

629.4  
1154

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР  
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА  
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

---

Кафедра материаловедения и технологии  
конструкционных материалов

Утверждено  
редакционно-издательским  
советом института

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

по дисциплине

«РЕМОНТ И ПРОИЗВОДСТВО  
СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА»

для студентов специальности  
«ТЕХНОЛОГИЯ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ  
И РЕМОНТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА»

специализации

«ВАГОНЫ. РЕМОНТ, ПРОИЗВОДСТВО И КОНТРОЛЬ  
СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ»

Москва — 1986



Данные методические указания разработаны авторским коллективом в составе: Киселева С. Н., Воронина Н. Н., Торопова М. Н., Смирнова В. Ю.

## ВВЕДЕНИЕ

Большинство существующих способов сварки основано на нагреве материала до пластического состояния или плавления. Во время сварочного процесса температура свариваемого изделия в зоне шва быстро изменяется от температуры окружающей среды до температуры испарения металла. В этом весьма широком температурном промежутке развиваются разнообразные физические и химические процессы: плавление основного и присадочного материала, металлургические реакции в жидкой ванне, кристаллизация расплавленного металла, структурные и объемные изменения в металле шва и околошовной зоне, процессы упругого и пластического деформирования материала, возникновение напряжений. Эти процессы приводят к существенным изменениям свойств и состояния материала и влияют на качество всей конструкции в целом. Для определения характера протекания указанных процессов и методов их регулирования необходимо знать распределение и изменение температур в теле во времени.

Другой основной вопрос, рассматриваемый в теории тепловых процессов при сварке, — определение условий, при которых достигается необходимый нагрев изделия и его сваривание.

Процессы нагревания и охлаждения металла при сварке и местной термической обработке определяются воздействием высококонцентрированных источников теплоты и условиями отвода теплоты от областей действия источников. Источники теплоты, применяемые для сварки, характеризуются эффективной тепловой мощностью, распределением выделяемой теплоты по поверхности или объему изделия и изменением этого распределения во времени.

Настоящая курсовая работа направлена на изучение с помощью математического моделирования теплопереноса при сварочном нагреве изделий и исследование влияния условий сварки на характер температурного поля.

### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Распространение теплоты существенно зависит от формы и размеров тела. Реальные свариваемые изделия имеют весь-

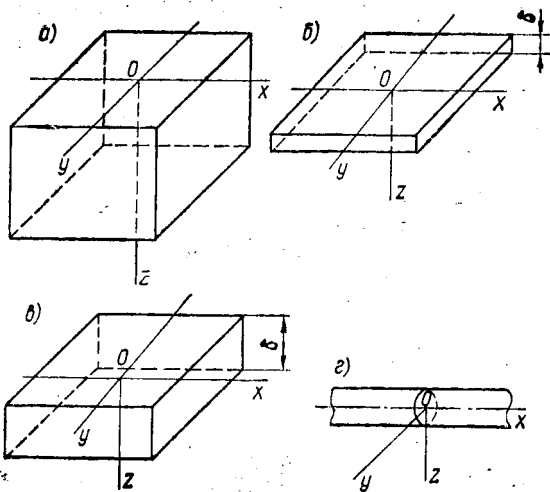


Рис. 1. Расчетные схемы тел

ма разнообразные формы и размеры. Точный учет конфигурации тела приводит к существенным усложнениям расчета и затрудняет его практическое использование. Поэтому во всех случаях, когда пренебрежение второстепенными особенностями формы не приводит к большим погрешностям расчета, целесообразно упрощать формы рассматриваемых тел, сводя их к простейшим. Примеры наиболее распространенных схем нагреваемого тела приведены на рис. 1.

