

Сравнение равновесной степени превращения и степени превращения с учетом конечной скорости реакций показывает, что кинетика процессов вносит значительный вклад в состав реакционной смеси. Так, при предположении, что реакция контролируется только термодинамическими условиями, полная конверсия диоксида кремния должна достигаться за 16 ч на расстоянии 0,25 м, а на расстоянии 0,4 м степень превращения должна достигать 80 % (рисунок, б).

Газификация оксида магния полностью протекает на расстоянии не более 0,25 м, причем на небольшом расстоянии до нагревателя процесс заканчивается за первые 15 ч синтеза (рисунок, в).

Наиболее затрудненным процессом из всех изучаемых является газификация оксида алюминия. Степень его превращения на расстоянии 0,25 м не превышает 85 % в момент окончания нагрева (рисунок, г).

**Выводы.** Показано, что термодинамическое равновесие достигается на расстоянии до нагревателя менее 15 см, на расстоянии от 15 до 40 см кинетика химических реакций вносит значительный вклад в состав системы. При удалении от источника нагрева на расстояние более 40 см карботермического восстановления практически не происходит.

### Литература

1. Производство абразивных материалов / А. С. Полубелова [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1968. – 180 с.
2. Pressure dependent kinetics of magnesium oxide carbothermal reduction / B.A. Chubukov [et al.] // *Thermochim. Acta.* – 2016. – Vol. 636 – P. 23–32.
3. Frank, R. A. Physical chemistry of the carbothermic reduction of alumina in the presence of a metallic solvent: Part II. Measurements of kinetics of reaction / R. A. Frank, C. W. Finn, J. F. Elliott // *Metall. Trans. B.* – 1989. – Vol. 20, № 2. – P. 161–173.
4. Kinetics of carbothermal reduction synthesis of beta silicon carbide / A. W. Weimer [et al.] // *AIChE J.* – 1993. – Vol. 39, № 3. – P. 493–503.

*Д. Н. ЮМАНОВ, А. О. СЕРГЕЙЧИК*

### **СПОСОБ УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ Т-ОБРАЗНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКЕ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ**

*Белорусско-Российский университет, Могилев, Беларусь  
E-mail: oitsp.dmitriy@gmail.com*

**Введение.** Контактная рельефная сварка на сегодняшний день является широко используемым технологическим процессом получения неразъемных соединений изделий из металлов и сплавов. Полученные с применением ба-

зовых технологических процессов контактной рельефной сварки Т-образные сварные соединения зачастую имеют различные дефекты [1]. К основным причинам возникновения дефектов сварных соединений можно отнести как влияние отклонений от основных параметров режима контактной рельефной сварки, так и жесткое задание этих параметров при использовании стандартного серийно выпускаемого оборудования для управления циклом сварки. Обеспечение требуемого качества сварных соединений, а также отсутствие дефектов изделий, получаемых контактной рельефной сваркой, является актуальной задачей.

**Материалы и методы.** В данной работе приводятся результаты анализа технологического процесса контактной рельефной сварки, а также причины возникновения дефектов сварных соединений. Дефекты сварных соединений, как правило, наблюдаются при несоблюдении технологического процесса, а также неверном определении параметров режима сварки. Это связано с использованием общих методик их расчета, которые учитывают с существенным приближением геометрические особенности рельефных соединений. В результате параметры режима сварки могут быть завышены, либо занижены на 25–40 %. Также причиной появления дефектов Т-образных сварных соединений является задание параметров режима сварки с использованием стандартного серийно-выпускаемого управляющего оборудования, которое работает по жесткому механизму [2].

Для решения данных проблем, предлагается технология контактной рельефной сварки Т-образных соединений с программным управлением мощностью тепловложения, отличающаяся возможностью расширенного и точного задания параметров режима за короткий промежуток времени [3]. Результаты применения предлагаемого решения подтверждены проведенными механическими испытаниями и металлографическими исследованиями образцов Т-образных сварных соединений [4].

**Результаты и их обсуждение.** Для анализа причин появления дефектов Т-образных сварных соединений, получаемых контактной рельефной сваркой, проводились экспериментальные исследования процесса, а также математическое моделирование. Математическое моделирование процесса контактной рельефной сварки показало, что в зоне контакта свариваемых деталей происходит быстрое повышение температуры за короткий промежуток времени от действия импульсов сварочного тока. Быстрый разогрев до температур плавления при приложении усилия сжатия электродов может привести к выплеску расплавленного металла из зоны соединения, что и является основной причиной образования дефектов в виде несплавления, отсутствия литой структуры и нарушения геометрических характеристик рельефного элемента.

