарязване на канали по външния или вътрешния диаметър на детайла. Когато Z или W код се добавят към блок G75 и Z не е текущата позиция, тогава възникват минимум два цикъла на обработка: един на текущото местоположение и друг на Z-местоположението. Кодът K е нарастващото разстояние между циклите на обработка по оста Z. Добавянето на K води до обработката на множество, равномерно разположени канали. Ако разстоянието между началната позиция и общата дълбочина (Z) не се дели на K, тогава последният интервал по Z е по-малък от K [3].
- G76: Може да се използва за нарязване както на прави, така и на конусовидни (тръбни) резби [3].
- G80: Отменя всички активни стандартни цикли [3].
- G81/G86, G89/G90, G92, G94: Стандартни цикли за различни видове обработки.
- G95: Цикъл за аксиално нарязване на резби, подобен на G84, тъй като използва адресите F, R, X и Z [3].
- G96: Командва управлението да поддържа постоянна скорост на рязане на върха на инструмента. Оборотите на шпиндела се базират на диаметъра на детайла, където се извършва рязане, и зададената S стойност. Това означава, че скоростта на

шпиндела се увеличава, когато инструментът се доближава до центъра на детайла. Когато настройка 9 е зададена на *INCH*, стойността *S* определя футове в минута. Когато настройка 9 е зададена на *MM*, стойността *S* определя метри в минута [3].

- *G97*: Задава на управлението да не регулира скоростта на шпиндела въз основа на диаметъра на рязане и отменя всяка команда *G96*. Когато *G97* е в сила, всяка *S* команда е обороти в минута (*RPM*) [3].
- *G98/G99*: Променя начина, по който се интерпретира *F*-адресният код. Стойността на *F* показва инчове в минута, когато настройка 9 е зададена на *INCH* и *F* показва милиметри в минута, когато настройка 9 е зададена на *MM* [3].
- *G100/G101*: Програмируемото огледално изображение може да се включва или изключва индивидуално за оста *X* и/или *Z*. Долната част на екрана показва кога дадена ос е огледална. Тези *G*-кодове се използват в команден блок без други *G*-кодове и не предизвикват никакво движение по оста. *G101* включва огледално изображение за всяка ос, посочена в този блок. *G100* изключва огледалното изображение за всяка ос, посочена в блока [3].
- *G103*: Определя максималния брой блокове, които контролерът чете напред (диапазон 0-15) [3].
- *G105*: Това е *G*-кодът, използван за командване на устройство за зареждане на цилиндрични заготовки с различни дължини в шпиндела [3].
- *G107*: Цилиндрично картографиране. Три адресни кода могат да следват *G107*: *Y*, *C*, *Q* или *R* [3].
- *G110/G111*: *G110* избира #7 и *G111* избира #8 допълнителни работни координати на отместване. Всички последващи препратки към позициите на осите се интерпретират в новата координатна система на работното отместване. Работата на *G110* и *G111* е същата като *G154 P1* и *G154 P2* [3].
- *G112*: Функцията за интерполация на координати *G112* от *XY* до *XC* позволява да се програмират последващи блокове в декартови координати *XY*, които управлението автоматично преобразува в полярни координати *XC* [3].
- *G113*: Отменя преобразуването на декартови в полярни координати [3].
- *G114/G129*: Зададени от потребителя координатни системи (#9 - #24) за работни отмествания. Всички следващи препратки към позициите на осите се интерпретират в новата координатна система. Отместването на работната координатна система се въвежда от страницата за показване на активно работно отместване. Работата на кодовете *G114* - *G129* е като тази на *G154 P3* - *G154 P18* [3].
- *G154*: Тази функция предоставя 99 допълнителни работни отмествания. *G154* с *P* стойност от 1 до 99 активира допълнителни работни отмествания. Например *G154 P10* избира работни отмествания 10 от списъка с допълнителни работни отмествания [3].
- *G156*: Повтарящ се цикъл на щосване (*Изработване на шлицови и шпонкови канали*) [3].

- *G167*: Този *G*-код позволява на потребителя постоянно да променя настройките по време на изпълнение на програмата [3].
- *G170*: Този *G*-код анулира *G171* и *G172* и се връща по подразбиране към настройка 285 - Програмиране на *X* диаметър [3].
- *G171/G172*: Когато са активни, всички програмирани входове към оста *X* ще се интерпретират като радиус [3].
- *G184/G186*: Не е необходимо да стартирате шпиндела срещу часовниковата стрелка преди този стандартен цикъл; управлението прави това автоматично [3].
- *G187*: Команда за точност, която може да задава и контролира както гладкостта, така и максималната стойност на заобляне на ъгъла при рязане на част [3].
- *G195/G196*: Тези *G*-кодове са модални, тъй като активират стандартния цикъл, докато не бъдат отменени или не бъде избран друг стандартен цикъл. Цикълът започва от текущата позиция [3].
- *G198*: Изключва синхронното управление на шпиндела и позволява независимо управление на главния шпиндел и вторичния шпиндел [3].
- *G199*: Този *G*-код синхронизира оборотите на двата шпиндела. Командите за позиция или скорост към следващия шпиндел, обикновено вторичния шпиндел, се игнорират, когато шпинделите са в синхронно управление. Въпреки това *M*-кодовете на двата шпиндела се управляват независимо [3].
- *G200*: кара машината да извършва отдалечаване, смяна на инструменти и връщане към детайла, за да спести време.
- *G211*: Използва се за задаване на първоначално отместване на инструмента (*X*, *Z* или *и двете*). Кодът или ще използва текущото отместване на инструмента, ако такова е било извикано преди това, или отместването на инструмента може да бъде избрано с помощта на *T*-код. Цикълът ще изследва инструмента, ще въведе отместването и ще върне инструмента в начална позиция [3].
- *G212*: Използва се за повторно анализиране на инструмент, който вече има зададено отместване, например след смяна на пластина. Може да се използва и за проверка за счупване на инструмента [3].
- *G234*: Контрол на централната точка на инструмента (*TCPC*) позволява на машината да изпълнява правилно контурна 4- или 5-осова програма, когато детайлът не е разположен на точното място, посочено от генерираната от *CAM* софтуер програма за обработка. Това елиминира необходимостта от повторно публикуване на програма от *CAM* системата, когато програмираното и действителното местоположение на детайла са различни [3].
- *G241/G242/G243*: Използва се за направата на радиални отвори в заготовката.
- *G245/G246/G249*: Повтарящи се цикли за радиално разстъргване.
- *G250*: Отменя опционалната функция за мащабиране. Всяка ос, мащабирана от предишна команда *G251*, вече не е в сила [3].

Останалите G-кодове са опционални за повечето машини. Възможността за използването им в управлението на машината е свързана с допълнително заплащане.

3.9 M-кодове

M-кодовете, използвани при програмиране на стругове са показани в *таблица 2* [3].

Таблица 2

M-код	Описание
M00	Спиране на програмата
M01	Стоп на програмата по избор
M02	Край на програмата
M03	Включване на шпиндела напред
M04	Включване на шпиндела назад
M05	Спиране на шпиндела
M08 / M09	Включване / Изключване на охлаждащата течност
M10 / M11	Затягане / Разхлабване на патронника
M12 / M13	Включване / Изключване (по избор) на автоматичната въздушна струя
M14 / M15	Включване / Изключване на спирачката на главния шпиндел
M17	Въртене на револверна глава напред
M18	Въртене на револверна глава назад
M19	Ориентиране на шпиндела (опция)
M21	Подаване на задно седло (опция)
M22	Изтегляне на задно седло (опция)
M23	Включване на фаска на резба
M24	Изключване на фаска на резба
M30	Край на програма и връщане в изходно положение
M31	Шнек за стружки напред (опция)
M33	Шнек за стружки спиране (опция)
M35	Позиция за събиране на детайли на детайло-уловителя
M36	Включване на устройство за хващане на детайли (опция)
M37	Изключване на устройство за хващане на детайли (опция)
M38 / M39	Включване / Изключване на променливи обороти на шпиндела
M41 / M42	Ниска / Висока предавка (опция)
M43	Деблокиране на револверната глава
M44	Блокиране на револверната глава
M78	Аларма, ако бъде открит сигнал за пропускане
M79	Аларма, ако не бъде открит сигнал за пропускане
M85 / M86	Отваряне / Затваряне на автоматичната врата (опция)
M88 / M89	Включване / Изключване на охлаждаща течност под високо налягане (опция)

<i>M90 / M91</i>	<i>Включване / Изключване на скобата на устройството за фиксиране</i>
<i>M95</i>	<i>Режим на изчакване</i>
<i>M96</i>	<i>Бърз преход, ако няма сигнал</i>
<i>M97</i>	<i>Извикване на локална подпрограма</i>
<i>M98</i>	<i>Извикване на подпрограма</i>
<i>M99</i>	<i>Връщане или цикъл на подпрограма</i>
<i>M104/M105</i>	<i>Подаване / Изтегляне на рамото на датчика (опция)</i>
<i>M109</i>	<i>Интерактивно потребителско въвеждане</i>
<i>M110</i>	<i>Затягане на патронника на спомагателния шпиндел (опция)</i>
<i>M111</i>	<i>Освобождаване на патронника на спомагателния шпиндел (опция)</i>
<i>M112 / M113</i>	<i>Включване / изключване на автоматична въздушна струя на спомагателния шпиндел (опция)</i>
<i>M114 / M115</i>	<i>Включване / изключване на спирачката на спомагателния шпиндел (опция)</i>
<i>M119</i>	<i>Ориентиране на спомагателния шпиндел (опция)</i>
<i>M133</i>	<i>Въртящ се инструмент напред</i>
<i>M134</i>	<i>Въртящ се инструмент назад</i>
<i>M135</i>	<i>Въртящ се инструмент стоп</i>
<i>M138</i>	<i>Включване на променливи обороти на шпиндела</i>
<i>M139</i>	<i>Изключване на променливи обороти на шпиндела</i>
<i>M143</i>	<i>Спомагателен шпиндел напред</i>
<i>M144</i>	<i>Спомагателен шпиндел назад</i>
<i>M145</i>	<i>Спомагателен шпиндел стоп</i>
<i>M146 / M147</i>	<i>Затягане / Освобождаване на люнетта</i>
<i>M158 / M159</i>	<i>Включване / Изключване на кондензатор за мъгла</i>
<i>M170 / M171</i>	<i>Задействане / Освобождаване на спирачката на 4-та ос</i>
<i>M214 / M215</i>	<i>Включване / Изключване на спирачката за въртящи се инструменти</i>
<i>M219</i>	<i>Ориентация на въртящия се инструмент</i>
<i>M388 / M389</i>	<i>Включване / Изключване на охлаждането през шпиндела със MOT</i>

3.10 Други команди

- ✓ **Команда E:** Програмира стъпката на резбата в десети от микрометъра. Например E22500 програмира стъпка 2,25 мм [2].
- ✓ **Команда F:** В изречения с G32, G76 и G92 програмира стъпката на резбата в стотни от милиметъра. Например F225 програмира стъпка 2,25 мм. В останалите случаи F програмира подаването със следните особености:

- а) Най-често F програмира подаването в стотни от милиметъра за едно завъртане на шпиндела. Например $F35$ програмира подаването $0,35 \text{ мм./об.}$ [2].
- б) В някои особени случаи програмистът програмира подаването в милиметри за минута чрез съчетанието: $G98 F...$ ($G98 F100$ - подаване 100 мм. / мин.) [2].
- ✓ **Команда S:** Тази команда е свързана с честотата на въртене на шпиндела. При използването ѝ има следните особености:
- а) Ако в програмата не е използвана команда $G96$, командата S програмира честотата на въртене на шпиндела (*обороти за минута*). Например $S500$ програмира честота 500 min^{-1} [2]. Веднъж програмирана честотата на въртене действа, докато не бъде отменена или променена.
- б) Ако някъде в програмата има команда $G96$, командата S , записана до нея или след нея, програмира скоростта на рязане в метри за минута, докато действието на команда $G96$ се отмени с командата $G97$. Например съчетанието $G96 S130$ програмира скорост на рязане 130 m/min [2].
- в) Съчетанието $G50 S...$ програмира максималната допустима честота на въртене на шпиндела в обороти за минута, когато в програмата се задава скоростта на рязане. Това съчетание може да бъде срещнато на няколко места в програмата, тъй като колкото повече детайлът е обработен, толкова по-лек и балансиран става. В някои случаи може да се получи обратен ефект: с напредването на обработката намаляват дебелините на стените на детайла и трябва да се ограничат оборотите [2].
- ✓ **Команда Z:** Програмира координатата Z на точките. За струговете е прието координатата да се задава в микрометри, макар че би могло да се задава и в стотни от милиметъра. Същото се отнася и до програмиране на останалите координати, премествания и линейни размери [2].
- ✓ **Команда W:** В изречения с $G71$, $G72$ и $G73$ командата W програмира прибавката за чисто струговане на челата. Основното ѝ предназначение е верижно програмиране на осови премествания. Ако след адреса W има знак минус, преместването е срещу положителната посока на оста Z [2].
- ✓ **Команда X:** В изреченията с $G04$ командата X програмира времето в милисекунди. Основното ѝ предназначение е да програмира координатите на точките по оста X . При това абсолютната стойност на числото след адреса X е равна на диаметъра (*в микрометри*), който би се получил при обработване на детайла, когато ножът се намира в дадена точка [2].
- ✓ **Команда U:** В изречения с $G71$, $G72$ и $G73$ командата U програмира прибавката (*за диаметър*), която се оставя за чисто струговане. В изречения с $G04$, U програмира времето в милисекунди. Основното ѝ предназначение е да програмира верижно радиални премествания. След адреса U се записва удвоената стойност на радиалното преместване в микрометри. Ако движението е срещу положителната посока на оста X , след адреса се поставя знакът минус [2].

- ✓ **Команда T:** Посредством команда *T* при струговете с ЦПУ се програмират номерата на инструментите, номерата на корекциите и номерата на радиусните компенсации. Обикновено се използва думата *T* с четири цифри след адреса, например *T0303*. Този код се разшифрова по следния начин: първите две цифри след адреса *T* програмират номера на инструмента. Последните две цифри програмират номера на корекцията и номера на радиусната компенсация, намален с 30. Следователно *T0303* означава – инструмент 03, корекция 03, радиусна компенсация 33 [2].

3.11 Корекции

Програмистът програмира траекторията на върховете на идеално точни неизносващи се инструменти, като приема, че машината е идеално точна и не се деформира, както не се деформират заготовката и патронникът. В действителност нито инструментите, нито машините са идеално точни, а всички елементи на технологичната система се деформират. За да се получат при това положение точни размери на повърхнините, в пасажите на всеки инструмент програмистът задава номер на корекцията. Всъщност това са номерата на два регистъра в паметта на системата, в единия от които се въвежда от настройчика стойността на корекцията по *X*, а в другия – стойността на корекцията по *Z*. Тези два корекционни регистъра с общ номер се наричат корекционна двойка [2].

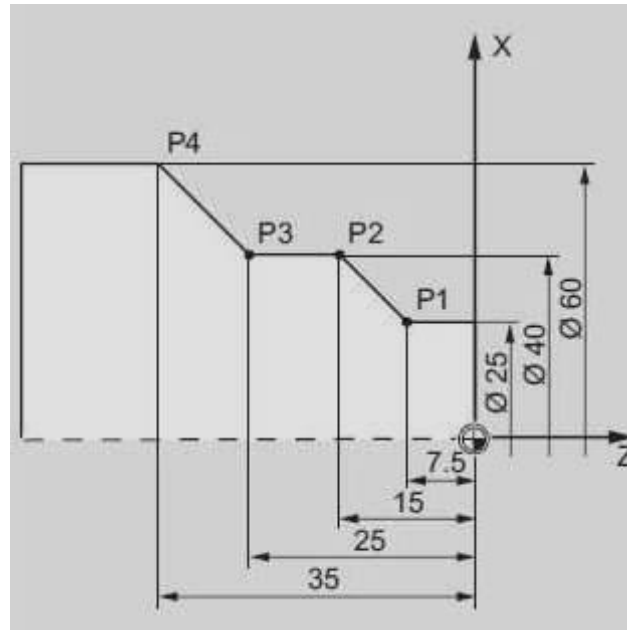
Ако при обработване с даден инструмент по програма без корекции получените диаметри се различават от зададените, за да се постигнат исканите размери, трябва да се въведе корекция по *X* с определена стойност. Например трябва да се получи диаметър $\emptyset 50.00\text{ mm}$, а измерването показва, че се получава $\emptyset 50.17\text{ mm}$. Трябва да се въведе корекция по *X* със стойност -0.17 mm . По същия начин, ако при обработване със същия нож без корекции координатите *Z* на челата се различават от зададените, трябва да се въведе корекция по *Z* с определена стойност. Например челата се получават отместени надясно (в посока на по-големите размери на *Z*) с 0.57 mm . Трябва да се въведе корекция по *Z* със стойност -0.57 mm [2].

