

II ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ТА ОБРОБКИ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

УДК 621.785:681.5

Канд. техн. наук В. В. Кравчина¹, Ю. Н. Шувалов²

¹ Запорізька державна інженерна академія, ² ТОВ «Селт»; м. Запоріжжя

КОНСТРУЮВАННЯ, КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ФОРМУВАННІ ПРУЖНОЇ СТРІЧКИ

У роботі проведено розрахунок параметрів процесів відпалу при формуванні пружної стрічки. Потужність високотемпературного відпалу до ($T = 900$ °С) становить 655 Вт, напруга та струм, які прикладається до локальної ділянки полоси відпалу, становлять величини відповідно $U = 5,35$ В та $I = 113$ А, а коефіцієнт корисної дії ККД $\eta = 0,94$. Потужність, яка витрачається на низькотемпературний відпал ($T = 280$ °С) при відпусканні, становить 147 Вт. У роботі також наведені розроблена конструкція, електричні принципи схеми локального відпалу рухомої полоси та контролера автоматичного підтримування температури відпалу при відпусканні полоси.

Ключові слова: відпал, електрична схема, контроль параметрів, пружна смуга, температура.

Вступ

Процеси відпалу в технології термічної обробки, мають добре відпрацьовані режими для формування пружних матеріалів великих об'ємів. Застосовування такого обладнання для формування малогабаритної пружної стрічки малих об'ємів призводить до значних втрат енергії і отже стає економічно не вигідним. Можливості прямого перетворення електричної енергії в теплову енергію є ключем вирішення задачі економічного формування складових матеріалів, необхідних для створення нового обладнання, яке привертає увагу багатьох установ. Формування пружної стрічки для стрічкових ножів необхідне для створення продуктивних установок ефективного розрізання різної продукції, наприклад, продукції тваринництва. Виготовлення пружної стрічки для стрічкових пил дозволяє проводити процеси формування заготовок в установках автоматизованого розпилювання брусів деревини та металу, що важливо в цілому для промисловості країни. Є й інші галузі, які мають потребу у використанні пружної смуги.

При створенні конструкції установки одночасного відпалу, гартування та відпускання важливим етапом є розрахунок та контроль параметрів процесу відпалу при термічній обробці смуги.

Постановка задачі

Малі габаритні розміри, висока економічність, надійність процесів та легкість керування є визначаль-

ними вимогами, якими координувалися при конструюванні установки з безпосереднім локальним відпалом електричним струмом.

Печі для відпалу при 900 °С, як правило мають потужність до 10 кВт та більше. Тому важливою є розробка економічної установки, де досягається зменшення затрат при відпалі, підвищення економічності та продуктивності при формуванні пружної смуги в цілому. Відповідно метою роботи є створення конструкції та технології, яка дозволяє досягти зменшення затрат при відпалі стрічки матеріалу, підвищення економічності та продуктивності при формуванні пружної смуги. Задачею роботи є розрахунок параметрів процесу відпалу, розробка конструкції та електричної принципової схеми установки, проведення розрахунків для визначення параметрів режиму економічного технологічного процесу.

Огляд літератури

Для виготовлення пружної стрічки застосовують пружинну сталь. У роботі застосовувалася сталь 65Г. Твердість пружин знаходиться в межах $R_c = 40 \dots 50$. При прийманні пружини перевіряють на твердість і на пружність. Метод перевірки повинен, по можливості, наближатися до фактичних умов роботи пружин (розтягування, стискування або вигину). Пружини, виготовлені з термічно обробленої стрічки класів Н, П і В, проходять додатковий відпуск при температурі 250...350 °С для зняття внутрішньої напруги, що виникла

при їх гартуванні, і для підвищення пружних властивостей пружин (розтягування, стискування або вигину) зі сталі 65Г та інших пружино-ресорних сталей [1, 3–5].

Конструкція таблеткових силових напівпровідникових приладів передбачає застосування пружних стрічок у вигляді кілець, які притискають та утримують ізоляційну плівку по периметру бокової поверхні металокерамічного корпусу. Ці стрічки при аварійній ситуації забезпечують направлене поверхневе каналювання струмів електричного замикання і перешкоджають виникненню об'ємних каналів струму, які можуть призводити до об'ємного проплавлення напівпровідникового елемента та катастрофічного замкнення електричної апаратури в цілому.

