

**Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
Лениногорский филиал**

Граф Е.В.

Сварочные процессы и оборудование

Методические рекомендации по выполнению курсовой работы
для обучающихся по направлению
15.03.01 «Машиностроение», профиль «Оборудование и технология сварочного
производства»

(Методические рекомендации обсуждены и одобрены на заседании кафедры Технологии машиностроения и приборостроения 25.10.2017, протокол №3)

Лениногорск 2017

1. Общие положения

Сварочные процессы в металле, определяющие производительность сварки и качество сварных соединений, протекают под действием тепла в условиях быстро меняющейся температуры. Пределы изменения температуры весьма широки – от минус 30° - 40° , при сварке на морозе до температуры испарения металла (около 3000°C для стали). В этом промежутке температур происходят – плавление основного и присадочного металлов, металлургические реакции в жидкой ванне, кристаллизация расплавленного металла, структурные и объемные изменения в наплавленном и основном металлах. Чтобы управлять этими процессами, необходимо знать, как влияют на них все определяющие параметры, в том числе и воздействие источников тепла, непосредственно выражающееся в изменении температуры металла.

Для описания процессов распространения тепла в удаленной области можно дугу представить в виде сосредоточенного источника – точечного, линейного, плоского, в зависимости от формы направляемого тела.

Расчеты, основанные на схеме нагрева сосредоточенным источником тепла дают возможность оценить эффективность процесса проплавления основного металла сварочной дугой, оценить влияние параметров режима на производительность проплавления.

1. Цель и задачи курсовой работы

Целью курсовой работы является закрепление теоретических знаний по данному курсу, приобретения практических навыков для выполнения расчетов по тепловым процессам по сварке.

В процессе выполнения курсовой работы студенты должны научиться решать следующие задачи:

1) пользоваться учебной и научно-технической литературой, справочниками;

2) по предложенным условиям сварки (наплавки) выбрать и обосновать расчетную схему определения температурного поля;

3) рассчитать распределение температур вдоль оси шва; построить кривые распределения температур;

4) рассчитать распределение температур на поверхности изделия по прямым, перпендикулярным оси шва; построить кривые распределения температур;

5) графическим построением получить изотермы для заданных температур;

6) рассчитать температуру точки начала шва в момент удаления от нее дуги на некоторое расстояние и спустя время t после окончания сварки;

7) по изотерме заданной температуры в соответствии с выбранной схемой рассчитать и построить термический цикл данной точки;

8) рассчитать распределение максимальных температур в поперечном сечении зоны термического влияния сварного соединения;

9) определить протяженность отдельных участков ЗТВ в данных условиях (участок неполного расплавления, перегрева, нормализации, неполной перекристаллизации, рекристаллизации и старения);

10) рассчитать для участков ЗТВ мгновенную скорость охлаждения при определенной температуре и сравнить ее с допустимой скоростью охлаждения для данной марки стали, сделать вывод о возможном трещинообразовании;

11) определить минимальную температуру предварительного подогрева, позволяющую избежать появления закалочных структур.

2. ТЕМАТИКА, СТРУКТУРА И ОБЪЕМ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

2.1. Темы курсовой работы

связаны с распространением теплоты при наплавке валика на массивное тело (автоматической или ручной, дуговой), сварке пластин встык за один проход с полным проплавлением (автоматической или ручной дуговой).

2.2. Пояснительная записка курсовой работы

Пояснительная записка должна иметь следующую структуру:

Титульный лист.

Задание по выполнению курсовой работы.

Содержание.

Введение:

1. Анализ, выбор, обоснование расчетной схемы температурного поля.

2. Расчет распределения температур вдоль оси шва и построение кривой распределения температур в координатах ($T^{\circ}\text{C}$, $X\text{см}$).

3. Расчет распределения температур перпендикулярно оси шва и построение кривых распределения температур в координатах ($T^{\circ}\text{C}$, $Y\text{см}$).

4. Построение изотерм на поверхности изделия.

5. Расчет и построение термического цикла для данной точки (координаты $T^{\circ}\text{C}$, $t\text{с}$).

6. Расчет температуры данной точки подвижного температурного поля в процессе теплонасыщения и в стадии выравнивания температуры.

