



# ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ ШИРОКОСЛОЙНАЯ НАПЛАВКА ЭЛЕКТРОДНЫМИ ПРОВОЛОКАМИ И ЛЕНТАМИ (ОБЗОР)

И. А. РЯБЦЕВ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Описаны основные способы высокопроизводительной широкослойной наплавки электродными проволоками и лентами. Рассмотрены их достоинства и недостатки. Приведены примеры промышленного применения.

*Ключевые слова:* дуговая наплавка, электрошлаковая наплавка лентами, электродные проволоки, электродные ленты, глубина проплавления, производительность наплавки

При выполнении наплавочных работ одной из главных задач является высокая производительность (по массе металла или по площади слоя, наплавляемых в единицу времени), которую можно повысить двумя путями: прямым, непосредственно увеличивая количественные показатели наплавки, или косвенным, уменьшая долю основного металла в наплавленном, тем самым, уменьшая количество наплавляемых слоев, необходимых для получения заданного состава наплавленного металла.

Высокопроизводительная широкослойная наплавка электродными проволоками или лентами позволяет решать задачу повышения производительности наплавочных работ обоими путями.

**Высокопроизводительная наплавка электродными проволоками.** Многоэлектродная наплавка (наплавка расщепленным электродом) производится одновременно двумя или более электродными проволоками с общим подводом сварочного тока. Способ обеспечивает высокую производительность процесса, снижение удельного тепловложения, уменьшение проплавления и коробления деталей. К числу недостатков многоэлектродной наплавки следует отнести сложность механизмов подачи большого количества электродных проволок. Наиболее просто проблема решается для двухэлектродной наплавки. В этом случае не требуется модернизации механизмов подачи стандартных наплавочных автоматов А-874Н, АД-231, А-1406 и т. п., используется только специальный мундштук для подачи двух проволок. При использовании трех и более электродных проволок требуются специальные механизмы подачи и мундштуки [1]. Кроме того, при многоэлектродной наплавке появляются сложности с размещением на наплавочной установке большого количества катушек с проволокой. Возникают некоторые трудности и в технологическом процессе, так как бухты наплавочной проволоки имеют разную массу и для замены одной из закончившихся бухт каждый раз требуется останавливать процесс наплавки.

Вследствие этих сложностей в промышленности наиболее широко используется двух- и реже трех-

электродная наплавка [2]. Известны конструкции оборудования, в которых использовали одновременно 15 электродных проволок [1]. При использовании двух электродных проволок диаметром 3,6 мм производительность наплавки достигает 14, 15 — 100 кг/ч. Доля основного металла в наплавленном составляет 20...25 % [1, 3]. Дополнительные возможности открывает подача в сварочную ванну порошкообразных присадочных материалов, которые уменьшают избыток теплоты в ванне и позволяют вести процесс на форсированных режимах, получать высокое качество металла, создавать необходимые композиции сплавов из исходных компонентов прямо на поверхности детали в ходе процесса наплавки. Регулировать состав наплавленного металла можно также путем подачи в общую ванну проволоки разных составов.

При многоэлектродной наплавке расстояние между осями электродов должно равняться 3...4 диаметрам. При большой ширине слоев (более 100 мм) и большом количестве электродов расстояние между ними вдоль фронта наплавляемого слоя рекомендуется изменять: по краям электроды располагают на расстоянии 1...2 диаметра, в центре — 3...4 [1]. При таком расположении электродов достигается хорошее формирование наплавленных слоев и гарантируется отсутствие несплавлений.

Важная особенность многоэлектродной наплавки с общим подводом тока — поочередное (импульсное) плавление электродов. При правильном выборе напряжения и скорости подачи электродных проволок в многоэлектродной системе происходит самопроизвольное импульсное плавление электродов без применения специальных устройств. Импульсное плавление электродов по фронту рассредоточивает тепловложение в основной металл и уменьшает глубину проплавления [1].