Тъй като системата има много корекционни двойки, така определените стойности на корекциите трябва да се въведат в тази корекционна двойка, която според програмата работи с даден инструмент. Например, ако ножът има номер 02, а в програмата е записано *T0204*, определените корекции трябва да се въведат в корекционна двойка 04 [2].

При изпълнение на програмата системата, щом срещне думата *T*, от последните ѝ две цифри прочита номера на корекционната двойка, извлича от регистрите ѝ стойностите на корекциите по *X* и *Z* и ги прибавя алгебрично към програмираните координати на възловите точки на траекторията на ножа. По този начин траекторията се отмества и размерите се получават по-точни [2].

3.12 Работни листове за раздел „Струг - програмиране“

Работен лист №1



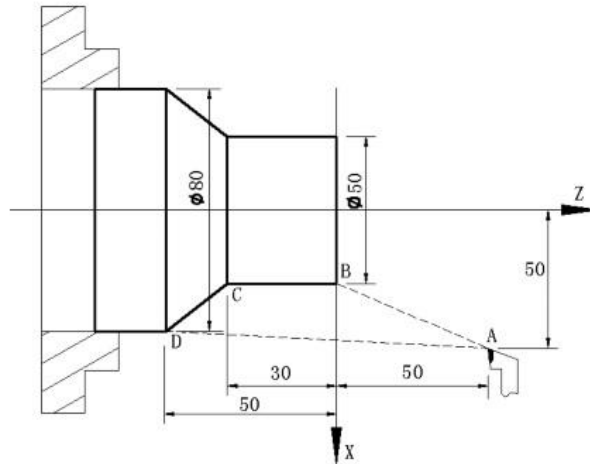
Фиг. 3.12.1 (Източник: helmanсnc.com)

Напишете програма за движение на металорежещ инструмент по контура, показан на *фиг. 3.12.1* със спазване на посочените размери.

Blank area for writing the program code, consisting of eight horizontal blue lines.

3.12 Работни листове за раздел „Струг - програмиране“

Работен лист №2



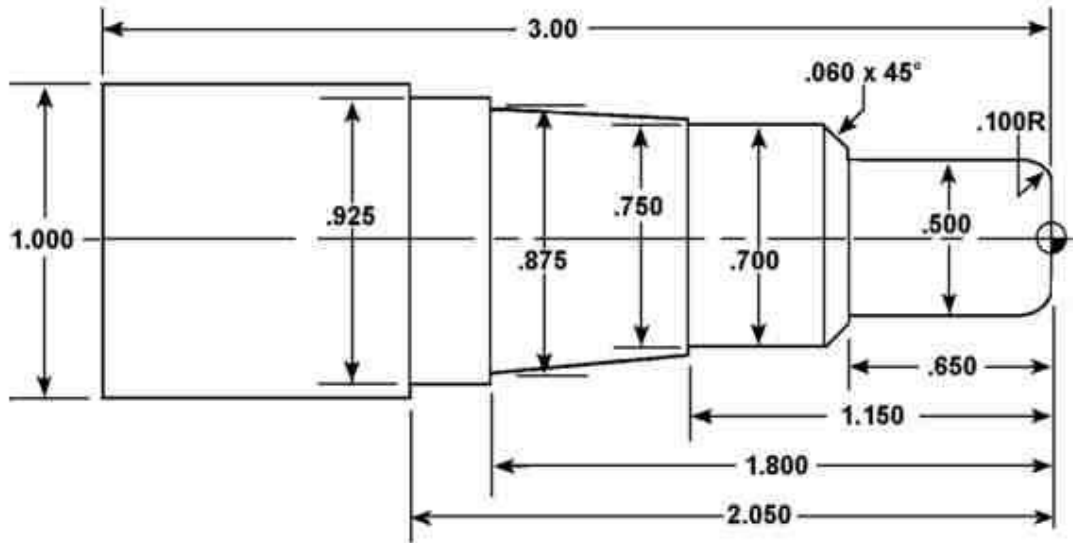
Фиг. 3.12.2 (Източник: helmancnc.com)

Напишете програма за движение на металорежещ инструмент по контура, показан на *фиг. 3.12.2* със спазване на посочените размери.

Blank area for writing the CNC program, consisting of several horizontal lines.

3.12 Работни листове за раздел „Струг - програмиране“

Работен лист №3



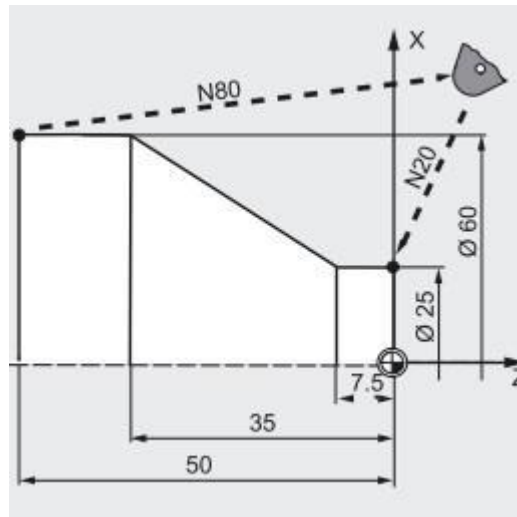
Фиг. 3.12.3 (Източник: helmanсnc.com)

Напишете програма за движение на металоурежещ инструмент по контура, показан на фиг. 3.12.3 със спазване на посочените размери (в инчове).

Blank area for writing the CNC program, consisting of several horizontal blue bars.

3.12 Работни листове за раздел „Струг - програмиране“

Работен лист №4



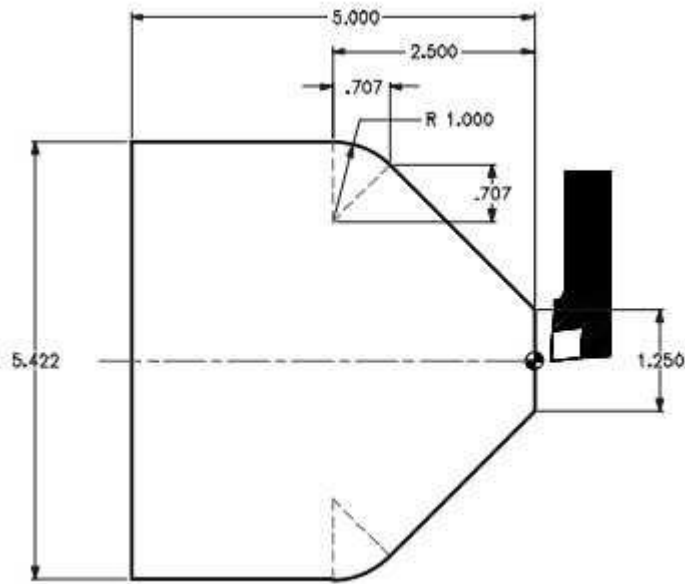
Фиг. 3.12.4 (Източник: helmancnc.com)

Напишете програма за движение на металорежещ инструмент по контура, показан на *фиг. 3.12.4* със спазване на посочените размери.

Blank area for writing the CNC program, consisting of seven horizontal blue lines.

3.12 Работни листове за раздел „Струг - програмиране“

Работен лист №5



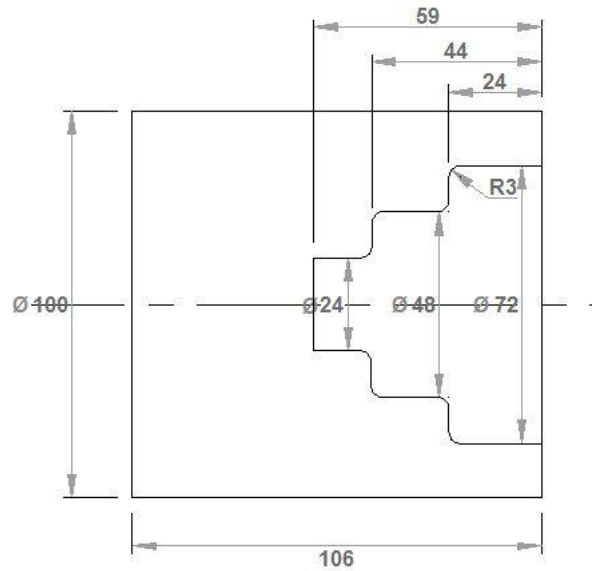
Фиг. 3.12.5 (Източник: helmancnc.com)

Напишете програма за движение на металоурежещ инструмент по контура, показан на *фиг. 3.12.5* със спазване на посочените размери.

Blank area for writing the CNC program, consisting of eight horizontal blue lines.

3.12 Работни листове за раздел „Струг - програмиране“

Работен лист №6



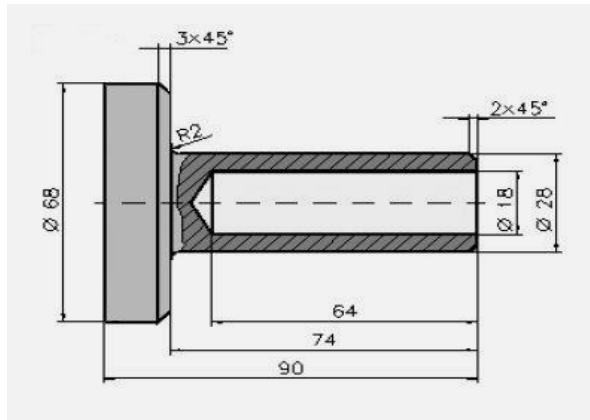
Фиг. 3.12.6 (Източник: helmancnc.com)

Упражнение за програмиране на CNC струг с използване на *G70*, *G71*, *G74* за обработка по вътрешен диаметър съгласно *фиг.3.12.6*.

Blank area for writing the CNC program code, consisting of eight horizontal blue bars.

3.12 Работни листове за раздел „Струг - програмиране“

Работен лист №7



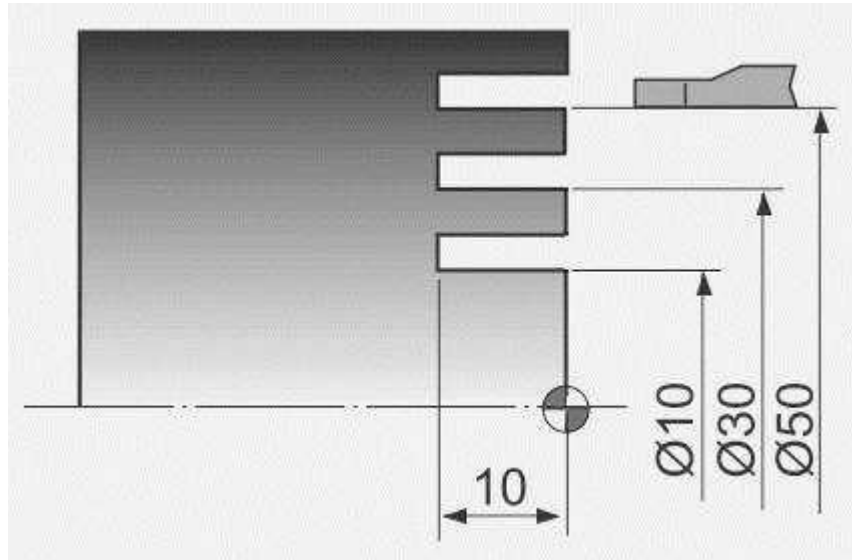
Фиг. 3.12.7 (Източник: helmancnc.com)

Упражнение за програмиране на CNC струг – използвайте цикъл G71 и цикъл G74 за обработка на детайла, показан на *фиг.3.12.7*.

Blank area for writing the solution to the exercise, consisting of seven horizontal blue lines.

3.12 Работни листове за раздел „Струг - програмиране“

Работен лист №8



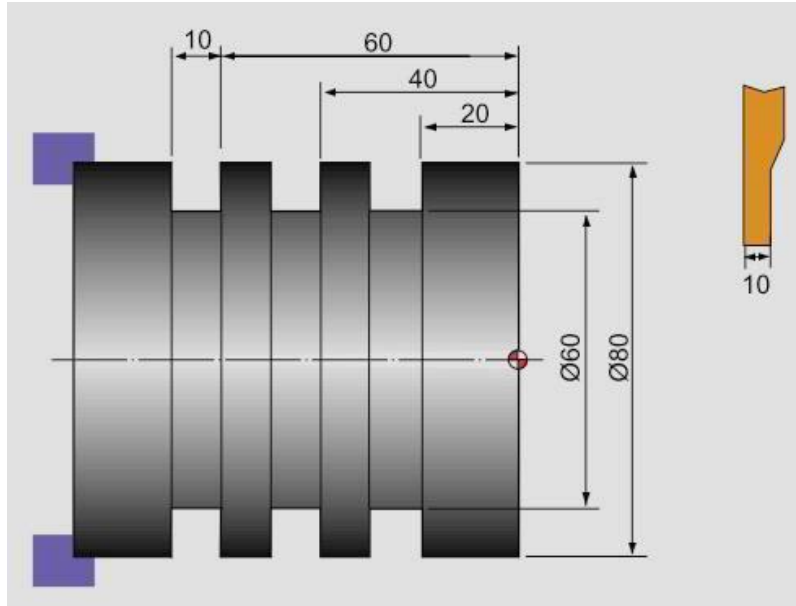
Фиг. 3.12.8 (Източник: helmancnc.com)

Упражнение за програмиране на *CNC* струг – използвайте цикъл *G74* за изработка на каналите, показани на *фиг.3.12.8*.

Blank area for writing the CNC program code, consisting of seven horizontal blue lines.

3.12 Работни листове за раздел „Струг - програмиране“

Работен лист №9



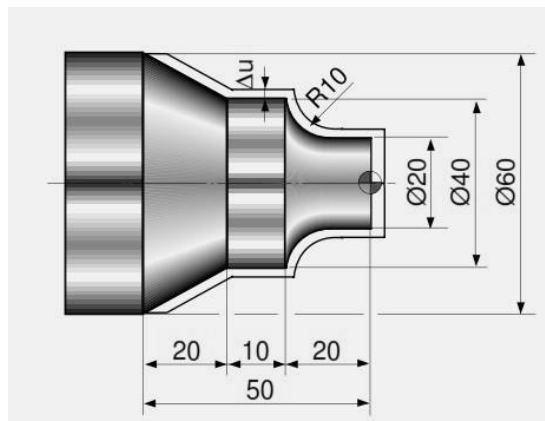
Фиг. 3.12.9 (Източник: helmancnc.com)

Упражнение за програмиране на *CNC* струг – използвайте цикъл *G75* за изработка на каналите, показани на *фиг.3.12.9*.

Blank area for writing the CNC program code, consisting of seven horizontal blue lines.

3.12 Работни листове за раздел „Струг - програмиране“

Работен лист №11



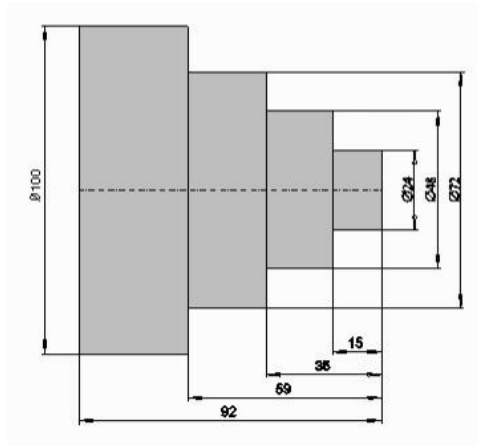
Фиг. 3.12.11 (Източник: helmancnc.com)

Упражнение за програмиране на CNC струг – използвайте цикъл G73 за обработка на детайла, показан на *фиг.3.12.11*.