7. Расчет распределения максимальных температур в поперечном сечении ЗТВ и построение кривых распределения температур (координаты $T^{\circ}\text{C}$, $Y\text{см}$).

8. Расчет мгновенной скорости охлаждения и сравнение ее с допустимой.

9. Расчет минимальной температуры предварительного подогрева, позволяющего избежать появления закалочных структур.

10. Определение ширины ЗТВ, нагретой выше заданной температуры.

Заключение.

Список литературы.

Объем пояснительной записки 30 – 35 страниц. Детально требования к содержанию разделов приведены в п. 3.

2.3.Графическая часть курсового проекта

Графический материал курсовой работы должен быть представлен в виде графиков. Графики должны выполняться карандашом на миллиметровой бумаге в масштабе 1:1. Общий объем графических работ – 5 листов формата А11. Требования к содержанию графической части приведены в п.4.

3.УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Текстовый материал курсовой работы представляется в виде пояснительной записки. Пояснительная записка должна быть изложена грамотно, литературным языком, в предельно-сжатой форме и в то же время содержать все необходимые материалы, обосновывающие эффективность и реальность принятых решений.

3.1.Титульный лист

Титульный лист является первым листом пояснительной записки и оформляется в соответствии с СТП IX002 – 85 (образец см. приложение I).

Титульный лист заполняется тушью или мягким карандашом шрифтом по ГОСТ 2.304 – 81.

Титульный лист рекомендуется выполнять на плотной чертежной бумаге с тем, чтобы он мог быть использован в качестве обложки пояснительной записки.

3.2.Задание на курсовую работу

Задание на курсовую работу помещается после титульного листа. Бланк задания (см. приложение II) выдает студенту руководитель. В задании предлагается по условиям сварки (наплавки) выбрать и обосновать расчетную схему определения температурного поля, приводится содержание пояснительной записки и перечень графического материала. Бланк задания подписывает руководитель и студент, после чего он передается на утверждение заведующему кафедрой. Совместно с заданием выдается календарный план выполнения курсовой работы.

3.3.Содержание

Содержание располагается непосредственно за бланком задания на курсовую работу и календарным планом. В содержании последовательно перечисляются заголовки разделов, подразделов, пунктов, подпунктов и приложений с указанием номеров страниц. Содержание должно включать все заголовки, имеющиеся в тексте.

3.4.Введение

Во введении в сжатой форме дается характеристика упрощенных схем нагреваемого тела и источников теплоты. Кратко формулируется цель работы и излагаются ожидаемые результаты.

3.5.Выбор и обоснование расчетной схемы определения температурного поля

В основном варианте задания охватывают четыре расчетные схемы теплового поля в теории распространения тепла при сварке – подвижный точечный источник, действующий на поверхности полубесконечного тела (ПТИ); подвижный линейный источник в пластине (ПЛИ); мощный быстродвижущийся точечный источник, действующий на поверхности полубесконечного тела (МБТИ); мощный быстродвижущийся линейный источник теплоты в пластине (МБЛИ). Каждый из вариантов задания отличается режимами сварки.

ПТИ - точечный источник постоянной мощности, движущийся прямолинейно с постоянной скоростью по поверхности полубесконечного тела. Схему ПТИ принимают для исследования температурных полей при ручной дуговой сварке массивных изделий.

ПЛИ - линейный источник постоянной мощности, движущийся с постоянной скоростью в пластине. Схему ПЛИ применяют для исследования температурных полей при ручной дуговой сварке пластин встык за один проход.

МБТИ – мощный быстродвижущийся точечный источник постоянной мощности, движущийся прямолинейно с постоянной скоростью по поверхности полубесконечного тела. Схему МБТИ применяют для исследования температурных полей при автоматической дуговой сварке массивных изделий.

МБЛИ – мощный быстродвижущийся линейный источник постоянной мощности, движущийся прямолинейно с постоянной скоростью в пластине. Схему МБЛИ применяют для исследования температурных полей при автоматической дуговой сварке пластин встык за один проход.