Полубесконечное тело (рис. 1, а). Этой схеме соответствует массивное тело с одной ограничивающей плоскостью  $Z=0$ , со стороны которой действует источник тепла. Распределение температуры  $T$  в момент времени  $t$  в таком теле носит пространственный характер.

$$T = f(x, y, z, t). \quad (1)$$

Бесконечная (полубесконечная) пластина представляет собой тело, ограниченное двумя параллельными плоскостями  $Z=0$  и  $Z=\delta$  (рис. 1, б). При сварке узких пластин (полубесконечная пластина) температура по толщине пластины равномерна. Тепловой поток в этом случае распределяется в плоскости  $OXY$ .

$$T = f(x, y, z, t). \quad (2)$$

Плоский слой представляет собой пластину (рис. 1,в), у которой температура точек по толщине не является равномерной. Тепловой поток в таком теле пространственный, но искаженный наличием граничных поверхностей.

$$T = f(x, y, z, t). \quad (3)$$

Бесконечный (полубесконечный) стержень (рис. 1,г) представляет собой тело, в котором температура равномерна в пределах его поперечного сечения, и ее распределение носит линейный характер.

$$T = f(x, t). \quad (4)$$

### Тепловые характеристики сварочной дуги

Полную тепловую мощность дуги приближенно считают равной тепловому эквиваленту ее электрической мощности. Эффективная тепловая мощность дуги  $q$  (Дж/с) есть количество теплоты, введенное за единицу времени в металл изделия и затраченное на его нагрев:

$$q = \eta_{и} UI, \quad (5)$$

где  $U$  — падение напряжения на дуге, В;

$I$  — сила тока, А;

$\eta_{и}$  — эффективный КПД процесса нагрева.

Экспериментальные данные показывают, что  $\eta_{и}$  изменяется в следующих пределах: 0,70—0,85 — при сварке открытой дугой металлическими электродами; 0,90—0,99 — при сварке под флюсом; 0,50—0,75 — при сварке неплавящимся вольфрамовым электродом.

### Источники теплоты

Нагрев тел может производиться разнообразными источниками теплоты, различающимися между собой по распределенности, времени действия и движению их относительно тела. При определенных условиях все многообразие источников теплоты можно получить, пользуясь мгновенным точечным источником теплоты.

Мгновенный точечный источник теплоты — понятие абстрактное. Физической схемой, примерно воспроизводящей

мгновенный точечный источник, является случай, когда в очень малый объем за весьма малый промежуток времени введено некоторое количество теплоты.

Мгновенный линейный источник теплоты представляет собой комбинацию мгновенных точечных источников, действующих одновременно и расположенных по линии.

Мгновенный плоский источник теплоты представляет собой совокупность мгновенных точечных источников теплоты, действующих одновременно и расположенных в одной плоскости.

Непрерывно действующие источники теплоты представляют собой совокупность мгновенных источников, действующих непрерывно или достаточно длительно. Процесс распределения теплоты в теле выражается уравнением

$$T(R, t) = T_0 + \frac{Q}{c\gamma(4\pi at)^j} \exp\left(-\frac{R^2}{4at}\right), \quad (6)$$

где  $T$  — температура тела в момент времени  $t$  в точке с координатами  $X, Y, Z$ , °С;

$T_0$  — начальная температура или температура подогрева тела, град, °С;

$t$  — время, отсчитываемое с момента введения теплоты, с;

$Q$  — введенная теплота за конечный промежуток времени, Дж;

$c\gamma$  — объемная теплоемкость, Дж/см<sup>3</sup> · град;

$c$  — удельная массовая теплоемкость, Дж/г · град;

$\gamma$  — плотность, г/см<sup>3</sup>;

$a = \frac{\lambda}{c\gamma}$  — коэффициент температуропроводности, см<sup>2</sup>/с;

$\lambda$  — коэффициент теплопроводности, Дж/см · с · град;

$R$  — расстояние от места ввода теплоты  $Q$  до рассматриваемой точки, см.

Для мгновенного точечного источника

$$R^2 = x^2 + y^2 + z^2, \quad j = 3/2;$$

для мгновенного линейного источника

$$R^2 = x^2 + y^2, \quad j = 1;$$

для мгновенного плоского источника

$$R^2 = x^2, \quad j = 1/2.$$

При нагреве массивного полубесконечного тела подвижным точечным источником теплоты уравнение поля температур имеет вид

$$T = T_0 + \frac{q}{2\pi\lambda R} \exp\left(-\frac{V_{св}x}{2a} - \frac{V_{св}R}{2a}\right), \quad (7)$$

где  $V_{св}$  — скорость сварки, см/с.