Blank area for writing the CNC program code, consisting of eight horizontal blue bars.

3.12 Работни листове за раздел „Струг - програмиране“

Работен лист №12



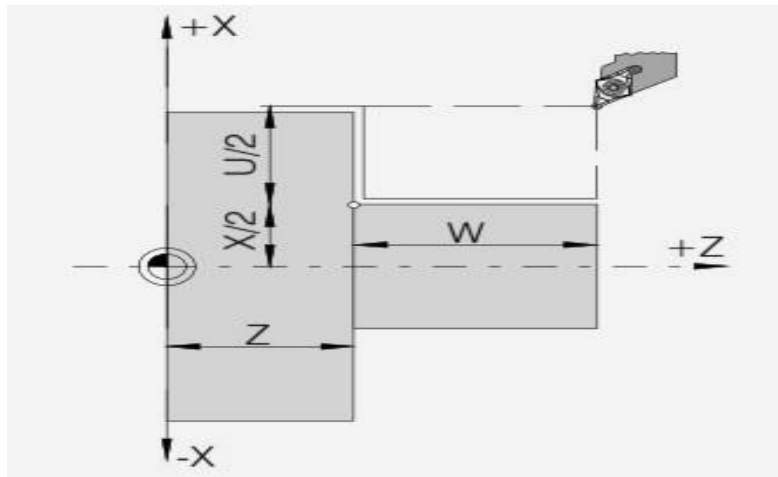
Фиг. 3.12.12 (Източник: helmancnc.com)

Упражнение за програмиране на CNC струг – използвайте цикъл G90 за обработка на детайла, показан на *фиг.3.12.12*.

Blank area for writing the CNC program code, consisting of several horizontal blue bars.

3.12 Работни листове за раздел „Струг - програмиране“

Работен лист №13



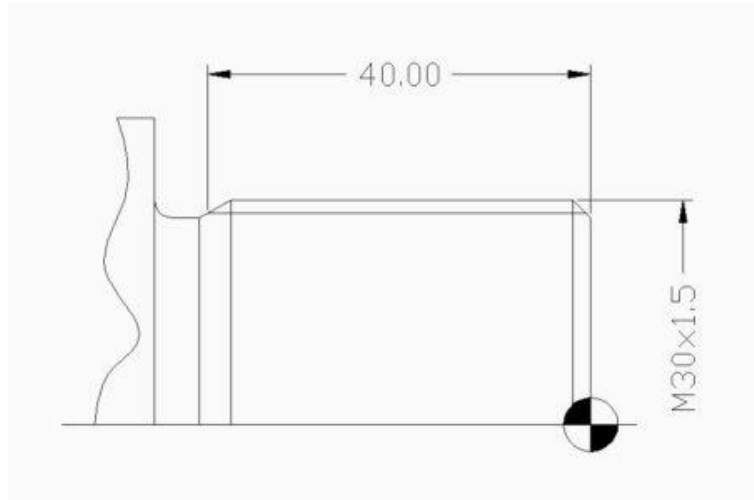
Фиг. 3.12.13 (Източник: helmancnc.com)

Упражнение за програмиране на CNC струг – използвайте цикъл G20 за обработка на детайла, показан на *фиг.3.12.13*.

Blank area for writing the CNC program code, consisting of seven horizontal blue bars.

3.12 Работни листове за раздел „Струг - програмиране“

Работен лист №14



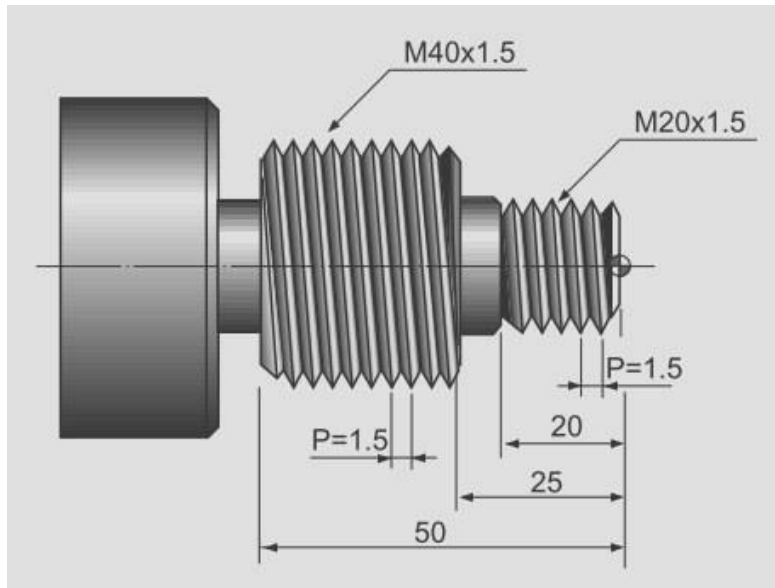
Фиг. 3.12.14 (Източник: helmancnc.com)

Упражнение за програмиране на *CNC* струг – използвайте цикъл *G76* за нарязване на резба, съгласно *фиг.3.12.14*.

Blank area for writing the CNC program code, consisting of eight horizontal blue bars.

3.12 Работни листове за раздел „Струг - програмиране“

Работен лист №15



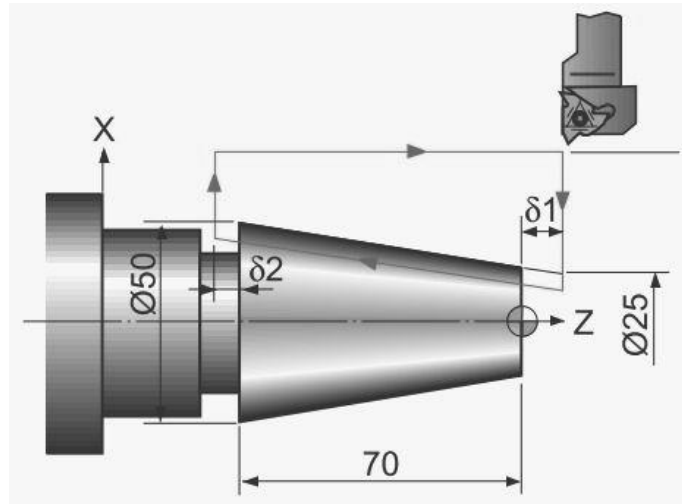
Фиг. 3.12.15 (Източник: helmancnc.com)

Упражнение за програмиране на CNC струг – използвайте цикъл G76 за нарязване на резба, съгласно *фиг.3.12.15*.

Blank area for writing the CNC program code, consisting of eight horizontal blue bars.

3.12 Работни листове за раздел „Струг - програмиране“

Работен лист №16



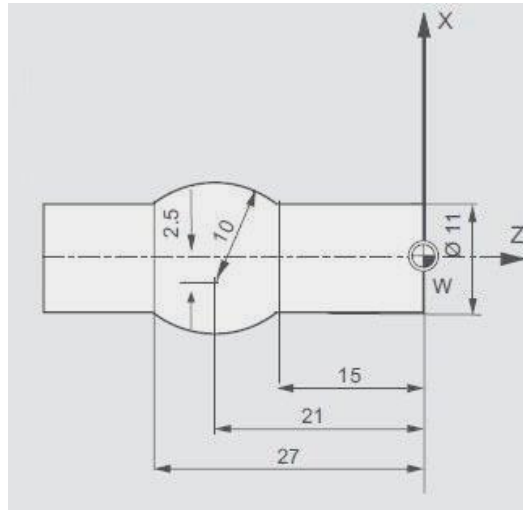
Фиг. 3.12.16 (Източник: helmancnc.com)

Упражнение за програмиране на CNC струг – използвайте G32 за обработка на детайла, показан на фиг.3.12.16.

Blank area for writing the CNC program code, consisting of eight horizontal blue bars.

3.12 Работни листове за раздел „Струг - програмиране“

Работен лист №17



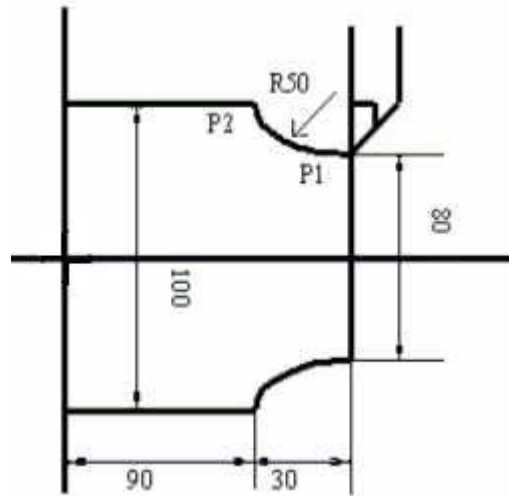
Фиг. 3.12.17 (Източник: helmancnc.com)

Упражнение за програмиране на CNC струг – използвайте G03 за обработка на детайла, показан на фиг.3.12.17.

Blank area for writing the CNC program code, consisting of eight horizontal blue lines.

3.12 Работни листове за раздел „Струг - програмиране“

Работен лист №18



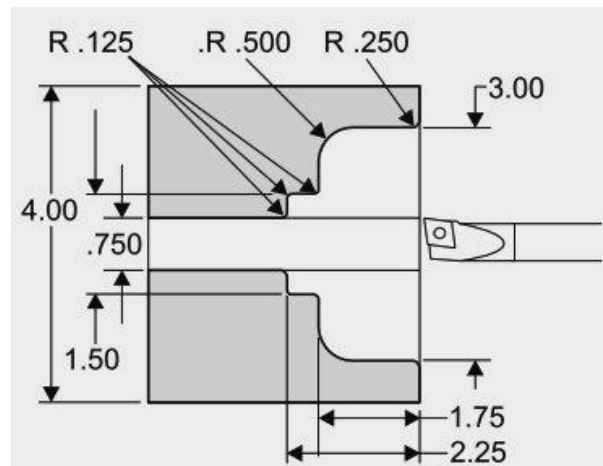
Фиг. 3.12.18 (Източник: helmancnc.com)

Упражнение за програмиране на CNC струг – използвайте G02 за обработка на детайла, показан на *фиг.3.12.18*.

Eight horizontal blue bars provided for writing the solution to the exercise.

3.12 Работни листове за раздел „Струг - програмиране“

Работен лист №19



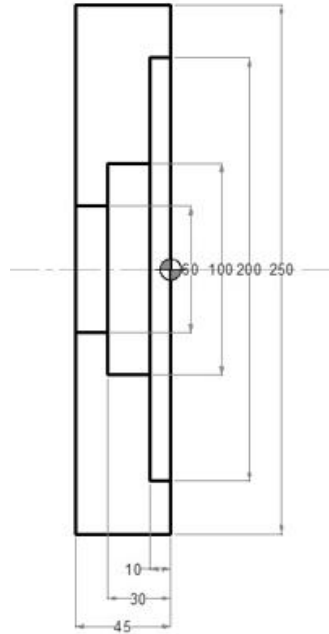
Фиг. 3.12.19 (Източник: helmanсnc.com)

Упражнение за програмиране на CNC струг – използвайте $G71$ за обработка на детайла, показан на *фиг.3.12.19*.

Blank area for writing the CNC program code, consisting of seven horizontal blue bars.

3.12 Работни листове за раздел „Струг - програмиране“

Работен лист №20



Фиг. 3.12.20 (Източник: helmancnc.com)

Упражнение за програмиране на CNC струг – използвайте *G71*, *G72* и *G70* за обработка на детайла, показан на *фиг.3.12.20*.

Eight horizontal blue bars provided for writing the solution to the programming exercise.

4. Фреза – програмиране

4.1 G-кодове за фреза

G-кодовете за фреза са представени в *таблица 3* [1].

Таблица 3

Код	Описание	Група
G00	Позициониране с бързо движение	01
G01	Движение с линейна интерполация	01
G02	Кръгово интерполационно движение с посока по часовниковата стрелка	01
G03	Кръгово интерполационно движение с посока обратна на часовниковата стрелка	01
G04	Пауза	00
G09	Точен стоп	00
G10	Задаване на измествания	00
G12	Фрезование на джобове по часовниковата стрелка	00
G13	Фрезование на джобове обратно на часовниковата стрелка	00
G17	Избиране на равнина XY	02
G18	Избиране на равнина XZ	02
G19	Избиране на равнина YZ	02
G20	Избиране на инчове	06
G21	Избиране на метрична система	06
G28	Връщане към машинната нула	00
G29	Връщане от базова точка	00
G31	Подаване до пропускане	00
G35	Автоматично измерване на диаметъра на инструмента	00
G36	Автоматично измерване на изместването на детайла	00
G37	Автоматично измерване на изместването на инструмента	00
G40	Отмяна на компенсацията на резеца	07
G41	2D компенсация на резеца вляво	07
G42	2D компенсация на резеца вдясно	07
G43	Компенсация на дължината на инструмента + (събиране)	08
G44	Компенсация на дължината на инструмента - (изваждане)	08
G47	Гравирание на текст	00
G49	G43/G44/G143 Отмяна	08
G50	Отмяна на мащабиране	11
G51	Мащабиране	11

G52	Задаване на работна координатна система	00 или 12
G53	Избор на немодална машинна координата	00
G54	Избиране на работна координатна система #1	12
G55	Избиране на работна координатна система #2	12
G56	Избиране на работна координатна система #3	12
G57	Избиране на работна координатна система #4	12
G58	Избиране на работна координатна система #5	12
G59	Избиране на работна координатна система #6	12
G60	Еднопосочно позициониране	00
G61	Режим точен стоп	15
G64	Отменя G61	15
G65	Опция извикване на макрос подпрограма	00
G68	Завъртане	16
G69	Отмяна на G68	16
G70	Центрова окръжност на отвори за болтове	00
G71	Отвори за болтове по дъга	00
G72	Отвори за болтове по протежение на ъгъл	00
G73	Високоскоростен пробивен повтарящ се цикъл с отвеждане на свредлото	09
G74	Ревърсивен резбонарезен повтарящ се цикъл	09
G76	Повтарящ се цикъл за чисто разстъргване	09
G77	Повтарящ се цикъл за обратно разстъргване	09
G80	Отмяна на повтарящ се цикъл	09
G81	Повтарящ се цикъл за пробиване	09
G82	Повтарящ се цикъл на точково пробиване	09
G83	Нормален пробивен повтарящ се цикъл с отвеждане на свредлото	09
G84	Резбонарезен повтарящ се цикъл	09
G85	Повтарящ се цикъл за разстъргване	09
G86	Повтарящ се цикъл на разстъргване и спиране	09
G89	Повтарящ се цикъл от разстъргване навътре, пауза, разстъргване навън	09
G90	Команда за абсолютна позиция	03
G91	Команда за инкрементална позиция	03
G92	Задаване на стойност на отместване за работни координатни системи	00
G93	Режим на инвертирано време на подаване	05
G94	Режим подаване на минута	05
G95	Подаване на оборот	05
G98	Връщане към началната точка на повтарящ се цикъл	10
G99	Връщане към равнината R на повтарящ се цикъл	10
G100	Отмяна на огледално изобразяване	00

G101	<i>Активиране на огледално изобразяване</i>	00
G103	<i>Ограничаване на буферирането на блокове</i>	00
G107	<i>Цилиндрично картографиране</i>	00
G110	<i>Координатна система #7</i>	12
G111	<i>Координатна система #8</i>	12
G112	<i>Координатна система #9</i>	12
G113	<i>Координатна система #10</i>	12
G114	<i>Координатна система #11</i>	12
G115	<i>Координатна система #12</i>	12
G116	<i>Координатна система #13</i>	12
G117	<i>Координатна система #14</i>	12
G118	<i>Координатна система #15</i>	12
G119	<i>Координатна система #16</i>	12
G120	<i>Координатна система #17</i>	12
G121	<i>Координатна система #18</i>	12
G122	<i>Координатна система #19</i>	12
G123	<i>Координатна система #20</i>	12
G124	<i>Координатна система #21</i>	12
G125	<i>Координатна система #22</i>	12
G126	<i>Координатна система #23</i>	12
G127	<i>Координатна система #24</i>	12
G128	<i>Координатна система #25</i>	12
G129	<i>Координатна система #26</i>	12
G136	<i>Автоматично измерване на изместването на центъра на детайла</i>	00
G141	<i>3D+ Компенсация на резеца</i>	07
G143	<i>Компенсация на дължината на инструмента при 5-та ос +</i>	08
G150	<i>Фрезование на гнездо с общо предназначение</i>	00
G154	<i>Избор на координати на детайла P1 – P99</i>	12
G156	<i>Повтарящ се цикъл на щосване</i>	09
G167	<i>Промяна на настройката</i>	00
G174	<i>Невертикално нарязване на резба с твърд метчик обратно на часовниковата стрелка</i>	00
G184	<i>Невертикално нарязване на резба с твърд метчик по часовниковата стрелка</i>	00
G187	<i>Настройка на класа на грапавост</i>	00
G234	<i>Управление на централната точка на инструмента</i>	08
G253	<i>Ориентиране на шпиндела от нормална към специализирана координатна система</i>	00
G254	<i>Динамично изместване на детайла</i>	23
G255	<i>Отмяна на динамичното изместване на детайла</i>	23

G266	Линейно, бързо движение на видимите оси	00
G268	Активиране на функция координатна система	02
G269	Деактивиране на функция координатна система	02

4.2 G-кодове за рязане [3]

Основните G-кодове са категоризирани в интерполационно движение и повтарящи се цикли. Кодовете за рязане на интерполационното движение са разделени на:

G01 – Движение с линейна интерполация.