3.6. Расчет распределения температур вдоль оси шва

Температурное поле в процессе сварки может быть неустановившимся, т.е. когда температура отдельных точек тела непрерывно повышается (стадия теплонасыщения характерна для начала процесса сварки) и установившимся, когда температура точек в подвижной системе координат перестает изменяться во времени (предельное состояние). Последнее достигается после продолжительного действия источника теплоты. Температура предельного состояния процесса распространения теплоты для ПТИ, отнесенная к подвижным координатам X, Y, Z , связанным с источником, выражается соотношением:

$$T_{\text{ПР}} = \frac{q}{2\pi\lambda R} \exp\left[-\frac{V}{2a}(X + R)\right], \quad (1)$$

Где $q = \eta_U J_{\text{СВ}} U_q$ – эффективная тепловая мощность источника, Вт;

η_U – эффективный КПД процесса нагрева свариваемого металла;

$J_{\text{СВ}}$ – сила сварочного тока, А;

U_q – падение напряжения на дуге, В;

λ – коэффициент теплопроводности, $\frac{\text{Вт}}{\text{см} \cdot \text{град}}$ или $\frac{\text{Дж}}{\text{см} \cdot \text{с} \cdot \text{град}}$;

R – пространственный радиус-вектор, расстояние до рассматриваемой точки от начала подвижной системы координат, $R^2 = x^2 + y^2 + z^2$, см;

U – скорость сварки, см/с;

$a = \lambda / c_p$ – коэффициент температуропроводности см²/с;

c_p – объемная теплоемкость металла, $\frac{\text{Дж}}{\text{см}^3 \cdot \text{град}}$.

При расчете распределения температур на поверхности изделия вдоль оси шва $X - X$, т.е. зависимости $T = f(x)$, координаты Y и Z приравнивают к нулю. При этом учитывают, что для точек, расположенных впереди дуги (положительная полуось координата X – положительна, а для точек, лежащих на оси позади движущейся дуги – отрицательна). Отрицательное значение координаты X приводит к упрощению формулы (1). Она принимает вид:

$$T_{\text{ПР}} = \frac{q}{2\pi\lambda R}, \quad (2)$$

По максимальным температурам расчет обычно доводят до температуры плавления. Внутри ванны нельзя рассчитывать температурные поля по формуле (1). При приближении к месту действия источника (по схеме он сосредоточен в точке) температура тела быстро растет и в точке $R=0$ и $T_{\text{ПР}} \rightarrow \infty$.

Результаты расчета следует представить в табличном виде и на рисунке, выполненном на миллиметровой бумаге с сообщением масштабов и указанием точек, по которым строится график. Для качественного построения графика

необходимо, чтобы между $T_{\text{пл}}$ и 200°C на ветви охлаждения было не менее 10 значений температуры, на ветви нагрева – 5.

Температура предельного состояния процесса распространения теплоты для ПЛИ в подвижной системе координат описывается уравнением:

$$T_{\text{пр}} = \frac{q}{2\pi\lambda\delta} \exp\left(-\frac{UX}{2a}\right) K_0(U), \quad (3)$$

Где δ - толщина свариваемой пластины, см;

$K_0(U)$ – функция Бесселя от мнимого аргумента второго рода нулевого порядка.

$$U = r \sqrt{\frac{V^2}{4a^2} + \frac{b}{a}}, \quad r = \sqrt{x^2 + y^2},$$

Где r – плоский радиус – вектор элемента подвижного поля от начала координат, см;

$b = \frac{2\alpha}{c\rho\delta}$ - коэффициент температуропотдачи пластины, с^{-1} ;

α - коэффициент теплоотдачи, $\frac{\text{Дж}}{\text{см}^3 \cdot \text{с} \cdot \text{град}}$.

Основные закономерности в расчете распределения тепла соответствуют описанному в схеме ПТИ. Для определения функции Бесселя достаточно вычислить U и по нему, пользуясь таблицей (Приложение № 4) найти значение функции.

Для МБТИ уравнение предельного состояния процесса распространения тепла имеет вид:

$$T = \frac{q}{2\pi\lambda vt} \exp\left[-(y^2 + z^2)/4at\right] \quad (4)$$

Где t – время с момента пересечения источником тепла плоскости ``yoz`` с рассматриваемой точкой, с.

