

**Министерство науки и образования Грузии
Государственный университет Акакия Церетели**

На правах рукописи

Оспанова Салтанат Мухитовна

**РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ СО
СТЕРЖНЕВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ**

0408 – Инженерия и технология механики

АВТОРЕФЕРАТ

**Диссертации на соискание академической степени
доктора инженерии**

Кутаиси 2016

Государственный университет Акакия Церетели

Научный руководитель – доктор технических наук, эмеритус
М.Ш.Шаламберидзе

Официальные рецензенты: доктор физ-мат.наук, профессор
Чирадзе Г.Д.
академический доктор, ассоциированный
профессор Миндадзе С.О.

Защита состоится _____ 2016 года в 14 часов, на заседании диссертационной комиссии, созданной диссертационным советом инженерно-технического факультета. Адрес: 4600, г. Кутаиси, ул. Тамар мепе, № 59, I корпус, аудитория № 1114.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного университета Акакия Церетели по адресу: г. Кутаиси, ул. Тамар мепе, № 59.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2016 г.

Секретарь
диссертационного совета,
ассоциированный профессор

/Н. П. Саханберидзе/

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В промышленном и гражданском строительстве, а также в строительстве дорог и тоннелей широко используются железобетонные конструкции, особенно ненапряженные железобетонные конструкции. Эти конструкции в основном изготавливают в заводских условиях, а также непосредственно на строящихся объектах.

В железобетонных конструкциях применяются прокатные стержни из низкоуглеродистой стали разного профиля (арматура). В ненапряженных конструкциях применяются круглые стержни с гладкой поверхностью малого диаметра (до 10 мм). Для железобетонных конструкций, из них электроконтактной сваркой изготавливают металлические сетки. Металлические сетки изготавливают из стержней как одинакового диаметра, так и из стержней разного диаметра.

70% генерированной в мире электроэнергии расходуется на изготовление изделий различными способами электротехнологии, в том числе при изготовлении электроконтактным методом металлических сеток для железобетонных конструкций.

При электроконтактной сварке металлических сеток для железобетонных конструкций не применяются методы контроля качества. Проверяют только соответствия технических свойств свариваемых стержней методом их испытания на растяжение. При разработке технологии электроконтактной сварки стержней на заводах, стараются добиться равнопрочности соединений, соответствующей основному металлу, что достигается путем существенного увеличения сварочного тока и значительным перегревом расплавленного металла в зоне сварки. При этом, наши исследования по оценке качества показывают, что при испытании образцы, сваренные по заводской технологии разрушались не по сваренной точке, а по основному металлу. Исходя из этого, после достижения в зоне сварки температуры плавления основного металла, увеличение сварочного тока по заводской технологии нецелесообразно.

В связи с этим, тема диссертационной работы, касающаяся разработки энергосберегающей технологии электроконтактной сварки

перекрещивающихся стержней, подразумевающей определение параметров режима сварки, в том числе сварочного тока, обеспечивающего достижение в зоне сварки температуры плавления свариваемого материала, является актуальной.

Цель работы. При электроконтактной сварке металлоконструкций, прочность места сварки зависит от величины сварочного тока. Одновременно величина сварочного тока и прочность сварного соединения существенно зависит от усилия сжатия между электродами и длительности сварки. Указанные параметры режима сварки определяют прочность сварной металлоконструкции в железобетонной конструкции. В связи с этим, целью настоящей работы является разработка энергосберегающей технологии электроконтактной сварки металлоконструкций, что подразумевает определение наименьшего значения сварочного тока, необходимого для обеспечения максимальной прочности при сварке, а также оптимальные значения других параметров режима сварки.

Целью исследования являются:

1. Анализ характера распределения поперечного тока при сварке перекрещивающихся круглых стержней.
2. Исследование распределения тока и потенциала при электроконтактной сварке перекрещивающихся круглых стержней.
3. Анализ процесса нагрева при электроконтактной сварке перекрещивающихся круглых стержней.
4. Исследование процесса осадки при электроконтактной сварке перекрещивающихся круглых стержней.
5. Определение наименьшего сварочного тока, необходимого для сварки перекрещивающихся круглых стержней.
6. Определение в центре контакта стержней плотности тока и усилия сжатия электродов при электроконтактной сварке перекрещивающихся круглых стержней.

Основные задачи работы. Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

1. Исследование влияния площади холодного контакта и удельного усилия в месте сварки на процесс электроконтактной сварки перекрещивающихся круглых стержней.

2. Разработка критериев оценки качества сварки перекрещивающихся круглых стержней и анализ возможности сбережения электроэнергии.
3. Исследования характера изменения температуры нагрева при электроконтактной сварке перекрещивающихся круглых стержней.
4. Разработка методики определения наименьшего тока, необходимого при сварке перекрещивающихся круглых стержней.
5. Разработка методики определения усилия сжатия с учетом наименьшего тока, необходимого при электроконтактной сварке перекрещивающихся круглых стержней.

Методы исследований. Для решения поставленных задач использовался комплексный метод исследований, включающий:

- экспериментальное определение площади холодного контакта и удельного давления на электродах в начальной стадии сварки;
- экспериментальное исследование и теоретический анализ характера изменения температуры и деформации свариваемых стержней при их нагреве в процессе сварки;
- создание метода определения наименьшего необходимого тока и усилия сжатия на электродах; осциллографирование параметров процесса;
- расчетный метод определения характера распределения сварочного тока и потенциала электрического поля;
- расчетный метод определения плотности сварочного тока в центре сварочного контакта.

Научная новизна.

1. На основе проведенных экспериментальных, расчетных и теоретических исследований, впервые разработан метод определения параметров режима энергосберегающей технологии сварки перекрещивающихся круглых стержней, что заключается в разработке методов определения наименьшего тока, необходимого для электроконтактной сварки перекрещивающихся круглых стержней и усилия сжатия с учетом наименьшего тока, необходимого для сварки.

2. Экспериментально установлено, что с целью экономии электроэнергии целесообразно сварку осуществлять на жестком режиме ($t_{св} < 4$ сек), с целью повышения эффективности процесса нагрева и

экономии электроэнергии за счет снижения объема расплавленного металла, выдавленного из зоны сварки.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты экспериментального исследования деформации и нагрева ближней зоны сварочного контакта, и рекомендации, разработанные на их основе: с целью экономии электроэнергии электроконтактную сварку перекрещивающихся круглых стержней необходимо осуществлять на жестком режиме (длительность сварки не должна превышать 4 сек).
2. Метод расчета плотности тока в сварочном контакте при электроконтактной сварке перекрещивающихся круглых стержней и результаты этого расчета: максимальная плотность достигается в центре контакта, и ее величина не зависит от площади контакта между электродом и свариваемой деталью. Плотность сварочного тока зависит от длины контакта между электродом и свариваемой деталью.
3. Метод расчета наименьшего сварочного тока, необходимого для электроконтактной сварки перекрещивающихся круглых стержней.
4. Метод определения усилия сжатия между электродами с учетом наименьшего сварочного тока, необходимого для сварки.

Практическая ценность и реализация результатов работы.

1. Результаты экспериментов, расчетов и исследований для определения параметров будут использованы при разработке энергосберегающей технологии электроконтактной сварки перекрещивающихся круглых стержней для железобетонных металлических конструкций;
2. Методы определения параметров режима сварки энергосберегающей технологии были применены в Тбилиси на заводе «Монолит» (Руставское Шоссе, 34).

Апробация работы. Основные положения диссертации представлены и обсуждены на III Международной научной конференции «Энергетика: региональные проблемы и перспективы развития», Грузия, Кутаиси, 2014 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 4 работы, в том числе 3 в международном реферируемом журнале “Georgian

Engineering News”, который рекомендован Диссертационным советом инженерно-технического факультета Государственного университета Акакия Церетели.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, основных результатов и выводов, списка литературы и приложения. Напечатана и сверстана на компьютере. Работа содержит 106 страниц, включая 37 рисунков, 5 таблиц и 1 приложение. Список литературы включает 94 наименований.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, формулируется цель работы и ее практическая ценность.

В первом разделе диссертации представлен обзор железобетонных конструкций, применяемых в гражданском и промышленном строительстве. Представлен также обзор металлических конструкций, применяемых в железобетонных конструкциях. Металлические конструкции изготовлены в основном из перекрещивающихся стержней (арматура) электроконтактной сваркой (рис.1). Металлические конструкции изготавливают на заводах и поставляют на железобетонные заводы в виде сетки.

В этом разделе диссертационной работы рассмотрены также разные схемы механических испытаний перекрещивающихся сварных соединений и разработаны критерии оценки качества сварки. В строительных ненапряженных железобетонных конструкциях, на сварное соединение действуют как отрывающие, так и срезающие усилия вследствие физико-механических воздействий бетона. С этим критерием качества контактной сварки арматуры могут быть связаны и результаты механических испытаний на отрыв и на срез.

Из них наиболее целесообразная схема испытаний выбрана исходя из ее чувствительности к изменению основных факторов процесса сварки. В качестве такого фактора при сварке арматурных стержней накрест был избран сварочный ток, существенно влияющий на прочность сварного соединения. Следовательно, чувствительность

схемы испытания к изменению этого параметра избрана в качестве критерия выбора показателя качества. Критерием оценки чувствительности схем испытания был принят коэффициент корреляции между прочностью сварного соединения и сварочным током.