G02 – Кръгово интерполационно движение по часовниковата стрелка.

G03 – Кръгово интерполационно движение обратно на часовниковата стрелка.

G12 – Фрезоване на джобове по часовниковата стрелка.

G13 – Фрезоване на джобове обратно на часовниковата стрелка.

4.3 Движение с линейна интерполация [3]

G01-движение с линейна интерполация се използва за отрязване на прави линии. То изисква скорост на подаване, определена с адресния код *Fnnn.nnnn*. *Xnn.nnnn*, *Ynn.nnnn*, *Znn.nnnn* и *Annn.nnn* са адресни кодове по избор за определяне на рязането. Следващите команди за осово движение ще използват стойността на подаване определена от G01, докато не се зададе друго осово движение, G00, G02, G03, G12 или G13.

По ъглите могат да се изработят фаски, чрез употребата на избираем аргумент *Snn.nnnn*, за да се определи фаската. Ъглите могат да бъдат заоблени чрез употребата на избираем адресен код *Rnn.nnnn*, за да се определи радиусът на дъгата.

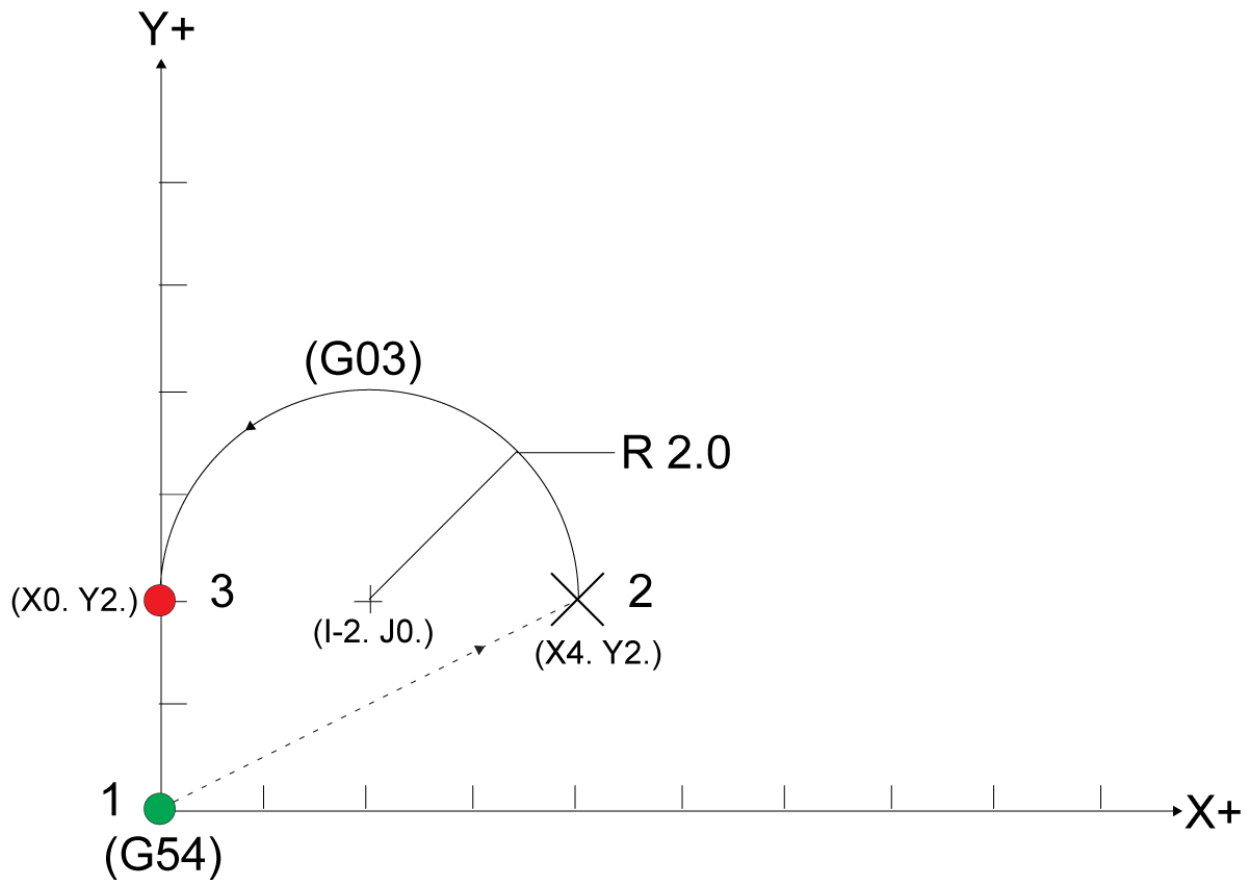
4.4 Кръгово интерполационно движение [3]

G02 и G03 са G-кодовете за режещи кръгови движения. Кръговото интерполационно движение притежава няколко адресни кода за избор, за определяне на дъгата или окръжността. Рязането на дъга или окръжност започва от текущата позиция на инструмента (*m.1*, *фиг.4.4.1*) до геометрията, определена в командата G02/G03.

Дъгите могат да бъдат определени по два различни метода. Предпочитаният метод е да се определи центърът на дъгата или окръжността с *I*, *J* и/или *K* и да бъде определена крайната точка (*m.3*, *фиг.4.4.1*) на дъгата с *X*, *Y* и/или *Z*. Стойностите *X*, *Y* и *Z* определят абсолютните разстояния *X*, *Y* и *Z* от началната до крайната точка на дъгата в текущата координатна система. Това, също така, е единственият метод за изрязване на окръжност. Когато са определени единствено стойностите *I*, *J* и *K* (без да са определени стойностите на крайната точка – *X*, *Y* и *Z*), ще се изреже окръжност.

Другият метод за отрязване на дъга е да бъдат определени стойностите X , Y и Z за крайната точка и след това да се определи радиусът на окръжността със стойност R .

Надолу са представени примери за отрязване на 180 градуса, обратна на часовниковата стрелка, дъга с радиус 2" (или 2мм.). Инструментът започва при $X0 Y0$ (т.1, фиг.4.4.1), придвижва се до началната точка на дъгата (т.2, фиг.4.4.1) и отрязва дъгата до крайната точка (т.3, фиг.4.4.1):



Фиг. 4.4.1 [3]

Пример 1 [3]:

T01 M06;

...

G00 X4. Y2.;

G01 F20.0 Z-0.1;

G03 F20.0 I-2.0 J0. X0. Y2.;

...

M30;

Пример 2 [3]:

T01 M06;
...
G00 X4. Y2.;
G01 F20.0 Z-0.1;
G03 F20.0 X0. Y2. R2;
...
M30;

Пример 3 [3]:

T01 M06;
...
G00 X4. Y2.;
G01 F20.0 Z-0.1;
G03 F20.0 I2.0 J0.;
...
M30;

4.5 Компенсация на инструмента [3]

Компенсацията на инструмента е метод за отместване на траекторията на инструмента така, че действителната осева линия на инструмента се премества наляво или надясно от програмираната траектория.

Нормално компенсацията на инструмента се програмира за офсет на инструмента с цел контрол на размера. Дисплеят на офсета се използва за въвеждане на стойността, с която трябва да се отмести инструмента.

Офсетът може да бъде въведен като стойност на диаметър или радиус, в зависимост от Настройка 40, за стойностите на геометрията и износването. Ако е зададен диаметърът, стойността на отместването е половината от въведената стойност.

Ефективните стойности на изместването са сумата от стойностите на геометрията и износването. Компенсацията на инструмента е на разположение само за ос X и ос Y за 2D обработка (G17). За триизмерна обработка компенсацията на инструмента е на разположение за ос X, ос Y и ос Z (G141).

4.6 Общо описание на компенсацията на резеца [3]

G41 избира компенсация на режещия връх вляво. Това означава, че управлението придвижва инструмента към лявата страна на програмираната траектория (в съответствие с посоката на движение). G42 избира компенсация на инструмента вдясно,

което придвижва инструмента към дясната страна на програмираната траектория в съответствие с посоката на движение.

Команда *G41* или *G42* трябва да притежава стойност *Dnnn*, за да избере правилното число в колонката за офсет радиус/диаметър. Числото за употреба с *D* е в най-лявата колона на таблицата на офсет на инструмента. Стойността, която използва управлението за компенсация на инструмента, е в колоната *ГЕОМЕТРИЯ* под *D* (ако *Настройка 40* е *ДИАМЕТЪР*) или *R* (ако *Настройка 40* е *РАДИУС*).

Ако стойността на офсета е отрицателна, компенсацията на инструмента работи като при задаване на противоположния *G* код от програмата. Например, отрицателна стойност, въведена за *G41*, ще има поведението като на положителна стойност, въведена за *G42*. Когато е активна компенсация на резеца (*G41* или *G42*), трябва да се използва само равнината *X – Y* за кръгови движения (*G17*) и компенсацията на инструмента, съответно е ограничена само в равнината *X – Y*.

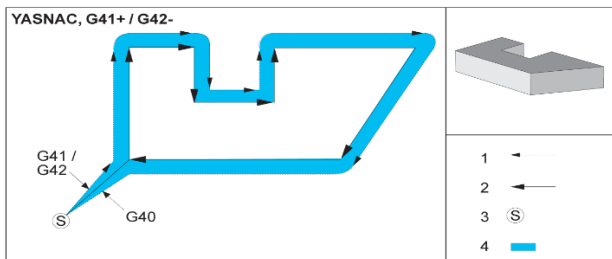
G40 отменя компенсацията на инструмента и е условие по подразбиране, когато машината бъде включена. Когато компенсацията на инструмента не е активна, програмираната траектория се връща към центъра на траекторията на резеца. Не е възможно завършването на програма (*M30*, *M00*, *M01* или *M02*) с активна компенсация на инструмента.

Управлението работи с един блок за движение. Въпреки това то преглежда и следващите два блока, които притежават настройки за движения по *X* или *Y*. Управлението проверява тези три блока от информация за грешки. *Настройка 58* управлява начина, по който работи тази част от компенсацията на инструмента. Налични стойности за *Настройка 58* са *Fanuc* или *Yasnac*.

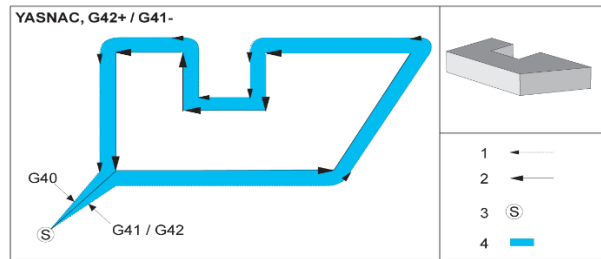
Ако *Настройка 58* е зададена на *Yasnac*, управлението трябва да може да позиционира странично инструмента по протежение на всички ръбове на програмирания контур без подрязване при следващите две движения. Кръгово движение свързва всички външни ъгли.

Ако *Настройка 58* е зададена на *Fanuc*, управлението не изисква режещия ръб на инструмента да бъде поставян по протежение на всички ръбове на програмирания контур за предотвратяване на подрязване. Въпреки това управлението ще генерира аларма, ако траекторията на инструмента е програмирана, така че да извърши подрязване. Управлението свързва външни ъгли по-малки или равни на 270 градуса с остър ъгъл. Свързва външни ъгли по-големи от 270 градуса с допълнително линейно движение.

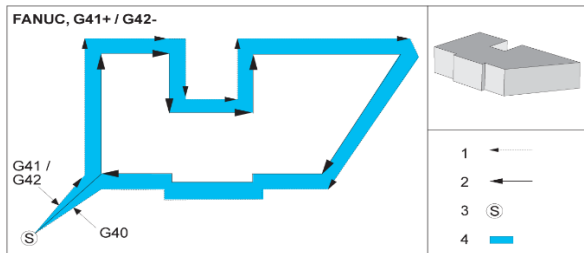
Фигури от 4.6.1 до 4.6.5 показват как работи компенсацията на инструмента за възможните стойности на *Настройка 58*. Обърнете внимание, че рязане по-малко от радиуса на инструмента и под прав ъгъл спрямо предходното движение ще се осъществи само с настройката *Fanuc*.