Дополнительные возможности открывает способ наплавки колеблющимся электродом [4], позволяющий гибко изменять ширину наплавляемого слоя от 12...15 до 120...140 мм, обеспечивая достаточно высокую производительность и хорошее формирование. Применяя наклон электрода вперед по отношению к наплавляемой поверхности в пределах 50...65° или высокие скорости колебаний (150...300 м/ч), достигается минимальное проплавление основного металла. Известны механизмы колебаний, позволяющие вести наплавку слоя об-

щей шириной до 300 мм с колебанием одновременно 2...4 электродов и регулируемым расстоянием между ними [5].

Для многоэлектродной наплавки могут применяться источники постоянного и переменного тока. Преимущества использования источника постоянного тока: высокая стабильность плавления электродов, уменьшение разбрызгивания и высокое качество наплавленного металла. Недостатки — повышенный расход электроэнергии и возможность появления магнитного дутья при ширине наплавленного слоя более 100 мм.

Преимущества использования источника переменного тока: хорошая стабильность плавления электродов и отсутствие магнитного дутья при ширине наплавленного слоя до 600 мм и выше, а также пониженный расход электроэнергии. Недостаток — хуже формирование наплавленного слоя.

**Дуговая наплавка порошковыми лентами.** Впервые использовать порошковые ленты для наплавки было предложено в ИЭС им. Е. О. Патона [6], который продолжает оставаться лидером в разработке и изготовлении этих наплавочных материалов. Способ отличается высокой производительностью (до 70 кг/ч при использовании двух лент сечением 3×45 мм [7]), относительно малым проплавлением (доля основного металла в наплавленном 15...30 %). Коэффициент заполнения порошковых лент достигает 70 %, т. е. с их помощью можно получить наплавленный металл с очень высокой степенью легирования, значительно большей, чем при наплавке порошковой проволокой. Порошковые ленты изготавливают на специальных станах, снабженных дозирующими устройствами и роликами для формирования, завальцовки ленты-оболочки и уплотнения шихты сформированной порошковой ленты. Процесс волочения при изготовлении порошковой ленты отсутствует, что делает производство достаточно дешевым.

Порошковые ленты для наплавки имеют толщину 3...4 мм и ширину 14...45 мм. Характерной особенностью большинства разработанных порошковых лент является их универсальность — они предназначены как для наплавки под флюсом, так и открытой дугой. Известен опыт наплавки порошковыми лентами в углекислом газе [8]. Наплавка порошковыми лентами обеспечивает достаточно высокую однородность наплавленного металла [9], хотя и несколько уступающую другим электродным материалам [10].

Автоматическую дуговую наплавку самозащитными порошковыми лентами наиболее широко применяют при изготовлении конусов и чаш доменных печей [11–13]. Для повышения производительности наплавку ведут одновременно двумя самозащитными лентами (на каждую из лент подается напряжение от отдельного источника питания) с поперечными колебаниями на ширину до 400 мм. С целью уменьшения количества трещин, расположенных вдоль образующей конуса и отрицательно влияющих на износостойкость наплавленного металла [14], наплавка выполняется непре-

рывно отдельными валиками, расположенными вдоль образующей, со смещением наплаваемой детали на шаг наплавки. Такой способ получил название «наплавка строчками» и в настоящее время является основным при наплавке деталей засыпных аппаратов. Смещение на шаг наплавки обеспечивает специальное устройство управления.

Промежуточный и защитный пояса конуса и чаши наплавляют порошковыми лентами ПЛ-Нп-300Х25С3Н2Г2 и ПЛ-Нп-120Х22Р3Г2С. Для наплавки контактного пояса наиболее широко применяются порошковые ленты ПЛ-Нп-500Х40Н40С2Р и ПЛ-Нп-400Х20Б7М6Н5В2Ф [12, 13]. Детали бесконусных загрузочных устройств доменных печей также наплавляют автоматически самозащитными порошковыми лентами ПЛ-Нп-450Х20Б7М6В2Ф, ПЛ-Нп500Х40Н40С2РЦ, ПЛ-Нп-550Х44Н34ГСР [15].