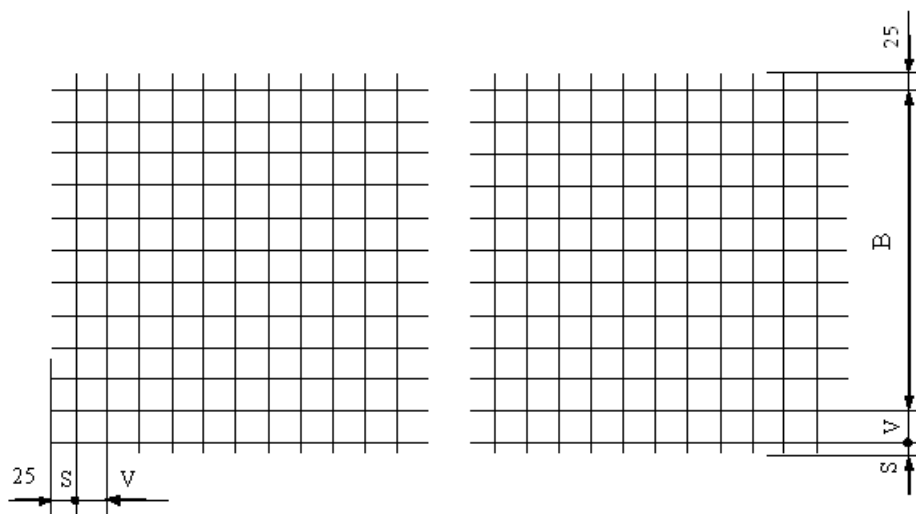


Рис.1. Сварная металлическая сетка, используемая в конструкциях из ненапряженного железобетона

В результате корреляционного анализа данных проведенных экспериментов установлено, что при сварке перекрещивающихся круглых стержней, критерием качества являются результаты испытания сварных соединений на срез.

В первом разделе рассматривается также особенность разработки энергосберегающей технологии изготовления металлических конструкций в железобетонных конструкциях. Для электроконтактной сварки образцов металлоконструкции (сетки) были применены те же значения параметров режима сварки ($t_{св}=4$ сек, $F_{сж}=300$ даН, $I_{св\ max}=4$ кА), которые применяются на предприятиях-изготовителях сетки из перекрещивающихся круглых стержней диаметрами 5+3 мм. Зависимость между прочностью электроконтактной сварки металлической сетки и сварочным током приведена на рис.2, из которого видно, что с увеличением тока до 2,4 кА, прочность сварного соединения увеличивается линейно.

На участке ВД с увеличением тока от 2,4 до 4,0 кА, прочность увеличивается незначительно - от 33 до 35 даН, т.е. увеличение тока на 80% повышает прочность на 30%.

Дисперсионный анализ прочности и характер разрушения сварных

образцов показывает, что с увеличением тока свыше 2,4 кА, сварные образцы разрушаются по основному металлу. Дисперсия прочности сварных образцов соответствует дисперсии прочности свариваемого материала. Кроме того, внешний осмотр сварных соединений показывает, что наблюдается увеличение выдавленного расплавленного металла из зоны сварки. Все это указывает на то, что: перегрев металла в зоне сварки выше температуры плавления свариваемого материала приводит к ухудшению механических свойств материала и увеличению объема выдавленного из зоны сварки перегретого металла, т.е. электроконтактную сварку перекрещивающихся стержней осуществляли при сварочном токе, обеспечивающем в зоне контакта достижение температуры плавления свариваемого материала, что позволят сэкономить электроэнергию без нанесения ущерба прочности сварного соединения. Определению такого тока и других параметров режима сварки посвящены все исследования и расчеты, приведенные в следующих разделах диссертации.

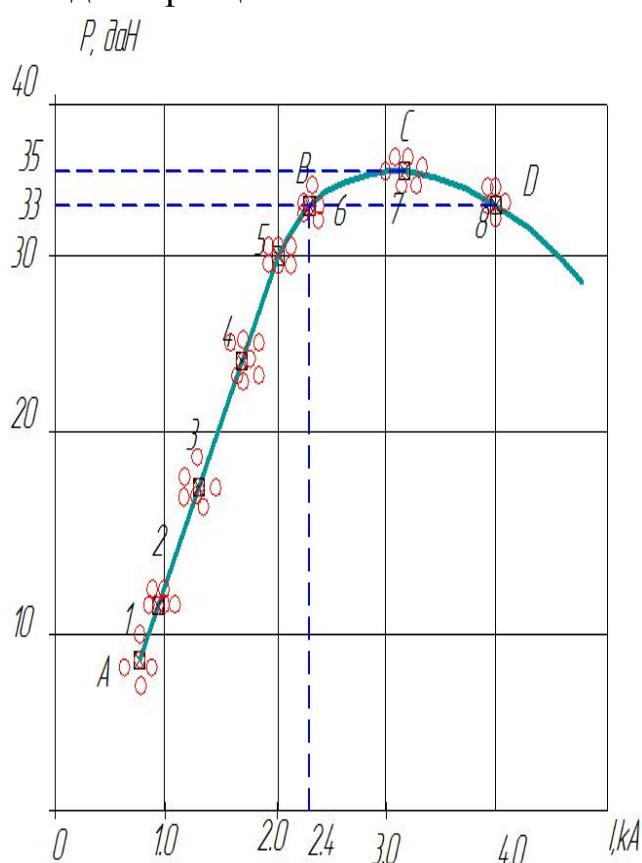


Рис.2. Зависимость между прочностью электроконтактной сварки металлической сетки и сварочным током

Во втором разделе приведены опытные исследования процесса

нагрева при контактной электросварке перекрещивающихся круглых стержней и теоретическое исследование процесса нагрева стержней.

При опытном исследовании процесса нагрева свариваемых стержней, температуру измеряли в трех точках. Из них две точки (1,2) были расположены около контакта со стороны каждого свариваемого стержня, а третья точка находилась около нижнего электрода (рис.3).

Для осциллографирования температуры, термопары приваривали к образцам в указанных точках конденсаторной сваркой. Результаты опытов представлены на рис.4 и рис.5.

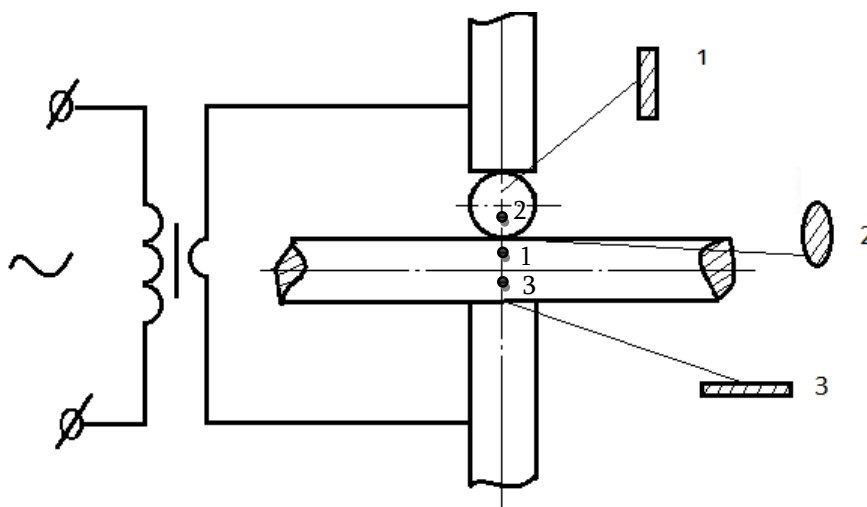


Рис 3. Расположение точек, в которых измеряли температуру при сварке

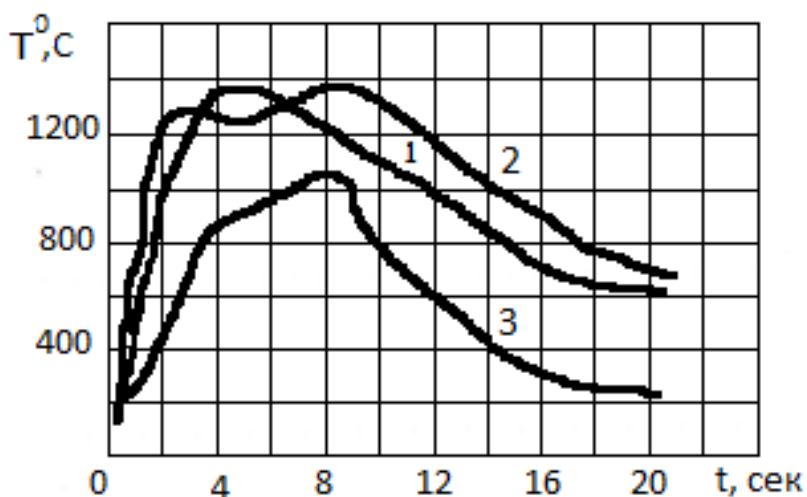


Рис.4. Термический цикл различных точек сварного образца (мягкий режим).

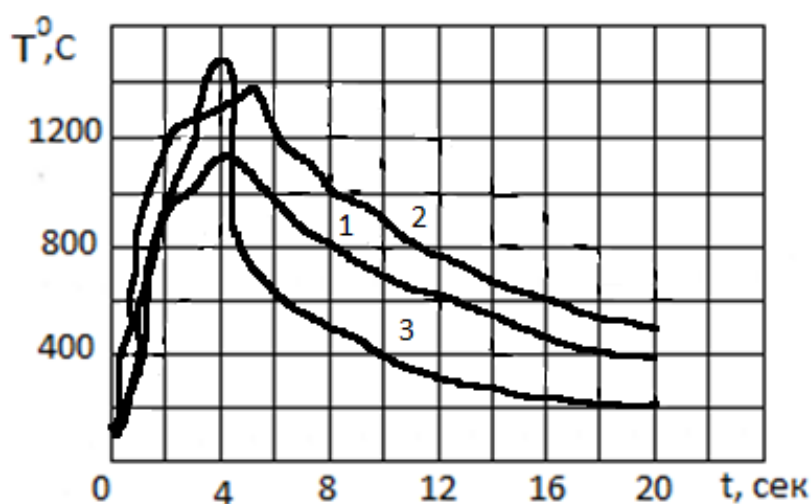


Рис.5. Термический цикл различных точек сварного образца (жесткий режим)

Наибольшая скорость нагрева в начале процесса наблюдается в точках, расположенных в области сварочного контакта (точки 1, 2). В точке 3, находящейся вблизи электрода, на поверхности стержня большего сечения, скорость нагрева несколько меньше. Характерным для этого опыта является образование площадки почти постоянных температур на кривых термического цикла тех точек, которые находятся в области наибольшего разогрева точек 1, 2. Очевидно, что на определенной стадии процесса сварки, в области, прилегающей к точке 3, наступает тепловое равновесие, при котором выделение теплоты вследствие работы тока уравнивается отводом теплоты вследствие теплопроводности. Температура точек этой области в дальнейшем почти не повышается.

