ПОДГОТОВКА К НАПИСАНИЮ ПРОГРАММЫ

1. **ОБОЗНАЧЕНИЯ В ИСХОДНЫХ ТАБЛИЦАХ**

Таблица 1. Типичные свойства материалов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ОБОЗНАЧЕНИЕ  МАТЕРИАЛА |  | **PPM** | **PYM** | **PLM** | **MM** | **BCM** | **YEM** | **KDM** |  |
| Марка материала | σu.107  Pa | σy.107  Pa | ρ.103  kg/m3 | mm | B.107  Pa | ρe.10-8  Ω.m | Kd |  |
|  |
|  | Алюминиевые сплавы | | | | | | | |  |
| **AD1M** | АД1М | 9,5 | 3,5 | 2,7 | 0,27 | 17,6 | 2,92 | 2,866 |  |
| **AMCM** | АмцМ | 13,5 | 5,5 | 2,7 | 0,255 | 24,7 | 3,76 | 2,789 |  |
| **AMG1M** | Амг1М | 13 | 5,5 | 2,7 | 0,242 | 22,9 | 5,09 | 2,789 |  |
| **AMG3M** | Амг3М | 23 | 12 | 2,7 | 0,214 | 39,8 | 4,95 | 2,553 |  |
| **AMG6M** | Амг6М | 33 | 16,5 | 2,64 | 0,23 | 57,4 | 7,1 | 2,402 |  |
| **D16AM** | Д16АМ | 20 | 9,5 | 2,77 | 0,236 | 36,5 | 4,35 | 2,642 |  |
| **D16FT** | Д16АТ | 45 | 30 | 2,77 | 0,17 | 71,2 | 5,95 | 1,999 |  |
| **B95AM** | В95АМ | 21 | 10 | 2,85 | 0,239 | 38,7 | 4,15 | 2,624 |  |
| **B95AT** | В95АТ | 52 | 44 | 2,85 | 0,125 | 80 | 4,2 | 1,652 |  |
|  | Магниевые сплавы | | | | | | | |  |
| **MA1M** | МА1-М | 21 | 12 | 1,76 | 0,265 | 49 | 6,1 | 2,553 |  |
| **MA8M** | МА8-М | 26 | 19 | 1,78 | 0,15 | 40,2 | 5,1 | 2,321 |  |
|  | Медные сплавы | | | | | | | |  |
| **M1M** | М1 | 24 | 7 | 8,94 | 0,327 | 48,8 | 1,78 | 2,733 |  |
| **L96** | Л96 | 24 | 6 | 8,885 | 0,36 | 51,5 | 4,3 | 2,770 |  |
| **L90** | Л90 | 26 | 13 | 8,78 | 0,213 | 44,3 | 4,0 | 2,519 |  |
| **L80** | Л80 | 31 | 12 | 8,866 | 0,273 | 57,7 | 6,0 | 2,553 |  |
| **L68** | Л68 | 33 | 10 | 8,5 | 0,321 | 64,8 | 7,2 | 2,624 |  |
| **L62** | Л62 | 36 | 11 | 8,5 | 0,329 | 73,3 | 7,2 | 2,588 |  |
| **LS591** | ЛС59-1 | 42 | 15 | 8,4 | 0,307 | 84 | 6,8 | 2,451 |  |
| **LMC582** | ЛМц58-2 | 44 | 16 | 8,4 | 0,309 | 91 | 10,8 | 2,418 |  |
| **LO621** | ЛО62-1 | 38 | 18 | 8,5 | 0,24 | 69 | 7,2 | 2,353 |  |
| **BRB2** | БрБ2 | 45 | 30 | 8,2 | 0,155 | 69,3 | 6,8 | 1,999 |  |
|  | Стали | | | | | | | |  |
| **08KP** | 08КП | 38 | 24 | 7,871 | 0,156 | 59 | 10,2 | 2,169 |  |
| **ST10** | 10 | 40 | 25 | 7,856 | 0,158 | 61,9 | 19,25 | 2,140 |  |
| **ST20** | 20 | 48 | 30 | 78,59 | 0,161 | 74,8 | 24,2 | 1,999 |  |
| **ST45** | 45 | 68 | 43 | 7,826 | 0,17 | 109 | 25 | 1,675 |  |
| **12X18** | 1Х18Н9Т | 66 | 30 | 7,92 | 0,239 | 115 | 72 | 1,999 |  |
| **ST3** | СТ3 | 38 | 24 | 7,8 | 0,24 | 77 | 16,4 | 2,169 |  |