В ИЭС им. Е. О. Патона предложено производить наплавку листов малой толщины самозащитными порошковыми лентами ПЛ-АН101, ПЛ-АН171, ПЛ-АН179 и др., обеспечивающими получение слоев, которые обладают высокой износостойкостью в условиях абразивного и газоабразивного изнашивания [16]. Твердость наплавленного слоя составляет HRC 55...64. Разработанные оборудование и технологический процесс обеспечивают получение готовых листов с габаритными размерами 2600×1400 мм и наплавленной поверхностью 2500×1250 мм. Толщина основного металла может варьироваться в пределах 5...12, наплавленного слоя — в пределах 3...17 мм. Производительность наплавки достигает 25 кг/ч, глубина проплавления — до 4 мм.

Из износостойких биметаллических листов можно изготавливать бункеры, транспортеры, тетки, циклоны, дымососы, трубопроводы, кузова самосвалов и другие детали и конструкции, подверженные интенсивному абразивному изнашиванию.

Имеется опыт применения наплавки порошковой лентой ПЛ-АН150 ответственных деталей крупных энергетических и нефтехимических штамповарных задвижек Ду700, Ду1000, Ду1200 [17], а также деталей строительных и дорожных машин [7]. В последнем случае для наплавки использовали порошковую ленту ПЛ-У30Х30ГЗТЮ сечением 3×45 мм. Наплавка одной или двумя лентами обеспечивает получение за один проход наплавленного слоя шириной соответственно 50 или 100 мм. Производительность наплавки достигает 70 кг/ч.

**Дуговая наплавка спеченными лентами.** Технологии изготовления и применения спеченных (металлокерамических) лент в качестве электродных материалов для наплавки под флюсом были разработаны в ИЭС им. Е. О. Патона и Институте проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины [18]. Спеченные ленты на железной основе изготавливают методом порошковой металлургии путем холодной прокатки и последующего спекания в защитной атмосфере при температуре 1200...1300 °С смеси металлических порошков, ферросплавов, графита и других материалов с размерами частиц 70...200 мкм. Спеченные ленты имеют следующие характеристики: временное соп-



ротивление на разрыв не менее 60 МПа, пористость не более 30 %, плотность не ниже 6 г/см<sup>3</sup>. Спеченную ленту выпускают толщиной 1,0±0,2 мм и шириной 30... 100 мм (через 5 мм). Коэффициент наплавки 40... 45 г/(А·ч) (производительность до 30 кг/ч), доля основного металла в наплавленном не более 15 %. Наплавка спеченной лентой под флюсом обеспечивает отличное формирование наплавленного металла, хорошую отделимость шлаковой корки [19, 20].

Благодаря пористости спеченная лента обладает повышенным электросопротивлением, обуславливающим усиленный нагрев вылета электрода в процессе наплавки [21], что обеспечивает повышение производительности на 20... 30 % по сравнению с холоднокатаной лентой аналогичного сечения и состава. Равномерное распределение составляющих частиц шихты по сечению спеченной ленты способствует получению более однородного по химическому составу наплавленного металла, чем при использовании порошковой ленты, а это, в свою очередь, приводит к повышению его служебных характеристик [22, 23]. Еще одним достоинством спеченной ленты является возможность изготовления ее из особо чистых порошков.

Имеется опыт дуговой наплавки под флюсом двумя спеченными лентами, при этом одна является электродной, вторая — присадочной [24]. В этом случае практически вдвое увеличивается производительность наплавки и уменьшается проплавление, что позволяет получить требуемый состав наплавленного металла уже в первом слое.

В 1980-е годы производство спеченной электродной ленты достигало 600 т/год [25, 26]. Спеченную ленту ЛС-70ХЗМН использовали для наплавки подрессорных опор автомобилей КамАЗ [27]. На Калкоманском (Казахстан) и Брянском (Россия) заводах «Дормаш» лентами ЛС-У10Х7ГР и ЛС-70ХЗМН наплавливали ножи бульдозеров и грейдеров [28]. Череповецкий металлургический комбинат использовал до 100 т спеченной ленты для наплавки роликов рольгангов, барабанов моталок и т. д. [29].