При правильно выбранных параметрах режима, в сочетании с усилием на электродах, установившееся тепловое состояние должно соответствовать нагреву точек контакта до температуры плавления. Чрезмерно большое усилие на электродах при недостаточном токе снизит плотность тока в сварочном контакте и состояние равновесия наступит прежде, чем будет достигнута необходимая температура в зоне сварки, что приведет к непровару.

Таким образом, уровень площадки равновесия на кривых термического цикла регулируется изменением электрических параметров в сочетании с усилием сдавливания. Определение

оптимального значения сварочного тока и усилия сжатия подразумевает определение их наименьшего значения, при котором обеспечивается получение площадки равновесия, соответствующей температуре плавления материала свариваемых стержней.

Из рис.4 и рис.5 видно, что данные ток и усилие сдавливания приводят к сильному перегреву металла стержня малого диаметра, поэтому при сварке стержней разного диаметра, определение параметров режима сварки необходимо для стержня малого диаметра.

В результате теоретического исследования и анализа процесса нагрева стержней получена зависимость для расчета наименьшего тока, необходимого для сварки стержней

$$\theta_{\infty}(\vartheta) = \frac{\cos[\mu(1-\nu)]}{\cos \mu} - 1, \quad (1)$$

т.е. область ограниченности предельной температуры $\theta_{\infty}(\vartheta)$, определяется условием $\cos \mu > 0$, где $\mu = \frac{I_2}{2\pi r_{от}} \sqrt{0,24 \frac{\beta \rho_0}{\lambda}}$ - безразмерный параметр, характеризующий интенсивность источников теплоты;

ρ_0 – начальное удельное сопротивление материала стержня;

λ – коэффициент теплопроводности стержня;

β – температурный коэффициент;

$\theta_{\infty} = \beta T_{\infty}$ – безразмерная температура.

В третьем разделе рассмотрен процесс обмятия стержней по холодному контактированию и в процессе сварки.

Проведение таких исследований необходимо для определения плотности тока и усилия сжатия при сварке.

Экспериментально установлено, что при холодном обмятии, удельное давление практически имеет постоянное значение и составляет около 0,6 от числа твердости по Бринеллю для данного материала:

$$k \approx 0,6HB. \quad (2)$$

Опыты по холодному обмятию на стержнях малого диаметра (до 5 мм) показывают, что удельное давление составляет

$$K \approx 1,28HB. \quad (3)$$

В этом разделе исследована также осадка стержней при сварке. На рис.6 представлены изменения осадки и среднее значение осадки при

сварке. Менее интенсивный рост осадки наблюдается при сварке на мягком режиме. Средняя за время сварки скорость осадки составляет при сварке на мягком режиме А 0,25 мм/сек, а при сварке на жестком режиме Б – 0,57 мм/сек. Соответственно при сварке на мягком режиме объем металла, более перегретого и выдавленного из зоны сварки – больше, т.е. при сварке на мягком режиме часть электроэнергии, затраченной на нагрев зоны сварки теряется и не участвует в образовании сварного соединения. Поэтому, с целью экономии электроэнергии, нами предложено электроконтактную сварку перекрещивающихся стержней осуществлять на жестком режиме.

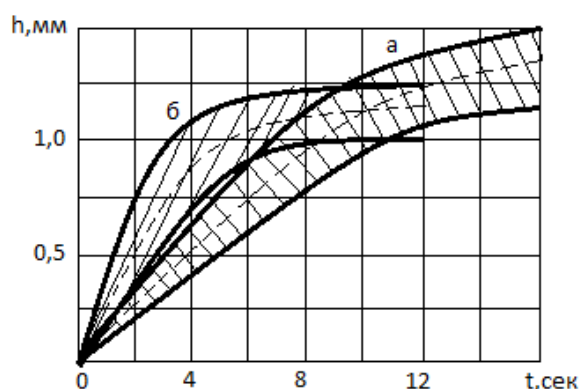


Рис.6. Изменение осадки стержней в процессе сварки: а-режим А, б-режим Б; - - - - средние значения осадки.

Четвертый раздел посвящен определению необходимого наименьшего значения параметров режима электроконтактной сварки перекрещивающихся круглых стержней. Для этого рассмотрено распределение потенциала и поперечного тока в круглом стержне.

Необходимая максимальная температура в контакте сварки равна температуре плавления свариваемого металла

$$\theta_{\max} = \theta_{\text{плав}} \cdot \beta$$

$$T_{\max} = \frac{1}{\beta} \cdot \theta_{\max}, \quad (4)$$

где θ_{\max} – максимальная безразмерная температура;

β – температурный коэффициент, $1/^\circ\text{C}$.

Тогда можно доказать, что

$$\theta_{\max} = \frac{1 - \cos \mu}{\cos \mu} \quad (5)$$

и

$$T_{\max} = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{1 - \cos \varpi}{\cos \mu}, \quad (6)$$

$$\mu = \arccos \frac{1}{1 + \mu T_{\max}} \quad (7)$$

Подставив μ , получим

$$\frac{I_{ce}}{2\pi(r_{0t})_{np}} \sqrt{\frac{0,24\beta\rho_0}{\lambda}} = \arccos \frac{1}{1 + \beta T_{\max}}, \quad (8)$$

здесь $F_{np} = 2\pi(r_{0t})_{np}^2$ и m – отношение площади F_{np} к площади поперечного сечения стержней $\frac{\pi d_1^2}{4}$. Величина m устанавливается опытным путем. Чем больше m , тем относительно позже наступает предельное состояние в контакте, тем выше необходимый для сварки ток.

Для расчета необходимого максимального тока получим

$$I_{ce} = \pi d_1 \sqrt{\frac{m}{2} \cdot \frac{\lambda}{0,24\beta\rho_0} \cdot \arccos \frac{1}{1 + \beta T_{\max}}}. \quad (9)$$

В этой главе представлена методика определения плотности тока и показано, что при данных размерах контактных площадок плотность тока стержня зависит от продольных размеров площадок (ξ_1 и ξ_2), а поперечными размерами ($\varphi_1 r_0$ и $\varphi_2 r_0$) можно пренебречь

$$j_0(\xi_1, \xi_2) = \frac{I}{2 \cdot \pi^2 \cdot r_0^2} \left[\frac{P(\xi_1)}{\xi_1} + \frac{P(\xi_2)}{\xi_2} \right] \quad (10)$$

Значения $\frac{P(\xi_1)}{\xi_1}$ и $\frac{P(\xi_2)}{\xi_2}$ берутся из рис.7.

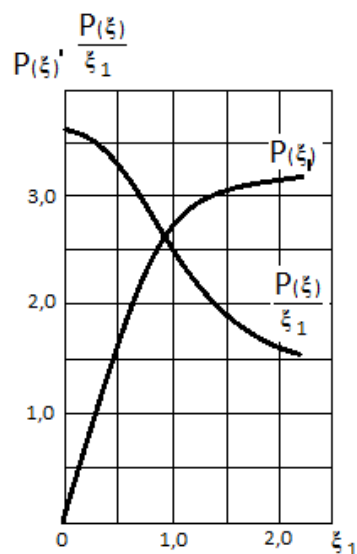


Рис.7. Соотношение между $P(\xi)$ и ξ_1

Зная плотность тока можно определить наименьшее необходимое значение усилия. При этом удельное давление в зоне контакта при сварке

$$K = \frac{P}{F} \cdot \text{даН/см}^2. \quad (11)$$

Расчетное значение в зоне контакта

$$F = \frac{I}{j} . \quad (12)$$

Таким образом,

$$P = K \cdot F . \quad (13)$$

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Исследование процесса электроконтактной сварки перекрещивающихся круглых стержней, т.е. арматуры железобетона, показало:

- размеры и формы контакта зависят от размеров и формы стержней и электродов, а также от усилия сжатия между электродами;

- площадь контакта между свариваемыми стержнями зависит от осадки при сварке $F_{\text{св}}(h)$ и при холодном обмятии стержней $F_x(h)$

$$F_{\text{св}}(h) = 1,8 F_x(h) ;$$

- при сварке стержней в зоне контакта удельное давление имеет постоянное значение и зависит от твердости материала стержней, при сварке стержней диаметрами более 10 мм

$$K \approx 0,6HB;$$

а при сварке стержней малого диаметра (до 5 мм)

$$K \approx 1,28HB .$$

2. Экспериментально определена картина изменения температуры в зоне сварки. Выявлено, что необходимые скорости нагрева имеют место в начальной стадии процесса. Точка околосварочной области нагревается до температуры плавления основного металла в течение 1,5-2 сек.

3. Предельная температура точек околосварочной области со стороны малого стержня на 100-150° С выше, чем со стороны большого стержня.