При нагреве пластины линейным подвижным источником теплоты с равномерным распределением ее по толщине уравнение поля температур имеет вид

$$T = T_0 + \frac{q}{2\pi\lambda\delta} \exp\left(-\frac{V_{св}x}{2a}\right) K_0\left(\frac{V_{св}R}{2a} \sqrt{1 + \frac{4ba}{V_{св}^2}}\right), \quad (8)$$

где  $K_0(U)$  — функция Бесселя 1-го рода нулевого порядка;  
 $\delta$  — толщина пластины, см;

$b = \frac{2\alpha}{c\gamma\delta}$  — коэффициент температуропроводности, 1/с;

$\alpha$  — коэффициент теплоотдачи, Дж/см<sup>2</sup>·с·град.

При сварке довольно часто применяются мощные источники теплоты, осуществляющие сварку с весьма большими скоростями, в то время как погонная энергия ( $q_n = q/V_{св}$ ) сохраняет некоторое количественное значение. Такие источники получили название мощные быстродвижущиеся источники теплоты. При такой схеме моделирования процесса сварки тепловые потоки в направлении, параллельном оси движения источника теплоты (ОХ), ничтожно малы по сравнению с тепловыми потоками в перпендикулярном направлении. Проведя замену  $t = -x/V_{св}$ , с целью упрощения расчета можно с достаточной точностью получать распределение температур в свариваемом теле.

Для быстродвижущегося точечного источника на поверхности полубесконечного тела температурное поле может быть определено по уравнениям:

$$T = T_0 + \frac{q_n}{2\pi\lambda t} \exp\left[-\frac{R^2}{4at}\right], \quad (9)$$

или

$$T = T_0 - \frac{q}{2\pi\lambda x} \exp\left[\frac{R^2 V_{св}}{4ax}\right], \quad (10)$$

где

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

Для быстродвижущегося линейного источника при сварке пластин температурное поле может быть определено по уравнениям:

$$T = T_0 + \frac{q_{\text{п}}}{\delta \sqrt{4\pi\lambda c \gamma t}} \exp\left(-\frac{y^2}{4at} - bt\right), \quad (11)$$

или

$$T = T_0 + \frac{q}{\delta \sqrt{4\pi\lambda c \gamma V_{\text{св}} |x|}} \exp\left(\frac{y^2 V_{\text{св}}}{4ax} + \frac{bx}{V_{\text{св}}}\right). \quad (12)$$

В формулах (10) и (12) значение  $x$  берется со знаком минус, так как температурное поле определяется за источником теплоты.

В тех случаях, когда границы тела расположены вблизи источника теплоты, возникает необходимость учета отражения теплоты от границ. Границы тела в первом приближении считаются не пропускающими теплоту, т. е. их принимают как адиабатические. Теплота от источника и теплота отражения от границ тела суммируется, что достаточно точно описывает действительное температурное поле. Для учета отраженной теплоты вводятся дополнительные фиктивные источники, расположенные на таком же расстоянии от границы, как и действующие источники, но с противоположной стороны (рис. 2).

Нагрев пластины точечным источником, движущимся на ее поверхности (плоский слой), может быть определен по уравнению

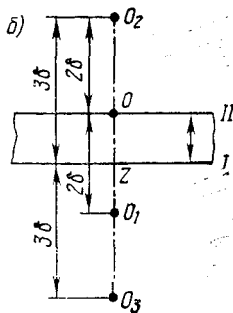
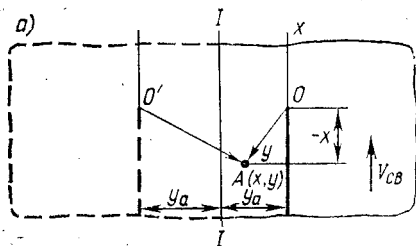


Рис. 2. Схемы введения дополнительных источников для учета отражения теплоты: а — от границы 1—I; б — от границ I и II



$$T = T_0 + \frac{2q}{c\gamma (4\pi a)^{3/2}} \exp\left(-\frac{V_{\text{св}}x}{2a}\right) \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{V_{\text{св}}^2 t}{4a} - \frac{R^2}{4at}\right) \frac{dt}{t^{3/2}}, \quad (13)$$

где  $R^2 = x^2 + y^2 + (z - 2n\delta)^2$ ;  
 $n$  — целые числа от  $-\infty$  до  $+\infty$ .

