

---

---

УДК 621.791.763.2

*А. Ю. Поляков*

---

---

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ ПАКЕТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЗАСОВОВ ЗАМКОВ**

---

---

UDC 621.791.763.2

*A. Y. Polyakov*

---

---

**DEVELOPMENT OF THE MANUFACTURING PROCESS OF RESISTANCE PROJECTION WELDING FOR PACKAGE JOINING OF LOCKS DEADBOLTS**

---

---

**Аннотация**

Разработан технологический процесс контактной рельефной сварки пакетных соединений засовов замков, позволяющий обеспечить и повысить их прочность при уменьшении силовой электроэнергии, потребляемой контактной машиной, за счет применения ступенчатого импульса тока и задания требуемого тепловложения в зону сварки на каждом из участков импульса.

**Ключевые слова:**

контактная рельефная сварка, пакетное соединение засова, ступенчатый импульс тока, задание тепловложения, экономия электроэнергии.

**Abstract**

The manufacturing process of projection resistance welding for package joining of locks deadbolts has been developed which ensures and enhances their strength, while reducing electric power consumed by the resistance welding machine. It is achieved by using a stepped current impulse and specifying the required heat input in the weld zone in each of impulse sections.

**Key words:**

resistance projection welding, package joining of the deadbolt, stepped current impulse, heat input task, electricity saving.

---

На ОАО «Могилевский завод «Строммашина» изготавливают дверные замки сувальдного типа. Одним из основных элементов изделия является засов, представляющий собой соединение ригеля (пластина определенной конструктивной формы) и трех (двух) стержней, причем в разных модификациях замков используются разные варианты соединения ригеля (ригелей) со стержнями (рис. 1).

Ригели со стержнями соединяются между собой способом штамповки за один цикл с использованием составного пуансона. Материал ригеля – сталь 08кп. Материал стержня –

автоматная сталь А35. Для позиционирования стержней относительно ригеля их торцы предварительно подготавливают: по центру торца стержня прорезается паз, соответствующий толщине ригеля.

Проблемой при получении указанных соединений способом штамповки является низкая прочность (усилие разрушения на срез для одного стержня составляет не более 4600 Н) и точность взаимного расположения стержней засова – в ряде случаев стержни расшатываются вручную (рис. 1, б). Это вызвано тем, что в ригеле в местах предполагаемого соединения со стержнями предва-

рительно выштамповываются сквозные отверстия продолговатой четырехугольной формы для уменьшения требуемого усилия пуансона при соединении ригеля со стержнями. В результате при осуществлении штамповки металл стержней под усилием пуансона продавливается в отверстия с образованием зазоров, которые неизбежно вызывают подвижность стержней уже после со-

единения с ригелем. На рис. 2 в виде закрашенного квадрата показан сдеформированный при штамповке металл ригеля и стержня.

В заводской лаборатории были предприняты попытки замены штамповки на контактную точечную сварку (КТС) или комбинацию КТС–штамповка (рис. 3).

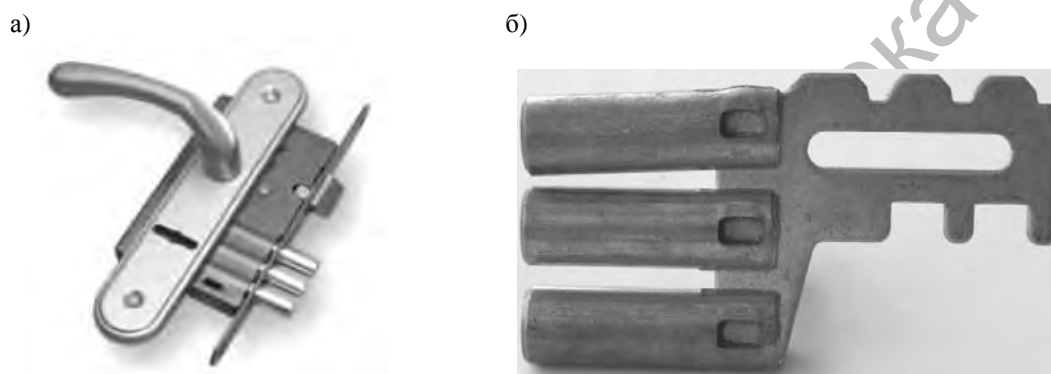


Рис. 1. Замок дверной производства ОАО «Могилевский завод «Строммашина»: а – замок в сборе; б – засов

