



## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ (по материалам патентов США)

Академик НАН Украины **В. К. ЛЕБЕДЕВ** (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведена патентная информация США за последние два года, дающая представление о современных тенденциях в области разработки источников питания и систем управления процессами дуговой и контактной сварки.

*Ключевые слова: дуговая сварка, контактная сварка, источники питания, системы управления, капельный перенос, смеси газов, патенты США*

Патентное ведомство США имеет большой фонд, насчитывающий более 6,5 млн зарегистрированных патентов. Их авторами являются граждане не только США, но и многих других стран. Патентный фонд непрерывно пополняется благодаря Интернету и доступен широкому кругу специалистов. Ознакомившись с патентами США, можно получить сведения о направлениях развития той или иной области техники.

В настоящей работе сделан краткий обзор патентов по источникам питания и системам управления наиболее распространенными процессами дуговой и контактной сварки. Обзор охватывает лишь патенты, опубликованные за последние два года и характеризующие современное развитие интересующей нас области техники.

Иллюстрации представлены в том виде, в каком приведены в оригинальных описаниях. При этом сохранена нумерация всех позиций. И хотя она почти не используется в настоящем обзоре, тем не менее может быть полезна читателю при более подробном ознакомлении с содержанием непосредственно патентов.

Вторая половина прошлого века характеризовалась колоссальными достижениями в области полупроводниковых приборов, что способствовало развитию многих областей техники, в том числе и сварочного оборудования. Можно определенно утверждать, что наиболее значительные успехи в сварке связаны с появлением новых полупроводников. Сначала это были силовые диоды, вытеснившие электромеханические преобразователи. Позже появились тиристоры — частично управляемые полупроводниковые приборы, которые стали использоваться как силовые, а также в цепях систем управления. Можно назвать еще одно направление, отвечающее задаче повышения стабилизации сварочного процесса с помощью источников питания и систем управления. Следующий этап развития сварочной техники, связанный с транзисторами, отчасти уже пройден, однако возможности их использования в сварке далеко не исчерпаны. К этому направлению можно отнести

способ импульсно-дуговой сварки [1], разработанный еще до появления на рынке мощных управляемых приборов. Благодаря им импульсно-дуговая сварка вышла за рамки лабораторного эксперимента и стала широко распространенным производственным процессом. Параллельно проводили эксперименты по сварке с короткими замыканиями. Одной из основных целей этих экспериментов было снижение разбрызгивания жидкого металла, возникающего при переносе металла с короткими замыканиями дугового промежутка. В этом направлении известны исследования ученых ИЭС им. Е. О. Патона — И. И. Зарубы, А. Г. Потапьевского, Н. М. Воропая и многих других, а также сотрудников различных учебных и исследовательских организаций — Г. М. Каспражака, Н. Г. Дюргерова, А. Ф. Князькова, Ю. Н. Сараева и др. Позже получены положительные результаты по использованию усовершенствованного способа управления переносом металла при коротких замыканиях дугового промежутка [2]. Однако дальнейшая разработка этого способа и серийное производство нового оборудования оказались малоперспективными в связи с появлением на рынке сравнительно дешевого защитного газа — аргона. Потому исследования были прекращены, хотя за рубежом, как будет показано ниже, они продолжают и сегодня. Причина тому — известные преимущества сварки «короткой» дугой. Применение транзисторов позволило уменьшить массу и размеры источников питания, повысить их КПД и мощность, придать источникам питания

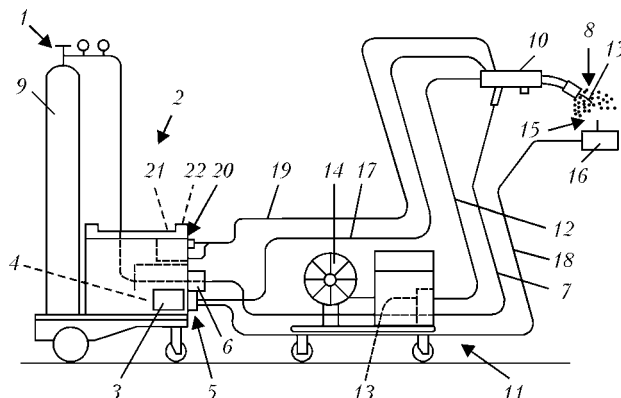


Рис. 1

свойства легкоуправляемых и малоинерционных аппаратов.

Дальнейшее совершенствование оборудования для дуговой сварки, по-видимому, в значительной мере будет связано с использованием транзисторов и микропроцессорных систем управления и прежде всего нацелено на повышение технологичности дуговой сварки.

В области контактной сварки, особенно в микросварке, будет наблюдаться такая же тенденция. Для представления о направлениях развития в интересующей нас области сварочной техники стоит ознакомиться с соответствующей патентной литературой, опубликованной в последнее время в США.

Так, в патенте 6476354 «Method for controlling a welding apparatus and corresponding control device» (фирма «Fronius Schweissmaschinen») [3] описан способ управления процессом сварки, характерный для современного сварочного оборудования (рис. 1). Управление осуществляется с помощью микропроцессорного устройства, в которое перед началом процесса сварки вводят данные о свариваемом материале, диаметре электрода, скорости его подачи, защитном газе, способе сварки и пр. Схема соединений показана на рис. 2. Кроме источника питания инверторного типа, в установку входит высокочастотный генератор 35, включенный последовательно в цепь питания дуги, и система замкнутого водяного охлаждения (на рисунке не представлена). Микропроцессор 23 получает от датчиков информацию о токе и напряжении на дуге и осуществляет управление в соответствии с введенными в память 29 данными (рис. 2). Связь микропроцессора с инвертором 31 осуществляется через оптоволоконный кабель. Схема панели аппарата представлена на рис. 3.