**PPM –** ПРЕДЕЛ прочности материала;

**PYM – предел** упругости материала;

**PLM** – плотность материала;

**BCM и MM** – коэффициенты степенной аппроксимации кривой упрочнения материала;

**YEM**  - удельное электрическое сопротивление материала;

**KDM – коэффициент** динамичности материала.

Таблица 2. КПД процессов магнитно-импульсной обработки

|  |  |
| --- | --- |
| Выполняемая операция | Коэффициент полезного действия  **KPD** |
| Формовка цилиндра, конуса и сферы (выполняемые операции **A1, B1, A2, B2, A3, B3)** | 0,13 |
| Формовка рифтов **(**операции **A4, B4)** | 0,085 |
| Гибка бортов (операция **C7)** | 0,035 |
| Формовка плоских заготовок **(**операции **C1…C6)** | 0,045 |

Таблица 3. Характеристики МИУ.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **О**  **БОЗНАЧЕНИЕ** | Марка  установки | Параметр / обозначение | | | | | |
| Wm,  КДж | C,  мкФ | L0,  нГн | f0,  КГц | fw (K1=0,8),  КГц | fw (K1=0,9),  КГц |
| **WME** | **CCE** | **LCE** | **FCE** | **FW8** | **FW9** |
| **E1** | МИУ – 1С | 1,0 | 41,6 | 115 | 72,7 | 32,5 | 23,0 |
| **E2** | МИУ – 3 | 3,0 | 291,7 | 83 | 32,3 | 14,4 | 10,2 |
| **E3** | МИУ – 10У | 10,0 | 55,9 | 150 | 55 | 24,6 | 17,4 |
| **E4** | МИУ – 15/20 | 15,0 | 101 | 89 | 53 | 23,7 | 16,8 |
| **E5** | МИУ – 50/25 | 50,0 | 253,3 | 110 | 30 | 13,4 | 9,5 |
| **E6** | МИУ – 10/ВЧ | 10,0 | 50 | 100 | 98 | 43,8 | 31 |

**WME** – максимальная запасаемая энергия батареи конденсаторов МИУ;

**CCE -** емкость батареи конденсаторов МИУ:

**LCE и FCE** – индуктивность и частота колебаний разрядного тока МИУ в режиме короткого замыкания

**FW8** – рабочая частота колебаний разрядного тока при значении коэффициента согласования, равном 0,8.

**FW9 -** рабочая частота колебаний разрядного тока при значении коэффициента согласования, равном 0,9.

Таблица 4. Номенклатура медной шины

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ОБОЗНАЧЕНИЕ | ss | | hs | Шина в изоляции, мм | | | | Энергия разряда, КДж | | |
| Вывести на экран при выборе шины | | | sc | | hc | Номинальная | | Предельная | |
| **SSC** | **HSC** | | **SCIC** | | **HIC** | **WN** | | **WP** | |
| **S1** | 3 | 7 | | 3,9 | 7,3 | | | 10,0 | | 20,0 |
| **S2** | 7 | 3 | | 7,9 | 4,3 | | |
| **S3** | 4 | 8 | | 4,9 | 9,3 | | | 16,0 | | 32,0 |
| **S4** | 8 | 4 | | 8,9 | 5,3 | | |
| **S5** | 4 | 9 | | 4,9 | 10,3 | | | 18,0 | | 36,0 |
| **S6** | 9 | 4 | | 9,9 | 5,3 | | |
| **S7** | 5,3 | 9 | | 6,2 | 10,6 | | | 24,0 | | 48,0 |
| **S8** | 9 | 5,3 | | 9,9 | 6,2 | | |

1. **ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ**

// Константа пи

pi = Math.PI;

// Магнитная проницаемость вакуума

mu = 4 \* pi \* Math.pow(10, -7);

* 1. ВЫБОР ВИДА ВЫПОЛНЯЕМОЙ ОПЕРАЦИИ

СХЕМА ДЕФОРМИРОВАНИЯ

1. Раздача трубчатой заготовки.
2. Обжим трубчатой заготовки.
3. Деформирование листовой заготовки.