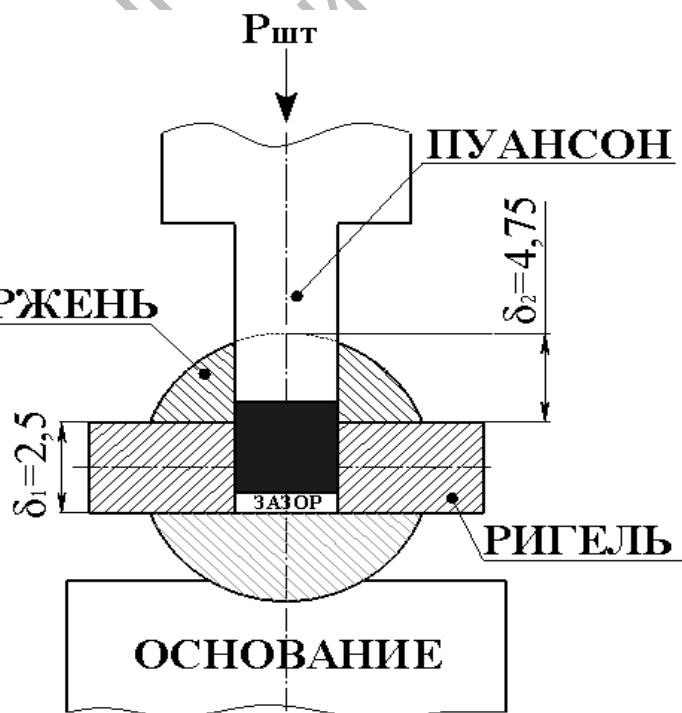


Рис. 2. Схема получения штампового соединения засова:  $P_{шт}$  – усилие штамповки

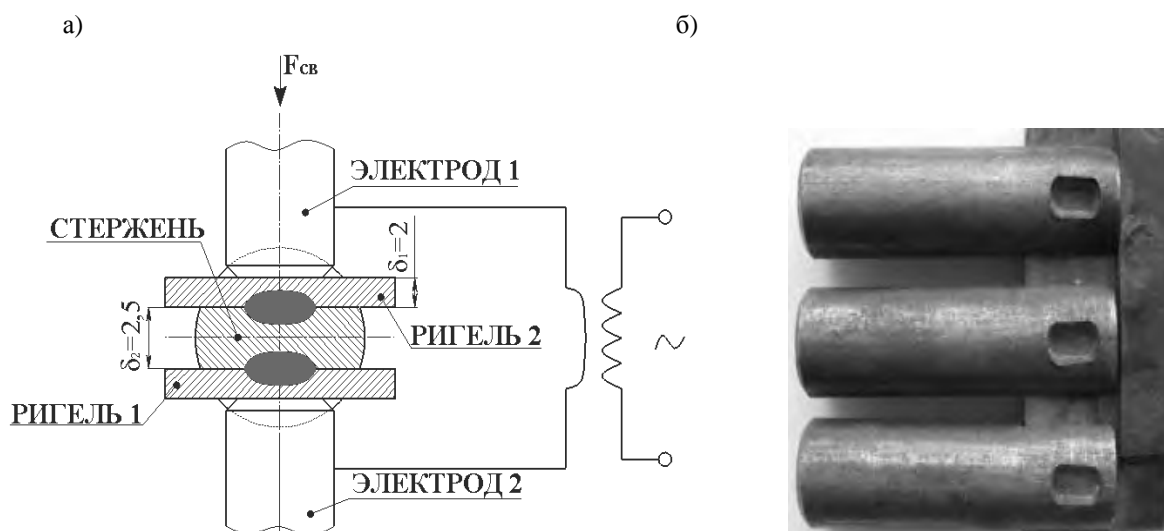


Рис. 3. Получение точечного (а) и точечно-штампового (б) соединения засова замка

При КТС в лаборатории столкнулись с новыми проблемами:

- сварка одного засова производится в три цикла;

- ввиду немалого шунтирования тока и нагрева при КТС нарушается параллельность ригелей в засове, которую на заводе начали устранять дополнительной операцией прихватки их между собой с обратной стороны с помощью механизированной сварки в защитном газе.

При комбинировании КТС со штамповкой в узел пришлось добавить дополнительную деталь – промежуточную пластину (см. рис. 3, б), а сварка одного засова начала производиться уже в четыре цикла: цикл штамповки и три цикла КТС.

Автором для устранения вышеуказанных заводских проблем получения неразъемного соединения засова был разработан технологический процесс контактной рельефной сварки (КРС). Неразъемные соединения относятся к пакетным [1], т. к. соединение четырех деталей одновременно (одного ригеля и трех стержней) будет происходить за один цикл сварки в результате параллельного протекания сварочного тока через детали с параллельным обра-

зованием трех литых зон. При этом предполагалось, что вместо отверстий под штамповку на ригеле предварительно будут выштамповываться сферические рельефы, а с края торца каждого стержня будет фрезероваться технологический уступ на определенную ширину  $S$ , которая не изменит конечной геометрии соединения засова, т. е. это не приведет к необходимости изменения конструкции всего замка (рис. 4).

При расчете параметров режима сварки пакетного соединения деталей засова замка требовалось составить уравнение теплового равновесия зоны сварки с последующим расчетом требуемого тепловложения  $Q_{ЭЭ}$  для формирования качественного соединения, а также требуемой величины сварочного тока  $I_{св}$ . Однако, чтобы начать расчет, необходимо было задать длительность протекания сварочного тока  $\tau_{св}$  для КРС двух пластин: 2,5 мм (толщина ригеля) + 4,75 мм (максимальная ширина торца стержня после фрезерования). В результате экспериментальных исследований по сварке указанных соединений, являющихся нетипичными, а также рекомендаций [1] было задано  $\tau_{св} = 0,45$  с. Диаметр и высота рельефа для толщины ригеля 2,5 мм:

$d_p = 5 \text{ мм}; h_p = 1,3 \text{ мм}$  [2].