**Дуговая наплавка холоднокатаными лентами.** Дуговую наплавку под флюсом холоднокатаной лентой впервые применили для наплавки лопастей гидротурбин [30, 31]. Использовали ленту из стали 10Х18Н9Т сечением 0,5×70 мм. И в дальнейшем дуговую наплавку холоднокатаными нержавеющей лентами широко использовали в промышленности [32]. Производительность наплавки в зависимости от режимов и размеров ленты составляет 10... 35 кг/ч, доля основного металла в наплавленном 10... 25 %. Чтобы получить в наплавленном металле нужные свойства приходится наплавливать два слоя и более. Этот способ применяли для нанесения коррозионноустойчивых слоев на детали оборудования атомных электростанций [33]. Наплавку проводили в два слоя под флюсом 48-ОФ-10. Первый слой наплавливали электродной лентой Св-07Х25Н13, второй — Св-04Х20Н10Г2Б. Суммарная толщина двух слоев 9... 11 мм. При наплавке внутренних поверхностей необходимо непрерывно удалять шлаковую корку, кроме того, для устра-

нения перегрева наплаваемого изделия необходимо прерывать процесс наплавки, либо охлаждать наружную поверхность водой. Для устранения этих недостатков предложено применять двухзаходную наплавку, т. е. сначала наплавливать с определенным шагом отдельные валики, а вторым заходом заплавливать промежутки между ними. Этот способ наплавки использовали и для упрочнения рабочих поверхностей формующих барабанов в линии производства рулонных пластиков. В качестве наплавочных материалов применяли электродную нержавеющую ленту Св-20Х13 сечением 0,4×50 и 0,5×60 мм и флюс 48-ОФ-10. Твердость наплавленного металла во втором и последующих слоях *HRC* 40... 43 [34]. Высокопроизводительную дуговую наплавку под флюсом холоднокатаной лентой 08кп и т. п. используют для восстановления размеров различных деталей или в качестве подслоя при наплавке высоколегированных материалов.

В Приазовском государственном техническом университете разработан способ износостойкой дуговой наплавки холоднокатаной лентой из стали 08кп под легирующими керамическими флюсами [35-38]. Наплавку деталей, работающих в условиях трения металла по металлу при нормальных и повышенных температурах, циклических теплосменах, высоких контактных нагрузках (ролики МНЛЗ и т. п.), ведут под флюсом ЖСН-5. Для наплавки деталей, работающих в условиях циклических теплосмен, ударов и высоких удельных давлений (ножи горячей резки металла и т. п.), используется флюс ЖСН-6.

Для повышения производительности предлагалось вести наплавку при повышенном вылете электродной ленты [35]. С помощью нагрева вылета электрода проходящим током можно достичь прироста производительности в 1,5 раза. Так как для наплавки применяется тонкая лента, необходимую жесткость ей придают путем профилирования — отгиба краев. Профилирование ленты производится непосредственно в подающем механизме наплавочного автомата. Оптимальная форма отгиба краев ленты по радиусу позволила также улучшить качество формирования наплавленного металла.

Известен пример дуговой наплавки опорных валков прокатного стана электродной лентой из инструментальной стали 25Х5ФМС [39]. Производство этой ленты для собственных нужд было налажено на металлургическом комбинате «Северсталь».

Для дуговой наплавки холоднокатаными лентами под флюсом, как правило, применяются источники постоянного тока, что при использовании ленты шириной более 100 мм приводит к проявлению эффекта магнитного дутья, резко ухудшающего формирование наплавленного металла. С применением устройств, подавляющих этот эффект, можно использовать для наплавки ленты значительно большей ширины.

**Электрошлаковая наплавка лентами.** Как указывалось выше, при дуговой наплавке лентами выйти на необходимый состав наплавленного металла удается только во втором слое. Чтобы избежать этого недостатка предлагалось применять