ВИД ВЫПОЛНЯЕМОЙ ОПЕРАЦИИ

Для схем деформирования **A** и **B**

**A1, B1** - Формовка цилиндра

**A2, B2** - Формовка конуса

**A3, B3** - Формовка сферы

**A4, B4 -** Формовка рифта

Для схемы деформирования C

**С1** - Отбортовка наружного контура заготовки

**C2 -** Отбортовка контура отверстия

**C3** - Формовка тороидального рифта

**C4** - Формовка сферической пуклевки

**C5** - Формовка конусной пуклевки

**C6** - Формовка плоской пуклевки

**C7 -**  Гибка прямолинейного борта

* 1. ПАРАМЕТРЫ ЗАГОТОВКИ
     1. Марка материала

Если марка материала есть в таблице 1, то для этого материала выбираются из таблицы значения параметров **PPM, PYM, PLM, BCM, MM, YEM, KDM.** Если в таблице 1 нет выбранного материала, то значения параметров вводятся оператором.

Для дальнейших вычислений принимаем обозначение удельного электрического сопротивления заготовки:

YEMP = $YEM

* + 1. Размеры заготовки
       1. Для схем деформирования **A** и **B** вводитсядиаметр наружный трубы **DOT**, толщина стенки трубы **ST** и длина деформированной зоны **LBT.**
       2. Для схемы деформирования C → толщина листа **SL.**
  1. ПАРАМЕТРЫ ИЗГОТАВЛИВАЕМОЙ ДЕТАЛИ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Выполняемая  операция | Вводимый параметр | Обозначение |
| **A1,B1** | Радиус цилиндра | **RC** |
| **A2,B2** | Максимальный радиус конуса | **RMK** |
| **A3,B3** | Радиус сферы | **RSF** |
| **A4,B4** | Радиус рифта | **RR** |
| **C1** | Радиус заготовки  Радиус борта | **RIP** |
| **RB** |
| **C2** | Радиус отбортованного отверстия  Радиус отверстия в заготовке | **ROO** |
| **ROP** |
| **C3** | Радиус профиля гофра  Радиус центра гофра | **RPG** |
| **RCG** |
| **C4** | Высота пуклевки  Радиус сферы | **HPU** |
| **RSPU** |
| **C5** | Высота пуклевки  Радиус пуклевки | **HIP** |
| **RIP** |
| **C6** | Радиус пуклевки  Радиус скругления дна | **RPPU** |
| **RSD** |
| **C7** | Высота борта | **HPLB** |

* 1. ПАРАМЕТРЫ ИНДУКТОРА (**для схемы A)**

2.4.1. Марка материала

Если марка материала есть в таблице 1, то из нее выбирается значение удельного электрического сопротивления **YEM** выбранного материала. Если в таблице 1 нет выбранного материала, то значения **YEM** вводится оператором.

Для дальнейших вычислений принимаем обозначение удельного электрического сопротивления материала индуктора:

YEMC = $YEM

* + 1. Размеры индуктора

2.4.2.1. Длина индуктора  **LCA**

//Схема A1 (формовка цилиндра)

LCA = 1.1 \* $LBT

//Схема A2 (формовка конуса) lc = (1,2…1,3)lb;

LCA = 1.3 \* $LBT

//Схема A3 (формовка сферы) lc = lb;

LCA = $LBT

//Схема A4 (формовка рифта) lc = (0,7…0,8)lb.