Геометрия соединения перед свар-

кой и схема расчета теплового равновесия зоны сварки представлены на рис. 5.

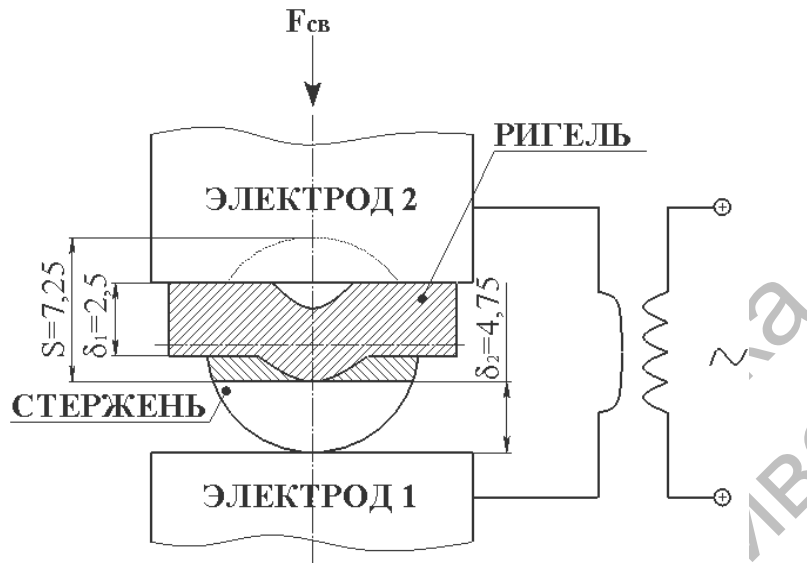


Рис. 4. Схема соединения ригеля со стержнем при контактной рельефной сварке:  $F_{св}$  – усилие сжатия электродов;  $\delta_1$  – толщина ригеля;  $\delta_2$  – толщина стержня в месте сварки

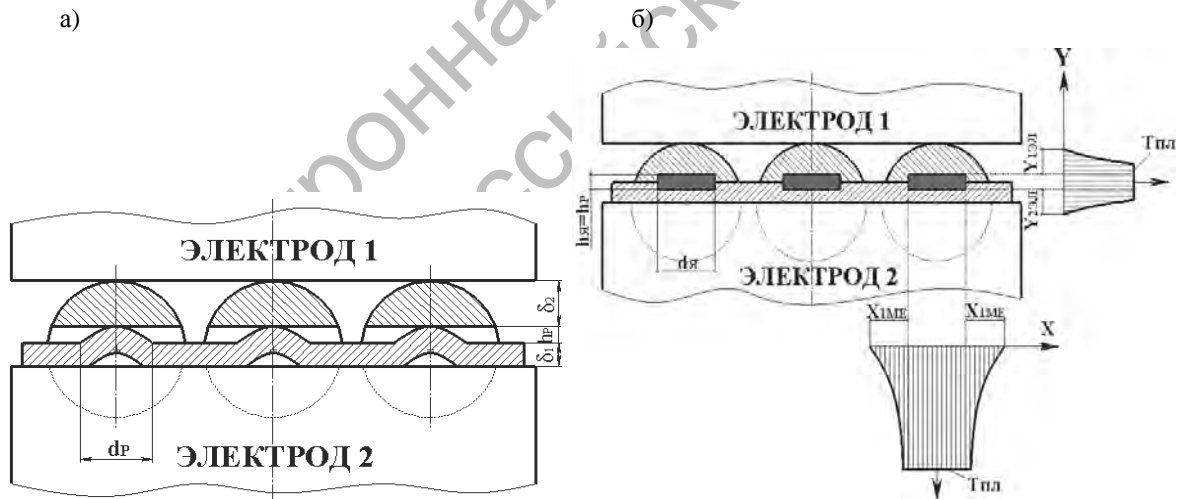


Рис. 5. Расчетные схемы сварного соединения засова: а – геометрия деталей засова перед сваркой; б – схема расчета теплового баланса пакетного соединения деталей засова

Контур контактной поверхности электродов принят прямоугольной формы размерами  $66 \times 11 \text{ мм}$ .

Затем составлялось уравнение теплового равновесия согласно формулам традиционных методик для КТС, адап-

тированных автором для КРС [3]. Расчетная величина требуемого тепловложения в зону сварки составила  $Q_{ээ} = 23137 \text{ Дж}$ .