для наплавки две ленты — электродную и присадочную [24, 40]. Патент австрийского изобретателя П. Шерля [41] предусматривал подачу двух или нескольких электродных лент, которые «плавятся в общей сварочной ванне благодаря образованию электрической дуги». Наиболее перспективным оказался процесс наплавки двумя параллельными лентами с определенным зазором [42]. Благодаря тому, что в зазор холодный флюс не попадает, жидкий шлак сильно нагревается и шунтирует ток, протекающий в лентах. По оценке авторов через шлак протекает около 60, а через дугу 40 % тока. Для лент шириной 60 мм рекомендуется зазор 8...10 мм. При наплавке двумя лентами 60×0,5 мм производительность достигает 26 кг/ч, доля основного металла в наплавленном не превышает 9 %. В 1970-х годах в ИЭС им. Е. О. Патона проведены эксперименты по переводу этого процесса полностью в электрошлаковый [43]. Наплавку вели двумя холоднокатаными (Св-08Х19Н10Г2Б) или спеченными (ЛС-07Х23Н12Г) лентами. Хорошие результаты получены при использовании флюсов АН-26П и 48-ОФ-10. Их применение позволило осуществить стабильный электрошлаковый процесс и получить отлично сформированные валики. Жидкий шлак под действием пинч-эффекта поднимается довольно высоко в зазоре между лентами. Нагрев и плавление лент происходит исключительно в результате теплопередачи от шлакового расплава. По сравнению со смешанным дугошлаковым процессом возрастают эффективность нагрева и производительность расплавления лент. Бездуговой характер процесса подтвержден данными осциллографа.

Большое влияние на процесс оказывает величина зазора. При слишком малом зазоре шлаковая ванна перегревается и кипит, появляется дуговой процесс. При большом увеличивается площадь зеркала шлаковой ванны, ее температура падает, возрастает сопротивление и процесс также переходит в дуговой. При малых мощностях процесс ведут при небольших зазорах, при больших — зазор увеличивают. При наплавке двумя спеченными лентами ЛС-07Х23Н12Г размерами 60×0,8 мм производительность составляла более 40 кг/ч, доля основного металла 5...8 %. Увеличение ширины ленты до 100 мм позволило достичь производительности более 60 кг/ч. Как и при дуговом процессе, при электрошлаковой наплавке лентами шириной более 100 мм проявляется эффект магнитного дутья, подавляя который можно производить наплавку лентами большей ширины.

Электрошлаковая наплавка лентами нашла основное применение в атомном и энергетическом машиностроении [44–48]. Для обеспечения высокой коррозионной стойкости материалов, контактирующих с теплоносителем первого контура АЭС, внутренние поверхности оборудования из низколегированных перлитных сталей (15Х2НМФА, 10Г2Н2МФА и др.) наплавляют слоем хромоникелевых аустенитных сталей. Как указывалось выше, при дуговой антикоррозионной наплавке лентами необходимо наплавливать два слоя. Для однослойной электрошлаковой наплавки разработана

холоднокатаная лента Св-03Х22Н11Г2Б, наплавка которой обеспечивает все необходимые антикоррозионные и механические свойства наплавленного металла [46, 47].

Были попытки использования электрошлакового процесса для наплавки спеченными лентами, обеспечивающими получение наплавленного металла типа углеродистых износостойких сталей [49, 50]. При содержании в ленте до 0,1 % углерода электрошлаковый процесс был стабильным и устойчивым. При более высоком содержании углерода процесс перемежается с дуговым. При неизменном содержании в ленте раскислителей (марганца и кремния) с увеличением содержания углерода в сварочной ванне происходит интенсивное его окисление с выделением большого количества СО. Это вызывает интенсивное кипение ванны и нарушение электрошлакового процесса. Окисление углерода усиливается при наличии в шлаке больших количеств FeO, MnO, SiO<sub>2</sub>. Этим объясняется менее стабильный процесс наплавки под высококремнистыми флюсами. При легировании лент сильными раскислителями процесс наплавки удается стабилизировать и в этом случае можно вести электрошлаковую наплавку спеченными лентами ЛС-5Х4В3Ф и ЛС-45Х4В2М2ФС, содержащими до 0,5 % углерода.

Небольшая доля основного металла в наплавленном при электрошлаковой наплавке лентами позволяет уменьшить количество наплавливаемых слоев, что снижает деформации, склонность наплавленного металла к образованию трещин и трудоемкость наплавки.