LCA = 0,75 \* $LBT

2.4.2.2. Толщина изоляции медной шины – **ZS =0.65 мм**

2.4.2.3. Толщина основной изоляции индуктора – **ZB =1.0** мм

2.4.2.4. Величина воздушного зазора – **ZA =0,25 мм**

2.4.2.5. Индуктивность токоподводов индуктора – **LTC =0.7\*10-7 Гн.**

Указанные значения параметров являются стандартными, но при решении некоторых задач могут быть изменены.

2.4.2.6. Величина изоляционного зазора между индуктором и заготовкой равна:

ZCP = $ZS + $ZB + $ZA

2.4.2.7. Диаметр индуктора DCA равен:

DCA = $DOT – 2 \* $ST – 2 \* ZCP, для обжима DCA = $DOT + 2 \* $ST +2 \* ZCP

2.4.2.8. Если используется кабель, то вводится индуктивность кабеля **LCB.**

1. Расчет процесса формовки

**3.1. Выбор установки для формовки по схеме раздача (схема А).**

**Вид выполняемой операции A1…A4.**

//Внутренний диаметр трубчатой заготовки

DIB = $DOT – 2 \* $ST

//Внутренний радиус трубчатой заготовки

RIB = DIB / 2

//Средняя величина деформации **ESP** заготовки в зависимости от выполняемой операции операций. Для операции A1 (формовка цилиндра)

ESP = ($RC / RIB) – 1 , для обжима ESP = (RIB/ $RC)-1

//Для операции A2 (формовки конуса)

ESP = ($RMK / RIB – 1) / 2, для обжима ESP = ((RIB/ ESP)-1) = ($RMK / RIB – 1) / 2 – 1) / 2

//Для операции A3 (формовка сферы)

ESP = ($RSF / RIB – 1) / Math.sqrt(2), для обжима ESP = ((RIB /$RSF )– 1) / Math.sqrt(2)

//Для операции A4(формовка рифта)

ESP = pi \* $RR / (4 \* RIB)

//Динамическое значение коэффициента аппроксимации кривой упрочнения

BCMD = $BCM \* $KDM

//Удельная работа деформации WYD

WYD = (BCMD / (1 + $MM)) \* Math.pow(ESP, (1 + $MM))

//Деформируемый объем заготовки DVB

DVB = pi \* ($DOT - $ST) \* $ST \* $LBT

//Работа деформации заготовки WDB

WDB = WYD \* DVB

// Необходимая энергия для выполнения операции WMIR

WMIR = WDB / $KPD

//Энергоемкость установки WMUR

WMUR = WMIR \* 1.2

//Выбирать установку из таблицы 3 из условия, что WME > WMUR.

//(Вывести на экран и подтвердить выбор установки).

* 1. **РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ИНДУКТОРА**

//Положим, что частота разрядного тока равна частоте тока МИУ при значении коэффициента согласования K1 = 0,8:

FW = $FW8

//Глубина проникновения ИМП в материал индуктора

BC = Math.sqrt($YEMC / (pi \* mu \* FW)

//Глубина проникновения ИМП в материал заготовки

BP = Math.sqrt($YEMP / (pi \* mu \* FW)

//Нужно подставить условие: если BP < ST, то FW = FW8, в противном случае

FW = $YEMP / (pi \* mu \* Math.pow($ST, 2)

// Если величина FW превышает значение собственной частоты разрядного тока МИУ FCE, вывести на экран сообщение об этом и значения FWи FCE. Дальнейший расчет производить с разрешения оператора.

//Глубина проникновения ИМП в материал индуктора

BC = Math.sqrt($YEMC / (pi \* mu \* FW)

//Глубина проникновения ИМП в материал заготовки

BP = Math.sqrt($YEMP / (pi \* mu \* FW)

//Паразитная индуктивность разрядного контура

LDC = $LCE + $LCB + $LTC

//Частота разряда при наличии только паразитных индуктивностей

FDC = Math.sqrt(1/(LDC \* $CCE)) / 2 \* pi

//Величина коэффициента согласования

K1 = (Math.pow(FDC, 2) - Math.pow(FW, 2)) / (Math.pow(FDC, 2)