Матеріали та методи. Розрахунок параметрів процесів відпалу

Формування пружної полоси проводиться із листа сталі 65Г товщиною 0,5 мм. Лист розрізається на стрічки необхідної ширини. При фізичному виконанні формувалися стрічки шириною 5 мм. Для надання стрічці сталі 65Г пружних властивостей необхідно проводити процеси відпалу, гартування та відпускання.

При проведенні розрахунків визначається струм локального шару відпалу стрічки, опір цієї ділянки, кількість Джоулевої теплоти, теплоти, яка втрачається в навколишньому просторі при проведенні процесу, коефіцієнт корисної дії (ККД) установки.

Кількість теплоти Q_k (кал/с), яка витрачається в статичному режимі при кондукції, визначається (законом Фур'є) за виразом:

$$Q_T = \alpha_T \frac{S}{l} \Delta T, \quad (1)$$

де α_T – коефіцієнт теплопровідності, кал/(с см²Н⁰С); S – площа, через яку передається тепловий потік, см²; l – довжина шляху передавання теплоти, см; ΔT – різниця температур між охолоджуваним елементом та навколишнім середовищем, °С. Але для рухомої стрічки в місці введення полоси теплопередача кондуктивним способом відсутня, а з протилежної сторони відбувається корисна зміна енергії, яка витрачається на протікання процесу гартування. Тому кондуктивний вид теплових втрат при розрахунку ККД не враховувався.

Потужність теплового потоку теплопередачі випромінюванням визначається законом Стефана-Больцмана і, в загальному вигляді, виражається співвідношенням:

$$P_T = \alpha_B \cdot (T_i - T_j) \cdot F, \quad (2)$$

де α_B – коефіцієнт теплообміну випромінюванням, Вт/(м²К), F – площа випромінювальної поверхні, T_i, T_j – температура випромінювальних поверхонь. Коефіцієнт теплопередачі випромінюванням у простому випадку визначається за допомогою виразу:

$$\alpha_B = 5,6710^{-8} \varepsilon \Phi_{ij} \frac{(T_i + 273)^4 - (T_j + 273)^4}{T_i - T_j}, \quad (3)$$

де $c_0 = 5,673 \cdot 10^{-8}$ (Вт/м²·К⁴) – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, ε – наведена ступінь чорноти випромінювальної поверхні, Φ_{ij} – коефіцієнт, який показує, яка частина енергії тіла і потрапляє на тіло j .

Теплопередача конвекцією має місце в середовищі газу або рідини, дотичної з нагрітими або охолодженими поверхнями твердого тіла, і визначається законом Ньютона-Рімана. Кількість теплоти, яка вилучається з поверхні природною конвекцією в середовищі повітря, визначається законом Ньютона-Рімана:

$$Q_K = 4,187 \cdot 10^{-4} h_c F \Delta T, \quad (4)$$

де h_c – коефіцієнт конвективної теплопередачі конвекцією, визначуваний з виразу $h_c = 0,52C \left(\frac{55\Delta T}{l} \right)^{0,25}$, де

C – постійна, яка залежить від орієнтації поверхні (для вертикальної поверхні $C = 0,56$; для верхньої горизонтальної поверхні $C = 0,52$; для нижньої горизонтальної поверхні $C = 0,26$); l – довжина шляху теплового потоку для горизонтальної поверхні визначається відношенням подвоєного добутку довжини на ширину до суми довжини та ширини.

Для проведення розрахунків сформуємо початкові умови: $\delta = 20$ см – довжина ділянки локального відпалу; $h = 0,05$ см – товщина смуги; $b = 0,5$ см – ширина смуги; площа перетину смуги $S_n = h \cdot b = 0,025$ см²; площа ділянки смуги локального відпалу – $F = 2 \delta (h + b) = 22$ см²; значення температур в крайніх положеннях ділянки смуги локального відпалу – $t_1 = 20$ °С, $t_2 = 900$ °С, та середня температура – $t_c = \frac{t_1 + t_2}{2} = 460$ °С; $C = 700$ Дж/(кг К) – середня питома теплоємність; $\gamma = 7,731 \dots 7,671$ г/см³ – питома щільність смуги 65 Г.

Визначимо масу ділянки смуги локального відпалу $m = \gamma S \delta / 1000 = 3,865 \cdot 10^{-3}$ кг та розрахуємо його опір:

$$R = \rho l / S = 0,063 \text{ Ом}, \quad (5)$$

де $\rho = 66 \cdot 10^{-6}$ Ом·см визначається як напівсума питомих опорів участка полоси локального відпалу, який змінюється від $17,5 \cdot 10^{-6}$ до $114 \cdot 10^{-6}$.