Схема МБТИ разработана для специфического температурного поля, которое наступает при пропорциональном увеличении мощности дуги и скорости сварки при $u \rightarrow \infty$, $V \rightarrow \infty$. Впереди источника распространением тепла можно пренебречь, т.к. вследствие высокой скорости перемещения тепло не распространяется. Изотермы вытянуты и в большей своей части параллельны друг другу. Для схемы МБТИ характерен теплоотвод перпендикулярно оси шва. На практике даже при очень больших скоростях тепло распространяется перпендикулярно только вблизи шва, поэтому расчеты температур по уравнению (4) более точны для точек, лежащих рядом со швом. Уравнение может использоваться для технических расчетов, когда скорость V , хотя и не стремится к бесконечности, но достаточно велика. В этом случае применяют замену:

$$t = -x/v,$$

тогда уравнение (4) принимает следующий вид:

$$T_{\text{ПР}} = -\frac{q}{2\pi\lambda x} e^{r^2 v / (4ax)} \quad (5)$$

$$r^2 = y^2 + z^2.$$

Предельное состояние процесса распространения теплоты при нагреве пластины МБЛИ описывается уравнением:

$$T_{\text{ПР}} = \frac{q}{V\delta\sqrt{4\pi\lambda c\rho t}} e^{-\frac{y^2}{4at} - bt} \quad (6)$$

В этом случае расчеты производят аналогично схеме МБТИ.

3.7. Расчет распределения температур на поверхности изделия по прямым перпендикулярным оси шва

Расчет распределения температур на поверхности изделия по прямым параллельным оси y ведется для различных значений x по уравнениям (1) для ПТИ, (3) для ПЛИ, (4) для МБТИ, (6) для МБЛИ. Основные закономерности в расчете распределения тепла соответствуют описанному выше расчету распределения тепла вдоль оси x .

Результаты расчета также следует представить в табличном виде и на рисунке, выполненном на миллиметровой бумаге с соблюдением масштабов и указанием точек, по которым строится график. Для качественного построения нужно брать не менее $10^{\text{ти}}$ значений x , начиная с нуля ($x=0; 0,5; -0,5; 1; -1$ и тд.).

3.8. Построение изотерм на поверхности изделия

Температурное поле предельного состояния симметрично относительно оси Ox . Изотермы на поверхности XOy представляют собой овальные кривые, которые сгущены впереди источника теплоты и раздвинуты позади него. В пластине тепловой поток более стеснен, поэтому изотермы еще более вытянуты, чем в полубесконечном теле.

При наличии распределения температуры по прямым, параллельным оси y , при различных значениях координаты x графическим построением можно получить изотермы температурного поля. Для этого на графиках распределения, через ось температуры проводят секущую, параллельную оси y . Точки пересечения ее с кривыми распределения сносят на ось y , получая значение

координаты у любой температуры при заданных значениях координаты х. Полученные таким образом значения координат используют для построения температурного поля в виде изотерм. Следует отметить, что для качественного построения изотермы необходимо, чтобы количество точек составляло 8 – 10. Если их меньше, следует дополнить расчетные данные промежуточными при новых значениях координаты х.

3.9. Расчет и построение термического цикла данной точки

Для построения термического цикла точки изделия необходимо знать ее температуру в любой момент времени, начиная с $t=0$. Поскольку в уравнении (1) температурного поля параметра времени в явно выраженной форме нет, его рассчитывают по уравнению:

$$t = \frac{X_0 - X}{V} \quad (7)$$

Где X_0 – абсцисса заданной точки в неподвижной (связанной с телом) системе координат, начало которой совмещено с положением источника в момент $t=0$;

X – абсцисса заданной точки в подвижной системе координат.

Выразив из (7) абсциссу х через время t и подставив ее значение в (1), получают уравнение для расчета термического цикла:

$$T(t) = \frac{q}{2\pi\lambda[(x_0 - vt)^2 + y^2 + z^2]^{1/2}} \exp\left\{ \left[-\frac{v}{2a}(x_0 - vt)^2 + y^2 + z^2 \right]^{1/2} + (x_0 - vt) \right\} \quad (8)$$

Задавая значения абсциссы X_0 , координат у и z, а также последовательно, с определенным шагом, задавая значения времени по уравнению (8) получают значения температуры для построения термического цикла.