//Значение эквивалентного зазора между индуктором и заготовкой

ZEK = ZCP + 0.5 \* (BC + BP)

//Количество витков индуктора

NCTC = Math.sqrt(K1 \* LDC \* $LCA / (pi \* mu \* DCA \* ZEK \* (1 – K1)))

//Целое число витков индуктора

NCT = Math.round(NCTC)

//Расчетный шаг витков индуктора

SCIC = $LCA / NCT

//Ширина медной шины по оси индуктора

SSC = SCIC - $ZS

// По таблице 4 выбирается ближайший по величине SSC размер шины

Вывести на экран расчетное количество витков NCT, расчетную величину ширины шины SSC и размер выбранной шины, подтвердить выбор или изменить размеры шины и количество витков.

//Длина индуктора

$LU = $SC \* $NCT

(//Наружный радиус индуктора

ROC = $DCA / 2

//Внутренний радиус индуктора

RIC = ROC - HSC

//Коэффициент, учитывающий потери энергии во внутренней полости индуктора

KEC = Math.pow(((2ROC / RIC) \* (ZEK / RIC) – 1), 2))-для обжима KEC=1

//Расчетное количество рабочих витков

NCWC = $LBT / $SCIC

//Целое количество рабочих витков

NCW = Math.round(NCWC)

//Количество свободных витков

NCF = NCT - NCW

//Индуктивность индуктора в условиях резко выраженного поверхностного эффекта

LCC = (pi \* mu \* ($DCA +(для обжима-) $ZCP) \* $NCT \* $ZCP \* $NCT) / ($KEC \* $LU)

KEC =1 для обжима

//Введем обозначение

LUC2 = LCC

//Начало цикла. Суммарная индуктивность

do {LCP = LUC2 + LDC

//Обозначим

LCU1 = LCU2

//Рабочая частота разрядного тока

FR = (1 / (2 \* pi)) \* Math.sqrt(1 / (LCP \* $CCE))

//Глубина проникновения магнитного поля в индуктор и заготовку

BC = Math.sqrt($YEMC / (pi \* mu \* FP)

BP = Math.sqrt($YEMP / (pi \* mu \* FP)

//Величина эквивалентного зазора

ZEK = ZCP + 0.5 \* (BC + BP)

//Величина приведенного зазора. Не знаю, как расписать

//Индуктивность системы «индуктор – заготовка»

LCC = pi \* mu \* NCT \* ($DCA +(для обжима -) $ZCP) \* NCT \* ZPR / (LU \* KEC) KEC=1 для обжима

//Обозначим

LCC = LCU2

//Вычислим расхождение полученного результата с предыдущим шагом

REZ = (LCU2 – LCU1) / LCU1}

//Окончание цикла. Посмотреть знак > или <. Разница должна быть< 1%

while (Math.abs(REZ) > 0.01)

//Нужно ли переобозначать? Для дальнейшего понадобятся LCC, FR, ZPR, KEC.

//Расчет режима обработки. Средняя скорость по деформируемому участку заготовки.

VCR = Math.sqrt(2 \* WYD / $PLM

//Величина перемещений заготовки на участке разгона

SPYR = 0.141 \* VCR / FR если SPYR>RIB-RC то SPYR=RIB-RC

//Амплитудное значение давления ИМП

при SPYR<RIB-RC

PM = 4.4 \* VCR \* FR \* $PLM \* $ST

При SPYR>RIB-RC

PM=(VCR3\*$PLM\* $ST)/((18\*(RIB-RC)2)

//Расчет коэффициентов. Глубина проникновения ИМП в индуктор и заготовку для расчета сопротивления и индуктивности

BRC = BC

BRP = BP

BLC = BC / 2

BLP = BP / 2

//Диаметры индуктора и заготовки для расчета сопротивления и индуктивности

DRC = DCA - BRC

DRP = DIB + BRP

DLC = DCA - BLC

DLP = DIB + BLP

//Коэффициенты α и F

ALFA = LU / DIB

F = 22.7 / (1 + 2.35 \* ALFA)