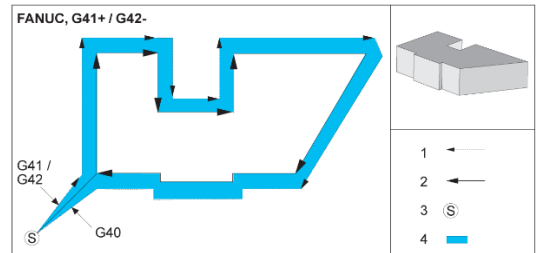
Фиг. 4.6.1



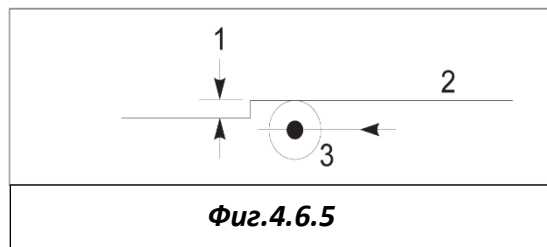
Фиг. 4.6.2



Фиг. 4.6.3



Фиг. 4.6.4



Фиг.4.6.5

Фиг. 4.6.1 изобразява компенсация на инструмента, стил *Yasnac*, *G41* с положителен диаметър на инструмента или *G42* с отрицателен диаметър на инструмента:

[1] – Действителен център на траекторията на инструмента

[2] – *Програмирана траектория на инструмента*

[3] – *Начална точка*

[4] – *Компенсация на инструмент. G41/G42 и G40 са зададени като команди при старта и в края на траекторията на инструмента*

Фиг. 4.6.2 изобразява компенсация на инструмента, стил *Yaspac*, G42 с положителен диаметър на инструмента или G41 с отрицателен диаметър на инструмента:

[1] – *Действителен център на траекторията на инструмента*

[2] – *Програмирана траектория на инструмента*

[3] – *Начална точка*

[4] – *Компенсация на инструмент. G41/G42 и G40 са зададени, като команди при старта и в края на траекторията на инструмента*

Фиг. 4.6.3 изобразява компенсация на инструмента, стил *Fapuc*, G41 с положителен диаметър на инструмента или G42 с отрицателен диаметър на инструмента:

[1] – *Действителен център на траекторията на инструмента*

[2] – *Програмирана траектория на инструмента*

[3] – *Начална точка*

[4] – *Компенсация на инструмент. G41/G42 и G40 са зададени като команди при старта и в края на траекторията на инструмента*

Фиг. 4.6.4 изобразява компенсация на инструмента, стил *Fapuc*, G42 с положителен диаметър на инструмента или G41 с отрицателен диаметър на инструмента:

[1] – *Действителен център на траекторията на инструмента*

[2] – *Програмирана траектория на инструмента*

[3] – *Начална точка*

[4] – *Компенсация на инструмент. G41/G42 и G40 са зададени като команди при старта и в края на траекторията на инструмента*

Фиг. 4.6.5 изобразява неправилна компенсация на инструмента:

[1] – *Придвижването е по-малко от радиуса за компенсация на рязането*

[2] – *Детайл*

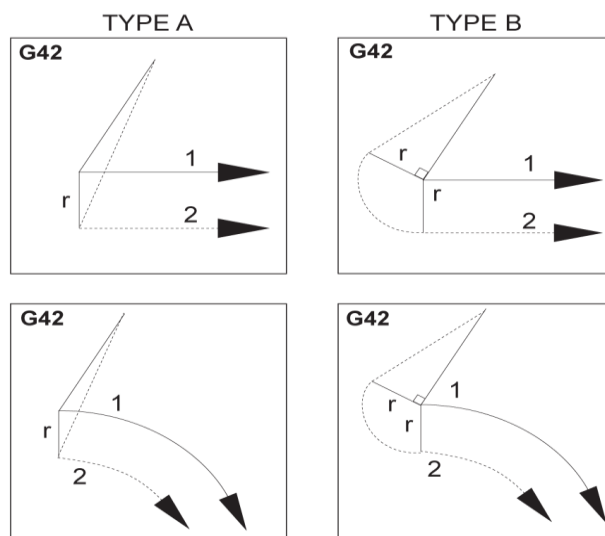
[3] – *Инструмент*

Забележка: Рязане по-малко от радиуса на инструмента и под прав ъгъл спрямо предходното движение ще се осъществи само с настройката *Fanuc*. Ще бъде генерирана аларма за компенсацията на инструмента, ако е зададена настройка *Yasnac*.

4.7 Настройки на подаването при компенсация на режещия инструмент [3]

При употреба на компенсация на инструмента при кръгови движения има възможност скоростта да бъде настроена спрямо програмираната. Ако целевото фино отрязване е от едната страна на кръговото движение, инструментът трябва да бъде забавен, за да се гарантира, че подаването на повърхността няма да превиши целевата стойност, указана от програмиста. Има обаче проблеми, когато скоростта е забавена твърде много. Поради тази причина Настройка 44 се използва за ограничаване на стойността, с която подаването се регулира в този случай. Тя може да бъде настроена между 1% и 100%. Ако е настроена на 100%, няма да има промяна на скоростта. Ако е настроена на 1%, скоростта може да бъде забавена до 1% от програмираното подаване.

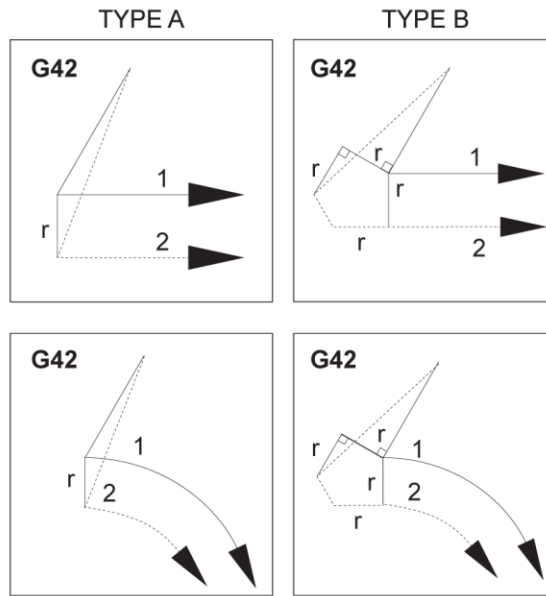
При външна обработка с рязане с кръгово движение няма регулиране за ускоряване на скоростта на подаване.



Фиг. 4.7.1

Фигура 4.7.1 изобразява вход за компенсация на инструмента (*Yasnac*) тип А и В:

- [1] – Програмирана траектория
- [2] – Траектория на центъра на инструмента
- [3] – Радиус на инструмента



Фиг. 4.7.2

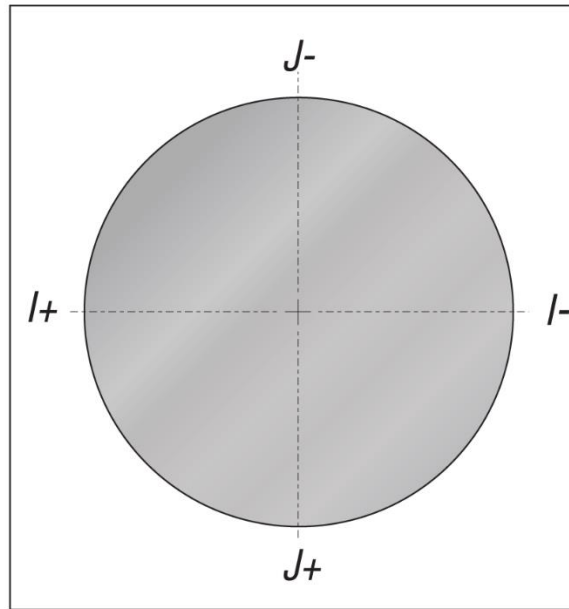
Фигура 4.7.2 изобразява вход за компенсация на инструмента (*Radius*) тип А и В:

- [1] – Програмирана траектория
- [2] – Траектория на центъра на инструмента
- [3] – Радиус на инструмента

4.8 Кръгова интерполация и компенсация на инструмента [3]

В тази точка, е описана употребата на *G02* (кръгова интерполация по посока на часовниковата стрелка), *G03* (кръгова интерполация по посока, обратна на часовниковата стрелка) и компенсация на инструмента (*G41*: компенсация на инструмента вляво, *G42*: компенсация на инструмента вдясно).

При употребата на *G02* и *G03* машината може да бъде програмирана да реже с кръгово движение и радиуси. По принцип, при програмиране на профил или контур най-лесният начин за описване на радиус между две точки е с *R* и стойност. За пълни кръгови движения (360 градуса) трябва да бъдат зададени *I* или *J* със стойност. Фигура 4.8.1 описва различните части на окръжността.

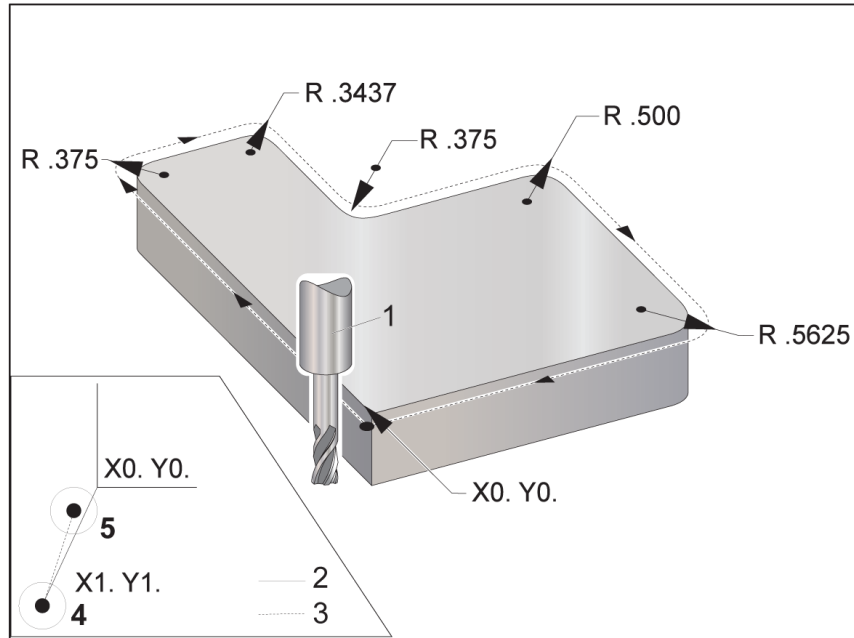


Фиг. 4.8.1

Налични са няколко правила за компенсация на инструмента:

1. Компенсацията на инструмента трябва да бъде включена по време на движението по $G01 X, Y$, което е равно или по-голямо от радиуса на инструмента или компенсиранията стойност.
2. Когато се извърши операция, използваща компенсация на инструмента, компенсацията на инструмента трябва да бъде изключена при спазване на същите правила като при процеса на включване, т.е. това, което е добавено, трябва да се извади.
3. При повечето машини по време на компенсация на инструмента линейно движение по X, Y , което е по-малко от радиуса на инструмента, не може да се изпълни (*Настройка 58 – зададена на Fanuc – за положителни резултати*).
4. Компенсацията на инструмента не може да бъде включвана или изключвана при движение по дъга $G02$ или $G03$.
5. При активна компенсация на инструмента обработката на вътрешна дъга с радиус по-малък от дефинирания с активна стойност ще причини аларма на машината. Не може да притежава твърде голям диаметър на инструмента, ако радиусът на дъгата е твърде малък.

Фигура 4.8.2 показва кръгова интерполация $G02$ и $G03$:



Фиг. 4.8.2

[1] – 0.250" диаметър на палцова фреза

[2] – Програмирана траектория

[3] – Център на инструмента

[4] – Начална позиция

[5] – Траектория на офсет на инструмента

По-долу е дадено упражнение за програмиране, показващо траектория на инструмента (Фиг. 4.8.2). Тази програма използва компенсация на инструмента. Траекторията на инструмента е програмирана до осевата линия на реза. Това също е начин, по който управлението изчислява компенсацията на инструмента.

Упражнение за програмиране, показващо траекторията на инструмента – Фиг. 4.8.2:

%

040006 (компенсация на инструмента – външна програма);

(G54 X0 Y0 е в долния ляв ъгъл на детайла);

(Z0 е на върха на детайла);

(T1 е .250 палцова фреза);

(СТАРТИРАНЕ ПОДГОТОВКА ЗА БЛОКОВЕТЕ);

T1 M06 (избор на инструмент 1);

G00 G90 G40 G49 G54 (бързо придвижване);

X-1. Y-1. (бързо придвижване да 1-ва позиция);

S1000 M03 (включване на шпиндела по часовниковата стрелка);

G43 H01 Z0.1 (офсет на инструмент 1 ВКЛ.);

M08 (включване на охлаждащата течност);

(СТАРТИРАНЕ НА РЕЖЕЩИТЕ БЛОКОВЕ);

G01 Z-1. F50. (подаване до дълбочината на рязане);

G41 G01 X0 Y0 D01 F50. (включена 2D компенсация на режещия инструмент);

Y4.125 (линейно движение);

G02 X0.25 Y4.375 R0.375 (закръгляне на ъглите);

G01 X1.6562 (линейно движение);

G02 X2. Y4.0313 R0.3437 (закръгляне на ъгъл);

G01 Y3.125 (линейно движение);

G03 X2.375 Y2.75 R0.375 (закръгляне на ъгъл);

G01 X3.5 (линейно движение);

G02 X4. Y2.25 R0.5 (закръгляне на ъгъл);

G01 Y0.4375 (линейно движение);

G02 X3.4375 Y-0.125 R0.5625 (закръгляне на ъгъл);

G01 X0.125 (линейно движение);

G40 X-1. Y-1. (последна позиция, премахване компенсацията на режещия инструмент);

(СТАРТИРАНЕ НА БЛОКОВЕТЕ ЗА ЗАВЪРШВАНЕ);

G00 Z0.1 M09 (бързо изтегляне, изключване на охлаждащата течност);

G53 G49 Z0 M05 (нулиране на Z, изключване на шпиндела);

G53 Y0 (Y начална позиция);

M30 (край на програмата);

%

4.9 Повтарящи се цикли [3]

Повтарящите се цикли са *G* кодове, които изпълняват повтарящи се операции, като пробиване, нарязване на резба и разстъргване. Повтарящият се цикъл се дефинира с буквени адресни кодове. Докато повтарящият се цикъл е активен, машината извършва дефинираната операция всеки път, когато се задава команда за нова позиция, освен ако не е зададено обратното – да не я извършва.

Повтарящите се цикли опростяват програмирането за обработка на детайли. Най-честите повтарящи се операции по оста *Z* като пробиване, нарязване на резби и разстъргване се осъществяват обикновено с повтарящи се цикли. Когато е активен, повтарящият се цикъл се извършва при всяка нова позиция по конкретната ос. Повтарящите се цикли изпълняват движения по осите като бързи команди (*G00*), след което операцията на повтарящия се цикъл се изпълнява след движението на оста. Това се прилага към цикли *G17*, *G19* и движения на оста *Y* при стругове с ос *Y*.

4.10 Повтарящи се цикли за пробиване [3]

Всичките четири повтарящи се цикъла за пробиване могат да бъдат повторени в *G91*, режим за инкрементално програмиране.

1. *G81* – Повтарящ се цикъл за пробиване. Използва се за пробиване на плитки отвори или за пробиване с охлаждаща течност на шпиндела.
2. *G82* – Същият като *G81* с изключение на това, че може да направи пауза на дъното на отвора. Избираемият аргумент *Pn.nnn* определя продължителността на паузата.
3. *G83* – Нормален пробивен повтарящ се цикъл с отвеждане на свредлото. Обикновено се използва за пробиване на дълбоки отвори. Дълбочината на отвеждане може да варира или да е константа и винаги инкрементална – *Qnn.nnn*. Не трябва да се използва стойност *Q* при програмиране с *I*, *J* и *K*.
4. *G73* – Високоскоростен пробивен повтарящ се цикъл с отвеждане на свредлото. Подобен е на *G83*, с изключение на това, че отвеждането на инструмента е определено с настройка 22 „Разстояние делта по *Z* на повтарящ се цикъл“. Циклите за пробиване с отвеждане се препоръчват за отвори с дълбочина по-голяма от три пъти диаметъра на главата на свредлото.

4.11 Резбонарезни повтарящи се цикли [3]

Съществуват два резбонарезни повтарящи се цикъла. Резбонарезните повтарящи се цикли могат да бъдат повтаряни в *G91*, режим за инкрементално програмиране.

1. *G84* – Нормален резбонарезен повтарящ се цикъл. Използва се за нарязването на дясна резба.

2. *G74* – Реверсивен резбонарезен повтарящ се цикъл. Използва се за нарязването на лява резба.

4.12 Цикли за разстъргване и райбероване [3]

Налични са пет повтарящи се цикъла за разстъргване. Всички повтарящи се цикли за разстъргване могат да бъдат повторени в *G91*, режим за инкрементално програмиране.

1. *G85* – Повтарящ се цикъл за разстъргване. Той ще разстърже до желаната височина и ще се върне към определена точка.
2. *G86* – Повтарящ се цикъл за разстъргване и стоп. Същият като *G85* с изключение на това, че шпинделът ще спре на дъното на отвора, преди да се завърне до определената височина.
3. *G89* – Повтарящ се цикъл за разстъргване навътре, пауза и разстъргване навън. След разстъргването навътре, е налична пауза на дъното на отвора, след което разстъргването продължава при връщането на инструмента. Това го отличава от останалите повтарящи се цикли за разстъргване, при които инструментът се придвижва в бързо движение или чрез ръчен стъпков ход към позицията на връщане.
4. *G76* – Повтарящ се цикъл за чисто разстъргване. Разстъргва отвора до определената дълбочина и след това се придвижва, за да освободи инструмента от отвора преди изтеглянето.
5. *G77* – Повтарящ се цикъл за обратно разстъргване.

4.13 Равнини R [3]

Равнини *R* или равнини на завръщане са *G* кодове, които определят височината на завръщане по оста *Z* по време на изпълнението на повтарящи се цикли.