Для быстродвижущегося точечного источника теплоты на поверхности плоского слоя температурное поле может быть определено по уравнению

$$T = T_0 + \frac{q_n}{\delta c\gamma V \sqrt{4at}} \exp\left(-\frac{y^2}{4at} - bt\right) \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \times \\ \times \frac{2\delta}{\sqrt{4\pi at}} \exp\left(-\frac{(2n\delta - Z)^2}{4at}\right). \quad (14)$$

При сварке закаливающих сталей и материалов, в которых происходят фазовые превращения при различных температурах, существенное влияние на качество сварного соединения оказывает скорость нагрева и охлаждения. Мгновенная скорость охлаждения  $W$  ( $^{\circ}\text{C}/\text{сек}$ ) является первой производной температуры во времени

$$W = \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial T}{\partial(x/V_{\text{св}})} = V_{\text{св}} \frac{\partial T}{\partial x} \approx V_{\text{св}} \frac{\Delta T}{\Delta x}. \quad (15)$$

В соответствии с этим выражением можно провести оценку скоростей нагрева и охлаждения путем построения касательных к кривым  $T(x)$ , либо провести дифференцирование приведенных выше температурных функций с последующим вычислением полученных функций.

Следует учитывать, что режимы сварки выбирают по скорости охлаждения  $W_0$  внутри некоторого оптимального интервала  $\Delta W_{\text{опт}}$ , в котором уменьшается возможность образования трещин в шве и околошовной зоне. Данные по  $\Delta W_{\text{опт}}$  для ряда материалов приведены в табл. 2.

#### РАСЧЕТНЫЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ

Для расчетов температур при сварке рекомендуется использовать коэффициенты, приведенные в табл. 1.

## Теплофизические коэффициенты

Материал	$\lambda$ , Дж/см · с · град	$c$ , Дж/г · град	$\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	$a$ , см <sup>2</sup> /с	$\alpha$ , Дж/см <sup>2</sup> · с · град
Малоуглеродистые и низколегированные стали	0,38 ÷ 0,42	0,51	7,8	0,075 ÷ 0,09	—
Нержавеющие аустенитные стали	0,25 ÷ 0,33	0,58	7,8	0,053 ÷ 0,07	—
Медь	3,7 ÷ 3,8	0,48	8,9	0,95 ÷ 0,96	(3,5 ÷ 6) 10 <sup>-3</sup>
Латунь	1,17	0,41	8,3	0,34	—
Алюминий	2,7	0,95	2,7	1,0	—
Титан	> 0,17	0,6	4,5	0,06	—

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Для выполнения курсовой работы студент получает задание (табл. 2), в котором указаны материалы, геометрия и размеры тела, подвергаемого сварочному нагреву, а также условия его сварки. Кроме того, в задании указывается, влияние каких именно параметров на температурное поле необходимо исследовать путем математического моделирования, какие распределения температуры и в какие моменты времени должны быть рассмотрены, для каких точек должны быть построены кривые термических циклов, скоростей охлаждения и т. д.

По полученному заданию необходимо:

выбрать, используя литературу, схему нагреваемого тела и источник теплоты. Такой выбор должен быть обоснован теоретически;

составить расчетную схему и алгоритм решения задачи с разработкой общей блок-схемы для решения на ЭВМ;

ознакомиться с порядком работы пакета программ по расчету температурных полей при сварке;

подготовить исходные данные для расчета заданного варианта и произвести расчет;

по полученным результатам в соответствии с заданием построить и описать необходимые распределения температур, изотермы и т. п.;

сделать выводы по работе и оформить отчет.

## ЗАДАНИЕ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

1. Построить в аксонометрической проекции поле температур в плоскости, лежащей на поверхности тела.

2. Построить распределение температур в сечениях, перпендикулярных оси шва, на расстояниях  $X_1$  и  $X_2$  позади источника.

3. Построить распределение температур для точек, отстоящих от оси шва на расстояния  $Y_1$  и  $Y_2$ .

4. Построить изотермы температур для  $T_1, T_2, T_3$ .

5. Построить кривую распределения максимальных температур в сечении, перпендикулярном оси шва, и определить по ней ширину зоны, нагреваемой выше температуры  $T_n$ .

6. Построить кривые охлаждения для точек, отстоящих от оси шва на расстояния  $U_1$  и  $U_2$ .