Близкая по структуре система «Welding control system» запатентована фирмой «CRC for welding structures» [4]. Блок-схема источника питания с системой управления имеет обычную структуру (рис. 4). Управление выполняет микропроцессор, работающий при частоте выше 200 МГц. Он осуществляет обратную связь по напряжению (если требуется, то и по току), а также управляет скоростью подачи электродной проволоки. Можно предполагать, что система управления главным образом рассчитана на сварку с короткими замыканиями дугового промежутка при переносе капель жидкого металла. Благодаря системе управления в процессе сварки имеет место незначительное разбрызгивание жидкого металла (рис. 5). Большая скорость реакции системы позволяет быстро изменять ток, например уменьшать его до 10...20 А, чтобы замыкание дугового промежутка происходило без отскока капли от сварочной ванны под действием электродинамических сил. Тем самым предупреждается рост капли и ее произвольное движение, приводящее к разбрызгиванию. После этого ток незначительно возрастает, что как бы «помогает» переходу капли в ванну, не вызывая при этом заметного разбрызгивания; осуществляется «мягкий» переход капли в ванну (что характерно для указанного изобретения). Затем подается импульс, завершающий переход капли в

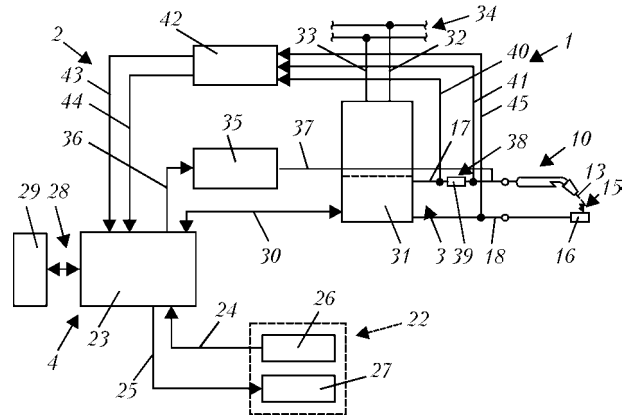


Рис. 2

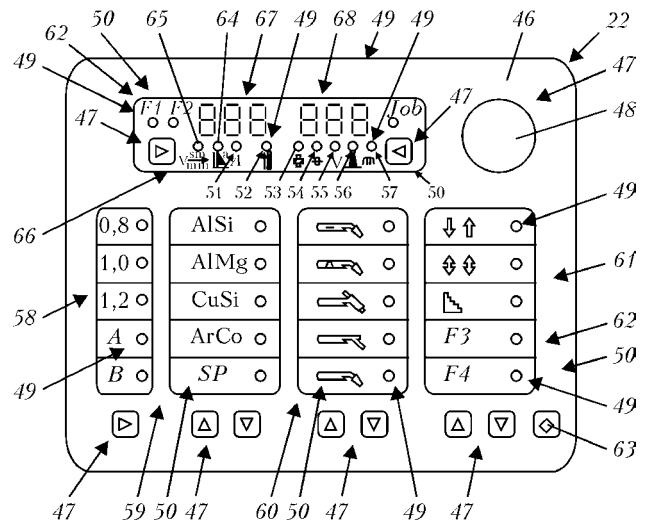


Рис. 3

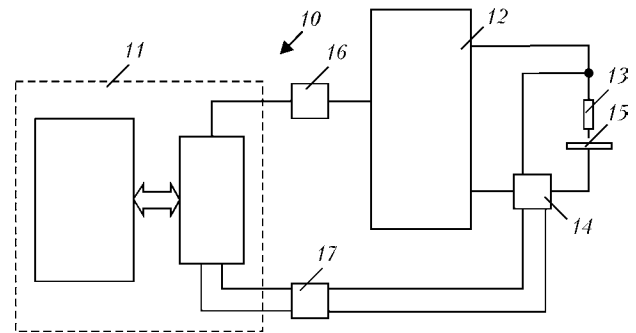


Рис. 4

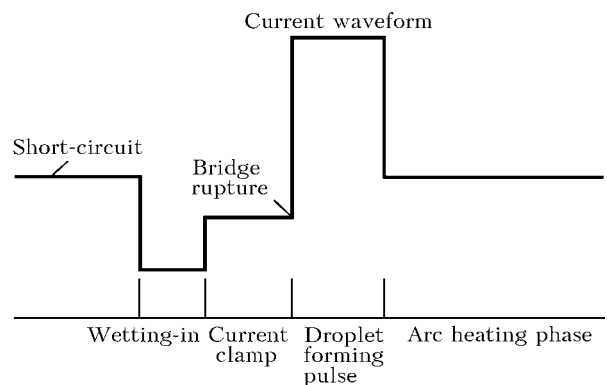


Рис. 5

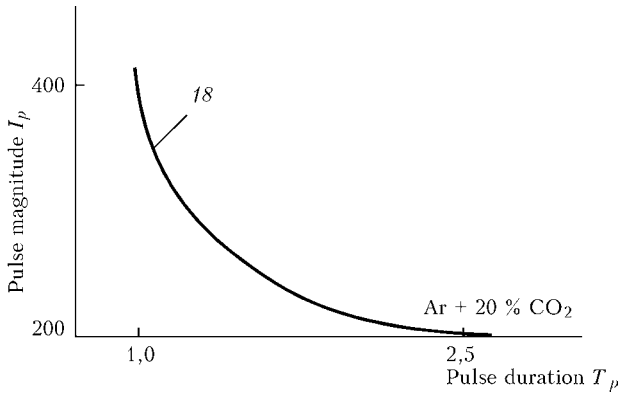


Рис. 6

ванну и цикл многократно повторяется. Значение импульса тока устанавливается в зависимости от диаметра электрода и содержания углекислого газа в смеси газов. Диапазон значений импульсов тока составляет 200... 400 А при длительности процесса от 0,5 до 3,0 мс, диаметр электродной проволоки — от 1,2 до 2,5 мм (рис. 6). Время короткого замыкания составляет 2,0... 4,8 мс. Возможна регулировка по этапам режима тока и времени сварки в отдельности, если значения этих параметров превышают указанные выше пределы.

Система может работать в трех режимах. В нормальном режиме задаются максимальные и минимальные значения тока, которые выдерживаются при сварке. В режиме коррекции, если значение тока выходит за установленные пределы, изме-

няется время сварки, а ограничения по току снимаются. При работе в третьем режиме, названном адаптивным, система самостоятельно подбирает минимальные значения тока и временные интервалы. Однако алгоритм поиска исходя из описания, данного в патенте, не вполне ясен.

Фирма «Lincoln Global, Inc.» получила патент 6498321 под названием «System and method for controlling an electric arc welding» [5]. Эта система управления по структуре силовой части представляет собой сварочный инвертор (рис. 7). Она имеет несколько обратных связей по мощности. Основной системы управления является компьютер С. Устройство Arc detected имеет два выхода. Выход 72 идентифицирует короткое замыкание, а 102а — горение дуги. Устройство 50 задает форму кривой мощности. Последняя вычисляется перемножением тока на напряжение (устройство 100); результат вычисления в цифровой форме сопоставляется с текущим заданным значением мощности. В устройстве предусмотрен индикатор коротких замыканий 102. Кривые изменения во времени тока, напряжения и мощности показаны на рис. 8. Двигатель подачи электродной проволоки также является исполнительным устройством, обеспечивающим обратную связь по мощности сварочной дуги (рис. 9). В первом режиме устанавливаются значения наибольшего тока и тока, при котором происходит перенос металла в сварочную ванну. Второй режим используется в случае, если время коротких замыканий превышает установленный

предел. При этом определяются значения наибольшего тока. При использовании третьего режима возможно снижение минимального значения тока до допустимого предела в случае увеличения энергии импульса в установленном ранее диапазоне. При сварке в углекислом газе время горения дуги составляет до 20 мс, ток перед короткими замыканиями — от 10 до 20 А.