В уравнении (3), для ПЛИ, теплоты параметра времени нет в явно выраженной форме, его рассчитывают по уравнению (7). Выразив из (7) абсциссу х через время t и подставив ее значение в (3), получают уравнение для расчета термического цикла:

$$T(t) = \frac{q}{2\pi\lambda\delta} \exp\left[-\frac{V(x_0 - vt)}{2a} \right] K_0 \left\{ [(x_0 - vt)^2 + y^2]^{1/2} \sqrt{\frac{v^2}{4a^2} + \frac{b}{a}} \right\}$$

Значения температуры рассчитывают как для ПТИ теплоты (см. выше), термические циклы для МБТИ и МБЛИ рассчитывают непосредственно по уравнениям (4) и (6).

Результаты расчета свести в таблицу. По результатам расчета построить кривую изменения температуры заданной точки в зависимости от времени,

прошедшего после пересечения центром дуги поперечного сечения, в котором находится данная точка.

3.10. Определение температуры точки в процессе теплонасыщения и выравнивания температуры

Температуру $T(t)$ данной точки подвижного температурного поля в процессе теплонасыщения можно представить как произведение температуры $T_{\text{ПР}}$ той же точки в предельном состоянии на коэффициент теплонасыщения $\psi(t)$, зависящий от времени:

$$T(t) = \psi(t) \cdot T_{\text{ПР}} \quad (9)$$

Коэффициент теплонасыщения возрастает от нуля в начальный момент до единицы в предельном состоянии. Возрастание его со временем характеризует интенсивность процесса насыщения теплом данной точки тела.

Величина коэффициента $\psi(t)$ зависит не только от времени, но и от расстояния рассматриваемой точки от источника тепла $\psi = F(R, t)$.

При расчетах коэффициенты теплонасыщения ψ определяют по номограммам (см. приложение №), построенным в зависимости от безразмерных критериев τ , пропорциональных времени t , и критериев ρ , пропорциональных расстоянию рассматриваемой точки от источника тепла R .

В случае точечного источника теплоты номограмма для определения коэффициента теплонасыщения ψ_3 построена в зависимости от критериев:

$$\rho_3 = \frac{VR}{2a}, \quad \tau_3 = \frac{V^2 t}{4a} \quad (10)$$

В случае линейного источника теплоты номограмма для определения коэффициента теплонасыщения ψ_3 построена в зависимости от критериев:

$$\rho_2 = \frac{Vr}{2a} \sqrt{1 + \frac{4ba}{V^2}}, \quad \tau_2 = \frac{V^2 t}{4a} \left(1 + \frac{4ba}{V^2} \right) \quad (11)$$

Порядок расчета температур в период теплонасыщения для точечного и линейного источников состоит в отыскании мгновенных координат точки, времени теплонасыщения, температуры предельного состояния по формулам (1), (3) и определение ψ по номограмме для пространственного поля в полубесконечном теле или пластине. После этого температуру в период теплонасыщения определяют по формуле (9). Время теплонасыщения $-t = l/v$, где l – длина шва к моменту расчета.

Расчет температуры в периоде выравнивания определяют путем использования фиктивного источника теплоты и стока теплоты. Предполагают,

что источник теплоты прекратил движение и перестал действовать, но фиктивный источник теплоты той же мощности продолжает свое движение с той же скоростью, вместе с ним движется фиктивный сток теплоты такой же мощности, как источник. Источник теплоты и сток теплоты будут взаимно уничтожаться.

Приращение температуры точки определяется как разность двух приращений температур: приращения температуры от источника теплоты $\Delta T_{\text{И}}$ и приращения температуры от стока теплоты $\Delta T_{\text{С}}$:

$$\Delta T = \Delta T_{\text{И}} - \Delta T_{\text{С}}$$

Оба приращения температуры можно выразить через приращение температуры предельного состояния и соответствующие коэффициенты теплонасыщения:

$$\Delta T = \Delta T_{\text{пр}} [\psi(t) - \psi(t_{\text{Ф}})] \quad (12)$$

Порядок расчета температур в период выравнивания сводится в отыскании мгновенных координат точки с учетом действия фиктивного источника теплоты, времени действия действительного и фиктивного источников теплоты, температуры предельного состояния соответственно по формулам (1) и (3) безразмерных критериев расстояния и времени для источника теплоты и стока теплоты по формулам (10), (11) и определяют по номограммам для пространственного поля в полубесконечном теле или в пластине коэффициенты теплонасыщения $\psi_{\text{И}}$ для истинного источника теплоты и $\psi_{\text{С}}$ – для стока теплоты.