Среднее действующее значение сварочного тока  $I_{св}$  рассчитывается по

закону Джоуля–Ленца с учетом сопротивления межэлектродной зоны  $R_{ЭЭ}$  в момент выключения сварочного тока, которое традиционно определяется экспериментально в зависимости от жесткости режима сварки и усилия сжатия электродов  $F_{СВ}$ . Для машины МТ 3201, которая обеспечивает как мягкие, так и жесткие режимы сварки для соединений данного типа, было экспериментально установлено, что  $R_{ЭЭ} = 75...95$  мкОм и  $F_{СВ} = 7,0$  кН. Следовательно, требуемый сварочный ток  $I_{СВ} = 25,3$  кА.

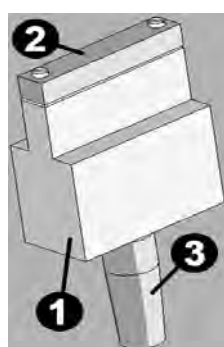


Рис. 6. Составной электродный узел для сварки засова: 1 – бронзовая насадка; 2 – медная накладка; 3 – электрод с конической поверхностью

Далее было разработано приспособление для КРС засова замка с соблюдением следующих требований:

- стержни должны быть параллельны между собой, отклонение от параллельности составляет не более 0,2 мм (согласно заводским требованиям);
- точность взаимного расположения ригеля и стержней: рельефы ригеля должны контактировать с площадками на стержнях в определенных точках, допустимое отклонение составляет не более 0,5 мм;
- учет перемещения стержней при сварке ввиду деформирования рельефов на расстояние, равное их высоте, – 1,3 мм;
- легкость взаимного позиционирования ригеля и стержней перед сваркой;

Для осуществления КРС засова замка авторами были разработаны специальные составные электродные узлы (рис. 6). Электроды из меди М1 с конической поверхностью 3 устанавливались в электрододержатели. На электроды надевались насадки 1 из бронзы БрХ. Для верхнего и нижнего электродных узлов предусматривались накладки 2 из меди М1, обеспечивающие отсутствие залипания деталей засова к электродным узлам при сварке.

- легкость съема готового изделия из приспособления после сварки;
- высокая износостойкость элементов приспособления, обеспечивающих позиционирование стержней;
- минимальное шунтирование сварочного тока по элементам приспособления;
- минимальный нагрев приспособления при сварке.

Основным элементом разработанного приспособления является фторопластовый позиционер (шаблон) 1 со шпильками 2, обеспечивающий высокую точность расположения стержней засова 3 при удобстве их укладки в приспособление и съема готового изделия после сварки (рис. 7).

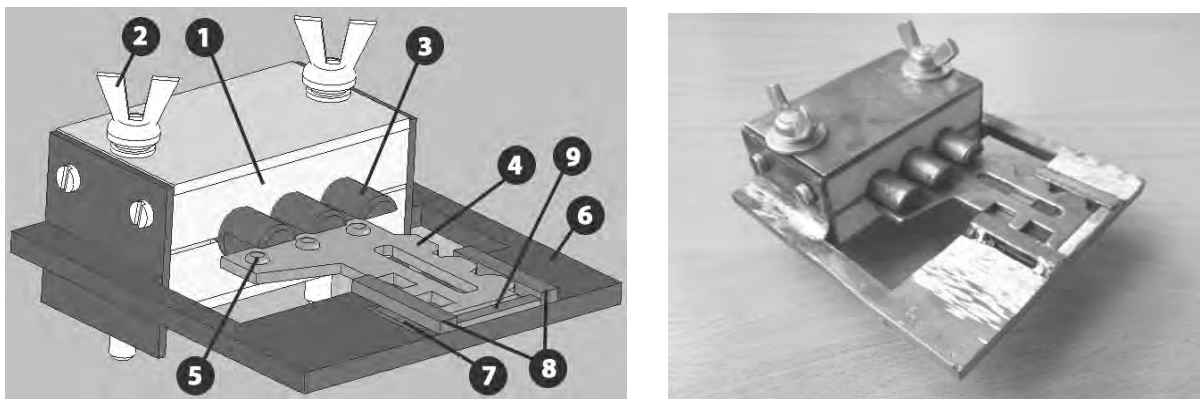


Рис. 7. Приспособление для сборки-сварки засова: 1 – фторопластовый позиционер; 2 – шпилька; 3 – стержень засова; 4 – ригель засова; 5 – рельеф; 6 – основание приспособления; 7 – магнитный фиксатор; 8 – направляющие планки; 9 – упорная планка

Фторопласт является износостойким материалом, работающим при температурах до  $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$ , т. е. выше возможного диапазона нагрева стержней засова при сварке. Базирование ригеля засова 4 с рельефами 5 относительно основания приспособления 6 обеспечивает магнитный фиксатор 7, встроенный с обратной стороны основания. Две направляющие планки 8 и упорная планка 9 основания приспособления позволяют точно расположить ригель относительно стержней в процессе сварки.

Далее была осуществлена сварка засовов на расчетных режимах с применением обычного регулятора цикла сварки, обеспечивающего стандартный крутонарастающий импульс сварочного тока, после чего были проведены прочностные испытания соединений на срез (табл. 1). Среднее значение выдержанной нагрузки на один стержень составило  $P_{\text{ср}} = 10,24\text{ кН}$ . При этом все девять образцов разрушились по литой зоне (рис. 8).