G кодовете на равнината *R* остават активни по продължението на повтарящия се цикъл, с който се използват.

1. *G98* – Връщане към начална точка на повтарящ се цикъл.
2. *G99* – Връщане към равнината *R* на повтарящия се цикъл. Придвижва оста *Z* до височината определена с аргумента *Rnn.nnn*, определен с повтарящия се цикъл.

4.14 Гравирание [3]

G47 – Гравирание на текст. Дава възможност за гравирание на текст, включително някои *ASCII* символи или последователни серийни номера с единичен блок от код.

4.15 Фрезоване на джобове [3]

Фрезването на джобове се извършва с *G12* – фрезоване на джобове по часовниковата стрелка и *G13* – фрезоване на джобове, обратно на часовниковата стрелка.

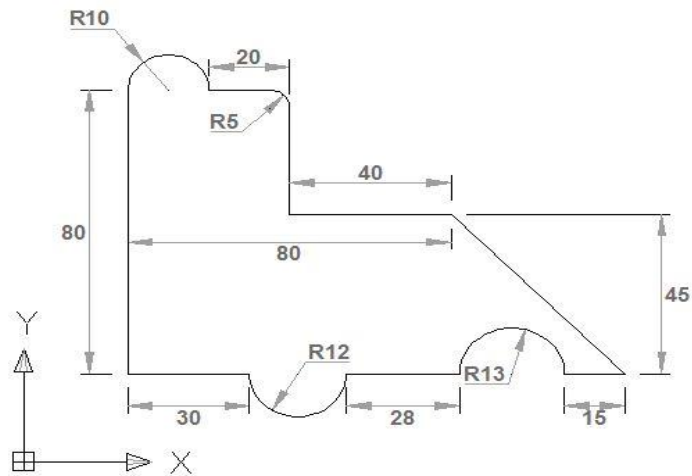
Освен това се използва и *G150* – фрезване на джоб с общо предназначение. В този случай се използва подпрограма за обработка на определени от потребителя геометрии на гнездото. При използването на *G150* трябва да се гарантира, че геометрията на джоба, дефинирана в подпрограмата, е с напълно затворена форма. Също така, трябва началната точка *X-Y* да бъде в границите на напълно затворената форма. Неспазването на тези изисквания ще причини алармено състояние на машината.

4.16 Огледално изобразяване [3]

G101 позволява огледално изобразяване чрез настройки 45 – 48, 80 и 250, относно осите *X, Y, Z, A, B* и *C*. Точката на въртене на огледалото по оста се определя от аргумента *Xnn.nn*.

4.17 Работни листове за раздел „Фреза - програмиране“

Работен лист №1



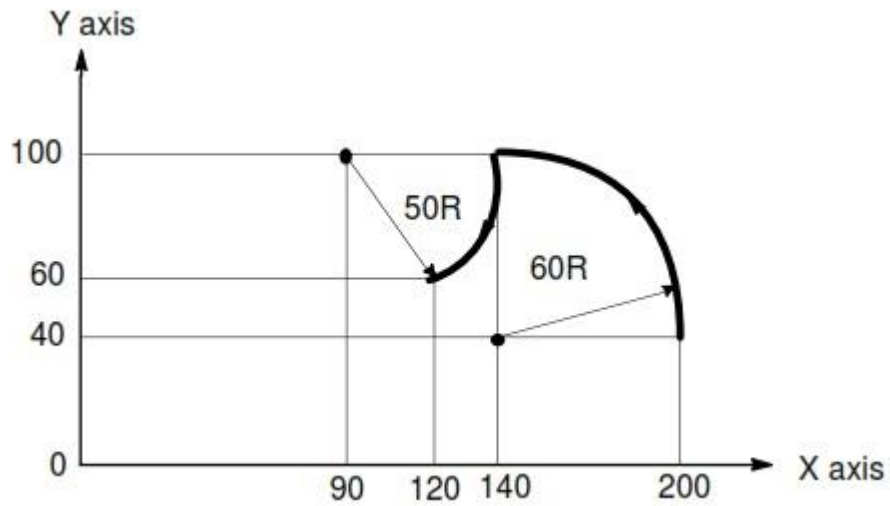
Фиг. 4.17.1 (Източник: helmancnc.com)

Напишете програма за движение на металоурежеш инструмент по контура, показан на *фиг. 4.17.1* с използването на *G02* и *G03*.

Blank area for writing the CNC program, consisting of eight horizontal blue lines.

4.17 Работни листове за раздел „Фреза - програмиране“

Работен лист №2



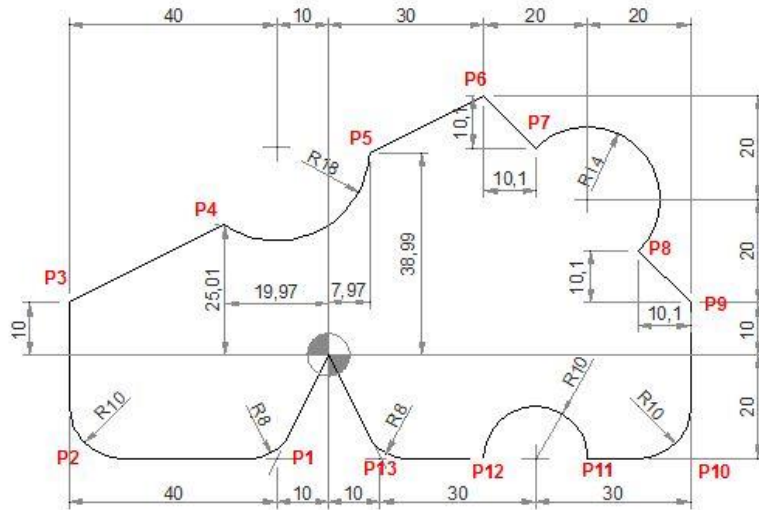
Фиг. 4.17.2 (Източник: helmanсnc.com)

Напишете програма за движение на металоурежещ инструмент по контура, показан на *фиг. 4.17.2* с използването на *G90* и *G91*.

Blank area for writing the CNC program, consisting of eight horizontal blue bars.

4.17 Работни листове за раздел „Фреза - програмиране“

Работен лист №3



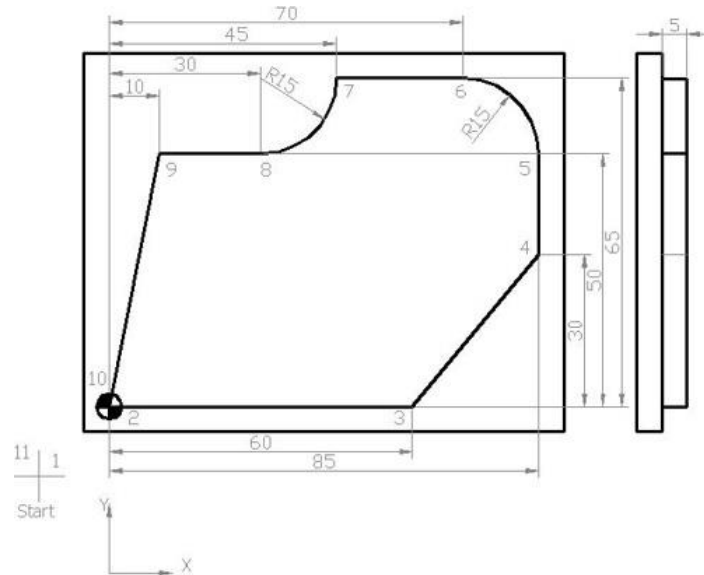
Фиг. 4.17.3 (Източник: helmanсnc.com)

Напишете програма за движение на металорежещ инструмент по контура, показан на *фиг. 4.17.3* с използването на *G01, G02, G03, G90* и *G91*.

Blank area for writing the CNC program, consisting of seven horizontal blue bars.

4.17 Работни листове за раздел „Фреза - програмиране“

Работен лист №4



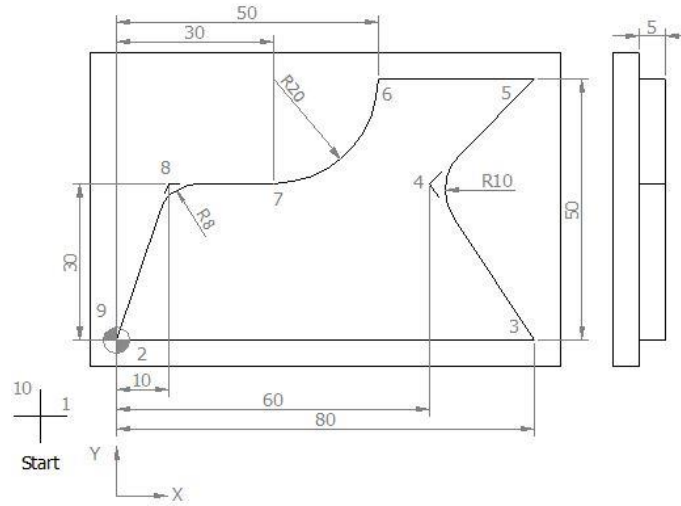
Фиг. 4.17.4 (Източник: helmancnc.com)

Напишете програма за движение на металоурежещ инструмент по контура, показан на *фиг. 4.17.4* с използването на кръгова интерполация.

Blank area for writing the CNC program, consisting of several horizontal blue bars.

4.17 Работни листове за раздел „Фреза - програмиране“

Работен лист №5



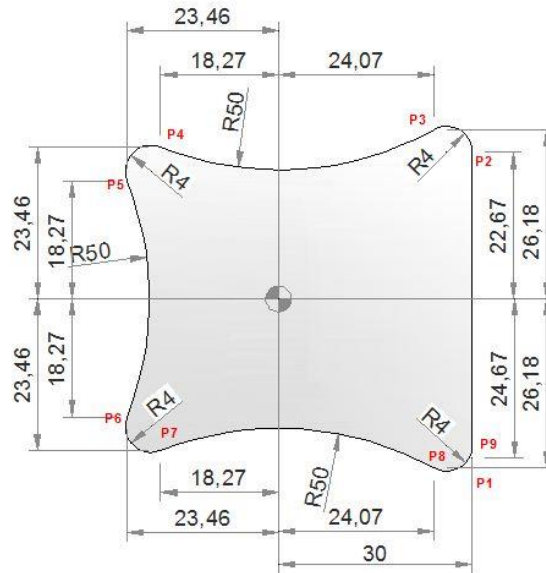
Фиг. 4.17.5 (Източник: helmanсnc.com)

Напишете програма за движение на металоурежещ инструмент по контура, показан на *фиг. 4.17.5* с използването на кръгова интерполация.

Blank area for writing the CNC program, consisting of several horizontal lines.

4.17 Работни листове за раздел „Фреза - програмиране“

Работен лист №6



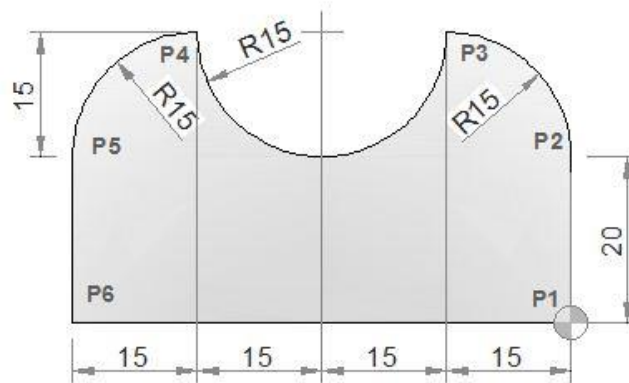
Фиг. 4.17.6 (Източник: helmancnc.com)

Напишете програма за движение на металоурежещ инструмент по контура, показан на *фиг. 4.17.6* с използването на *G02* и *G03*.

Blank area for writing the CNC program, consisting of seven horizontal blue bars.

4.17 Работни листове за раздел „Фреза - програмиране“

Работен лист №7



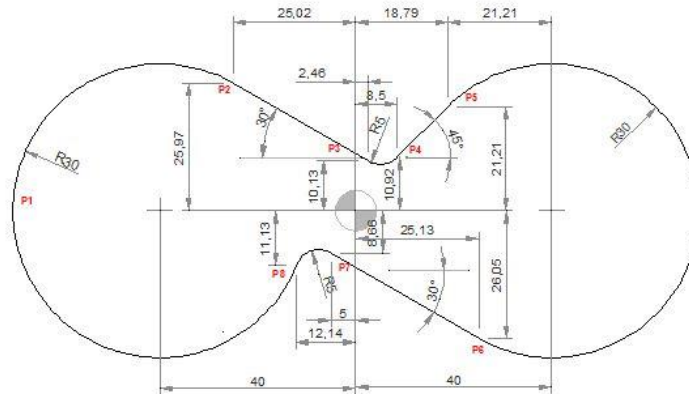
Фиг. 4.17.7 (Източник: helmancnc.com)

Напишете програма за движение на металоурежещ инструмент по контура, показан на *фиг. 4.17.7* с използването на *G02*, *G03*, *I* и *J*.

Blank area for writing the CNC program, consisting of eight horizontal blue bars.

4.17 Работни листове за раздел „Фреза - програмиране“

Работен лист №8



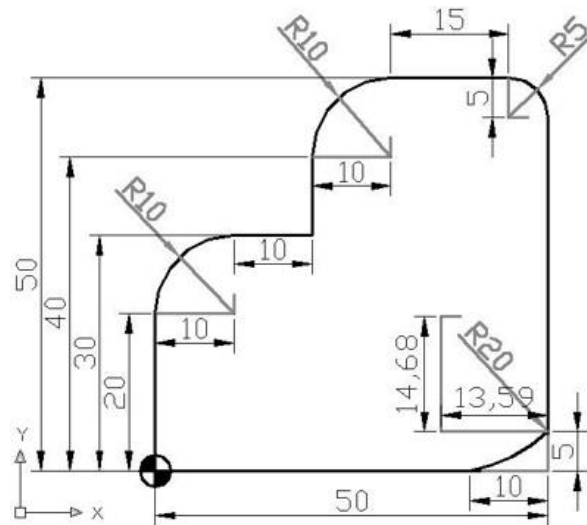
Фиг. 4.17.8 (Източник: helmancnc.com)

Напишете програма за движение на металоурежщ инструмент по контура, показан на *фиг. 4.17.8.*

Blank area for writing the CNC program, consisting of eight horizontal blue bars.

4.17 Работни листове за раздел „Фреза - програмиране“

Работен лист №9



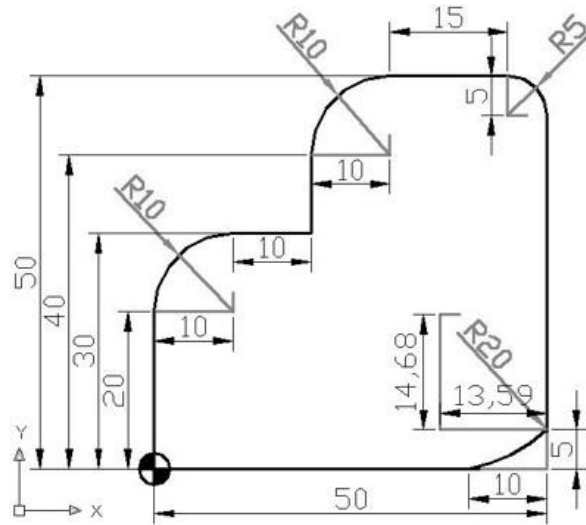
Фиг. 4.17.9 (Източник: helmanсnc.com)

Напишете програма за движение на металорежещ инструмент по контура, показан на *фиг. 4.17.9* с използването на *G90*.

Blank area for writing the CNC program, consisting of seven horizontal blue lines.