//Индуктивность и сопротивление заготовки

LP = F \* D LP \* Math.pow(10,-7)

RP = pi \* DRP \* $YEMP / (BRP \* LBT)

//Добротность заготовки

QP = 2 \* pi \* FR \* LP / RP

//Коэффициент заполнения индуктора

KZ = SSC \* NCT / LU

//Сопротивление индуктора

RC = pi \* DRC \* $YEMC / (BRC \* LU \* KZ)

//Индуктивность индуктора однородная

LOC = pi \* mu \* $DCA \* $LCA / (4 \* LU)

L1S = F \* ( $DCA + $ZCP) \* Math.pow(10,-7)

LOCS = LOC / (Math.pow(NCT,2))

LZSD = L1S / (1 + (L1S / LOCS) - (L1S / LOC))

//Взаимная индуктивность индуктора и заготовки

M = Math.sqrt(LP \* (L1S - LZSD))

QQ = Math.pow(QP,2)

LSDQ = (LZSD \* QQ + L1S) / (QQ + 1)

MDL = Math.pow((M / LP),2)

RSDQ = RC + MDL \* QQ \* RP / (QQ + 1)

//Суммарная добротность контура

QS = 2 \* pi \* FR \* LSDQ / RSDQ

LOZ = pi \* mu \* DCA / LU

DL05 = L1S / LOZ

DEZ = ZCP / DL05

//Значение коэффициентов

K1 = 1 - (FR / FDC) \* (FR / FDC)

//Коэффициент К2 - не знаю,как записать

//Коэффициент К3

K3 = 1 / (1 + DEZ)

LK = L1S / LZSD

K4 = QQ / (QQ + LK)

//Площадь создаваемого давления ИМП

SUMP = pi \* ($DCA + $ZCP) \* LU

//Необходимая энергия разряда МИУ

WR = PM \* SUMP \* (ZPR + 0.5 \* SPYR) \* KEC \* KEC / (K1 \* K2 \* K3 \* K4) KEC=1 для обжима

//**Проверки.** Плотность энергии в шине

PWS = WR / ($SSC \* HSC)

//Если PWS > 1 \* 109 J/m2, то сообщить об этом на экране монитора с возможностью повторения расчета для большего сечения шины

//Сравнение величин перемещения заготовки и зазора между заготовкой и матрицей. Для схемы A1

DDP = $RC - $RIB - SPYR

//Для схемы A2

DDP = $RMK - $RIB - SPYR

//Для схемы A3

DDP = $RSF - $RIB - SPYR

//Для схемы A4

DDP = RR - SPYR

//Если DDP < 0, вывести предупреждение на экран монитора, продолжение по разрешению оператора

//Параметры разрядного тока. Значение тока I0 = IOO

IOO = Math.sqrt(2 \* WR / (LCC + $LDC))

//Частота разрядного тока

F = FP

//Декремент затухания δ = DZT

DZT = RSDQ / (2 \* LSDQ)

Распечатка результатов расчетов

В зависимости от цели расчета выводиться на печать должны по выбору оператора параметры из следующего списка.

1. Выбранная МИУ.
2. Выполняемая операция
3. Параметры формуемой заготовки (из исходных данных)
4. Марка материала и размеры заготовки.
5. Длина индуктора, количество витков и размеры шины.
6. Величина необходимого давления ИМР Pm.
7. Частота разрядного тока fw.
8. Необходимая энергия разряда Ww.
9. Коэффициенты K1, K2, K3, K4, ke.
10. Параметры разрядного тока: I0, f, δ .

Math.sqrt( Math.pow(10, -7) аналогично **Math.round()** — округляет дробь до целого числа.while (Math.abs(1 - f\_w / f\_w\_old) > 0.0001)

SPYR - величина перемещения заготовки на участке разгона

KEC - Коэффициент, учитывающий потери энергии во внутренней полости индуктора

PM - амплитудное значение давления ИМП

ZPR - Величина приведенного зазора.

RC - Радиус цилиндра

RMK - Максимальный радиус конуса

RSF - РАДИУС СФЕРЫ

rr - радиус рифта