Рис. 8. Схема прочностных испытаний (а) и фотографии разрушенного образца (б)

Табл. 1. Параметры прочностных испытаний засовов, полученных при сварке на расчетных режимах

Номер испытания	$F_{св}$ , кН	$\tau_{св}$ , с	$I_{св}$ , кА	$Q_{ээ}$ , кДж	$P_{ср}$ , кН
1...9	7,0	0,45	25,3	21	10,24

При этом стоит отметить, что в настоящее время на заводах по производству оборудования для контактной сварки выпускают регуляторы цикла сварки аналогового (РКС 801) либо микропроцессорного типа (РКМ 1501, РКС 801М, РКМ 812, WELCOM 020V и др.). Регуляторы микропроцессорного

типа по сравнению с аналоговыми не имеют отличий в возможностях реализации циклограмм процесса сварки. На рис. 9 представлена циклограмма, обеспечиваемая одним из регуляторов микропроцессорного типа российского производства.

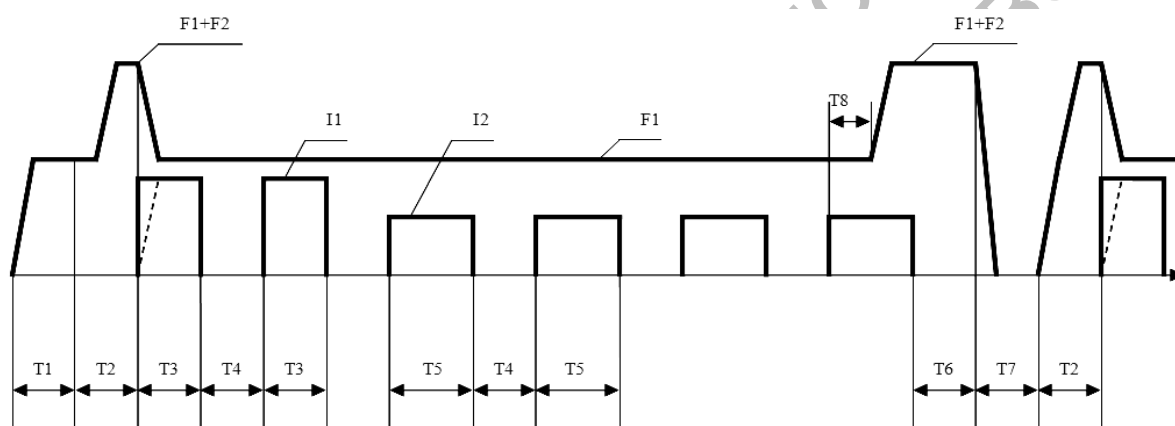


Рис. 9. Циклограмма, обеспечиваемая современным регулятором цикла сварки: T1 – предварительное сжатие; T2 – сжатие; T3 – импульс 1; T4 – интервал; T5 – импульс 2; T6 – проковка; T7 – пауза; T8 – началоковки; F1 – основное усилие сжатия; F2 – ковочное усилие; I1 – импульс тока 1; I2 – импульс тока 2

Особых отличий от предшествующих аналоговых регуляторов нет – варьируется усилие сжатия и количество импульсов тока. Модуляция импульса тока, обеспечиваемая данными регуляторами, идентична модуляции, обеспечиваемой аналоговыми регуляторами, и эффективна преимущественно при КТС.

Исследования основных этапов кинетики формирования соединения, проведенные ранее [4], позволили сделать вывод, что прямоугольный крутонарастающий импульс тока (в том числе и модулированный), обеспечиваемый современными регуляторами, не способен плавно сформировать рельеф. Начиная с первых полупериодов включе-

ния импульса происходит преждевременное смятие рельефа с выплеском расплавленного металла из зоны контакта, после чего детали касаются между собой всей поверхностью и дальнейшее тепловложение в зону сварки становится неэффективным. Современные регуляторы также не способны задавать требуемое тепловложение в зону сварки. Это в конечном счете сказывается на формировании литой зоны и на прочностных показателях соединения.

С целью стабилизации процесса деформирования рельефов и уменьшения требуемого тепловложения в зону сварки автором был предложен способ КТС и КРС, включающий предвари-

тельное сжатие деталей электродами с действующим в течение всей сварки усилием  $F_{СЖ}$ , пропускание через детали в течение времени  $\tau_{СВ}$  импульса сварочного тока  $I_{СВ}$ , выключение тока и проковку сварного соединения в течение заданного времени  $\tau_{КОВ}$ , отличающийся тем, что импульс сварочного тока задают многоступенчатым и длительность его протекания  $\tau_{СВ}$  при задаваемых значениях тока  $I_{СВ1}$ ,  $I_{СВ2}$ , ...,  $I_{СВn}$  на каждой из ступеней импульса находят по формуле  $\tau_{СВ} = \tau_{СВФ1} + \tau_{СВФ2} + \dots + \tau_{СВФn}$ , где