Таким образом, в настоящее время разработаны и с успехом опробованы в промышленном производстве ряд высокопроизводительных способов широкоугольной наплавки электродными проволоками и лентами. Разнообразие способов наплавки позволяет заводскому специалисту выбрать из них наиболее рациональный, исходя из имеющихся на рынке оборудования и наплавочных материалов, с учетом их доступности и цены.

1. Меликов В. В. Многоэлектродная наплавка. — М.: Машиностроение, 1988. — 144 с.
2. Наплавка роликов машин непрерывного литья заготовок / В. Л. Маликин, Л. И. Опарин, П. В. Гладкий и др. // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавка в металлургической и горнорудной промышленности. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1988. — С. 22–23.
3. Меликов В. В. Многоэлектродная наплавка и некоторые ее возможности // Высокопроизводительные процессы наплавки и наплавочные материалы. — Киев-Коммунарск: ИЭС им. Е. О. Патона, 1973. — С. 9–14.
4. Юзвенко Ю. А., Кирилук Г. А. Наплавка порошковой проволокой. — М.: Машиностроение, 1973. — 46 с.
5. Установки для механизированной наплавки с поперечными колебаниями электрода / В. В. Левин, М. М. Шель, В. Н. Асалханов, Ю. П. Нестерец // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавка деталей оборудования металлургии и энергетики. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1980. — С. 38–42.
6. Юзвенко Ю. А. Порошковая лента // Автомат. сварка. — 1970. — № 2. — С. 23–26.
7. Кузнецов Л. Д., Кортелев Г. А., Николаенко М. Р. Особенности процесса наплавки порошковой лентой на форсированных режимах деталей строительных и дорожных машин // Теоретические и технологические основы наплавки. Современные способы наплавки и их применение. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1982. — С. 12–15.