Втрати теплоти з участка полоси локального відпалу за рахунок випромінювання розрахуємо за формулами (2) та (3). Рахуючи, що приведена ступінь чорноти випромінюючої поверхні $\varepsilon = 0,8$ знайдемо $P_T = 23,233$ Вт.

Втрати кількості теплоти, яка вилучається з поверхні природною конвекцією визначимо за формулою (4).

Відповідно, $Q_K = 12,223$ Вт.

Швидкість руху смуги становить $V = 5,2$ см/с, а тривалість часу відпалу складає $\tau = l/V = 3,846$ с. Корисна потужність, яка витрачається на нагрівання ділянки смуги локального відпалу:

$$P_0 = mC(t_2 - t_1) / \tau. \quad (6)$$

Відповідно $P_0 = 619,098$ Вт. Коефіцієнт корисної дії (ККД) визначається за формулою:

$$\eta = P_0 / (P_0 + P_T + Q_K) = 0,946. \quad (7)$$

Енергія, яка виділяється при протіканні електричного струму і яка витрачається на відпал у вигляді джоулевої теплоти, визначається за формулою:

$$Q_K = I^2 R \tau, \quad (8)$$

де τ є тривалість часу відпалу. Порівняння виразів (6) та (8) дозволяє визначити величину струму I :

$$I = 0,032 \cdot S_n \sqrt{\gamma \cdot C \frac{t_2 - t_1}{\rho t \eta}}. \quad (9)$$

Величина струму $I = 113$ А.

Використовуючи вираз (9), визначимо величину падіння напруги на відрізку локального відпалу смуги наступним чином:

$$U = 0,032 \cdot \sqrt{l \cdot \gamma \cdot C \rho (t_2 - t_1) \frac{V}{\eta}}. \quad (10)$$

Відповідно, $U = 5,35$ В.

Повна потужність, яка витрачається в процесі локального відпалу ділянки смуги, із врахуванням формул (6) та (7), визначається за виразом:

$$N = mC(t_2 - t_1) / \tau \cdot \eta = 655 \text{ Вт}. \quad (11)$$

При визначенні параметрів режиму відпускання, за рахунок пропускання електричного струму, уточнювалися такі зміни до початкових умов: $t_{21} = 20$ °С;

$t_{22} = 280$ °С; $\gamma_2 = 7,81$ г/см³ – питома щільність полоси 65Г. Потужність, яка витрачається на відпал при відпусканні, визначається за формулою:

$$P_{02} = h \cdot b \cdot \gamma_2 \cdot c (t_{22} - t_{12}) V = 140 \text{ Вт}, \quad (12)$$

яка забезпечується ефективною напругою 60 В та струмом в 2,5 А.

Для більш зручного моделювання процесу формування пружної смуги використовувався опосередкований відпал відпускання. У цьому випадку повна потужність процесу відпускання при ККД $\eta = 0,5$ становить 280 Вт, яка забезпечується ефективною напругою 70 В та струмом в 4 А.

Економічність установки досягається шляхом локального підведення електричної енергії до ділянки смуги, де відбувається відпал шарів матеріалу.

Результати експерименту

У роботі розроблено установку потужністю 0,6–0,7 кВт, де до мінімуму зменшені втрати електроенергії та покращена економічність порівняно з серійно використовуваними процесами. Крім економічності, розроблена установка відзначається високою продуктивністю за рахунок об'єднання в одній установці трьох складових процесів: відпалу, гартування та відпускання. На рис. 1 наведено загальний вид та габаритні розміри установки формування пружної смуги. На рисунку видно структурні складові та їх функціональне призначення. Пружні контакти 1 та 2 забезпечують омичне підведення електричного струму до участка локального відпалу рухомої смуги.

Для установки, показаної на рис. 1, для процесу відпускання застосовано піч у вигляді кварцової труби із зовнішнім резистивним елементом. Така конструкція більш зручна для проведення дослідницьких та налаштувальних робіт. Блоки живлення установки забезпечують створення, у разі печі відпускання, ефективної напруги в 60...70 В та величини струму в 2,0...4,5 А, а в разі високотемпературного відпалу 900 °С, напруги в 5...7 В та величини струму в 100...150 А.