$\tau_{СВФ1}$ ,  $\tau_{СВФ2}$ , ...,  $\tau_{СВФn}$  – фактические длительности протекания тока на каждой из ступеней его задания, которую определяют фактическим достижением суммарного тепловложения в зону сварки  $Q_{ЭЭ}$  требуемого значения, равного  $Q_{ЭЭ} = Q_{ТР1} + Q_{ТР2} + \dots + Q_{ТРn}$ , где  $Q_{ТР1}$ ,  $Q_{ТР2}$ , ...,  $Q_{ТРn}$  – требуемые тепловложения в зону сварки для значений тока  $I_{СВ1}$ ,  $I_{СВ2}$ , ...,  $I_{СВn}$  на каждой из ступеней его импульса. На рис. 10 представлен трехступенчатый импульс тока.

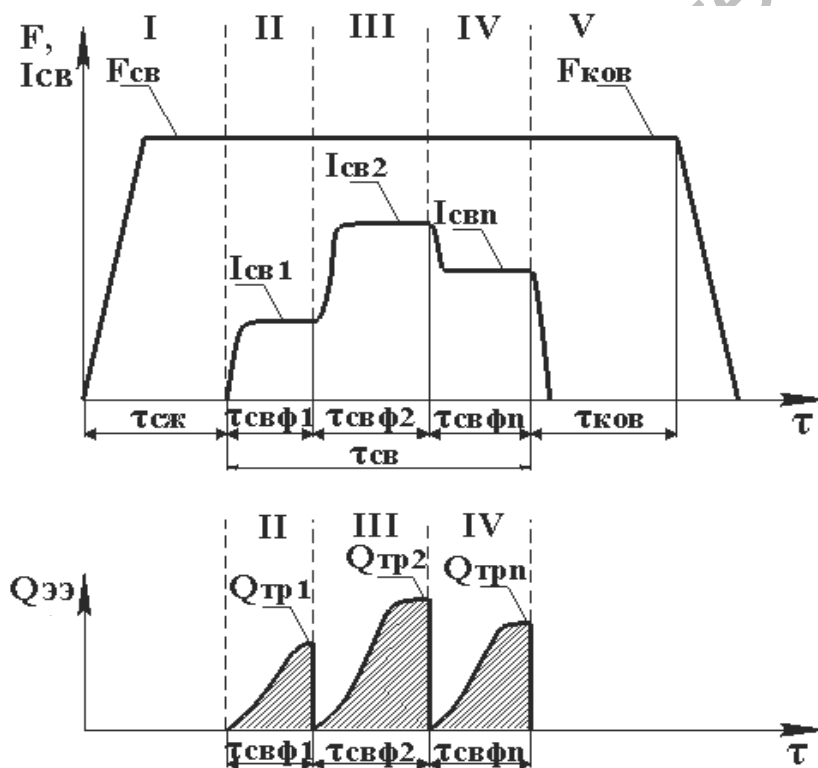


Рис. 10. Трехступенчатый импульс сварочного тока

Для определения оптимальных значений тока на каждой из трех ступеней его импульса необходимо было знать, какое количество энергии следует вложить в зону сварки на каждой из ступеней импульса. Для этого требовалось проанализировать кинетику формирования рельефного соединения [4]. После включения сварочного тока для обеспечения плавного увеличения де-

формации рельефов и плавного перемещения подвижного электрода (не более 0,15...0,2 мм) на фоне теплового расширения металла, уравновешивающего процесс деформации рельефов, металл зоны сварки следует нагревать до температуры разупрочнения более 800 К. Это нужно для ускорения активации контактных поверхностей. По этим причинам уровень сварочного тока



на первой ступени его импульса не может превышать 50...60 % от максимального. Данная ступень импульса тока путем плавного нагрева должна стабилизировать процесс тепловыделения в местах контакта рельефов ригеля с площадками на стержнях, тем самым предотвратив преждевременное смятие рельефов, которое неизбежно произойдет при 80...100-процентном значении тока на первой ступени импульса. Наличие линейного контакта верхнего электрода со стержнями также обуславливает требование ограничения уровня сварочного тока на первой ступени импульса. На данном этапе тепловложение в зону сварки должно составлять не более 5...10 % от полного требуемого тепловложения с учетом достаточной жесткости режима сварки. Далее в зоне сварки нужно добиться появления и роста зон расплавления, которые приведут к интенсивной пластической деформации металла. Максимальная скорость перемещения подвижного электрода при этом увеличится с 1...2 до 35...65 мм/с. Процесс смятия рельефов должен сопровождаться интенсивным ростом размеров контактных площадок. Перемещение электрода должно достигнуть 3...3,2 мм. Добиться этого можно только увеличением уровня сварочного тока с 50...60-процентного до 90...100-процентного уровня (макси-