8. Пацкевич И. Р., Соловской В. М., Хейфец Л. А. Опыт применения и перспективы развития наплавки порошковой лентой // Высокопроизводительные процессы наплавки и наплавочные материалы. — Киев—Коммунарск: ИЭС им. Е. О. Патона, 1973. — С. 14—18.
9. Юзвенко Ю. А., Горпенок Б. Н., Шимановский В. П. Химическая макронеоднородность металла, наплавленного открытой дугой порошковой лентой // Теоретические и технологические основы наплавки. Новые процессы механизированной наплавки. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1977. — С. 21—29.
10. Химическая макронеоднородность металла, наплавленного различными электродными материалами // В. Е. Еремеев, Ю. В. Стреляный, В. А. Корбут, Л. В. Песня // Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1979. — С. 36—42.
11. Юзвенко Ю. А., Шимановский В. П., Гавриш В. А. Дуговая наплавка засыпного аппарата доменной печи // Автомат. сварка. — 1972. — № 2. — С. 59—64.
12. Шимановский В. П., Данильченко Б. В., Ворончук А. П. Наплавка деталей засыпного аппарата доменных печей // Теоретические и технологические основы наплавки. Современные способы наплавки и их применение. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1982. — С. 35—40.
13. Шимановский В. П., Ворончук А. П., Звездин С. М. Материалы и оборудование для наплавки конусов и чаш доменных печей // Оборудование и материалы для наплавки. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1990. — С. 71—73.
14. Шимановский В. П., Юзвенко Ю. А. Влияние трещин на газообразный износ наплавленного металла // Автомат. сварка. — 1971. — № 2. — С. 61—62.
15. Наплавка при изготовлении современных грузозачных устройств доменных печей // С. Я. Шехтер, В. В. Пьянков, Ю. Н. Лазаренко, Ю. М. Кобзев // Наплавка при изготовлении деталей машин и оборудования. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1986. — С. 30—34.
16. Данильченко Б. В., Шимановский В. П., Терпило В. Н. Техника и технология высокопроизводительной наплавки листов малой толщины износостойкими сплавами // Наплавка при изготовлении деталей машин и оборудования. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1986. — С. 5—9.
17. Еремеев В. Б., Стреляный Ю. В., Лопухов Ю. И. Наплавка порошковой лентой седел крупных штамповочных задвижек // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавка деталей оборудования металлургии и энергетики. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1980. — С. 132—136.
18. Опарин Л. И., Фрумин И. И., Отрок А. И. Механизированная наплавка слоя инструментальной стали металлокерамической лентой // Автомат. сварка. — 1968. — № 12. — С. 58—61.
19. Маликин В. Л., Опарин Л. И. Влияние режима наплавки спеченной электродной лентой на производительность процесса и формирование наплавленного слоя // Там же. — 1981. — № 5. — С. 45—47.
20. Маликин В. Л., Опарин Л. И., Фортунатова Н. Н. Производительность процесса и геометрические размеры наплавленных валков при электродуговой и электрошлаковой наплавке спеченными электродными лентами // Наплавка при изготовлении деталей машин и оборудования. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1986. — С. 110—115.
21. Фрумин И. И., Опарин Л. И., Маликин В. Л. Новые металлокерамические ленты для механизированной наплавки под флюсом специальных сталей и сплавов // Высокопроизводительные процессы наплавки и наплавочные материалы. — Киев—Коммунарск: ИЭС им. Е. О. Патона, 1973. — С. 59—66.
22. Исследование эксплуатационных свойств износостойкого металла, наплавленного спеченными электродными лентами // В. Л. Маликин, И. И. Фрумин, Л. И. Опарин, В. И. Буслов // Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1979. — С. 99—102.
23. Маликин В. Л., Фрумин И. И., Сацункевич В. Д. Влияние химической однородности наплавленного металла на сопротивление термической усталости // Автомат. сварка. — 1982. — № 11. — С. 12—14.
24. Маликин В. Л., Опарин Л. И. Повышение производительности наплавки ленточным электродом // Там же. — 1974. — № 8. — С. 58—60.
25. Опарин Л. И. Некоторые итоги и перспективы применения наплавки спеченными электродными лентами // Там же. — 1981. — № 8. — С. 61—64.
26. Опарин Л. И., Маликин В. Л. Применение износостойкой наплавки спеченными электродными лентами // Наплавка. Опыт и эффективность применения. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1985. — С. 33—35.
27. Повышение износостойкости подвесных опор грузового автомобиля КамАЗ наплавкой спеченной электродной лентой // Л. И. Опарин, И. И. Фрумин, В. Л. Маликин и др. // Автомат. сварка. — 1980. — № 3. — С. 36—37.
28. Износостойкая наплавка ножей дорожно-строительных машин спеченной электродной лентой // Л. И. Опарин, В. Л. Маликин, А. Г. Акимова, Г. И. Усольцева // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавка в машиностроении и ремонте. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1980. — С. 84—86.
29. Опарин Л. И., Маликин В. Л. Применение износостойкой наплавки спеченными электродными лентами // Наплавка. Опыт и эффективность применения. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1985. — С. 33—35.
30. Хомусько Ф. А. Автоматическая наплавка ленточным электродом // Автомат. сварка. — 1957. — № 5. — С. 71—77.
31. Хомусько Ф. А., Работнов Б. А. Автоматическая наплавка лопастей поворотлопастных гидротурбин электродной лентой под флюсом // Там же. — 1957. — № 5. — С. 62—71.
32. Крайцов Т. Г. Электродуговая наплавка электродной лентой. — М.: Машиностроение, 1978. — 168 с.
33. Белов Ю. М., Трофимов И. Ф., Евтушенко А. С. Совершенствование технологии механизированной наплавки оборудования АЭС // Наплавка при изготовлении деталей машин и оборудования. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1986. — С. 5—9.
34. Наплавка лентой крупногабаритных тонкостенных формулирующих барабанов // Ю. М. Белов, П. И. Сморгачев, Н. И. Пряник, Н. В. Василисин // Теоретические и технологические основы наплавки. Современные способы наплавки и их применение. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1982. — С. 3—7.
35. Лецинский Л. К., Тарасов В. В., Белоусов Ю. В. Нагрев влета электродной ленты расплавленным шлаком // Автомат. сварка. — 1973. — № 2. — С. 71—72.
36. Белоусов Ю. В., Балянский К. В., Лецинский Л. К. Особенности формирования металла при дуговой наплавке электродной лентой // Свароч. пр-во. — 1974. — № 12. — С. 32—34.
37. Белоусов Ю. В., Лецинский Л. К. Основные особенности наплавки профилированным ленточным электродом // Теоретические и технологические основы наплавки. Новые процессы механизированной наплавки. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1977. — С. 35—44.
38. Лецинский Л. К., Белоусов Ю. В., Матвиенко В. Н. Повышение производительности и качества широкослесной наплавки ленточным электродом // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавка деталей оборудования металлургии и энергетики. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1980. — С. 15—19.
39. Увеличение срока службы опорных валков стана 2000 горячего проката полос в ОАО «Северсталь» // Л. И. Данилов, Н. Б. Скорохватов, В. Ф. Соболев и др. // Черная металлургия. Бюл. НТИЭИ. — 2004. — № 8. — С. 68—69.
40. Pat. № 3271554 USA. Overlay welding / W. C. Johnson. — Заявл. 24.06.65. — Опубл. 06.09.66.
41. Pat. 313026. Lichtbogen-Schmelzschweißverfahren / Scherl P. — Заявл. 24.12.69. — Опубл. 25.01.74.
42. Neff F., Scerl P., Ornig H. Neue Verfahren zum Schweißsplattieren dickwandiger stahlbleche und behälter // Schweisstechnik. — 1974. — № 7. — S. 139—146.
43. Разработка процесса и исследование некоторых технологических особенностей электрошлаковой наплавки лентами // И. И. Фрумин, В. К. Каленский, Ю. А. Панчишин и др. // Теоретические и технологические основы наплавки. Новые процессы механизированной наплавки. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1977. — С. 83—88.
44. Фрумин И. И. Наплавка в атомном энергомашиностроении // Автомат. сварка. — 1975. — № 10. — С. 21—24.
45. Применение электрошлаковой наплавки спеченными лентами для изготовления двухслойных листовых заготовок // В. К. Каленский, Ю. А. Панчишин, С. Я. Шехтер, Ю. Н. Пятков // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавка деталей оборудования металлургии и энергетики. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1980. — С. 89—93.
46. Исследование процесса электрошлаковой антикоррозионной наплавки двумя ленточными электродами // В. А. Иг-