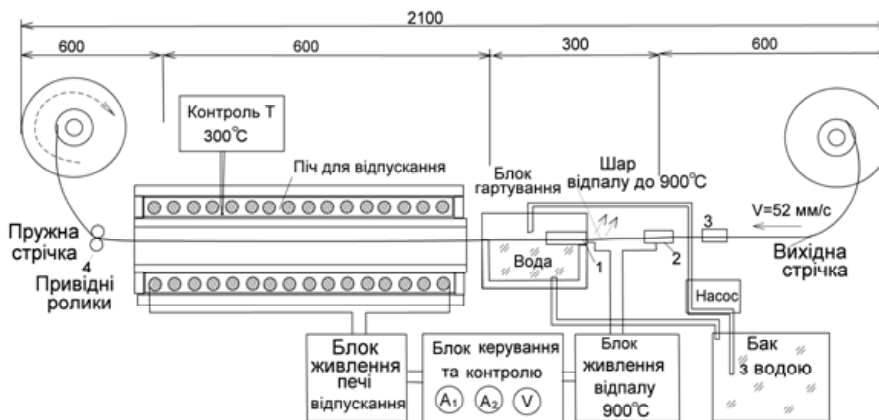


Рис. 1. Загальний вигляд та габаритні розміри установки формування пружної смуги, де 1 та 2 – підпружинені електричні контакти ділянки локального відпалу рухомої смуги, 3 – пружні контакти зі вставками з наждака для зачищення смуги

У кінематичній схемі установки використовується електричний асинхронний двошвидкісний двигун типу АИР71/2. Подібні двигуни призначені для комплектації електроприводів різних механізмів побутової техніки (деревообробні верстати, насоси, компресори та ін.) і засобів малої механізації побутового призначення. Живлення від мережі змінного струму напругою 220 В. Електродвигун зі спеціальними валами і фланцями, приводить в дію зубчастий мотор-редуктор, з якого рух передається на прийомну касету пружної смуги, що забезпечує необхідну швидкість переміщення смуги.

Конструкція блоку гартування установки формування пружної смуги як охолоджувальної рідини передбачає використання проточної води.

Електрична принципова схема керування джерелами живлення кіл відпалу установки патентування показана на рис. 2. Фазове регулювання потужності відпалу в електричному колі відпускання ($R5$, $T = 280\text{ }^\circ\text{C}$) здійснюється електричним колом мікросхеми $D1$ за допомогою резистора $R1$ та симістора $T1$, а в електричному колі висотемпературного відпалу ділянки смуги, позначеного $R6$, $T_{\text{max}} = 900\text{ }^\circ\text{C}$, проводиться за допомогою резистора $R2$, мікросхем $D2$ та $D3$ та симістора $T2$. Час плавного включення регулюється зміною конденсаторів $C1$ – $C4$ і становить від десятих долей секунди (для захисту від перевантаження) до декількох секунд (візуальне сприйняття плавності).

Фотографія смуги в момент її відпалу електричним струмом на установці патентування смуги 65Г показана на рис. 3.

Важливим моментом термічної обробки стрічки є точність контролю параметрів процесу відпалу, в тому числі і величини температури, які забезпечують відтво-

рюваність режиму та необхідні властивості сформованих пружних плівок. При контролі ізотермічного процесу відпалу на операції відпускання (температура $T = 280\text{ }^\circ\text{C}$), контроль температури процесу проводиться за допомогою термопари (хромель-копель). На рис. 4 наведена принципова електрична схема контролера температури.

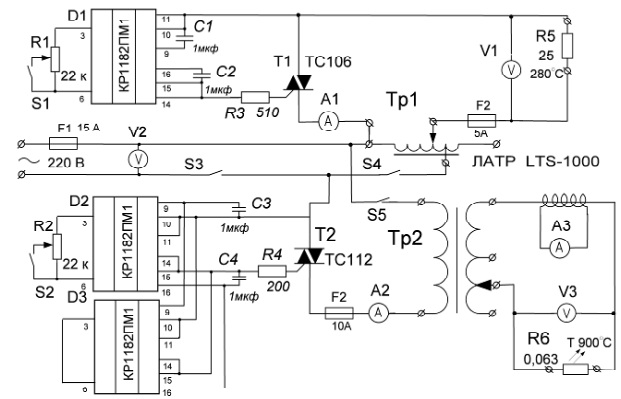


Рис. 2. Електрична принципова схема блоків живлення установки формування пружної смуги