мального) на втором участке импульса. На данном этапе тепловложение в зону сварки должно составлять около 75...90 % от полного требуемого тепловложения на процесс с учетом достаточной жесткости режима. Затем скорость перемещения подвижного электрода после достижения максимума на предыдущем этапе должна резко снизиться до нуля ввиду полной осадки рельефов на всю их высоту и касания поверхностей деталей, что будет свидетельствовать о достижении тепловложения в зону сварки требуемого значения и являться сигналом к выключению сварочного тока. Для предотвращения образования закалочных структур и остаточных напряжений в зоне сварки, особенно при наличии в пакете деталей из среднеуглеродистой стали, необходимо на третьем участке импульса уровень тока снизить с 90...100 % до минимума, т. е. до 50 % от максимального (нижний предел, на который рассчитана контактная машина). Тепловложение в зону сварки, вкладываемое на данной ступени импульса тока, должно составлять не более 5...10 % от полного требуемого тепловложения на процесс.

Таким образом, были составлены комбинации уровней сварочного тока на трех ступенях его импульса с учетом вариантов тепловложения в зону сварки (табл. 2).

Табл. 2. Комбинации «задаваемый ток – задаваемое тепловложение»

Номер комбинации	Первая ступень импульса	Вторая ступень импульса	Третья ступень импульса	Q <sub>1</sub> , кДж	Q <sub>2</sub> , кДж	Q <sub>3</sub> , кДж
1	50 % от I <sub>МАХ</sub>	90 % от I <sub>МАХ</sub>	50 % от I <sub>МАХ</sub>	5 % от Q <sub>ЭЭ</sub>	90 % от Q <sub>ЭЭ</sub>	5 % от Q <sub>ЭЭ</sub>
2	50 % от I <sub>МАХ</sub>	100 % (I <sub>МАХ</sub> )				
3	60 % от I <sub>МАХ</sub>	90 % от I <sub>МАХ</sub>				
4	60 % от I <sub>МАХ</sub>	100 % (I <sub>МАХ</sub> )				
5	50 % от I <sub>МАХ</sub>	90 % от I <sub>МАХ</sub>		10 % от Q <sub>ЭЭ</sub>	85 % от Q <sub>ЭЭ</sub>	5 % от Q <sub>ЭЭ</sub>
6	50 % от I <sub>МАХ</sub>	100 % (I <sub>МАХ</sub> )				
7	60 % от I <sub>МАХ</sub>	90 % от I <sub>МАХ</sub>				
8	60 % от I <sub>МАХ</sub>	100 % (I <sub>МАХ</sub> )				
9	Стандартный крутонарастающий импульс тока			Q <sub>ЭЭ</sub> = 21 кДж		

Для сварки была выбрана наиболее предпочтительная комбинация № 2.

Далее была подключена разработанная автором ранее система автоматического управления процессом КРС, позволяющая задавать ступенчатый импульс тока, а также требуемое тепловложение на каждом участке импульса тока [5, 6]. Последовательно уменьшали задаваемое в системе суммарное тепловложение в зону сварки относительно фактического значения на расчетных режимах от 21 кДж (см. табл. 1 и 2) до 13,5 кДж. При прочностных испытаниях на срез 10 образцов из 18 разрушились по основному металлу. Минимальное усилие при испытании на срез при теп-

ловложении 13,5 кДж составило 11 кН (табл. 3, рис. 11).

Макрошлифы соединений засова, полученных при КРС на расчетных режимах (рис. 12, а) и при КРС с использованием разработанной автором системы автоматического управления процессом КРС (рис. 12, б), показали, что применение ступенчатого импульса сварочного тока в комбинации с заданием уменьшенного тепловложения на каждом из участков импульса как минимум не уменьшает ширину литой зоны и несколько стабилизирует процесс распределения тепла между стержнями, о чем можно судить по изменению формы литой зоны.

Табл. 3. Параметры прочностных испытаний засовов, полученных при сварке с уменьшенным тепловложением и ступенчатым заданием тока

Параметры	Номер образца					
	1	2	3	4	5	6
$Q_{\text{зад}}, \text{Дж}$	20000	19000	18000	16500	15000	13500
$Q_{1\text{зад}}, \text{Дж}$	1000	950	900	825	750	675
$I_{1\text{зад}}, \text{кА}$	12,65					
$Q_{2\text{зад}}, \text{Дж}$	18000	17100	16200	14850	13500	12150
$I_{2\text{зад}}, \text{кА}$	25,3					
$Q_{3\text{зад}}, \text{Дж}$	1000	950	900	825	750	675
$I_{3\text{зад}}, \text{кА}$	12,65					
$\tau_{\text{Ф2}}, \text{с}$ (на второй ступени импульса тока)	0,457	0,430	0,420	0,385	0,342	0,327
$R_{\text{ср}}, \text{Н}$	11900	11000	11900	10400	10000	11600
	11300	11100	11900	10500	10100	12500
	11300	11900	11000	10200	10200	11000



Рис. 11. Характер разрушения образцов, полученных при сварке с использованием системы автоматического управления процессом КРС засова