4. Установлено, что чем больше длительность сварки, тем меньше эффект полезного действия процесса нагрева. При данном значении тока, предложено сварку перекрещивающихся круглых стержней осуществлять на жестком режиме ($t_{св} < 4$ сек).
5. На основании анализа процесса нагрева стержней установлено, что плотность тока в центральной части контакта зависит только от длины контакта между свариваемыми стержнями, а также от длины контакта между электродами и стержнями.
6. На основе проведенных опытов и сопоставления опытных данных с результатами расчета температуры околоконтактной области в предельном состоянии, предложена методика определения наименьшего тока, необходимого для сварки стержней.
7. Разработана методика определения усилия сжатия между электродами в центре контакта сварки с учетом необходимого наименьшего сварочного тока перекрещивающихся круглых стержней.

Основные положения диссертационной работы отражены в трудах:

1. Оспанова С., Зивзивадзе Л., Шаламберидзе М. К вопросу разработки энергосберегающей технологии сварки арматуры из перекрещивающихся круглых стержней. /III Международная научная конференция «Энергетика: региональные проблемы и перспективы развития», Кутаиси, 2015, с.237-241.
2. Оспанова С., Зивзивадзе Л., Шаламберидзе М Особенности разработки энергосберегающей технологии изготовления металлической сетки.. /“GEORGIAN ENGINEERING NEWS”, Тбилиси, 2014, с.48-51.
3. Выбор критерия оценки качества электроконтактной сварки арматуры железобетонной конструкции. /“GEORGIAN ENGINEERING NEWS”, Тбилиси, 2015, с.48-50.
4. Оспанова С., Хвадигиани А., Шаламберидзе М. Опытное исследование процесса нагрева при электроконтактной сварке перекрещивающихся круглых стержней. /“GEORGIAN ENGINEERING NEWS”, Тбилиси, 2015, с.80-83.

საქართველოს მეცნიერების და განათლების სამინისტრო
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ოსპანოვა სალტანატ

**ღეროვანელემენტებიანი ლითონკონსტრუქციების
დამზადების ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიის
დამუშავება**

0408 - ინჟინერიის მექანიკა და ტექნოლოგია

ინჟინერიის დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად წარმოდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

ქუთაისი 2016

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,
ემერიტუსი მარლენ შალამბერიძე

ოფიციალური რეცენზენტები:

დაცვა შედგება _____ 2016 წ. 14 სთ. საინჟინრო-ტექნიკური
ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს მიერ შექმნილი სადისერტა-
ციო კომისიის სხდომაზე.

მისამართი: 4600, ქ.ქუთაისი, თამარ მეფის ქ. №59, I კორპუსი, აუდ.
№ 1114

დისერტაციის გაცნობა შესაძლებელია აკაკი წერეთლის სახელმწი-
ფო უნივერსიტეტის ბიბლიოთეკაში. მისამართი: ქ.ქუთაისი, თამარ
მეფის ქ. №59

ავტორეფერატი დაგზავნილია «_____» _____ 2016 წ.

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,
ასოცირებული პროფესორი

/ნ. სახანბერიძე/

სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

პრობლემის აქტუალობა. სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობაში, ასევე გზების და გვირაბების მშენებლობაში ფართოდ გამოიყენება რკინაბეტონის კონსტრუქციები. განსაკუთრებით წინასწარ არადაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციები. ისინი ძირითადად მზადდებიან ქარხნულ პირობებში, აგრეთვე უშუალოდ მშენებარე ობიექტებზე.

რკინაბეტონის კონსტრუქციებში გამოყენებულია სხვადასხვა პროფილის ნაგლინი ღეროები, დამზადებული დაბალნახშირბადიანი ფოლადისაგან (არმატურა). არადაძაბულ კონსტრუქციებში გამოყენებულია მცირე დიამეტრის (10 მმ-მდე) მქონე გლუვზედაპირიანი ღეროები. რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის მათგან წინასწარ ამზადებენ ლითონურ ბადეებს ელექტროკონტაქტური შედუღებით. ლითონური ბადეები მზადდება როგორც ერთნაირი დიამეტრის, ასევე სხვადასხვა დიამეტრის მქონე ლითონის ღეროებისაგან.

მსოფლიოში წარმოებული ელექტრული ენერჯის 70% ხმარდება სხვადასხვა ელექტროტექნოლოგიებით ნაკეთობების დამზადებას. მათ რიცხვს მიეკუთვნება ელექტროკონტაქტური მეთოდით ლითონური ბადეების წარმოება რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის.

რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის ლითონური ბადეების ელექტროკონტაქტური შედუღებისას არ გამოიყენება ხარისხის კონტროლის მეთოდები. მოწმდება მხოლოდ შესადული ღეროების შესაბამისობა მათი გაჭიმვაზე გამოცდის მეთოდით. ქარხნებში ღეროების ელექტროკონტაქტური შედუღების ტექნოლოგიის დამუშავებისას ცდილობენ მიაღწიონ შეერთებებისა და ძირითადი ლითონის თანაბარსიმტკიცეს, რაც მიიღება შედუღების დენის მნიშვნელოვანი გადიდებით და შედუღების ზონაში გამდნარი ლითონის მნიშვნელოვანი გადახურებით. ამასთან, ხარისხის შეფასებაზე მიმართული ჩვენი კვლევები გვაჩვენებს, რომ გამოცდისას, ქარხნული წესით შედუღებული ნიმუშების რღვევა ხდება არა შედუღებულ წერტილში, არამედ ძირითად ლითონში. აქედან გამომდინარე, როცა შედუღე-

ბის ზონაში ტემპერატურა აღწევს ძირითადი ლითონის დნობის ტემპერატურას, შედუღების დენის გადიდება ქარხნული ტექნოლოგიის შესაბამისად არ არის მიზანშეწონილი.

ამის გამო, სადისერტაციო სამუშაოს თემა, რომელიც შეეხება გადაჯვარედინებული ღეროების ელექტროკონტაქტური შედუღების ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიის დამუშავებას, რაც გულისხმობს შედუღების რეჟიმის პარამეტრების განსაზღვრას, მათ შორის შედუღების დენისა, რომელიც უზრუნველყოფს შედუღების ზონაში შესადუღი მასალის დნობის ტემპერატურის მიღწევას, აქტუალურია.

სადისერტაციო სამუშაოს მიზანი. ლითონური კონსტრუქციების ელექტროკონტაქტური შედუღებისას შედუღების ადგილის სიმტკიცე დამოკიდებულია შედუღების დენის სიდიდეზე. ამავ დროს, შედუღების დენის სიდიდე და შენადული შეერთების სიმტკიცე მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ელექტროდზე მოქმედი კუმშვის ძალის სიდიდეზე და შედუღების ხანგრძლივობაზე. შედუღების რეჟიმის აღმნიშნული პარამეტრები განსაზღვრავენ შედუღებული ლითონკონსტრუქციის სიმტკიცეს რკინაბეტონის კონსტრუქციაში. ამის გამო, სამუშაოს მიზანია ლითონკონსტრუქციის ელექტროკონტაქტური შედუღების ელექტროენერგიის დამზოგი ტექნოლოგიის დამუშავება, რაც გულისხმობს შედუღების დენის უმცირესი მნიშვნელობის განსაზღვრას, რომელიც საჭიროა შედუღებისას მაქსიმალური სიმტკიცის უზრუნველყოფისათვის, ასევე რეჟიმის სხვა პარამეტრების ოპტიმალური მნიშვნელობების განსაზღვრას.

დასახული კვლევების მიზანია:

1. მრგვალ გადაჯვარედინებულ ღეროებში განივი დენის განაწილების ხასიათის ანალიზი მათი გადაჯვარედინებულად შედუღებისას.

2. მრგვალი გადაჯვარედინებული ღეროებს ელექტროკონტაქტური შედუღებისას დენისა და პოტენციალის განაწილების გამოკვლევა.

3. მრგვალი გადაჯვარედინებული ღეროების ელექტროკონტაქ-

ტური შედუღებისას გახურების პროცესის ანალიზი.

4. მრგვალი გადაჯვარედინებული ღეროების ურთიერთდასმის პროცესის კვლევა მათი ელექტროკონტაქტური შედუღებისას.

5. მრგვალი გადაჯვარედინებული ღეროების ელექტროკონტაქტური შედუღებისათვის საჭირო უმცირესი შედუღების დენის განსაზღვრა.

6. მრგვალი გადაჯვარედინებული ღეროების კონტაქტის ცენტრში დენის სიმკვრივისა და ელექტროდებზე კუმშვის ძალის განსაზღვრა მათი ელექტროკონტაქტური შედუღებისას.

სამუშაოს ძირითადი ამოცანები:

1. მრგვალი გადაჯვარედინებული ღეროების ელექტროკონტაქტური შედუღების პროცესზე შედუღების ადგილის ცივი კონტაქტის ფართის და ხვედრითი დაწნევის გავლენის კვლევა.

2. მრგვალი გადაჯვარედინებული ღეროების შედუღების ხარისხის კრიტერიუმის დამუშავება და ელექტრული ენერგიის დაზოგვის შესაძლებლობის ანალიზი.

3. მრგვალი გადაჯვარედინებული ღეროების ელექტროკონტაქტური შედუღებისას გახურების ტემპერატურის ცვლილების ხასიათის კვლევა.

4. მრგვალი გადაჯვარედინებული ღეროების შედუღებისას საჭირო უმცირესი დენის განსაზღვრის მეთოდიკის დამუშავება.

5. მრგვალი გადაჯვარედინებული ღეროების ელექტროკონტაქტური შედუღებისას კუმშვის ძალის განსაზღვრის მეთოდიკის დამუშავება, უმცირესი დენის გათვალისწინებით.