7. Построить изотермы для определения влияния на температурное поле скорости сварки, мощности дуги и теплофизических характеристик:

а) скорости сварки  $V_{св}$  при  $q = \text{const}$  (заданную скорость уменьшить (увеличить) в 2 раза);

б) эффективной тепловой мощности дуги  $q$  при  $V_{св} = \text{const}$  (заданную  $q$  уменьшить (увеличить) в 2 раза);

в) скорости сварки  $V_{св}$  и эффективной тепловой мощности дуги  $q$  при  $q/V_{св} = \text{const}$  (заданные скорости и мощность источника одновременно уменьшить (увеличить) в 2 раза);

г) теплофизических свойств металла (заданный материал заменить на два других).

8. Разработать предложения:

а) по уменьшению ширины зоны, нагреваемой выше температуры  $T_n$ ;

б) по уменьшению скорости охлаждения для точек, отстоящих от оси шва на расстояния  $Y_1$  и  $Y_2$  (добиться получения скорости охлаждения для этих точек в пределах оптимального интервала скоростей охлаждения  $\Delta W_{\text{опт}}$ ).

## ПОРЯДОК ПОДГОТОВКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

В пакете программ по расчету температурных полей от нагрева сварочными источниками теплоты предусмотрены следующие схемы:

1. Линейный подвижный источник теплоты (модуль 1);

2. Точечный подвижный источник теплоты на поверхности массивного тела (модуль 2);

Варианты

Вариант	Режим сварки			Размеры изделий, мм*		Материал свариваемых пластин	T <sub>п</sub> , °С
	I, А	U, В	V <sub>св</sub> , м/ч	Размеры изделий, мм*			
				b	δ		
1	310	25	3,6	400	200	09Г2 17ГС	650
2	400	16	18	120	6	АМг-6 Ст45	300
3	300	28	25	300	24	Ст2 10Г2Б	600
4	400	38	18	400	200	10ГТ 10Г2СД	600
5	300	34	18	100	8	25ХГСА 10ХСНД	900
6	300	26	9	400	200	40Х ВТ1-0	650
7	120	11	21	80	2	ВТ-5 АМц	1100
8	330	35	18	200	12	15ХСНД 16ГС	300
9	550	30	50	400	80	15Х1МФ Х5М	650
10	430	30	20	150	8	Ст2 Ст3кп	1200
11	600	32	12	400	200	М1 10Г2У	1000
12	700	42	17	300	10	14Г2 ВТ22	1100
13	250	20	3,6	300	18	ВТ14М ЛС59-1	1500
14	600	32	30	500	200	ВТ22 ВТ6	1000
15	370	27	20	300	8	16ГС 10ГТ	850
16	150	12	21	500	200		1000
17	300	30	20	100	6		600

Таблица 2

заданий

$X_1$ , см	$X_2$ , см	$Y_1$ , см	$Y_2$ , см	$T_1$ , °C	$T_2$ , °C	$T_3$ , °C	$\Delta W_{\text{опт}}$ , °C/с
-1,50	-2,50	0,55	1,5	1500	750	600	1,0—15 10—30
-0,5	-2	0,33	0,99	650	300	400	—
-1	-2,0	0,5	1,0	800	400	200	2,0—4,0 6—18
-1,5	-2,0	1	2	1500	1000	600	0,1—70 0,1—40
-2	-3	1,0	1,5	1500	950	700	1,0—15 0,07—1,3
-2,0	-3,0	1	2	1100	700	500	0,8—15 4,0—14
-1	-2	0,5	1,0	800	600	400	1—500 5—50
-0,4	-1,2	0,6	1,0	500	400	300	—
-0,5	1,4	0,5	1	1400	800	600	1,8—9,0 1,0—6,0
-0,5	1,0	1	1,5	1300	1000	800	<40 0,8—8,0
-2	-2,5	0,5	1,5	1000	800	650	6—18 1,2—12
-1	-1	1,0	2,0	1100	500	300	—
-0,5	-1,5	0,5	1,0	1000	800	700	0,7—3,8 1,0—1,2
-1,0	-1,5	0,5	1,0	1700	1000	600	100—600 1—8
-1	-2,5	0,5	1,5	850	600	450	—
-1,0	-2,0	0,5	1,0	850	600	450	100—600 2—40
-2,5	-3,5	0,5	1,0	1000	800	600	1,0—12,0 0,1—40