Французские изобретатели получили патент 6518545 «Welding arc penetrating power real time detection system» [6], в котором предлагается система для управления сваркой труб. Питание дуги осуществляется от инвертора 14. Программа сварки загружена в РС36 и хранится в EEPROM 35 для использования с микропроцессором 70 (рис. 10). При нормальном проплавлении напряжение и ток изменяются так, как показано на рис. 11. С целью снижения разбрызгивания перед короткими замыканиями дугового проме-

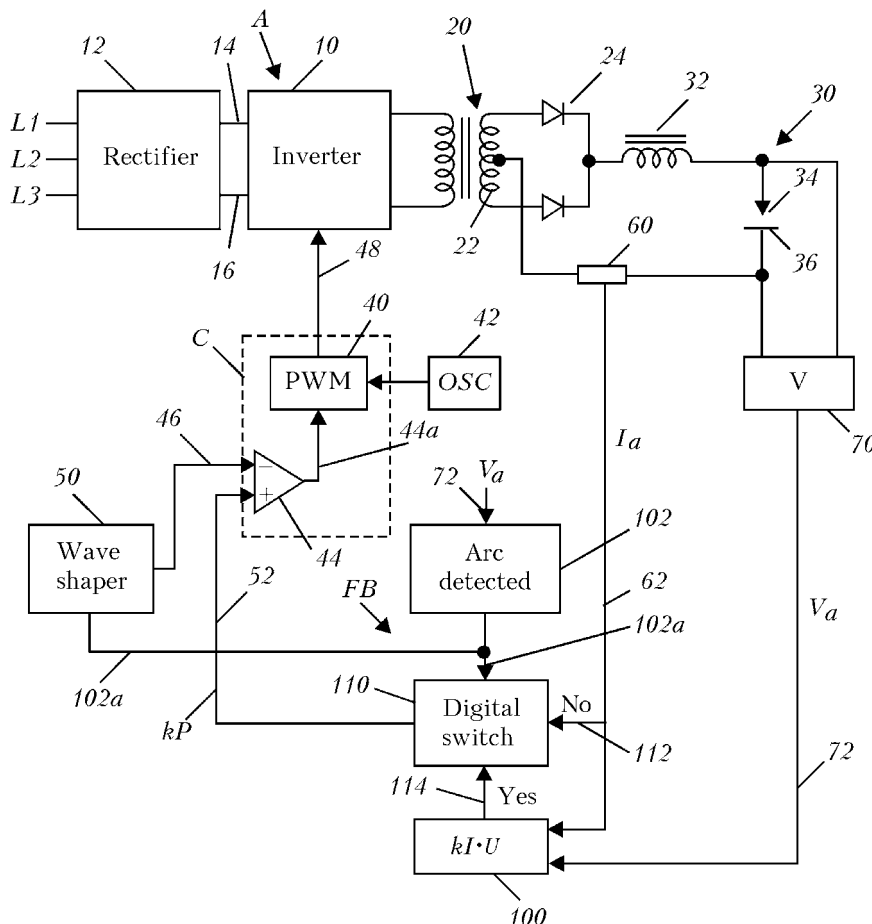


Рис. 7

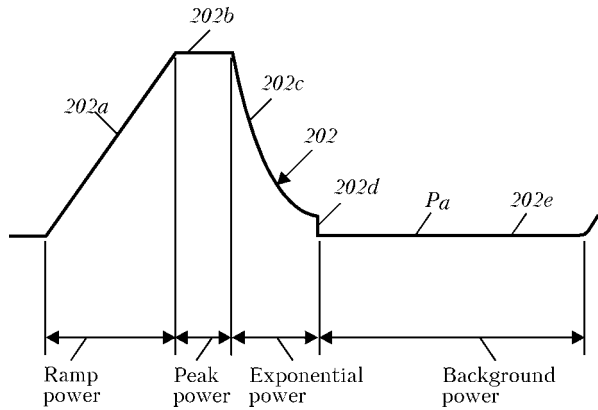
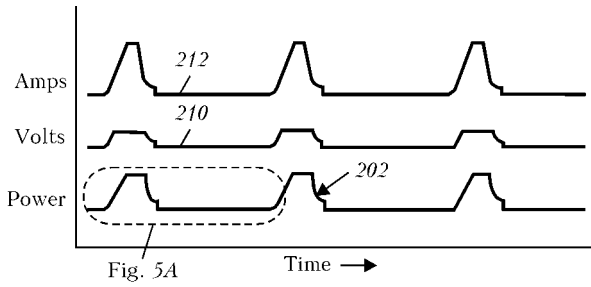


Рис. 8

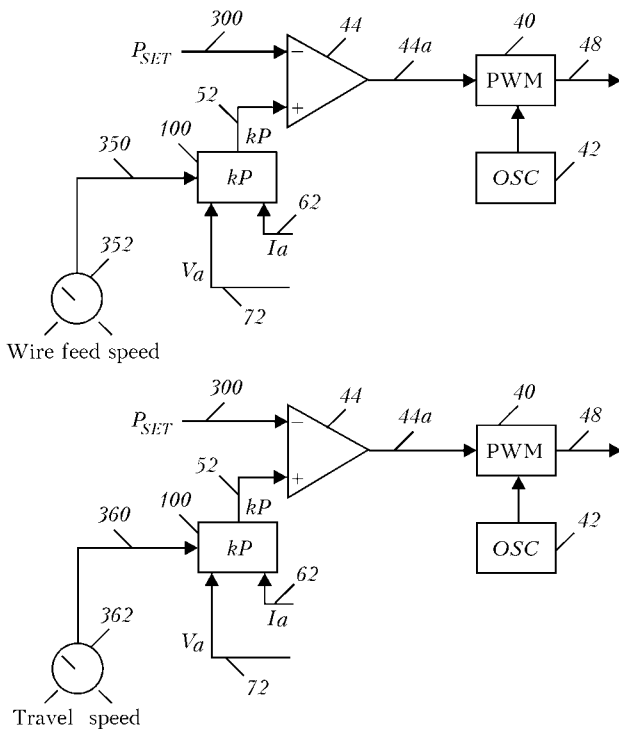


Рис. 9

жутка значение тока снижается до минимального. Сразу же после перехода капли с электрода в сварочную ванну значение тока возрастает до установленного ранее максимального. Затем образуется новая капля, и цикл повторяется. Для управления процессом сварки используется импеданс  $Z$  цепи, содержащей дугу, и время цикла  $T$ . Позиции А, С и В (рис. 12) характерны для различных ситуаций, возникающих при сварке с короткими замыканиями дугового промежутка. При сквозном проплавлении стенок трубы дуга удли-