კვლევის მეთოდები. დასმული ამოცანების გადასაწყვეტად გამოყენებული იქნა კვლევის კომპლექსური მეთოდები, რომლებიც მოიცავენ:

- შედუღების საწყის სტადიაზე ცივი კონტაქტის ფართის და ელექტროდებზე ხვედრითი წნევის ექსპერიმენტალურ განსაზღვრას;
- შედუღების პროცესში ტემპერატურის და შესადული ღეროების დეფორმაციების ცვლილების ხასიათის ექსპერიმენტალურ კვლე-

ვას და თეორიულ ანალიზს;

- საჭირო უმცირესი დენის და ელექტროდებზე კუმშვის ძალის განსაზღვრის მეთოდის შექმნას; პროცესის პარამეტრების ოსცილოგრაფირებას;
- შედუღების დენისა და ელექტრული ველის პოტენციალის განაწილების ხასიათის განსაზღვრის საანგარიშო მეთოდს;
- შედუღების კონტაქტის ცენტრში შედუღების დენის სიმკვრივის განსაზღვრის საანგარიშო მეთოდს.

მეცნიერული სიახლე:

1. ექსპერიმენტების, გაანგარიშების და თეორიული კვლევების საფუძველზე პირველად დამუშავებულია მრგვალი გადაჯვარედინებული ღეროების ელექტროკონტაქტური შედუღების ელექტროენერჯის დამზოგი ტექნოლოგია, რომელიც მდგომარეობს დენის ძალის და ელექტროდებზე კუმშვის ძალის შედუღებისათვის საჭირო მინიმალური სიდიდეების განსაზღვრის მეთოდის დამუშავებაში.

2. ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ გახურების პროცესის ეფექტურობის ამაღლებისა და შედუღების ზონიდან გამოდევნილი გამდნარი ლითონის მოცულობის შემცირების ხარჯზე ელექტროენერჯის ეკონომიის მიზნით, მიზანშეწონილია შედუღება ვაწარმოთ ხისტ რეჟიმზე ($t_{აღ} < 4$ წმ).

საჯარო დაცვისათვის შემოთავაზებულია:

1. შედუღების კონტაქტის დეფორმაციის და მახლობელი ზონის გახურების ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები, რაც აისახა რეკომენდაციაში: მრგვალი გადაჯვარედინებული ღეროების ელექტროკონტაქტური შედუღება, ელექტრული ენერჯის დაზოგვის მიზნით, აუცილებელია განხორციელდეს ხისტ რეჟიმებზე (შედუღების ხანგრძლივობა ≤ 4 წმ).

2. მრგვალი გადაჯვარედინებული ღეროების ელექტროკონტაქტური შედუღებისას კონტაქტში დენის სიმკვრივის გაანგარიშების მეთოდი და მიღებული შედეგები: მაქსიმალური სიმკვრივე მიიღწევა კონტაქტის ცენტრში; მისი სიდიდე არაა დამოკიდებული

ელექტროდსა და შესადულ დეტალს შორის კონტაქტის ფართზე. შედეგების დენის სიმკვრივე დამოკიდებულია ელექტროდსა და დეტალს შორის კონტაქტის სიგრძეზე.

3. მრგვალი გადაჯვარედინებული ღეროების ელექტროკონტაქტური შედეგებისათვის აუცილებელი უმცირესი შედეგების დენის გაანგარიშების მეთოდი.

4. შედეგებისათვის აუცილებელი უმცირესი დენის გათვალისწინებით ელექტროდებს შორის კუმშვის ძალის განსაზღვრის მეთოდი.

სამუშაოს შედეგების პრაქტიკული ღირებულება და რეალიზაცია.

1. შედეგების რეჟიმის პარამეტრების განსაზღვრისათვის საჭირო ექსპერიმენტებისა და გაანგარიშებების შედეგები გამოყენებული იქნება რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის მრგვალი გადაჯვარედინებული ლითონის ღეროების მქონე ბადეების ენერგოდამზოგი ელექტროკონტაქტური შედეგების ტექნოლოგიის დამუშავებისას.
2. ელექტროკონტაქტური შედეგების ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიის რეჟიმის პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდები გამოყენებული იყო თბილისის ქარხანაში „მონოლითი“ (რუსთავის გზატკეცილი, 34).

სადისერტაციო სამუშაოს აპრობაცია. სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი დებულებების შესახებ მოხსენებები გაკეთდა და მსჯელობა შედგა III საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე «ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები», საქართველო, ქუთაისი, 2014 წ.

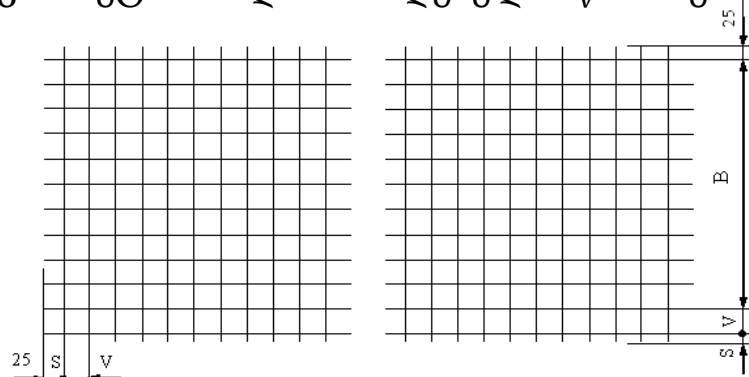
გამოქვეყნებული შრომები. დისერტაციის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 4 ნაშრომი, მათ შორის სამი საერთაშორისო ჟურნალში «GEORGIAN ENGINEERING NEWS», რომელიც რეკომენდებულია აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის საინჟინრო-ტექნიკური ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს მიერ.

სამუშაოს სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავლისაგან, ოთხი ნაწილისაგან, ძირითადი შედეგებისა და დასკვნებისაგან, ლიტერატურის სიისა და დანართისაგან. ნაშრომი შეიცავს კომპიუტერზე აკრებილ 106 გვერდს, მათ შორის 37 სურათს, 5 ცხრილს და 1 დანართს. გამოყენებული ლიტერატურის სია შეიცავს 94 დასახელებას.

სამუშაოს სიწარმი

შესავალში დასაბუთებულია სადისერტაციო თემის აქტუალობა, ჩამოყალიბებულია სამუშაოს მიზანი და მისი პრაქტიკული ღირებულება.

დისერტაციის პირველ ნაწილში განხილულია სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობაში გამოყენებული რკინაბეტონის კონსტრუქციების მიმოხილვა. მოცემულია აგრეთვე რკინაბეტონის კონსტრუქციებში გამოყენებული ლითონური კონსტრუქციების ანალიზი. უმეტეს შემთხვევაში ლითონურ კონსტრუქციას ამზადებენ როგორც გლუვი, ასევე არაგლუვი ზედაპირის მქონე გადაჯვარედინებული ღეროებისაგან ელექტროკონტაქტური შედუღებით ლითონური ბადის სახით (სურ.1). რკინაბეტონის ლითონურ კონსტრუქციებს (ლითონის ბადეებს) ამზადებენ სპეციალურ ქარხნებში და მზა სახით აწვდიან რკინაბეტონის დამამზადებელ საწარმოებს.



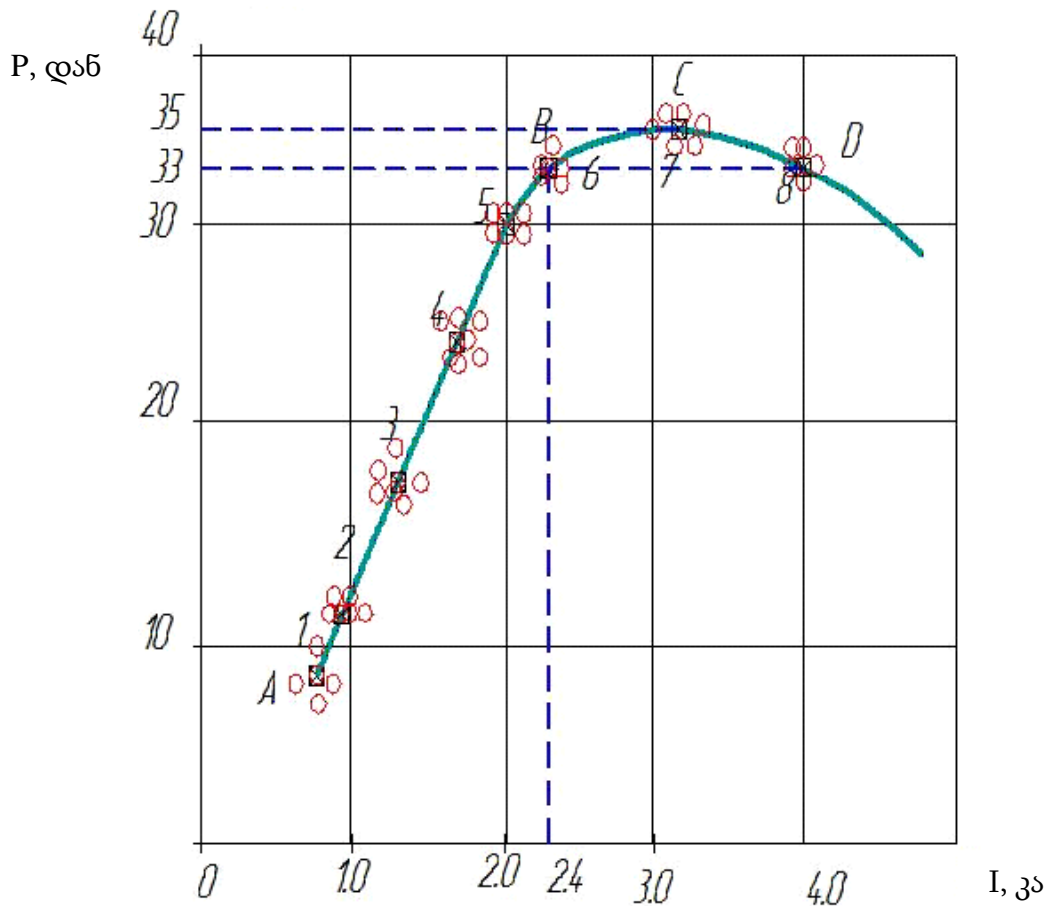
სურ.1. რკინაბეტონის არადაძაბულ კონსტრუქციებში გამოყენებული ლითონური შენადული ბადე.