Приращение температуры точки спустя некоторое время после окончания сварки (наплавки) определится по уравнению (12).

3.11. Расчет максимальных температур в поперечном сечении зоны термического влияния (ЗТВ)

Для расчета максимальных температур, достигаемых отдельными точками ЗТВ принимают для упрощения источники тепла быстро движущиеся (соответственно точечным или линейным), и расчет производят по следующим формулам:

1) мощный быстро движущийся точечный источник теплоты на поверхности полубесконечного тела:

$$T_{\text{max}} = \frac{2 \cdot 0,368 \cdot q}{\pi \nu c \rho r^2} \quad (13)$$

$$r^2 = y^2 + z^2$$

2) мощный быстро движущийся линейный источник теплоты:

$$T_{\max} = \frac{0,468 \cdot q}{\nu c \rho \delta 2y} \left(1 - \frac{by^2}{2a} \right) + T_n \quad (14)$$

Где T_n – начальная температура тела, К;

Y – расстояние от данной точки до оси шва.

Результаты расчета следует представить в табличном виде и на рисунке с соблюдением масштаба и указанием точек, по которым строится график.

3.12. Определение протяженности отдельных участков ЗТВ в данных условиях (участка неполного расплавления, перегрева, нормализации, неполной перекристаллизации, рекристаллизации и старения)

Проведя по формуле расчет распределения максимальных температур вдоль оси y и совместив на одном рисунке полученные данные и диаграмму состояния «железо – углерод» по оси температур определяют протяженность наиболее характерных участков ЗТВ. Размеры зон определяют два раза: по количеству углерода в стали, а также по эквивалентному содержанию углерода:

$$C_{\text{Э}} = \left(C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + V}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \right) \%$$

Где C, Mn, V, \dots - процентное содержание элемента в стали. Содержание меди учитывают при $Cu \geq 0,5 \%$, а фосфора при $P \geq 0,05 \%$.

3.13. Определение мгновенной скорости охлаждения при заданной температуре и сравнение ее с допустимой скоростью для данной марки стали

Мгновенную скорость охлаждения при данной температуре T определяют используя теорию мощных быстродвижущихся источников теплоты без учета теплоотдачи. Скорости охлаждения определяют только для оси шва ввиду их незначительного отличия от скоростей охлаждения околошовных зон. Скорость охлаждения определяют по формуле при наплавке валика на массивное тело:

$$\omega = -2\pi\lambda \frac{(T - T_n)^2}{q/\nu} \quad (15)$$

при однопроходной сварке пластин встык:

$$\omega = -2\pi\lambda c \rho \frac{(T - T_n)^3}{[q/(v\delta)]^2} \quad (16)$$

где T_n – начальная температура изделия или температура сопутствующего подогрева.

Минимальная скорость охлаждения при которой мартенсит будет полностью исключен определяется по формуле:

$$\omega_{\text{доп}} = \frac{T_1 - T_M}{2 \cdot 1,5 t_{\text{min}}} \quad (17)$$

где T_1 – температура, соответствующая точке начала распада аустенита A_{11} ;

T_M – температура, соответствующая мартенситной точке M_M , обозначает начало мартенситных превращений;

t_{MIN} – время минимальной устойчивости аустенита.

T_1 , T_M , t_{min} – находят по диаграмме изотермического распада аустенита для данной марки стали. Скорость охлаждения определяют по формулам (15) или (16) и сравнивают ее с допустимой скоростью охлаждения. Если $\omega_{\text{охл}}$ будет больше $\omega_{\text{доп}}$, то возможно появление закалочных структур, что ведет к трещинообразованию.

Определение минимальной температуры предварительного подогрева, позволяющей избежать появления закалочных структур.

Температуру предварительного подогрева – T_n определяют в случае, если $\omega_{\text{охл}}$ будет больше, чем $\omega_{\text{доп}}$ по формулам (15) или (16).

3.14. Заключение

В заключении приводятся краткие выводы по курсовой работе.

3.15. Список литературы

Оформляется в соответствии с требованиями СТП ТПИ 002-85. В качестве примера оформления списка литературы можно использовать список рекомендуемой литературы, приведенный в настоящих методических указаниях.