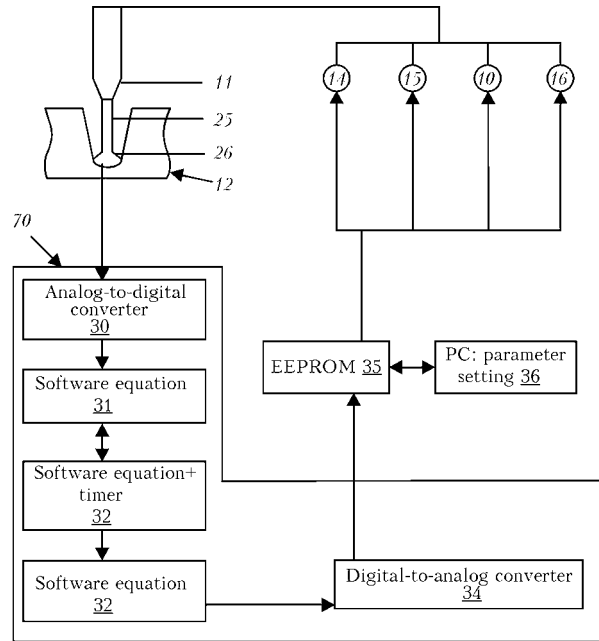


Рис. 10

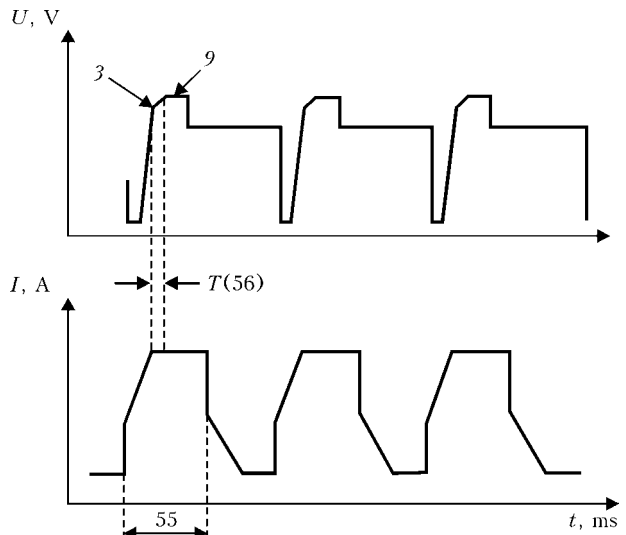


Рис. 11

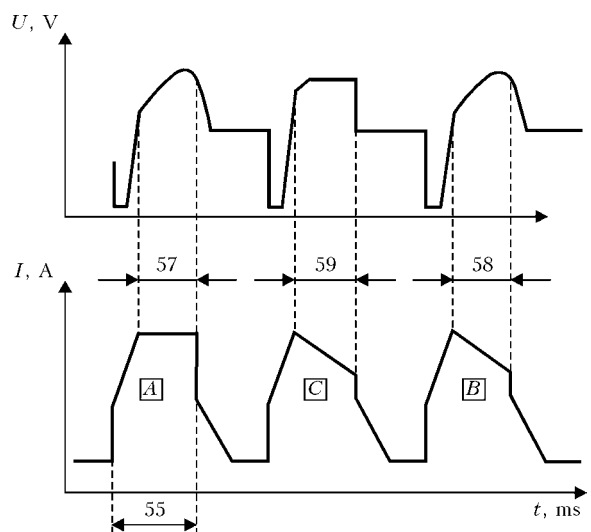


Рис. 12

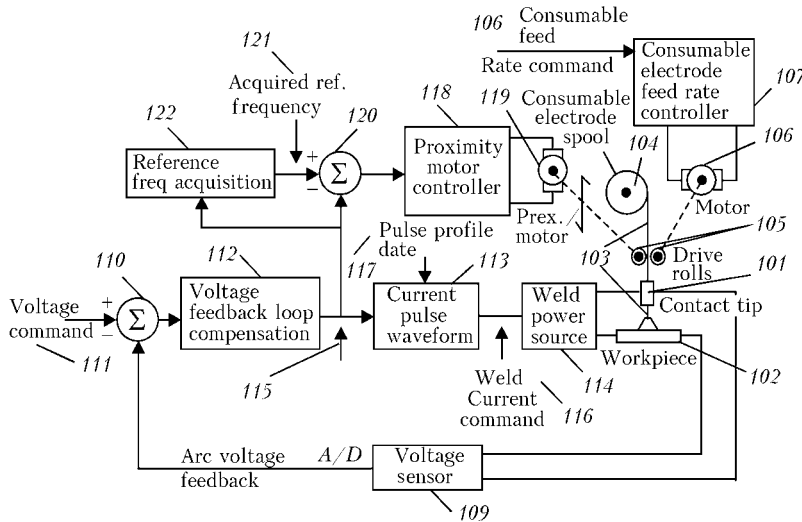


Рис. 13

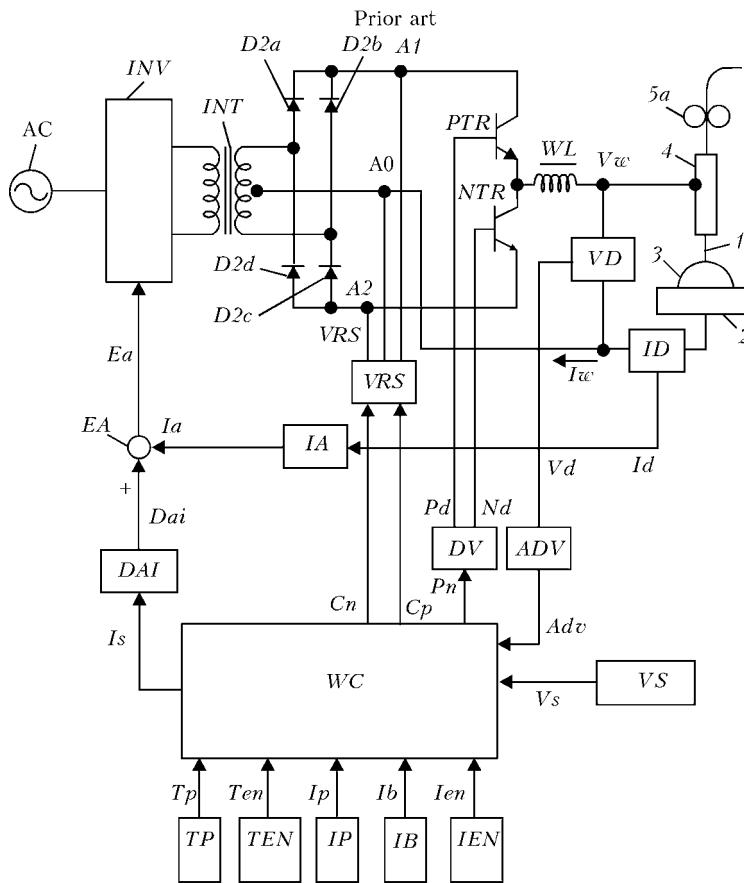


Рис. 14

няется, что отражается на токе и напряжении. В патенте сформулированы условия, при которых процесс протекает со сквозным проплавлением и без него в зависимости от характера изменений импеданса. Эти условия положены в основу управления процессом сварки. С помощью компьютера осуществляется также управление подающим механизмом и устройством поперечных колебаний электрода.

Ранее была разработана система автоматического управления, в которой излучение с обратной стороны шва использовалось в цепи обратной связи свароч-

ного тока. Дополнительную аппаратуру с датчиком температуры нужно было вводить внутрь трубы, что не всегда возможно. К тому же система и традиционный источник питания не отличались требуемым в данном случае быстродействием. Этого недостатка лишена система, описанная в патенте.

В патенте 6335514 «Control method and apparatus for an arc welding system» [7] дано описание системы для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом (рис. 13), которая имеет замкнутую цепь обратной связи, стабилизирующую напряжение. В этой цепи есть звено, преобразующее отклонение напряжения в сигнал, который управляет источником питания с учетом заданной формы и частоты импульса тока. В системе имеется еще одна обратная связь, действующая более медленно. Исполнительным механизмом является двигатель 119, который осуществляет перемещение сварочной головки по вертикали и обеспечивает стабилизацию частоты. Помимо источника питания, система управляет еще двумя двигателями: один из них подает электродную проволоку, а второй является исполнительным устройством, обеспечивающим положение электрода относительно линии соединения свариваемых деталей.