დისერტაციის ამავე ნაწილში განხილულია აგრეთვე ლითონის ღეროების გადაჯვარედინებულად შედუღებული შეერთებების მე-

ქანიკური გამოცდის სხვადასხვა სქემები. ამის საფუძველზე დამუშავებულია შედულების ხარისხის შეფასების კრიტერიუმი და შენადული შეერთების გამოცდის სამარჯვი.

სამშენებლო არადაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ლითონური ბადის შენადული შეერთების ადგილებზე მოქმედებს როგორც მკუმშავი, ასევე გამჭიმავი ძალები, რომლებიც წარმოიქმნიან ბეტონზე მოქმედი გარეგანი დატვირთვების და მასში მიმდინარე ფიზიკურ-მექანიკური პროცესების გამო. ამის გამო ბადის (არმატურის) შენადული შეერთების ხარისხის შეფასების კრიტერიუმი შესაძლებელია იყოს მათი მექანიკური გამოცდის შედეგი როგორც ახევაზე, ასევე ჭრაზე (სურ.2). შენადული შეერთების ამ ორი სქემიდან, შენადული შეერთების გამოცდის უფრო მიზანშეწონილი სქემა, შერჩეული იქნა ამ სქემის უფრო მეტი მგრძობიარობით შედულების პროცესზე მოქმედი ფაქტორების ცვლილების მიმართ. ასეთი ფაქტორის სახით შერჩეული იქნა შედულების დენი, რომელიც სხვა ფაქტორებთან შედარებით ყველაზე მნიშვნელოვნად მოქმედებს შედულების ადგილის სიმტკიცეზე. ამის გამო, არმატურის ელექტროკონტაქტური შედულების ადგილების ხარისხის შეფასების სქემის შერჩევის კრიტერიუმად მიღებული იქნა ამ სქემის მგრძობიარობა შედულების დენის ცვლილებისადმი შედულების პროცესში.

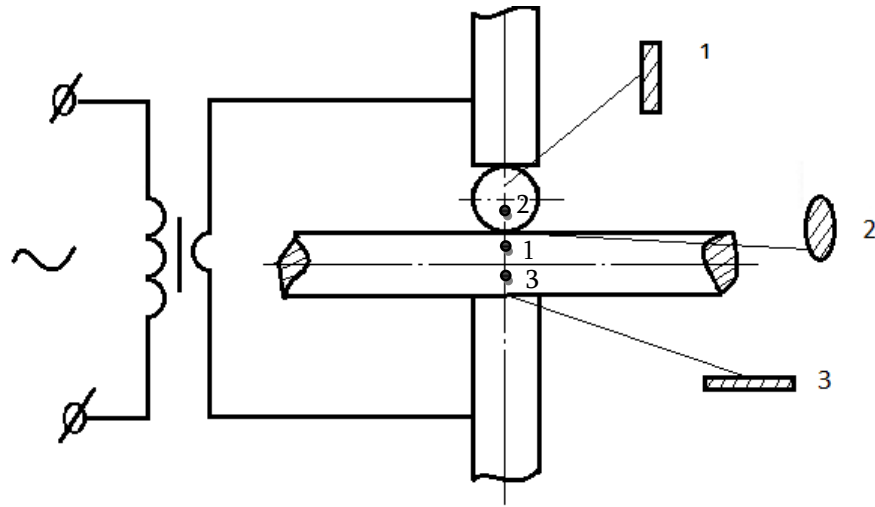
ხოლო მექანიკური გამოცდის სქემის შედულების ცვლილებისადმი მგრძობიარობის კრიტერიუმად მიღებული იქნა მათ შორის კორელაციური კავშირის სიდიდე. ჩატარებული ექსპერიმენტების მონაცემების კორელაციური ანალიზის საფუძველზე ნაჩვენებია, რომ გადაჯვარედინებული მრგვალი ლითონური ღეროების ელექტროკონტაქტური შედულების ხარისხის შეფასების კრიტერიუმად უმჯობესია მიღებული იქნას შენადული შეერთების ადგილის ჭრაზე მექანიკური გამოცდის შედეგი.



სურ.2. დამოკიდებულება ლითონური ბადის ელექტროკონტაქტური შედუღების სიმტკიცესა და შედუღების დენს შორის

პირველ ნაწილში განხილულია აგრეთვე რკინაბეტონის კონსტრუქციაში გამოყენებული ლითონური კონსტრუქციის დამზადების ელექტროენერჯის დამზოგი ტექნოლოგიის დამუშავების თავისებურებანი. ამ მიზნით ჩატარებულ ექსპერიმენტებში ლითონური კონსტრუქციის ელემენტების ნიმუშები შედუღებული იქნა იმავე რეჟიმზე, რომელიც გამოყენებულია ლითონკონსტრუქციის ქარხნული წარმოების პირობებში ($t_{\text{შელ}} = 4$ წმ; $F_{\text{კ}} = 300$ დან; $I_{\text{შელ}} = 4$ კა). შედუღებული იყო გადაჯვარედინებული ღეროები დიამეტრით 5+3 მმ. მიღებული დამოკიდებულება შედუღების ადგილის სიმტკიცესა და შედუღების დენს შორის (სურ.2) გვიჩვენებს, რომ თავიდან შედუღების დენის გაზრდით 2,4 კა-მდე სიმტკიცე იზრდება პროპორციულად (წრფივად). ხოლო დენის უფრო მეტი გაზრდით 2,4 კა-დან ≈ 4 კა-მდე (BD უბანი) შენადული შეერთების სიმტკიცე იზრდება დენ-

თან შედარებით უმნიშვნელოდ - 33-დან 35 დან-მდე. ე.ი. დენის გაზრდით $\approx 80\%$ -ით შედულების ადგილის სიმტკიცე იზრდება $\approx 30\%$ -ით.



სურ.3. წერტილების განლაგება, რომლებშიც იზომებოდა ტემპერატურა შედულებისას

შენადული შეერთების მექანიკური გამოცდის შედეგების დისპერსიული ანალიზი და გამოცდილი ნიმუშების გარეგანი დათვალიერება გვიჩვენებს, რომ დენის გაზრდით $\approx 2,4$ კა-ზე და ზემოთ შედულებული ნიმუშები გამოცდისას დაიშალა შედულების ზონის გარეთ, შესადული ღეროს ძირითად ლითონში. ამავე დროს დისპერსია შეესაბამება შესადულებელი ნიმუშების მასალის დისპერსიას. გარდა ამისა, შედულებული ნიმუშების გარეგანი დათვალიერება აჩვენებს, რომ მნიშვნელოვნად გაზრდილია შედულების ზონიდან გადმოდენილი გამდნარი ლითონის მოცულობა. ყოველივე ეს მიუთითებს იმაზე, რომ: ლითონის გადახურება დნობის ტემპერატურის ზემოთ შედულების დენის გაზრდით, არაა ეფექტური, რადგანაც შედულების სიმტკიცე უმნიშვნელოდ იზრდება, ხოლო მნიშვნელოვნად იზრდება შედულების ზონიდან გადმოდენილი ლითონი, რომელიც არ მონაწილეობს სიმტკიცის ფორმირებაში.

მაშასადამე, ურთიერთგადაჯვარედინებული ღეროების ელექტროკონტაქტური შედულება, განხორციელებული შესადული ღეროების მასალის დნობის ტემპერატურაზე უზრუნველყოფს ელექტრუ-

ლი ენერჯის ეკონომიურად მოხმარებას ისე, რომ ამით მიღებული იქნება შენადული შეერთების საჭირო სიმტკიცე.

შედულების დენის და შედულების რეჟიმის დანარჩენი პარამეტრების ისეთი მნიშვნელობების განსაზღვრას, რომლებიც უზრუნველყოფენ შედულების ზონაში შესადული ღეროების მასალის დნობის ტემპერატურას ეძღვნება წარმოდგენილი დისერტაციის დანარჩენი ნაწილები.

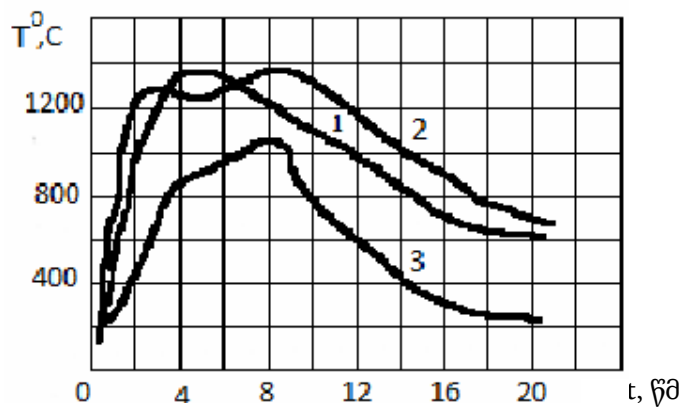
დისერტაციის მეორე ნაწილში მოყვანილია ელექტროკონტაქტური შედულებისას გადაჯვარედინებული ლითონური ღეროების გახურების პროცესის ექსპერიმენტული კვლევები და ღეროების გახურების პროცესის თეორიული კვლევები, აგრეთვე ღეროების გახურების პროცესის ანალიზი.