4.17 Работни листове за раздел „Фреза - програмиране“

Работен лист №10



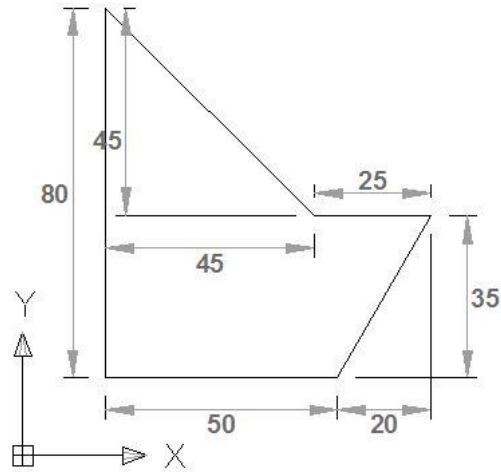
Фиг. 4.17.10 (Източник: helmancnc.com)

Напишете програма за движение на металорежещ инструмент по контура, показан на *фиг. 4.17.10* с използването на G91.

Blank area for writing the CNC program, consisting of eight horizontal blue bars.

4.17 Работни листове за раздел „Фреза - програмиране“

Работен лист №11



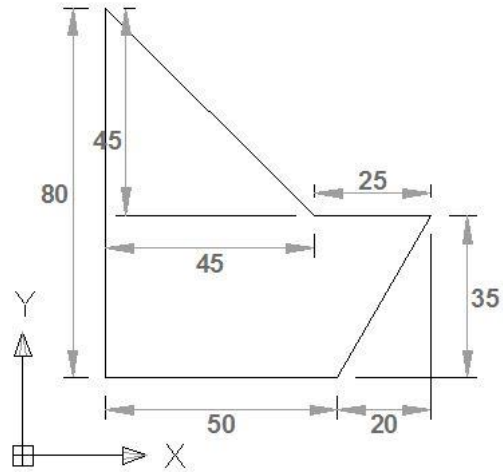
Фиг. 4.17.11 (Източник: helmancnc.com)

Напишете програма за движение на металоурежещ инструмент по контура, показан на *фиг. 4.17.11* с използването на *G90*.

Blank area for writing the CNC program, consisting of seven horizontal blue bars.

4.17 Работни листове за раздел „Фреза - програмиране“

Работен лист №12



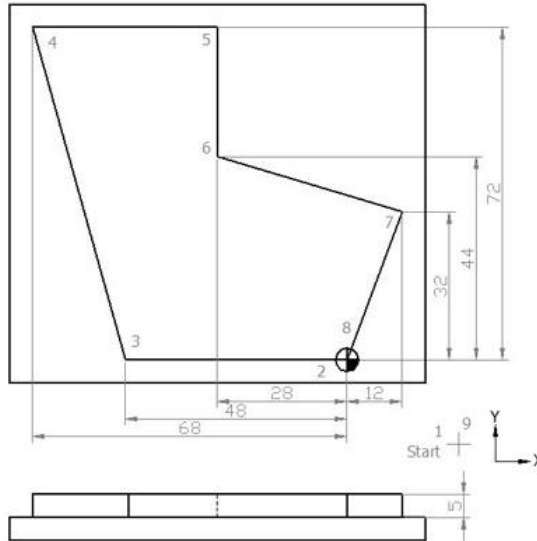
Фиг. 4.17.12 (Източник: helmancnc.com)

Напишете програма за движение на металоурежещ инструмент по контура, показан на *фиг. 4.17.12* с използването на *G91*.

Blank area for writing the CNC program, consisting of seven horizontal blue bars.

4.17 Работни листове за раздел „Фреза - програмиране“

Работен лист №14



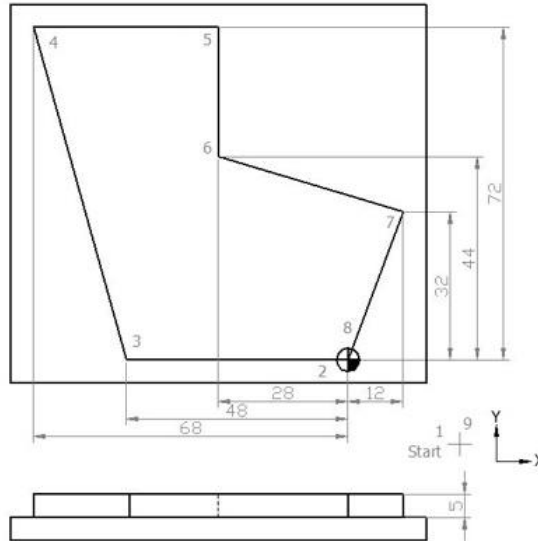
Фиг. 4.17.14 (Източник: helmancnc.com)

Напишете програма за движение на металоурежещ инструмент по контура, показан на *фиг. 4.17.14* с използването на *G41* и *G40*.

Blank area for writing the CNC program, consisting of seven horizontal blue bars.

4.17 Работни листове за раздел „Фреза - програмиране“

Работен лист №15



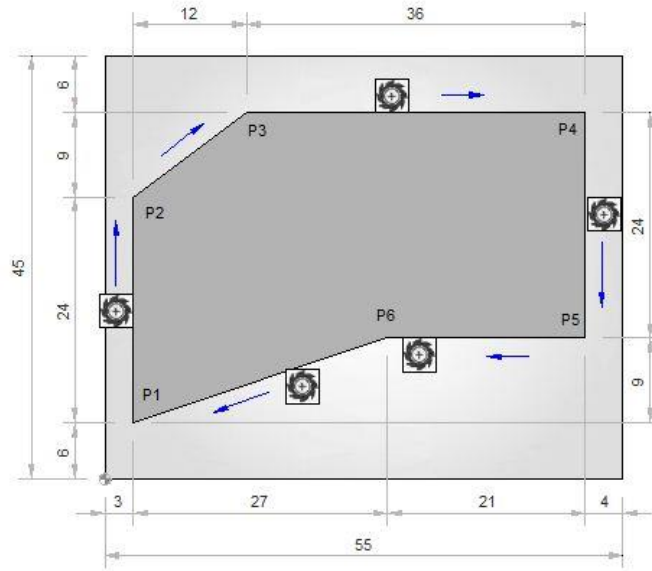
Фиг. 4.17.15 (Източник: helmanсnc.com)

Напишете програма за движение на металоурежещ инструмент по контура, показан на *фиг. 4.17.15* с използването на *G41*.

Blank area for writing the CNC program, consisting of seven horizontal blue bars.

4.17 Работни листове за раздел „Фреза - програмиране“

Работен лист №16



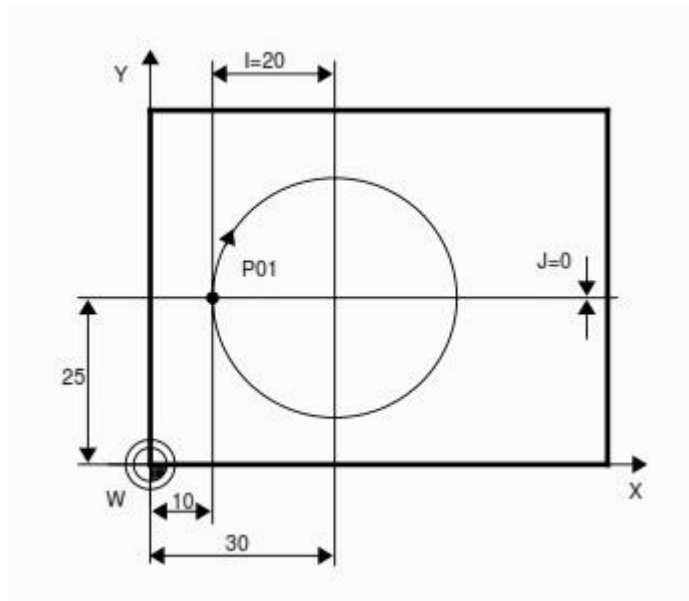
Фиг. 4.17.16 (Източник: helmancnc.com)

Напишете програма за движение на металорежещ инструмент по контура, показан на **фиг. 4.17.16** с използването на **G91, G41** и **G43**.

Blank area for writing the CNC program, consisting of eight horizontal blue bars.

4.17 Работни листове за раздел „Фреза - програмиране“

Работен лист №17



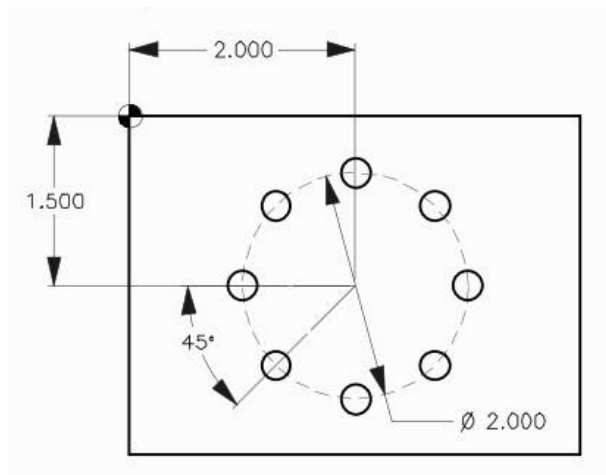
Фиг. 4.17.17 (Източник: helmancnc.com)

Напишете програма за фрезование по окръжност съгласно *фиг. 4.17.17*.

Blank area for writing the CNC program, consisting of eight horizontal blue lines.

4.17 Работни листове за раздел „Фреза - програмиране“

Работен лист №18

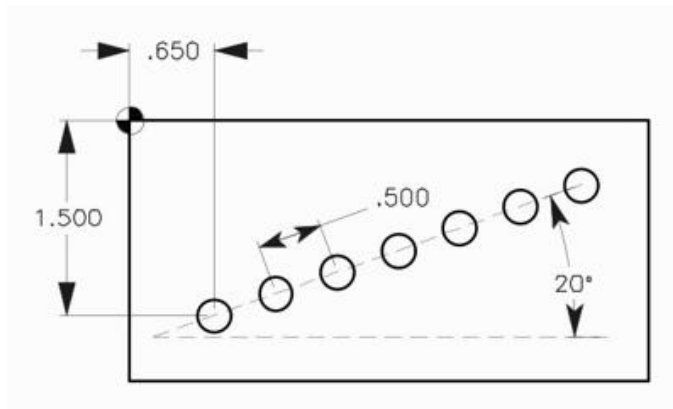


Фиг. 4.17.18 (Източник: helmancnc.com)

Напишете програма за фрезование на отвори по окръжност съгласно *фиг. 4.17.18* и с използването на *G70*.

4.17 Работни листове за раздел „Фреза - програмиране“

Работен лист №19



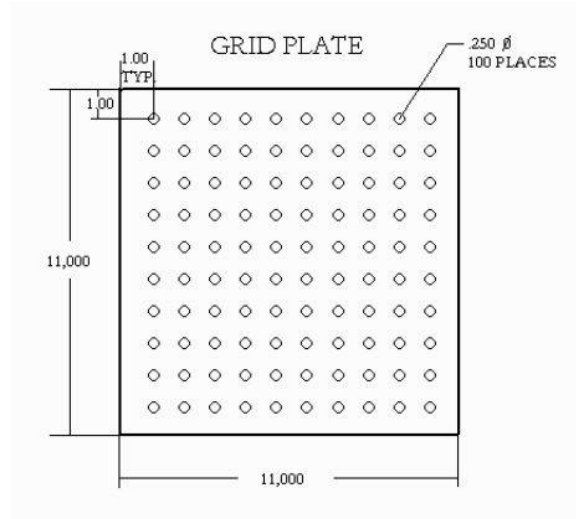
Фиг. 4.17.19 (Източник: helmancnc.com)

Напишете програма за фрезование на отвори съгласно *фиг. 4.17.19* и с използването на *G72*.

Blank area for writing the CNC program, consisting of eight horizontal blue bars.

4.17 Работни листове за раздел „Фреза - програмиране“

Работен лист №20



Фиг. 4.17.20 (Източник: helmancnc.com)

Напишете програма за пробиване на решетка съгласно *фиг. 4.17.20* и с използването на *G81*.

Blank area for writing the CNC program, consisting of eight horizontal blue bars.

5.Решения на казусите представени в работните листове

5.1 Раздел „Струг - програмиране“

5.1.1 Работен лист №1

N1 T0101
N2 G97 S500 M03
N3 G42 G00 X0 Z0
N4 G01 X25 G95 F0.3
N5 G01 Z-7.5
N6 G01 X40 Z-15
N7 G01 Z-25
N8 G01 X60 Z-35
N9 G40 G00 X200 Z100

5.1.2 Работен лист №2

O0001
N5 M12
N10 T0101
N15 G0 X100 Z50
N20 M3 S600
N25 M8
N30 G1 X50 Z0 F600
N40 W-30 F200
N50 X80 W-20 F150
N60 G0 X100 Z50
N70 T0100
N80 M5
N90 M9
N100 M13
N110 M30
N120

5.1.3 Работен лист №3

N10 T0505
N20 G92 S1200
N30 G20 G97 S900 M03
N40 G96 S130 G00 X0 Z0.5
N50 G01 Z0 F0.5 G42
N60 G01 X0.5 R0.1 F0.1
N70 G01 Z-0.65
N80 G01 X0.7 C0.06
N90 G01 Z-1.15
N100 G01 X0.75

N110 G01 X0.875 Z-1.8
N120 G01 X0.925
N130 G01 Z-2.05
N140 G01 X1
N150 G01 Z-3

5.1.4 Работен лист №4

N10 G90 S500 M03
N20 G00 X25 Z5
N30 G01 G95 Z0 F1
N40 G01 Z-7.5 F0.2
N50 G01 X60 Z-35
N60 G01 Z-50
N70 G00 X62
N80 G00 X80 Z20
N90 M30

5.1.5 Работен лист №5

N4 G00 X0 Z0
N5 G01 X1.25 F0.2
N6 G01 X4.836 Z-1.793
N7 G03 X5.422 Z-2.5 I-0.707 K-0.707
N8 G01 Z-5

5.1.6 Работен лист №6

N10 G40 G00
N20 G99
N30 M5
N40 M9
N60 T0101
N70 G50 S3500
N80 G96 S0240 M4
N90 G00 X102. Z0.
N100 G01 X-2. F0.15 M7
N110 G00 X150. Z150.
N120 M9
N130 T0707
N140 G97 S0950 M3
N150 G00 Z3.
N160 G00 X0.
N170 G74 R1.0
N171 G74 X0.0 Z-59.0 Q12000 R0.0 F0.2

N350 G00 X150. Z150.
N360 T0505
N370 G50 S3500
N380 G96 S0200 M4
N390 G00 X23. Z2.
N400 G71 U3. R1
N410 G71 P420 Q530 U-0.5 W0.2 F0.3
N420 G41 G00 X72.
N440 G01 Z-21.
N450 G03 X66. Z-24. I-3. K0.
N460 G01 X54.
N470 G02 X48. Z-27. I0. K-3.
N480 G01 Z-41.
N490 G03 X42. Z-44. I-3. K0.
N500 G01 X30.
N510 G02 X24. Z-47. I0. K-3.
N520 G01 Z-59.
N530 G01 X23.
N540 G40
N550 G00 X150. Z150. F0.3
N560 T1111
N570 G50 S4500
N580 G96 S0380 M4
N590 G41 G00 X72. Z2.
N600 G70 P420 Q530
N610 G40
N620 G00 X23. Z2.
N630 G00 X200. Z150.
N640 M5
N650 M30

5.1.7 Работен лист №7

N10 G40 G00
N20 G99
N60 T0101
N70 G50 S3500
N80 G96 S0240 M4
N90 G00 X72. Z0.1
N100 G01 X-1.6 F0.12 M7
N110 G00 X150. Z150.
N120 M5
N130 M9
N140 T0303
N150 G97 S2500 M3
N160 G00 X0. Z3.
N170 G01 Z-6. F0.1 M7
N180 G00 Z2.
N190 G00 X150. Z150.