Патент 6531684 «Method and apparatus for welding and control» касается дуговой сварки и в основном отличается от традиционных патентов в данной области тем, что в нем содержатся сведения об обеспечении устойчивости системы посредством изменения параметров обратной связи. Эта операция осуществляется системой без участия оператора.

Оригинальное техническое решение в части управления предлагается в патенте 6376802 «Method of controlling the AC pulsed arc welding and welding power supply apparatus therefor» [8]. Схема источника питания (рис. 14) включает блоки, состоящие из четырех высокочастотных силовых вентилялей и двух силовых транзисторов, а также реактора. Управление производится с помощью компьютера. По сути, предложен один из возможных вариантов последовательного соединения двух инверторов, работающих на разных частотах. Первый из них рассчитан на высокую (ультразвуковую) частоту, а второй — на значительно более низкую. Перенос капель металла с электрода в сварочную ванну происходит при импульсе тока прямой полярности.

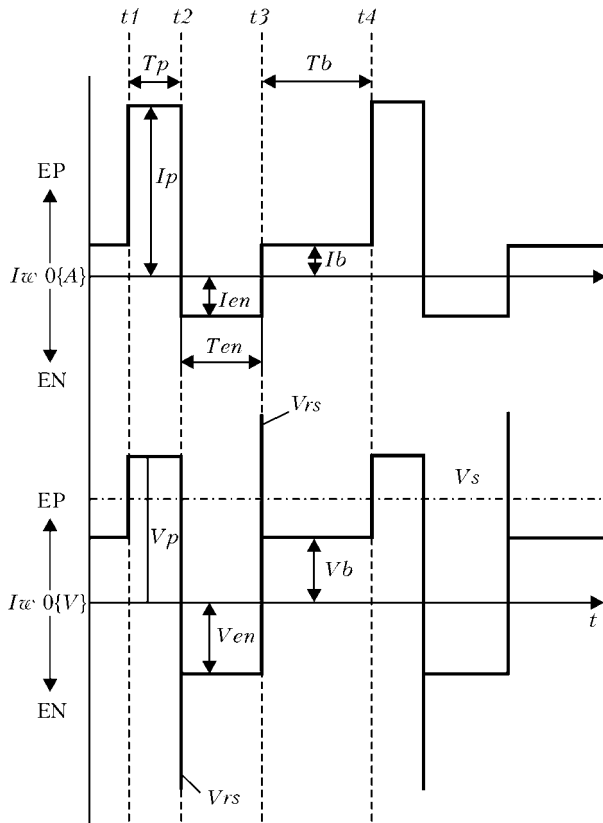


Рис. 15

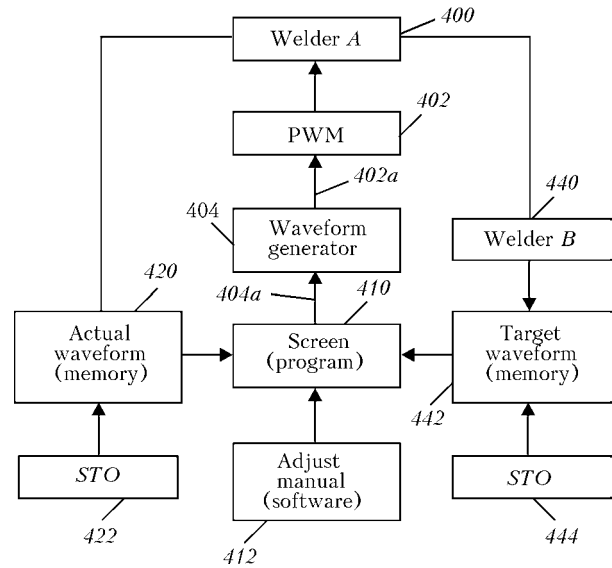


Рис. 17

Частота тока выбирается так, чтобы каждому периоду тока соответствовала одна капля. В компьютер предварительно вводят данные о значении тока и продолжительности сварки на токе прямой и обратной полярности, скорости подачи электродной проволоки. Компьютер корректирует режим таким образом, чтобы процесс протекал устойчиво. Для примера на рис. 15 показана система без возмущений, а на рис. 16 — при удлинении дуги. При настройке сварщик использует экран, на который выводится информация об исполнении задания.