Рис. 3. Розжарювання рухомої смуги в момент її відпалу електричним струмом

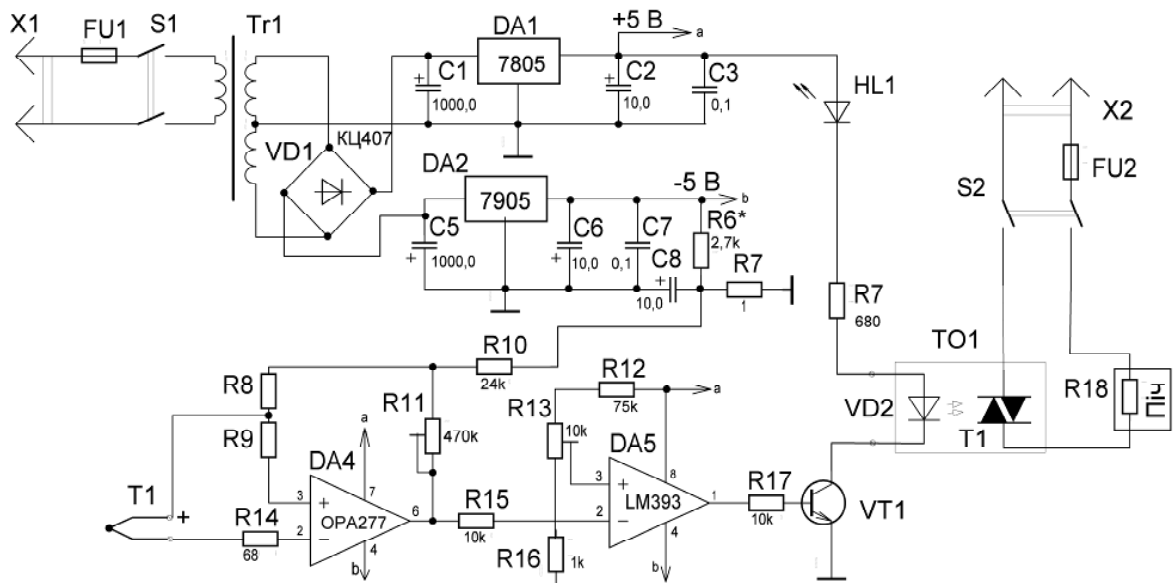


Рис. 4. Електрична принципова схема контролера температури

Сигнал термопары поступає на IC OPA277, яка має високу чутливість по входу. Схема передбачає можливість проведення її юстирування за допомогою резистора R11 для відомих з високою точністю температурних точок фазових переходів: наприклад танення льоду, плавлення свинцю, припою конкретних марок та ін. Це дозволяє задавати температуру нагріву з малою похибкою. При роботі контролер (рис. 5) автоматично підтримує температуру за допомогою ввімкнення та вимкнення оптосимистора ТО1, який відповідно до стану термопары вмикає джерело енергії до резистивного елемента печі, Температура в 300 °С на зовнішній поверхні кварцової труби печі відпускання (рис. 1) задається резистором R13. У кінці труби температура рухомої стрічки становить близько 280 °С. Контролер, який спроектовано та зроблено разом з індикатором температури в 2005 році, відзначається надійністю конструкції і широко використовується в різних технологічних процесах відпалу [2].

Для проведення налаштування та узгодження використовуваних датчиків температури з мікросхемами підсилення сигналу використовується регульовальний стенд, для чого розроблено відповідні методики його застосування.

Керування процесом високотемпературного відпалу проводиться коригуванням електричних параметрів джерела живлення, які визначають величину напруги та струму розжарювання, а також електричними параметрами джерела живлення електродвигуна, які визначають швидкість обертання вала і, відповідно, швидкість руху стрічки. Критерієм оптимальності процесу відпалу є забезпечення виробленою стрічкою необхідних пружних властивостей.

Для автоматизованого контролю температурного режиму процесу відпалу застосовується контроль локальної інтенсивності випромінювання, яка залежить від температури стрічки. Для цього використовується датчики у вигляді фотоактивних пристроїв, наприклад фотодіода. Збільшення локальності контролю забезпечується за допомогою діафрагми та лінзи з вузьким фокусом, які захищені екраном. Фокальні ділянки лінзи узгоджені з робочими поверхнями розжареної полоси та фотоприймача. Така конструкція дозволяє точно контролювати локальні зміни освітленості рухомої смуги, оптимізувати зворотний зв'язок та проводити коригування режиму відпалу в автоматичному режимі. У цьому випадку використовується контролер температури, який розроблено на основі мікроконтролера «АТmega-48». Конструкція цього контролера розглядається у другій частині статті.