ელექტროკონტაქტური შედულების პროცესში ღეროების გახურების პროცესის ექსპერიმენტული გამოკვლევისას ტემპერატურა იზომებოდა სამ წერტილში (ნახ.3). მათგან ორი წერტილი (1,2) განლაგებული იყო შედულების ზონის მახლობლობაში თითოეული ღეროს მხრიდან, ხოლო მესამე წერტილი აღებული იყო ქვედა ღეროზე, შედულების ზონიდან მოშორებით, ელექტროდის მახლობლობაში. ელექტროდის მახლობლობაში განლაგებულ 3 წერტილში, დიდი კვეთის ღეროში გახურების სიჩქარე რამდენადმე დაბალია. ექსპერიმენტის შედეგები მოყვანილია სურ.4,5-ზე. ამ ექსპერიმენტისათვის დამახასიათებელია მუდმივი ტემპერატურის დონის წარმოქმნა ტემპერატურული ციკლის იმ 1,2 წერტილებისათვის, რომლებიც განლაგებულია ყველაზე მეტად გახურებული ზონის მახლობლობაში. ბუნებრივია, რომ შედულების პროცესის განსაზღვრულ სტადიაში აღნიშნული წერტილების მიმდებარე გარემოში მყარდება ტემპერატურული წონასწორობა, რომლის დროსაც დენის გავლით გამოყოფილი სითბო წონასწორობაში მოდის თბოგამტარობით სითბოს ართმევით და აღნიშნული წერტილის მახლობლობაში ტემპერატურის შემდგომი გაზრდა პრაქტიკულად არ ხდება.

შედულების რეჟიმის პარამეტრების სწორად შერჩევის შემთხვე-

ვაში, მათ შორის შედუღების დენის და ელექტროდებს შორის კუმშვის ძალის სწორად შერჩევის შემთხვევაში, ტემპერატურის დამყარებული დონე შეესაბამება შესადული მასალის დნობის ტემპერატურას. კუმშვის ძალის მეტისმეტი გაზრდა, შედუღების დენის უკმარისობის შემთხვევაში ამცირებს შედუღების კონტაქტში დენის სიმკვრივეს და ტემპერატურული წონასწორობის მდგომარეობა მყარდება დნობის ტემპერატურის მიღწევამდე, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს შედუღების ადგილის სიმტკიცის შემცირება, შესაძლებელია ადგილი ჰქონდეს შეუდუღებლობას.

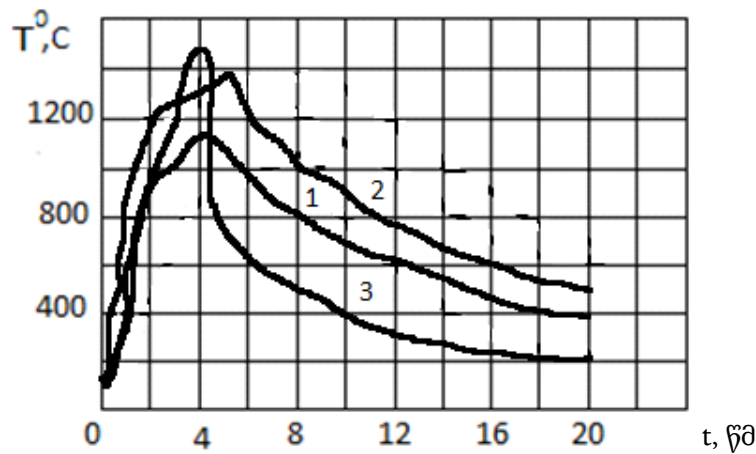
ამრიგად, ტემპერატურის ცვლილების მრუდზე წონასწორობის დონე შეიძლება ვარეგულიროთ ელექტრული პარამეტრების ცვლილებით, ელექტროდების დაწნევის ძალის სიდიდის გათვალისწინებით. შედუღების დენის და კუმშვის ძალის ოპტიმალური მნიშვნელობების განსაზღვრა გულისხმობს მათი ისეთი უმცირესი მნიშვნელობების განსაზღვრას, რომლებიც უზრუნველყოფენ ტემპერატურული წონასწორობის ისეთი დონის მიღებას, რომელიც შეესაბამება შესადული ღეროების მასალის დნობის ტემპერატურას.



სურ.4. შენადული ნიმუშის სხვადასხვა წერტილების თერმული ციკლი (რბილი რეჟიმი)

სურ.4 და სურ.5-დან ჩანს, რომ ექსპერიმენტის დროს მოცემული დენის და დაწნევის ძალის მნიშვნელობებზე ადგილი აქვს მცირე დიამეტრის ღეროს გადახურებას დიდი დიამეტრის ღეროსთან შედარებით. ამის გამო განსხვავებული დიამეტრის მქონე ღეროების

შედულებისას შედულების დენის და კუმშვის ძალის განსაზღვრა უნდა მოხდეს მცირე დიამეტრის ღეროს მიხედვით.



სურ.5. შენადული ნიმუშის სხვადასხვა წერტილების თერმული ციკლი (ხისტი რეჟიმი)

ღეროების გახურების პროცესის თეორიული კვლევისა და ანალიზის შედეგად მიღებულია დამოკიდებულება იმ უმცირესი დენის გამოსათვლელად, რომელიც საჭიროა ღეროების შედულებისათვის:

$$\theta_{\infty}(\vartheta) = \frac{\cos[\mu(1-\nu)]}{\cos \mu} - 1, \quad (1)$$

ანუ ზღვრული ტემპერატურის შეზღუდვის არე $\theta_{\infty}(\vartheta)$ განისაზღვრება $\cos \mu > 0$ პირობით,

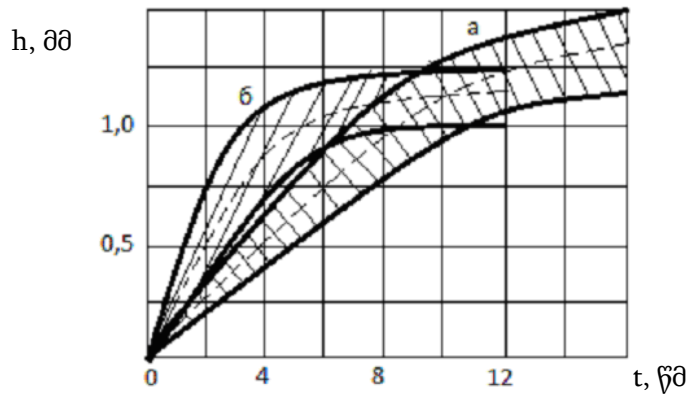
სადაც $\mu = \frac{I_2}{2\pi r_{ot}} \sqrt{0,24 \frac{\beta \rho_o}{\lambda}}$ - უგანზომილებო პარამეტრია, რომელიც ახასიათებს სითბოს წყაროს ინტენსივობას;

ρ_o - ღეროს მასალის საწყისი ხვედრითი წინააღობა;

λ - ღეროს თბოგამტარობის კოეფიციენტი;

β - ტემპერატურული კოეფიციენტი;

$\theta_{\infty} = \beta T_{\infty}$ - უგანზომილებო ტემპერატურა.



სურ.6. შედუღების პროცესში ღეროების დასმის ცვლილება: ა-რეჟიმი A; ბ-რეჟიმი B; - - - - დასმის საშუალო მნიშვნელობა.

მესამე ნაწილში განხილულია გადაჯვარედინებული ღეროების დასმის პროცესი ცივი კონტაქტის და შედუღების პროცესში, რაც საჭიროა დენის სიმკვრივის და კუმშვის ძალის გამოთვლისათვის.

ექსპერიმენტალურად დადგენილი იქნა, რომ ღეროების ცივად დასმისას ხვედრითი წნევას პრაქტიკულად აქვს მუდმივი მნიშვნელობა და შეადგენს:

$$K \approx 0,6HB; \quad (2)$$

სადაც HB - ღეროს მასალის სისალეა ბრონელებში.

მცირე დიამეტრის (5 მმ-მდე) ღეროებზე ექსპერიმენტებმა აჩვენეს, რომ ღეროების ცივი დასმისას კონტაქტში დასმის ხვედრითი წნევა შეადგენს

$$K \approx 1,28HB . \quad (3)$$

ამავე ნაწილში გამოკვლეულია აგრეთვე შედუღების პროცესში ღეროების დასმა. სურ.6-ზე წარმოდგენილია ღეროებში დასმის ცვლილება შედუღების პროცესში. დასმის ზრდის შედარებით დაბალი ინტენსივობა შეიმჩნევა რბილ რეჟიმზე შედუღებისას. შედუღების განმავლობაში დასმის საშუალო სიჩქარე შეადგენს: A რბილ რეჟიმზე შედუღებისას - 0,25 მმ/წმ, ხოლო B ხისტ რეჟიმზე შედუღებისას - 0,57 მმ/წმ. შესაბამისად რბილ რეჟიმზე შედუღებისას შედარებით მეტია ღეროებს შორის კონტაქტიდან გადმოდენილი გამდნარი და გადახურებული ლითონის მოცულობა, ვიდრე ხისტ რეჟიმზე შედუღებისას.

მაშასადამე, რბილ რეჟიმზე ღეროების შედუღებისას ელექტროენერგიის ნაწილი, რომელიც იხარჯება კონტაქტებს შორის ზონის გადახურებისათვის არ ხმარდება შენადული შეერთების ფორმირებას. ამის გამო ჩვენს მიერ რეკომენდებულია ელექტრული ენერგიის ეკონომიის მიზნით, გადაჯვარედინებული ღეროები შედუღდეს ხისტ რეჟიმზე, რომელსაც შეესაბამება შედუღების ხანგრძლივობა $t_{\Sigma} \leq 4$ წმ.