N210 T0707 M7
N220 G97 S0884 M3
N230 G00 Z3.
N240 G00 X0.
N250 G74 R1.0
N260 G74 X0.0 Z-68.326 Q18000 F0.22
N380 G00 X200.
N400 G00 Z100.
N500 T0404 M7
N510 G50 S3500
N520 G96 S0240 M4
N530 G00 Z1.
N540 G00 X70.
N550 G71 U4. R1
N560 G71 P570 Q650 U0.6 W0.2 F0.35
N570 G42 G00 X24.
N580 G01 Z0.
N590 G01 X28. Z-2.
N600 G01 Z-72.
N610 G02 X32. Z-74. I2. K0.
N620 G01 X62.
N630 G01 X68. Z-77.
N640 G01 Z-90.
N650 G40
N660 G00 X150.
N680 G00 Z70.
N690 T0202 M7
N700 G50 S4500
N710 G96 S0380 M4
N720 G00 X16. Z3.
N730 G42 G01 Z0. F0.1
N740 G01 X24.
N750 G01 X28. Z-2.
N760 G01 Z-72.
N770 G02 X32. Z-74. I2. K0.
N780 G01 X62.
N790 G01 X68. Z-77.
N800 G01 Z-90.
N810 G40
N820 G00 X150. Z150.
N830 M5
N840 M9
N850 M30

5.1.8 Работен лист №8

N10 G50 S2000 T0100
N20 G96 S80 M03
N30 G00 X50.0 Z1.0 T0101

N40 G74 R1.0
N50 G74 X10.0 Z-10.0 P10000 Q3000 F0.1
N60 G00 X200.0 Z200.0 T0100
N70 M30

5.1.9 Работен лист №9

N10 G50 S500 T0100
N20 G97 S400 M03
N30 G00 X90.0 Z1.0 T0101
N40 X82.0 Z-60.0
N50 G75 R1.0
N60 G75 X60.0 Z-20.0 P3000 Q20000 F0.1
N70 G00 X90.0
N80 X200.0 Z200.0 T0100
N90 M30

5.1.10 Работен лист №10

N010 G00 X220.0 Z60.0
N011 G00 X176.0 Z2.0
N012 G72 W7.0 R1.0
N013 G72 P014 Q021 U4.0 W2.0 F0.3 S550
N014 G00 G41 Z-70.0 S700
N015 X160.0
N016 G01 X120.0 Z-60.0 F0.15
N017 W10.0
N018 X80.0 W10.0
N019 W20.0
N020 X36.0 W22.0
N021 G40
N022 G70 P014 Q021
N023 G00 X220.0 Z60.0
N024 M30

5.1.11 Работен лист №11

N10 G50 S2000 T0300
G96 S200 M03
G00 X35.0 Z5.0 T0303
Z0
G01 X-1.6 F0.2
G00 X70.0 Z10.0
G73 U3.0 W2.0 R2
G73 P12 Q16 U0.5 W0.1 F0.25

N12 G00 G42 X20.0 Z2.0
G01 Z-10.0 F0.15
G02 X40.0 Z-20.0 R10.0
G01 Z-30.0
X60.0 Z-50.0
N16 G40 U1.0
G70 P12 Q16
G00 X200.0 Z200.0 T0300
M30

5.1.12 Работен лист №12

N10 G40 G00
N20 G99
N30 M5
N40 M9
N50 G54
N60 T0101
N70 G50 S3500
N80 G96 S0240 M4
N90 G00 X102. Z0.1
N100 G01 X-2. F0.15 M7
N110 G00 X101. Z2.
N115 G90 X90.0 Z-58.8 F0.3
N120 X80.0
N125 X73.0
N126 G00 X73
N127 G90 X63 Z-34.8 F0.3
N128 X55.
N130 X49.
N140 G00 X49.
N150 G90 X39. Z-14.8 F0.3
N160 X31.
N170 X25.
N430 G00 X150. Z100.
N440 T0202
N450 G50 S4500
N460 G96 S0380 M4
N470 G00 X-1.6 Z2.
N480 G42 G01 Z0. F0.1
N490 G01 X24.
N500 G01 Z-15.
N510 G01 X48.
N520 G01 Z-35.
N530 G01 X72.
N540 G01 Z-59.
N550 G01 X102.
N560 G40
N570 G00 X150. Z100.
N580 M5

N590 M9
N600 M30

5.1.13 Работен лист №13

G96 S200 M03
G00 X56.0 Z2.0
G20 X51.0 W-20.0 F0.25
X46.0
X41.0
X36.0
X31.0
X30.0
G00 X100 Z100
M30

5.1.14 Работен лист №14

N17 T101
N18 G54
N19 G97 S800 M3
N20 G0 X32 Z6 M8
N21 G76 P010060 Q100 R0.02
N22 G76 X28.161 Z-50 P919 Q250 F1.5
N23 G0 X150 Z100

5.1.15 Работен лист №15

N10 T3
N20 G97 S800 M03
N30 G00 X30 Z5 T0303
N40 G76 P021060 QI00 R100
N50 G76 X18.2 Z-20 P900 Q200 FI.5
N60 G00 X50 Z-20
N70 G76 P021060 Q100 R100
N80 G76 X38.2 Z-52 P900 Q200 FI .5
N90 G00 X200 Z200
N100 M30

5.1.16 Работен лист №16

N10 G50 S800 T0100
N20 G97 S800 M03

N30 G00 X90.0 Z5.0
N40 X22.026
N50 G32 X49.562 Z-71.5 F3.0
N60 G00 X90.0
N70 Z5.0
N80 X21.052
N90 G32 X48.588 Z-71.5
N100 G00 X90.0
N110 Z5.0
N120 X150.0 Z150.0
N130 M30

5.1.17 Работен лист №17

N1 G00 X0 Z0
N2 G01 X11
N3 G01 Z-15
N4 G03 X11 Z-27 I-8 K-6

5.1.18 Работен лист №18

N10 T0101
N20 G92 S1000 M42
N30 G96 S200 M03
N40 G00 X0 Z5
N50 G01 Z0 F0.5
N60 G01 X80 F0.2
N70 G02 X100 Z-30 I50 K0
N80 G01 Z-120
N90 G00 X200 Z200
M30

5.1.19 Работен лист №19

O1136
N1 T101
N2 G97 S2000 M03
N3 G54 G00 X0.7 Z0.1 M08
N4 G71 P5 Q12 U-0.01 W0.005 D0.08 F0.01
N5 G00 X4.5
N6 G01 X3. R.25 F.005
N7 Z-1.75 R.5
N8 X1.5 R.125
N9 Z-2.25 R.125
N10 X.75 R.125

N11 Z-3.
N12 X0.73
N13 G70 P5 Q12
N14 M09
N15 G53 X0
G53 Z0
M30

5.1.20 Работен лист №20

G28 U0 W0
G50 S1500
N1 T0101 M8
G96 S180 M3
G0 X255.0 Z5.0
G72 W2.0 R0.5
G72 P100 Q200 F0.25
N100 G0 Z0 G41
G1 X-2.0 F0.18
N200 G0 Z5.0
G40
X255.0
G28 U0 W0
N2 T0404 M8
G96 S180 M3
G0 X50.0 Z5.0
G71 U2.0 R0.5
G71 P500 Q600 U-0.5 W0.1 F0.25
N500 G0 X202.0 G41
G1 Z0 F0.12
X200.0
Z-10.0
X100.0
Z-30.0
X60.0
Z-45.0
N600 X50.0
G40
G0 Z5.0
G28 U0 W0
N3 T0505 M8
G96 S220 M3
G0 X50.0 Z5.0
G70 P500 Q600
G0 X50.0 Z5.0
G28 U0 W0
M5 M9
M30

5.2 Раздел „Фреза - програмиране“

5.2.1 Работен лист №1

```
G90 G01 X0 Y0  
X30  
G03 X54 R12  
G01 X82  
G02 X108 R13  
G01 X123  
X80 Y45  
X40  
Y75  
G03 X35 Y80 R5  
G01 X20  
G03 X0 Y80 R10  
G01 Y0  
M30
```

5.2.2 Работен лист №2

G90 u R

```
G92 X200 Y40 Z0  
G90 G03 X140 Y100 R60 F300  
G02 X120 Y60 R50
```

G90 u I

```
G92 X200 Y40 Z0  
G90 G03 X140 Y100 I-60 F300  
G02 X120 Y60 I-50
```

G91 u R

```
G91 G03 X-60 Y60 R60 F300  
G02 X-20 Y-40 R50
```

G91 u I

```
G91 G03 X-60 Y60 I-60 F300  
G02 X-20 Y-40 I-50
```

5.2.3 Работен лист №3

N40 G90 G00 X0 Y0
N50 G01 X-10 Y-20 R8
N60 G01 X-50 R10
N70 Y10
N80 X-19.97 Y25.01
N90 G03 X7.97 Y38.99 R18
N100 G01 X30 Y50
N110 G91 X10.1 Y-10.1
N120 G90 G02 X59.9 Y20.1 R14
N130 G01 X70 Y10
N140 Y-20 R10
N150 X50
N160 G03 X30 R10
N170 G01 X10 R8
N180 X0 Y0

5.2.4 Работен лист №4

N5 G00 G54 G64 G90 G17 X-20 Y-20 Z50
N10 S450 M03 F250 D01
N15 C0
N20 Z5
N25 G01 Z0
N30 Z-5
N35 G42 X0 Y0 M08
N40 X60 Y0
N45 X85 Y30
N50 X85 Y50
N55 G03 X70 Y65 U15
N60 G01 X45 Y65
N65 G02 X30 Y50 U15
N70 G01 X10 Y50
N75 X0 Y0
N80 G40 X-20 Y-20
N85 G00 Z50 M09
N90 Y100
N95 M30

5.2.5 Работен лист №5

N5 G00 G54 G64 G90 G17 X-20 Y-20 Z50
N10 S450 M03 F250 D01
N15 C0

N20 Z5
N25 G01 Z0
N30 Z-5
N35 G42 X0 Y0 M08
N40 X80 Y0
N45 X60 Y30 U10
N50 X80 Y50
N55 X50 Y50
N60 G02 X30 Y30 U20
N65 G01 X10 Y30 U8
N70 X0 Y0
N75 G40 X-20 Y-20
N80 G00 Z50 M09
N85 Y100
N90 M30

5.2.6 Работен лист №6

G00 X30 Y-30
G01 Y22.67
G03 X24.07 Y26.18 R4
G02 X-18.27 Y23.46 R50
G03 X-23.46 Y18.27 R4
G02 X-23.46 Y-18.27 R50
G03 X-18.27 Y-23.46 R4
G02 X24.07 Y-26.18 R50
G03 X30 Y-24.67 R4
G01 X33

5.2.7 Работен лист №7

N10 M6 T1 G43 H1 M3
N15 S500 F120
N20 G0 X0 Y0
N25 G1 Y20
N30 G3 X-15 Y35 I-15 J0
N35 G2 X-45 Y35 I-15 J0
N40 G3 X-60 Y20 I0 J-15
N45 G1 Y0
N50 G1 X0
N55 M30

5.2.8 Работен лист №8

```
G00 X-60 Y0
G01 X-70
G02 X-25.02 Y25.97 R30
G01 X2.46 Y10.13
G03 X8.5 Y10.92 R5
G01 X18.79 Y21.21
G02 X25.13 Y-26.05 I21.21 J-21.21
G01 X-5 Y-8.66
G03 X-12.14 Y-11.13 R5
G02 X-70 Y0 R30
G01 X-60
```

5.2.9 Работен лист № 9

```
G41 G90 G01 X0 Y20
G02 X10 Y30 I10 J0
G01 X20 Y30
G01 X20 Y40
G02 X30 Y50 I10 J0
G01 X45 Y50
G02 X50 Y45 I0 J-5
G01 X50 Y5
G02 X40 Y0 I-13.59 J14.68
G01 X0 Y0
```

5.2.10 Работен лист №10

```
G41 G91 G01 X0 Y20
G02 X10 Y10 I10 J0
G01 X10 Y0
G01 X0 Y10
G02 X10 Y10 I10 J0
G01 X15 Y0
G02 X5 Y-5 I0 J-5
G01 X0 Y-40
G02 X-10 Y-5 I-13.59 J14.68
G01 X-40 Y0
```

5.2.11 Работен лист №11

G90 G01 X0 Y0
X50.0
X70.0 Y35.0
X45.0
X0 Y80.0
Y0
M30

5.2.12 Работен лист №12

G91 G01 X0 Y0
X50.0
X20.0 Y35.0
X-25.0
X-45.0 Y45.0
Y-80.0
M30

5.2.13 Работен лист №13

N5 G00 G54 G64 G90 G17 X-20 Y-20 Z50
N10 S450 M03 F250 D01
N15 C0
N20 Z5
N25 G01 Z0
N30 Z-5
N35 G42 G91 X20 Y20
N40 X10 Y10
N45 X70 Y-10
N50 X20 Y20
N55 X-40 Y60
N60 X-20
N65 X-10 Y-25
N70 X-30 Y-15
N80 X0 Y-40
N85 G40 G90 X-20 Y-20
N90 G00 Z50
N95 Y100
N100 M30

5.2.14 Работен лист №14

N5 G00 G54 G64 G90 G17 X20 Y-20 Z50
N10 S450 M03 F250 D01
N15 C0
N20 Z5
N25 G01 Z0
N30 Z-5
N35 G41 X0 Y0
N40 X-48
N45 X-68 Y72
N50 X-28
N55 Y44
N60 X12 Y32
N65 X0 Y0
N70 G40 X20 Y-20
N75 G00 Z50
N80 Y100
N85 M30

5.2.15 Работен лист №15

N10 T2 M3 S447 F80
N20 G0 X112 Y-2
N30 Z-5
N40 G41
N50 G1 X95 Y8 M8
N60 X32
N70 X5 Y15
N80 Y52
N90 G2 X15 Y62 I10 J0
N100 G1 X83
N110 G3 X95 Y50 I12 J0
N120 G1 Y-12
N130 G40
N140 G0 Z100 M9
N150 X150 Y150
N160 M30

5.2.16 Работен лист №16

N05 G54
N10 M6 T1 G43 H1 M3
N15 S500 F120
N20 G0 X-22 Y-22
N25 Z-3
N30 G1 X3 Y6 G41 H2

N35 G91 X0 Y24
N40 X12 Y9
N45 X36
N50 Y-24
N55 X-21
N60 G90 X3 Y6
N65 G0 X-21 G40

5.2.17 Работен лист №17

N05 G00 X10 Y25 Z1 S1250 M3
N10 G01 Z-5 F100
N15 G02 X10 Y25 I20 J0 F125
N20 G00 Z100 M5
N25 X-20
N30 M30

5.2.18 Работен лист №18

O0009
N1 T1 M06
N2 G90 G54 G00 X2. Y-1.5
N3 S1451 M03
N4 G43 H01 Z1. M08
N5 G81 G99 Z-0.45 R0.1 F8. L0
N6 G70 I1. J0. L8
N7 G80 G00 Z1. M09
N8 G53 G49 Z0. M05
N9 M30

5.2.19 Работен лист №19

O0009
N10 T3 M06
N20 G90 G54 G00 X0.65 Y-1.5
N30 S1451 M03
N40 G43 H03 Z1. M08
N50 G81 G99 Z-0.45 R0.1 G72 I0.5 J20. L7 F8.
N60 G80 G00 Z1. M09
N70 G53 G49 Z0. M05
N80 M30

5.2.20 Работен лист №20

03400

T1 M06

G00 G90 G54 X1.0 Y-1.0 S2500 M03

G43 H01 Z.1 M08

G81 Z-1.5 F15. R.1

G91 X1.0 L9

G90 Y-2.0

G91 X-1.0 L9

G90 Y-3.0

G91 X1.0 L9

G90 Y-4.0

G91 X-1.0 L9

G90 Y-5.0

G91 X1.0 L9

G90 Y-6.0

G91 X-1.0 L9

G90 Y-7.0

G91 X1.0 L9

G90 Y-8.0

G91 X-1.0 L9

G90 Y-9.0

G91 X1.0 L9

G90 Y-10.0

G91 X-1.0 L9

G00 G90 G80 Z1.0 M09

G28 G91 Y0 Z0

M30

6. Източници

1. <https://www.autodesk.com/>
2. Л. Караколов, В. Данчева, Н. Иванов. "Металорежещи машини с ЦПУ", Техника, 1993.
3. <https://www.haascnc.com/>
4. <http://www.helmancnc.com/>

2022 г.