Система, описанная в патенте 2003/0071026 «Electric arc welder and controller to duplicate a known waveform therefor» предназначена для настройки источника питания [9] (рис. 17). С ее помощью можно производить настройку вручную либо перенести предварительно установленный на каком-либо другом источнике питания режим на другой компьютер.

В патенте 2003/0006222 «Electric arc welding system» [10] описана система, состоящая из нескольких постов источников переменного тока (рис. 18). Данные о режимах и выполнении заданий передаются в обе стороны от центрального поста управления через Интернет.

В патенте 2002/0070205 «Power supply for electric arc welding» представлено несколько вариантов исполнения источника питания для сварки на переменном токе (рис. 19) [11]. Источник включается в сеть переменного тока через трансформатор промышленной частоты и выпрямитель. Система управления вырабатывает пакеты импульсов тока разной полярности, управляющих двумя группами транзисторов, поочередно питающих сварочную дугу (рис. 20). Количество импульсов определяет ток. При различном количестве импульсов ток будет содержать постоянную составляющую, что необходимо, например, при сварке алюминия и сплавов на его основе. Увеличивать мощность источника питания переменного тока можно путем параллельного включения источников меньшей мощности, объединяя их в систему управления.

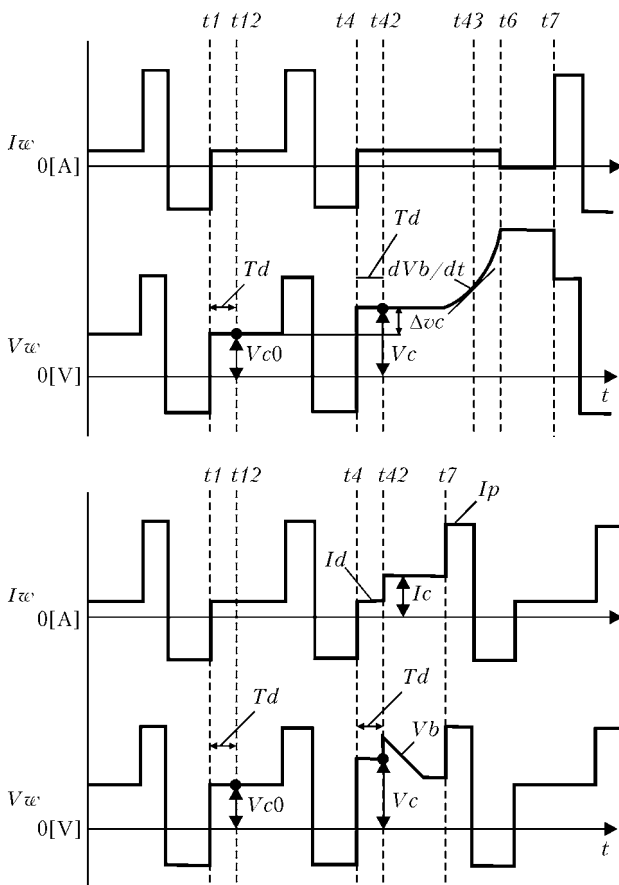


Рис. 16

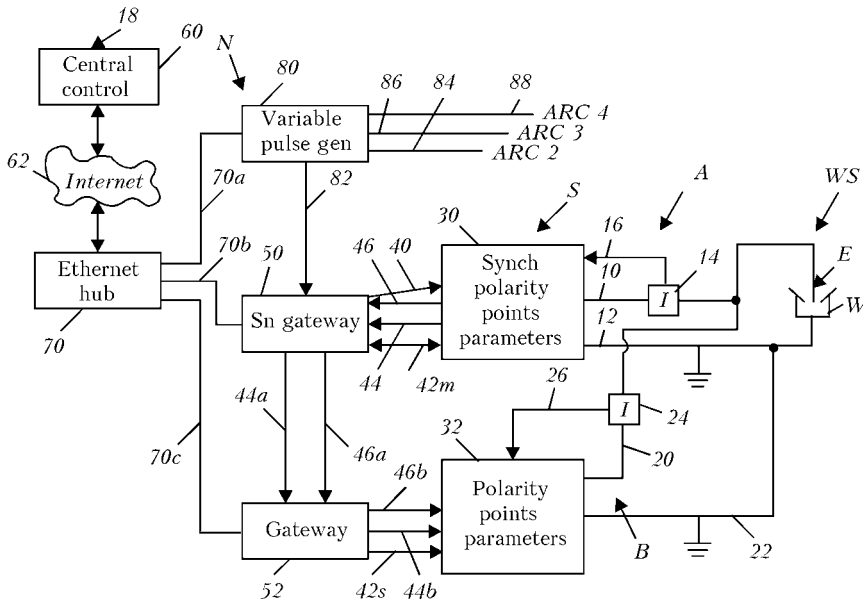


Рис. 18

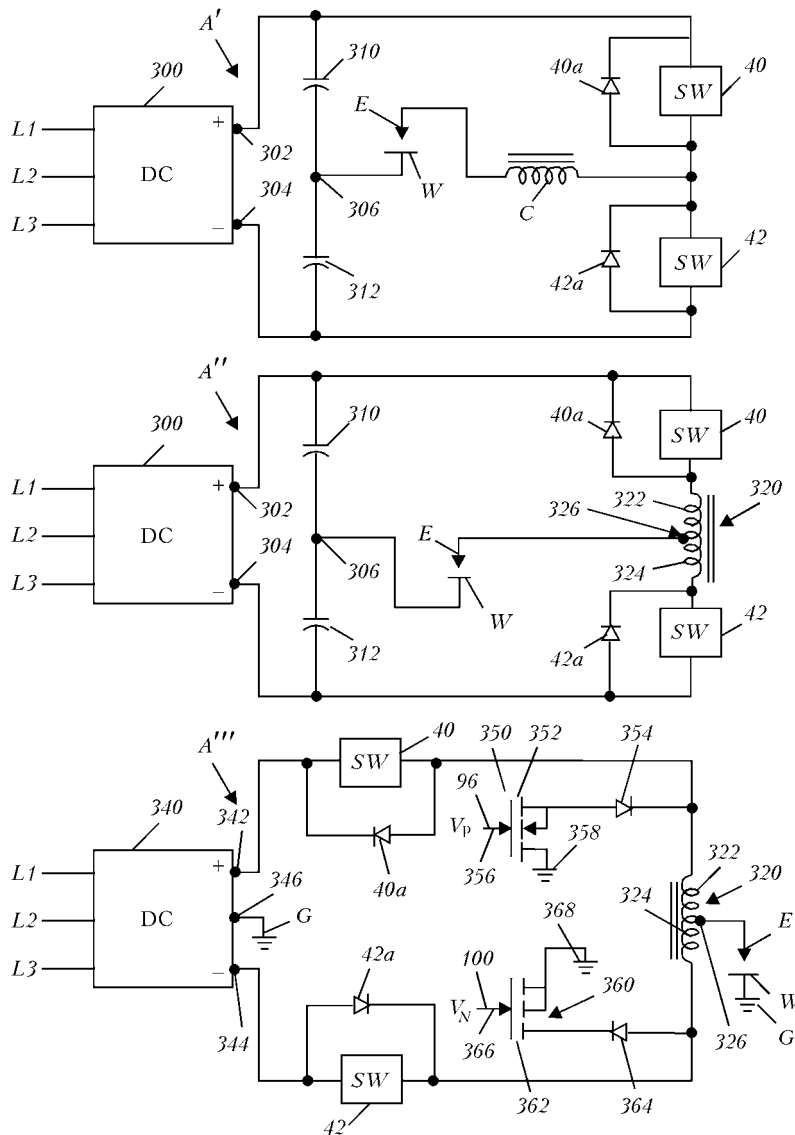


Рис. 19

По-видимому, изобретение японского специалиста, описание которого содержится в патенте 2003/0052107 «Arc welding quality evaluation apparatus» [12], является одним из первых в области диагностики качества точечных соединений непосредственно в процессе сварки. Система построена на сборе и обработке данных о каждом соединении отдельно. Надо полагать, что изобретение получит дальнейшее развитие.