Кравчина В.В., Шувалов Ю.Н. Конструирование, контроль параметров и автоматизация технологических процессов при формировании упругой ленты

В работе рассчитаны параметры процессов отжига при формировании упругой ленты. Мощность высокотемпературного отжига ($T = 900$ °С) составляет 655 Вт, напряжение и ток, которые прикладываются к локальному участку отжигаемой полосы, составляют величины соответственно $U = 5,35$ В и $I = 113$ А, а

Обговорення

Наведені конструкції, методики, параметри режиму відпалу, такі як електрична напруга, струм, ККД, електричні схеми, дозволили реалізувати технологічний процес економічного формування пружної смуги.

Установка термічної обробки стрічки використовується протягом більше двох років. За час експлуатації підтверджена її надійність, висока відтворюваність результатів, що стало можливим завдяки впровадженню нових технічних рішень та конструкційних вдосконалень. Висока економічність та продуктивність робить установку затребуваною на вітчизняному ринку.

Висновки

У роботі проведено розрахунок параметрів процесів відпалу при формуванні пружної смуги. Потужність високотемпературного відпалу до ($T = 900$ °С) становить 655 Вт, напруга та струм, які прикладаються до локальної ділянки смуги відпалу становлять величини відповідно $U = 5,35$ В та $I = 113$ А, а коефіцієнт корисної дії ККД $\eta = 0,94$. Потужність, яка витрачається на низькотемпературний відпал ($T = 280$ °С) при відпусканні, становить 280 Вт. Загальна потужність установки, враховуючи струм електродвигуна привода та насоса для подачі води, становить приблизно 1,5 кВт. У роботі також наведені розроблені конструкція, електричні принципові схеми локального відпалу рухомої стрічки та контролеру для автоматичного підтримування температури відпалу при відпусканні стрічки.

При необхідності або зацікавленості підприємств, імовірних споживачів, можливе опробування процесу формування необхідної пружної стрічки.

Список літератури

1. Дичковська О. В. Системи технологій промисловості : навч. посібник [для студ. вищих навч. закладів екон. спец.] / О. В. Дичковська ; вид. 3, доп. і перероб. – К. : Знання, 2007. – 271 с.
2. Особенности формирования быстровосстанавливающихся диодов / А. Н. Горбань, Д. М. Гомольский, В. В. Кравчина и др. // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2008. – № 3(75). – С. 36–40.
3. Рубин Г. К. Электрические печи скоростного нагрева / Рубин Г. К. – М. : Энергия, 1969. – 128 с.
4. Казанцев Е. И. Промышленные печи / Казанцев Е. И. ; изд. 2, доп. и перераб. – М. : Металлургия, 1975. – 368 с.
5. Коврев Г. С. Электроконтактный нагрев при обработке цветных металлов / Коврев Г. С. – М. : Металлургия, 1975. – 341 с.

Одержано 24.03.2017

коэффициент полезного действия КПД $\eta = 0,94$. Мощность, которая расходуется на низкотемпературный отжиг ($T = 280$ °C), составляет 147 Вт. В работе также приведены разработанная конструкция, электрические принципиальные схемы локального отжига подвижной полосы и контролера автоматического поддержания температуры отжига при отпуске полосы.

Ключевые слова: отжиг, электрическая схема, контроль параметров, упругая полоса, температура.

Kravchina V., Shuvalov Yu. Design, control of parameters and automation of technological processes during creation of the elastic stripe

The paper describes the parameters of the annealing process in the formation of a spring strip. Power high-temperature annealing ($T = 900$ °C) is 655 watts, voltage and current which are applied to local portion annealing of the strip comprise the values $U = 5,35$ V and $I = 113$ A, and the coefficient of efficiency $\eta = 0,94$. The power which is consumed at the low-temperature annealing ($T = 280$ °C) is 147 watts. The paper also shows the developed design, electrical circuit diagrams of the local annealing of the moving strip and electrical schematic of automatic controller of maintaining the annealing temperature of the releasing strip.

Key words: annealing treatment, circuitry, control parameters, spring strip, temperature.