3.16. Приложения

В приложениях помещаются необходимые номограммы, функция Бесселя от мнимого аргумента второго рода нулевого порядка и др. материалы.

4.УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ

Объем графической части составляет 5 – 6 листов формата А₄ или А₃ на миллиметровой бумаге.

Содержание графической части оговаривается в задании. Ниже приведен вариант перечня листов графической части:

- 1) график распределения температур вдоль оси шва;
- 2) график распределения температур на поверхности изделия по прямым, перпендикулярным оси шва;
- 3) изотермы на поверхности изделия;
- 4) термический цикл точки;
- 5) распределение максимальных температур в поперечном сечении ЗТВ;
- 6) строение зоны термического влияния.

5.УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

5.1.Общие требования

Пояснительная записка должна быть оформлена в соответствии с ГОСТ 2.105-79, ГОСТ 7.32-81, ГОСТ 1.5-85 и стандартом предприятия СТП ТПИ 002-85.

Текст пояснительной записки следует выполнять машинописным или рукописным способом на листах формата А₄ (297x210) ГОСТ 9327-60. Поля следует оставлять по всем четырем сторонам листа. Размер левого поля – 35 мм, правого – не менее 10 мм, размер верхнего и нижнего полей – не менее 20 мм.

Пояснительную записку выполненную рукописным способом, следует заполнять четким почерком чернилами, пастой или тушью темного цвета (черного, синего, фиолетового). Опечатки, описки и графические неточности допускается исправлять подчисткой или закрашиванием белой краской и нанесением на том же листе исправленного текста, а также путем вклеивания исправленного текста. На одной странице допускается не более (5) пяти исправлений. Повреждения листов, помарки и следы не полностью удаленного текста не допускаются.

5.2.Требования к построению текста

Текст пояснительной записки делят на разделы, подразделы, пункты и подпункты. Каждый раздел следует начинать с нового листа. Наименования разделов записывают в виде заголовка (симметрично тексту) прописными буквами с высотой букв 7 мм. Перенос слов в заголовке не допускается. Точка в конце заголовка не ставится. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Разделы имеют порядковую нумерацию в пределах всей пояснительной записки, подразделы – в пределах раздела и т.д. Нумерация страниц записки, включая иллюстрации, таблицы и приложения должна быть сквозной.

Титульный лист, задание, введение, заключение и список литературы не нумеруется, на последующих страницах номер проставляется в правом верхнем углу.

5.3.Изложение текста

текст записки должен быть кратким, четким, не допускать различных толкований. Требования к изложению текста предписаны СТП ТПИ 002-85 и СТП ТПИ 202-84, ГОСТ 2.105-79, ГОСТ 7.32-81 и ГОСТ 1.5-85.

5.4.Расчеты, формулы

Расчеты должны выполняться с использованием единиц системы СИ. При использовании формул из первоисточников, в которых употреблены несистемные единицы, их конечные значения должны быть пересчитаны в системные единицы. Размерность одного параметра должна быть постоянной в пределах всей записки.

Формулы должны приводиться в общем виде с расшифровкой входящих в них буквенных значений. Высота букв и цифр не менее 2,5 мм и не более 7 мм. Буквы выполняются чертежным шрифтом по ГОСТ 2.304-81. Перенос формул допускается только на знаках арифметических действий с повторением знака на следующей строке.

5.5.Иллюстрации

Иллюстрации (чертежи, схемы, графики, фотографии), которые располагаются на отдельных листах записки, включают в общую нумерацию страниц. Иллюстрации выполняются в соответствии с СТП ТПИ 002-85. Обозначают иллюстрации словом «рис.» И нумеруют в пределах раздела арабскими цифрами. Номер помещают под иллюстрацией.

Иллюстрация должна иметь наименование. Наименование иллюстрации помещают над ней, поясняющий текст – под ней. Номер иллюстрации помещают ниже пояснительных данных. Располагают иллюстрации по тексту после ссылки на них.

5.6.Таблицы

Таблицу помещают в тексте сразу за первым упоминанием о ней. Таблицы нумеруются в пределах раздела. Каждая таблица должна иметь заголовок, помещаемый над таблицей посередине строки, при этом надпись «таблица» помещается выше заголовка, над правым верхним углом таблицы.

Сварочные процессы и оборудование

Методические рекомендации

Составитель Граф Елена Владимировна