Источники питания и системы управления процессами контактной сварки предложены лишь в нескольких патентах. Один из них обращает особое внимание в связи с отсутствием в данной системе питания традиционного сварочного трансформатора. Автор патента 2001/0047982 «Resistance welding power supply apparatus» [13] является японский изобретатель. Содержание патента раскрывают рис. 21, 22. Создание такой системы питания стало возможным благодаря появлению силовых транзисторов, рассчитанных на большие токи, и электролитических конденсаторов, работающих в качестве импульсных при частоте около 1 кГц. Для примера автор патента приводит некоторые данные, указанные в таблице.

Система легко управляется в течение коротких интервалов времени и может быть использована в оборудовании для микросварки.

В заключение следует отметить следующее:

1. Содержание большинства патентов в той или иной мере связано с управлением переноса капель жидкого металла, сопровождаемого как короткими замыканиями дугового промежутка, так и без них. Это направление в области техники дуговой сварки продолжает эффективно развиваться. Следует обратить внимание на устройства переноса металла с короткими замыканиями дугового промежутка.

2. Установившаяся техника управления сваркой «короткой» дугой сводится к снижению тока перед короткими замыканиями до минимального предела, при котором обеспечивается переход капли металла в сварочную ванну

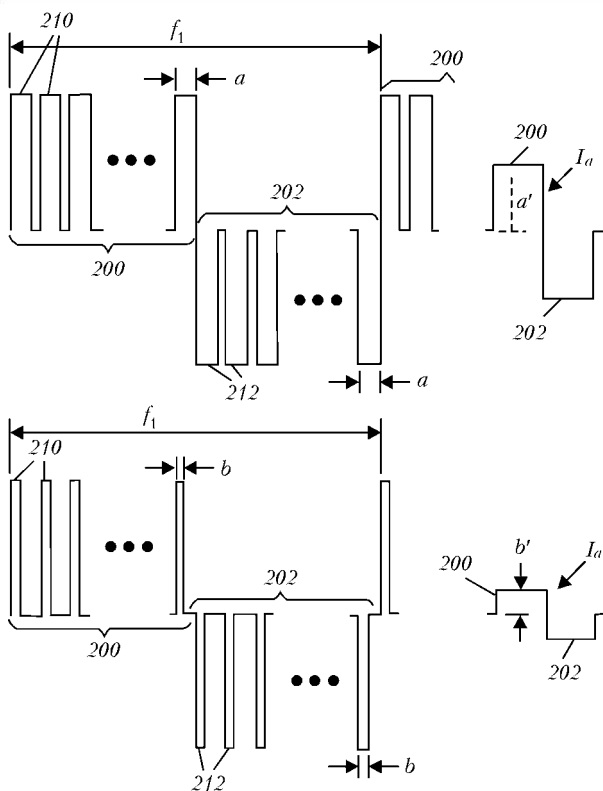


Рис. 20

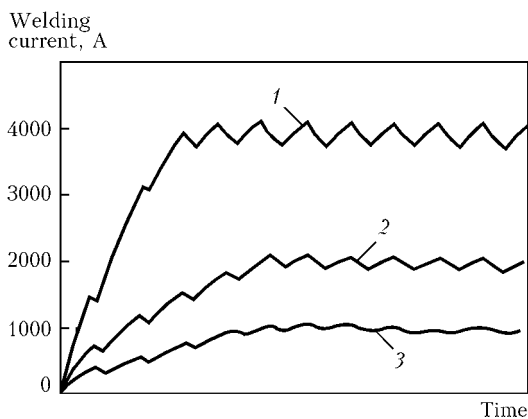


Рис. 21

Номер кривой на рис. 21	Сварочный ток, А	Напряжение на конденсаторе, В
1	4000	30
2	2000	28
3	1000	24

6. В основе новых источников питания лежат преобразователи частоты и фаз, что позволило получить не только определенные энергетические преимущества, но и обеспечить быстрдействие систем управления.

7. Новые источники переменного тока создаются в виде каскадов последовательно соединенных инверторов. Первый инвертор соединен с трехфазной сетью и преобразует выпрямленное напряжение сети в однофазное высокой частоты, которое затем снижается высокочастотным трансформатором до требуемого значения. Второй инвертор преобразует однофазное напряжение высокой частоты в низкочастотное, значение которого выбирается автоматически и равно частоте переноса капель с электрода в сварочную ванну.