Вариант	Режим сварки			Размеры изделий, мм*		Материал свариваемых пластин	$T_{п}$ , °С
	I, А	U, В	$V_{св}$ , м/ч	b	δ		
18	330	30	30	200	18	<u>15Х12ВМФ</u> Х5ВА	600
19	650	30	30	400	100	<u>10ХГ2Н</u> 23Г	550
20	240	27	45	150	3	<u>15Х11МФ</u> Х5ВФА	550
21	140	20	17	400	30	<u>14ХГС</u> 12ХГН	550
22	580	16	10,5	200	10	АМг6	300
23	200	28	20	180	16	<u>14Г2</u> 14ХГ2	600
24	120	16	80	100	24	<u>40Х</u> 23Г	550
25	250	34	18	100	6	<u>МСт5</u> БСт3	600

\* Длина пластины вдоль шва неограничена.

3. Точечный подвижный источник теплоты на поверхности толстой пластины (модуль 3);

4. Линейный подвижный источник теплоты, движущийся вблизи края пластины (модуль 4).

При использовании в решении задачи линейного источника теплоты температура по толщине свариваемых листов в любом сечении остается постоянной, а при точечном источнике — изменяет свои значения. Поэтому в результате расчета сварочного процесса может быть получено двух- или трехмерное поле распределения температур, что необходимо учитывать при подготовке исходных данных для решения задачи. В этих схемах не рассматривается период теплонасыщения, т. е. процесс считается установившимся (стационарным). При расчете установившегося температурного поля полагается, что источник сварочного нагрева находится в точке с координатами:  $x = 0$ ,  $y = 0$ ,  $z = 0$ ,

$X_1$ , см	$X_2$ , см	$Y_1$ , см	$Y_2$ , см	$T_1$ , °C	$T_2$ , °C	$T_3$ , °C	$\Delta W_{\text{опт.}}$ °C/с
— 1,5	— 2,0	1	1,5	800	400	200	< 25
							0,8—15
— 1,0	— 3,0	0,4	0,6	750	600	400	1,5—15
							2,5—70
— 1,5	— 2,0	1,0	0,5	850	600	400	< 40
							0,9—30
— 0,25	— 0,5	0,25	0,5	700	400	200	0,8—2,6
							1,2—52
— 0,5	— 1,5	0,5	1	600	400	200	—
							1,0—1,2
— 0,5	— 1	0,5	1,0	600	400	200	1,2—5,5
							4,0—14
— 1	— 2	1,0	1,5	850	650	450	2,5—70
							0,12—40
— 0,5	— 1	0,5	1,0	600	400	200	1,4—15

Для работы с библиотечными модулями пакета программ подготавливаются две группы перфокарт. Первая группа, состоящая из четырех перфокарт, задает геометрию поля температур. На первой перфокарте, имеющей формат 2/5 и содержащей два числа, набивается последовательно номер библиотечного модуля и количество измерений поля температур (двух- или трехмерное). На остальных трех перфокартах первой группы в формате 15, 2E10.3 набиваются последовательно количество узлов в направлении координатной оси, минимальное и максимальное значение координаты по оси (вторая перфокарта описывает сетку по оси  $X$ , третья — по оси  $Y$ , четвертая — по оси  $Z$ ).

При составлении сетки координат точек, в которых необходимо получить значения температур, следует учитывать: возможный максимальный размер двумерного поля по оси  $X$  — 300 узлов, по оси  $Y$  — 40 узлов; трехмерного поля по

оси  $X$  — 40 узлов, по оси  $Y$  — 40 узлов, по оси  $Z$  — 5 узлов. Следует избегать того, чтобы точка с координатами  $X = 0$ ,  $Y = 0$ ,  $Z = 0$  попадала в один из узлов сетки, так как в этой точке расчетные значения температур не соответствуют действительности.

Вторая группа перфокарт задает параметры сварочного процесса и теплофизические характеристики свариваемых изделий. Эта группа перфокарт набирается в формате 5E10.3 в зависимости от принятой схемы нагрева и во всех перечисленных ниже случаях состоит из четырех перфокарт.