მეოთხე ნაწილი ეძღვნება გადაჯვარედინებული ღეროების ელექტროკონტაქტური შედუღების რეჟიმის პარამეტრების მნიშვნელობის აუცილებელი უმცირესი მნიშვნელობების განსაზღვრას. ამ მიზნით განხილულია მრგვალ ღეროებში პოტენციალის და დენის განაწილება.

როგორც ნაჩვენები იყო წინა ნაწილში, ელექტროენერგიის დაზოგვის თვალსაზრისით აუცილებელი მაქსიმალური ტემპერატურა ღეროების შედუღების კონტაქტში უნდა იყოს შესაძლებელი ღეროების მასალის დნობის ტემპერატურის ტოლი

$$\begin{aligned} \theta_{max} &= \theta_{\text{დნ.}} \\ T_{max} &= \frac{1}{\beta} \theta_{max}, \end{aligned} \quad (4)$$

სადაც θ_{max} - მაქსიმალური უგანზომილებო ტემპერატურაა;

β - ტემპერატურული კოეფიციენტი, $1/^\circ\text{C}$.

მაშინ შეიძლება ვამტკიცოთ, რომ

$$\theta_{max} = \frac{1 - \cos \mu}{\cos \mu}, \quad (5)$$

და

$$T_{max} = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{1 - \cos \mu}{\cos \mu} \quad (6)$$

$$\mu = \arccos \frac{1}{1 + \beta T_{max}}. \quad (7)$$

μ -ს ჩასმით მივიღებთ

$$\frac{I_{\text{შედ}}}{2\pi(m_{0r})_{\text{ხღვ.}}} \sqrt{\frac{0,24\beta\rho_0}{\lambda}} = \arccos \frac{1}{1 + \beta T_{max}}. \quad (8)$$

აქ $F_{\text{ბღვ}} = 2\pi(m_{0t})_{\text{ბღვ}}^2$ და m - ღეროს განივი კვეთის ფართის $\frac{\pi d_1^2}{4}$ და $F_{\text{ბღვ}}$ ზღვრული ფართის თანაფარდობაა. m -ის მნიშვნელობა განისაზღვრება ექსპერიმენტულად. რაც მეტია m , მით შედარებით გვიან დგება კონტაქტში ზღვრული მნიშვნელობა და მით მეტია შედუღებისათვის საჭირო დენი.

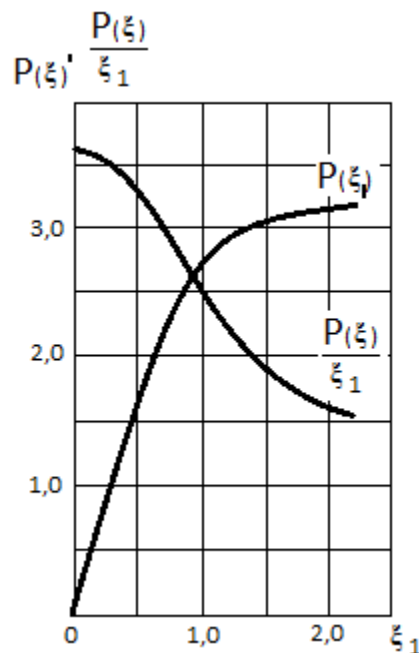
ე.ი. შედუღების აუცილებელი მაქსიმალური დენის საანგარიშოთ მივიღებთ

$$I_{\text{აღვ}} = \pi d_1 \sqrt{\frac{m}{2} \cdot \frac{\lambda}{0,24\beta\rho_0} \arccos \frac{1}{1 + \beta T_{\text{max}}}}. \quad (9)$$

ამავე ნაწილში დამუშავებულია შედუღების დენის სიმკვრივის და კუმშვის ძალის განსაზღვრის მეთოდი. ნაჩვენებია, რომ მოცემული კონტაქტის ფართისათვის ღეროში დენის სიმკვრივე დამოკიდებულია ფართის გრძივ პარამეტრზე ($\xi_1; \xi_2$), ხოლო მისი განივი მდგენელი ($\varphi_1 r_0; \varphi_2 r_0$) შეიძლება უგულებელვყოთ

$$j_0(\xi_1; \xi_2) = \frac{I}{2\pi^2 r_0^2} = \left[\frac{p(\xi_1)}{\xi_1} + \frac{p(\xi_2)}{\xi_2} \right]. \quad (10)$$

ამ უკანასკნელის უცნობი სიდიდეები აიღება წარმოდგენილი გრაფიკიდან (სურ.7).



სურ.7. თანაფარდობა $P(\xi)$ -სა და ξ_1 -ს შორის

დენის სიმკვრივის განსაზღვრისათვის შემდეგ შესაძლებელია განსაზღვრული იქნას კუმშვის ძალის მნიშვნელობა შედულების დენის მნიშვნელობის გათვალისწინებით:

$$K = \frac{P}{F} \cdot \text{დან/სმ}^2. \quad (11)$$

კონტაქტის ზონაში საანგარიშო მნიშვნელობა

$$F = \frac{I}{j}. \quad (12)$$

ამრიგად,

$$P = K \cdot F. \quad (13)$$

ძირითადი შედეგები და დასკვნები

1. გადაჯვარედინებული მრგვალი ღეროების, ე.წ. რკინაბეტონის არმატურის ელექტროკონტაქტური შედულების პროცესის კვლევამ აჩვენა:

- შედულების ზონის, აგრეთვე ელექტროდსა და ღეროს შორის კონტაქტის ზომები და ფორმა დამოკიდებულია შესადული ღეროების და ელექტროდის ზომებზე და ფორმაზე, აგრეთვე ელექტროდებს შორის დაწნევის ძალის სიდიდეზე.
- შესადულ ღეროებს შორის კონტაქტის ფართი დამოკიდებულია შედულების დროს დასმის სიდიდეზე $F_{\text{ფ}}(h)$ და ღეროების ცივად ჩათელების ფართზე $F_x(h) \approx 1,8F_v(h)$;
- ღეროების შედულებისას კონტაქტის ზონაში ხვედრითი წნევა მუდმივი სიდიდისაა და დამოკიდებულია ღეროების მასალის სისაღეზე. ღეროების 10 მმ-ზე მეტი დიამეტრის შემთხვევაში $K \approx 0,6HB$;
- ხოლო მცირე (5 მმ-მდე) დიამეტრის ღეროების შედულებისას $K \approx 1,28HB$.

2. ღეროების შედულების ზონაში ტემპერატურის ცვლილების სურათი გამოკვლეული იქნა ექსპერიმენტულად. გამოვლენილია, რომ

გახურების საჭირო სიჩქარეს აქვს ადგილი პროცესის დასაწყისში. შედუღების კონტაქტის მახლობელი წერტილები დნობის ტემპერატურამდე ცხელდება 1,5-2 წმ-ის განმავლობაში.

3. შედუღების კონტაქტის მახლობელი ზონის წერტილების ზღვრული ტემპერატურა მცირე დიამეტრის ღეროს მხრიდან 100-150°C-ით მეტია, ვიდრე დიდი დიამეტრის ღეროს მხრიდან.
4. დადგენილია, რომ რაც მეტია შედუღების ხანგრძლივობა დენის მოცემულ მნიშვნელობაზე, მით ნაკლებია გახურების პროცესის სასარგებლო მოქმედების ეფექტი. ამიტომ შემოთავაზებულია მრგვალი ლითონური ღეროების გადაჯვარედინებული ელექტროკონტაქტური შედუღება ხისტ რეჟიმზე ($t_{\text{წ}} < 4$ წმ).
5. ღეროების გახურების პროცესის ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ კონტაქტის ცენტრალურ ნაწილში დენის სიმკვრივე დამოკიდებულია მხოლოდ შესადულ ღეროებს შორის კონტაქტის სიგრძეზე, ასევე ელექტროდებსა და ღეროებს შორის კონტაქტის სიგრძეზე.
6. შედუღების ზონის ტემპერატურის ზღვრული მდგომარეობის ექსპერიმენტული და გაანგარიშების შედეგების ანალიზის საფუძველზე შემოთავაზებულია მრგვალი გადაჯვარედინებული ღეროების შედუღებისათვის საჭირო უმცირესი დენის განსაზღვრის მეთოდი.
7. დამუშავებულია გადაჯვარედინებული ღეროების შედუღების კონტაქტის ცენტრში ელექტროდებს შორის კუმშვის ძალის განსაზღვრის მეთოდი, სადაც გათვალისწინებულია უმცირესი აუცილებელი შედუღების დენის გათვალისწინებით.

დისერტაციის ძირითადი დებულებები ასახულია შრომებში

1. Оспанова С., Зивзивадзе Л., Шаламберидзе М. К вопросу разработки энергосберегающей технологии сварки арматуры из перекрещивающихся круглых стержней. /III Международная научная конференция «Энергетика: региональные проблемы и перспективы развития», Кутаиси, 2015, с.237-241.
2. Оспанова С., Зивзивадзе Л., Шаламберидзе М Особенности разработки энергосберегающей технологии изготовления металлической сетки.. /“GEORGIAN ENGINEERING NEWS”, Тбилиси, 2014, с.48-51.
3. Выбор критерия оценки качества электроконтактной сварки арматуры железобетонной конструкции. /“GEORGIAN ENGINEERING NEWS”, Тбилиси, 2015, с.48-50.
4. Оспанова С., Хвадигиани А., Шаламберидзе М. Опытное исследование процесса нагрева при электроконтактной сварке перекрещивающихся круглых стержней. /“GEORGIAN ENGINEERING NEWS”, Тбилиси, 2015, с.80-83.

Akaki Tsereteli State University
Faculty of Technical Engineering

On right manuscript

OSPAANOVA SALTANAT
Speciality: 04.08 – Mechanical Engineering and Technology

**Development of Energy – Saving for Producing Metal Structures
with Bar Elements**

Abstract
Of dissertation for gaining of academic degree
of engineering

Kutaisi 2016