В ходе выполненных экспериментальных исследований получения сварных соединений на стандартном серийном оборудовании для управления процессом контактной рельефной сварки определено, что жесткое приложение

импульсов сварочного тока приводит к начальным выплескам расплавленного металла. Это связано с тем, что импульс сварочного тока задается резко за короткий промежуток времени, что является особенностью работы серийных регуляторов для управления процессом сварки. Однако для Т-образных сварных соединений, где важно соблюдать заданные геометрические особенности, рекомендуется использовать более плавное задание импульсов сварочного тока.

Авторами разработана система программного управления мощностью тепловложения при контактной рельефной сварке, позволяющая задавать параметры режима с использованием компьютерной программы в среде LabVIEW с достаточным быстродействием и точностью, а также осуществлять контроль мощности в процессе сварки. Разработанная система дает возможность плавно задавать импульсы сварочного тока, что исключает появление выплеска, который приводит к дефекту сварных соединений.

С применением системы программного управления удалось стабилизировать механические характеристики сварных соединений на 58 % по сравнению со стандартной технологией сварки. При этом критерий обеспечения минимальной разрушающей нагрузки в 19,5 кН достигается в 98–100 % испытываемых сварных соединений. Ранее при использовании серийного оборудования данный критерий достигался лишь в 40 % испытываемых образцов сварных соединений.

Проведенные металлографические исследования образцов, полученных с использованием системы программного управления, показали отсутствие дефектов сварных соединений. В образцах отмечается равномерная литая структура по линии контактирования свариваемых деталей.

Применение системы благоприятно сказалось на обеспечении точности геометрических характеристик сварного соединения в связи со стабильным протеканием процесса сварки.

**Выводы.** О положительных результатах применения разработанной системы программного управления мощностью тепловложения при контактной рельефной сварке Т-образных соединений свидетельствуют проведенные испытания сварных соединений. За счет использования системы программного управления мощностью тепловложения удалось избежать появления дефектов Т-образных сварных соединений, что позволяет получать соединения с требуемым уровнем качества и высокой степенью стабильности механических свойств [4]. Разработанный способ устранения дефектов может найти широкое применение на предприятиях машиностроительного комплекса при повышении уровня качества сварных конструкций и совершенствовании технологических процессов контактной рельефной сварки.

### Литература

1. Юманов, Д. Н. Об актуальных проблемах образования качественных Т-образных соединений при контактной рельефной сварке / Д. Н. Юманов, С. М. Фурманов // Современные материалы, передовые производственные технологии и оборудование для них (СМППТО-2023):

материалы Междунар. науч. конф., Санкт-Петербург, 30 июня – 2 июля 2023 г. – СПб., 2023. – С. 40–41.

2. Юманов, Д. Н. Перспективы совершенствования способа и управляющего оборудования контактной рельефной сварки / Д. Н. Юманов, С. М. Фурманов // Инновации в машиностроении – 2022 (ИнМаш-2022): материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. – Барнаул: АлтГТУ, 2022. – С. 20–24.

3. О влиянии параметров режима контактной рельефной сварки с программным управлением мощностью тепловложения на стабильность прочностных показателей соединений / Д. Н. Юманов [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2020. – № 3 (68). – С. 118–128.

4. О влиянии энергии тепловложения на ширину линии сплавления Т-образных соединений при рельефной сварке с программным управлением / С. М. Фурманов [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2021. – № 4 (73). – С. 88–95.

*Ю. М. ЮРКОВА, Ф. А. ГРИГОРЬЕВ*

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА КИСЛОТНОСТЬ ЛИТИЕВОЙ СМАЗКИ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

*Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси,*

*Гомель, Беларусь*

*E-mail: yu.m.yurkova@gmail.com*

**Введение.** Благодаря своим характеристикам пластичные смазочные материалы (ПСМ) с дисперсной фазой на основе литиевых солей жирных кислот имеют широкий спектр применения. Традиционно при изготовлении ПСМ в качестве дисперсионной среды (ДС) используют минеральные или синтетические масла. Однако рост применения биodeградируемых и экологически безопасных смазочных материалов обусловил использование для этих целей растительных масел.

Растительные масла в большинстве случаев имеют лучшие или сравнимые с минеральными и синтетическими маслами физико-механические и триботехнические характеристики [1]. Тем не менее их использование в качестве ДС ПСМ может быть затруднено по причине их крайне низкой термоокислительной стабильности.

Цель работы – изучение возможности использования растительных масел для изготовления литиевых пластичных смазок.

**Материалы и методы исследований.** В качестве объектов исследований были выбраны пластичные смазки с дисперсной фазой (ДФ) на основе 12-гидроксистеарата лития, полученного путем омыления 12-гидроксистеариновой кислоты (12-ГСК) моногидратом гидроксида лития. В качестве ДС были выбраны минеральное промышленное масло И-40А и растительное промышленное масло «БИО-ГроИЛ» (ТУ ВУ 400084698.327-2023), представляющее собой смесь растительных масел с добавлением функциональных присадок.