1. Для линейного подвижного источника теплоты на первой перфокарте набираются последовательно числовые значения коэффициента теплопроводности ( $\lambda$ ), удельной теплоемкости ( $c$ ), плотности ( $\gamma$ ) и толщины пластины ( $\delta$ ); на второй — скорости сварки ( $V_{св}$ ), эффективной тепловой мощности источника ( $q$ ), начальной температуры ( $T_0$ ) и коэффициента теплоотдачи ( $\alpha$ ). Третья и четвертая перфокарты остаются пустыми.

2. Для точечного подвижного источника теплоты на поверхности массивного тела на первой перфокарте набираются последовательно числовые значения коэффициента теплопроводности ( $\lambda$ ), удельной теплоемкости ( $c$ ), плотности ( $\gamma$ ); на второй — скорости сварки ( $V_{св}$ ), эффективной тепловой мощности ( $q$ ), начальной температуры ( $T_0$ ); на третьей — 0.0 0.0, толщина слоя ( $\delta'$ ) и 0.0; четвертая перфокарта — пустая.

3. Для точечного подвижного источника теплоты на поверхности толстой пластины на первой перфокарте набираются последовательно числовые значения коэффициента теплопроводности ( $\lambda$ ), удельной теплоемкости ( $c$ ), плотности ( $\gamma$ ) и толщины пластины ( $\delta$ ); на второй — скорости сварки ( $V_{св}$ ), эффективной тепловой мощности источника ( $q$ ) и начальной температуры ( $T_0$ ); на третьей — 0.0 0.0 0.0 и толщины слоя ( $\delta'$ ); на четвертой — 0.0 0.0 0.0 0.0 и коэффициента точности функции Бесселя ( $10^{-3} \div 10^{-4}$ ).

4. Для линейного подвижного источника теплоты, движущегося вблизи края пластины, на первой перфокарте набираются последовательно числовые значения коэффициента теплопроводности ( $\lambda$ ), удельной теплоемкости ( $c$ ), плотности ( $\gamma$ ) и толщины пластины ( $\delta$ ); на второй — скорости сварки ( $V_{св}$ ), эффективной тепловой мощности источника ( $q$ ) и начальной температуры ( $T_0$ ); на третьей — 0.0 0.0 0.0, ширины первой пла-



стины ( $h_1$ ) и ширины второй пластины ( $h_2$ ); на четвертой — 0.0 0.0 0.0 и коэффициента точности вычислений ( $10^{-4} \div 10^{-5}$ ).

Курсовая работа должна содержать:

1. Титульный лист.
2. Оглавление.
3. Задание к курсовой работе.
4. Выбор и обоснование расчетной схемы и источника теплоты.
5. Разработку и описание алгоритма.
6. Описание полученных результатов.
7. Выводы.
8. Список использованной литературы.

Графическая часть выполняется на миллиметровой бумаге формата А3 или А4 в одинаковом масштабе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. — М.: Машгиз, 1951, 296 с.
2. Теоретические основы сварки/Под ред. В. В. Фролова. — М.: Высш. шк., 1970, 592 с.
3. Киселев С. Н., Аксенова Л. А., Засыпкин В. В. Технология сварного производства при ремонте подвижного состава, Учебное пособие. МИИТ, 1983.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	3
Основные понятия и определения . . . . .	3
Расчетные теплофизические коэффициенты . . . . .	9
Порядок выполнения курсовой работы . . . . .	10
Задание к курсовой работе . . . . .	11
Порядок подготовки исходных данных . . . . .	11
Список литературы . . . . .	18

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К КУРСОВОЙ РАБОТЕ  
по дисциплине  
«РЕМОНТ И ПРОИЗВОДСТВО СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА»

Редактор М. М. Т а м а р о в с к а я  
Техн. редактор Н. Н. В а с и л ь е в а  
Корректор И. Н. Т е р е ш к и н а

---

Сдано в набор 15.07.85 г. Подписано в печать 10.09.86 г.  
Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Печ. л. 1,25. Уч.-изд. л. 1,0. Зак. 1431. Тир. 200.  
Бесплатно.

Редакционно-издательский отдел МИИТа

---

Типография МИИТа, Москва, ул. Образцова, 15.