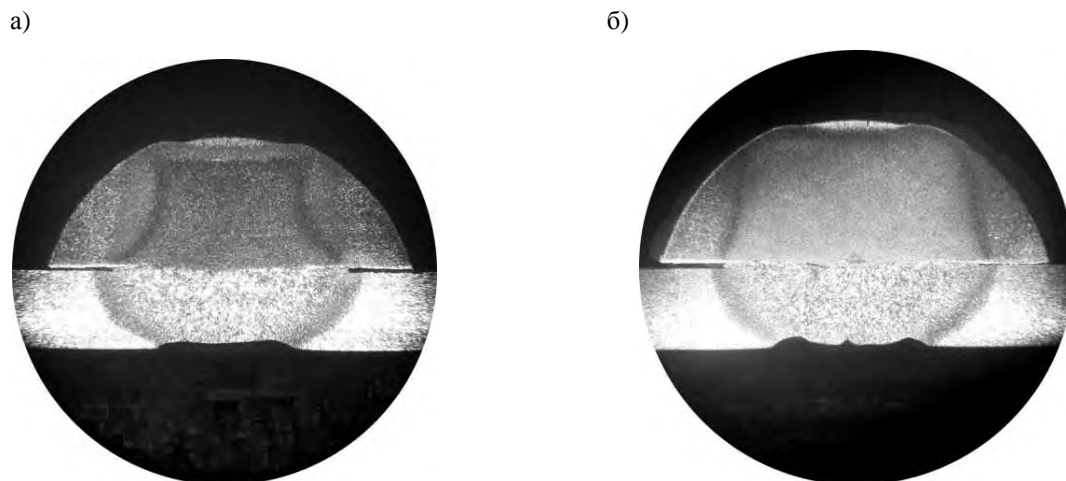


Рис. 12. Макрошлифы сварных соединений засова: а – при сварке на расчетных режимах; б – при сварке с использованием системы автоматического управления процессом КРС

В результате проделанной работы за счет применения ступенчатого задания тока в совокупности с фиксированным введением тепла в зону сварки на каждом из уровней тока удалось повысить на 13 % среднюю прочность на срез пакетного соединения засова замка при одновременной экономии электроэнергии, потребляемой контактной машиной, в 35,7 %.

### Выводы

1. Расчетным путем с учетом экспериментальных исследований установлены оптимальные параметры режима рельефной сварки пакетного соединения засова замка на контактной машине со стандартным регулятором цикла сварки: сварочный ток  $I_{СВ} = 25...26$  кА, усилие сжатия электродов  $F_{СВ} = 7$  кН, время протекания сварочного тока  $\tau_{СВ} = 0,45...0,46$  с.

2. Разработана конструкция водоохлаждаемых электродных узлов для контактной рельефной сварки пакетных соединений засовов замков, обеспечи-

вающая равномерность прилагаемого к деталям усилия сжатия и позволяющая сваривать за один цикл четыре детали засова (3 стержня + 1 ригель) без «залипания» стержней засова к электроду при сварке за счет медных накладок.

3. Разработана конструкция приспособления для сборки и контактной рельефной сварки пакетного соединения засова замка на базе фторопластового позиционера, обеспечивающая не только высокую точность расположения стержней засова относительно ригеля в процессе сварки, но и низкую трудоемкость его изготовления.

4. Предложен способ контактной точечной и рельефной сварки, позволивший повысить прочность пакетного соединения засова замка на 13 % при уменьшении силовой электроэнергии, потребляемой контактной машиной, на 35,7 % за счет применения ступенчатого импульса тока и задания требуемого тепловложения в зону сварки на каждом из участков импульса.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березиенко, В. П. Технология сварки давлением / В. П. Березиенко, С. Ф. Мельников, С. М. Фурманов. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – 256 с.

2. **Гиллевич, В. А.** Технология и оборудование рельефной сварки / В. А. Гиллевич. – Л. : Машиностроение, 1976. – 151 с.

3. **Поляков, А. Ю.** Методика расчета параметров режима рельефной сварки пакетных соединений / А. Ю. Поляков, С. М. Фурманов, Т. И. Бендик // Вестн. Донбас. машиностроит. акад. – 2012. – № 3. – С. 226–231.

4. **Поляков, А. Ю.** О формировании ступенчатых соединений при контактной рельефной сварке / А. Ю. Поляков, С. М. Фурманов, Т. И. Бендик // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – № 4. – С. 62–69.

5. Оптимизация количества энергии, вводимой в зону рельефной сварки пакетных соединений / А. Ю. Поляков [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2012. – № 2. – С. 67–77.

6. **Поляков, А. Ю.** Система автоматического управления процессом контактной рельефной сварки / А. Ю. Поляков, С. М. Фурманов, Т. И. Бендик // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2013. – № 4. – С. 75–84.

*Статья сдана в редакцию 16 мая 2014 года*

**Андрей Юрьевич Поляков**, ассистент, Белорусско-Российский университет. E-mail: mortis2008@mail.ru.

**Andrei Yuryevich Polyakov**, assistant lecturer, Belarusian-Russian University. E-mail: mortis2008@mail.ru.