8. Контактная сварка также развивается благодаря успехам полупроводниковой техники, но в

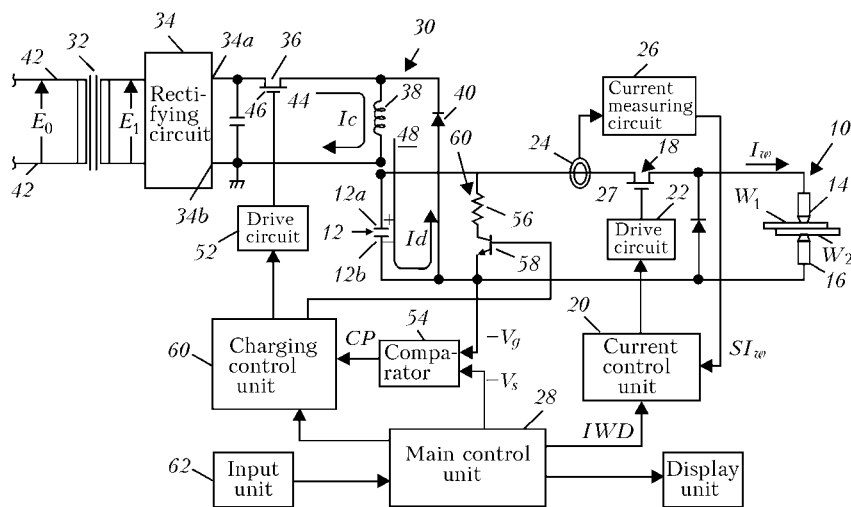


Рис. 22

без отскока и неуправляемого роста объема капли, приводящего к разбрызгиванию. В этом отношении техника управления упростилась по сравнению с известной ранее.

3. Надо полагать, что перенос металла с короткими замыканиями дугового промежутка эффективен и при сварке в смесях на основе аргона.

4. Заслуживает внимания стабилизация проплавления при сварке односторонних швов, основанная на автоматическом анализе изменений режима сварки при переходе к сквозному проплавлению, и наоборот.

5. Новые источники питания для дуговой сварки создаются преимущественно на основе силовых транзисторов, управляемых компьютерной техникой.

рассматриваемый период времени было зарегистрировано всего лишь один-два патента в этой области. Знакомясь с одним из упомянутых патентов, можно предположить, что наибольшие изменения коснутся контактной микросварки.

9. Не исключено, что автоматический контроль процесса сварки окажется эффективным средством предварительного выявления дефектных мест в сварных швах.

1. Патон Б. Е., Потаповский А. Г., Подола Н. В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с программным управлением процесса // Автомат. сварка. — 1964. — № 1. — С. 1-6.
2. Патон Б. Е., Лебедев А. В. Управление плавлением и переносом электродного металла при сварке в CO<sub>2</sub> // Там же. — 1988. — № 11. — С. 1-5.





3. Pat. 6476354 USA B 23 K 9/10. Method for controlling a welding apparatus and corresponding control device / V. Jank, M. Rührhösse, R. Fnouenschuh, H. Fniede. — Publ. 05.11.2002.
4. Pat. 6512200 USA B 23 K 9/10. Welding control system / J. Norrish et al. — Publ. 28.01.2003.
5. Pat. 6498321 USA B 23 K 9/10. System and method for controlling an electric arc welding / B. E. Fulmer, S. R. Peters. — Publ. 05.11.2002.
6. Pat. 6518545 USA B 23 K 9/10. Welding arc penetrating power realtime detection system / C. Richard et al. — Publ. 11.02.2003.
7. Pat. 63355114 USA B 23 K 9/10. Control method and apparatus for an arc welding system / R. Rothermel. — Publ. 01.01.2002.
8. Pat. 6376802 USA B 23 K 9/10. Method of controlling the AC pulsed arc welding and welding power supply apparatus therefor / H. Tong et al. — Publ. 23.04.2002.
9. Pat. 2003/0071026 USA B 23 K 9/10. Electric arc welder and controller to duplicate a known waveform therefor / C. Hsu et al. — Publ. 17.04.2003.
10. Pat. 2003/0006222 USA B 23 K 9/10. Electric arc welding system / W. S. Houston, R. K. Myers, E. K. Stava. — Publ. 09.01.2003.
11. Pat. 2002/0070205 USA B 23 K 9/10. Power supply for electric arc welding / E. Stava. — Publ. 13.06.2002.
12. Pat. 2003/0052107 USA B 23 K 9/10. Arc welding quality evaluation apparatus / Y. Suzuki. — Publ. 20.03.2003.
13. Pat. 2001/0047982 USA B 23 K 9/10. Resistance welding power supply apparatus / M. Watanabe. — Publ. 06.12.2001.

US patent information covering developments in the field of power units and control systems for the arc and resistance welding processes made during the last two years is presented. The patents give an idea of the current trends in the above field.

Поступила в редакцию 27.03.2003

## НОВОСТИ НКМЗ

После многолетнего перерыва, связанного с распадом Союза, возобновилось сотрудничество двух давних деловых партнеров — Новокраматорского машиностроительного завода (г. Краматорск, Донецкой обл.) и СП «Эрдэнэт» (Монголия). В соответствии с заключенным ранее контрактом новокраматорцы изготовили и подготовили к отгрузке монгольским горнодобытчикам оборудование рудоразмольной шаровой мельницы МШЦ 550056500А качественно нового технического уровня.

Повышенные производительность и экономичность являются безусловными плюсами новой машины. За счет применения современных технических решений эта мельница способна перерабатывать в год на 200 тыс. т руды больше, чем ранее выпущенные, сберегая при этом миллион киловатт-часов электроэнергии.

Еще одной особенностью новой мельницы является изначально заложенная конструкторами возможность установки ее на старые фундаменты, что при монтаже позволит значительно снизить капитальные затраты.

Настоящий контракт был подписан в период двусторонних визитов президентов Монголии Н. Багабанди в Киев и Л. Кучмы в Улан-Батор. Результатом этих визитов стали закрепление наметившихся за последнее время качественных изменений в двусторонних отношениях на политическом уровне, создание условий для активного налаживания торгово-экономических связей.

Заинтересованность монгольской стороны в расширении деловых контактов подтвердил впоследствии на встрече с представителем НКМЗ, заместителем директора внешнеторговой фирмы С. Романенко Почетный консул Монголии в Украине господин П. Батсайхан и генеральный директор СП «Эрдэнэт» господин Наранхуу. Речь, в частности, шла о реконструкции поставленного десятилетия назад новокраматорцами оборудования для горнорудной промышленности, в том числе рудоразмольных мельниц.

В производстве этой техники НКМЗ имеет большой опыт. За время существования завода их выпущено более 2500 шт. Этими мельницами оснащены все горно-обогатительные комбинаты черной и цветной металлургии постсоюза, а также других стран, в числе которых Монголия.