- натов, В. В. Мурзин, Э. А. Рохлин, Л. В. Хачатурьянц // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавка деталей оборудования металлургии и энергетики. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1980. — С. 101–106.
47. *Исследование* антикоррозионного слоя, наплавленного лентами двухэлектродным способом на сталь 15Х2НМФА / А. В. Залинов, А. Е. Рунов, Е. Г. Старченко и др. // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавка деталей оборудования металлургии и энергетики. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1980. — С. 106–112.
48. *Каленский В. К., Панчишин Ю. А.* Об эффективности антикоррозионной наплавки электродными лентами // Наплавка. Опыт и эффективность применения. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1985. — С. 35–40.
49. *Маликин В. Л., Опарин Л. И.* Электрошлаковая наплавка некоторых износостойких сталей спеченными электродными лентами // Теоретич. и технологич. основы наплавки. Новые процессы механизированной наплавки. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1977. — С. 96–102.
50. *Маликин В. Л.* Разработка материалов и технологии износостойкой электрошлаковой наплавки спеченными электродными лентами // Теоретич. и технологич. основы наплавки. Современные способы наплавки и их применение. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1982. — С. 77–84.

Main methods of high-efficiency wide-band surfacing using electrode wires and strips are described. Their advantages and drawbacks are shown. Examples of industrial application are given

Поступила в редакцию 02.03.2005

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ПО ШВУ И СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЯ RASTR ДЛЯ ЭЛС

*Предполагается принцип получения информации о состоянии поверхности изделия путем сканирования с помощью зонда — острогофокусированного электронного луча.*

*При той же стоимости основными преимуществами системы RASTR по сравнению с оптическими и телевизионными системами являются отсутствие оптических осветителей, которые запыляются парами металла, и лучшие условия для работы оператора.*



**Принцип работы.** Изображение размером 60×60 мм со швом, сварочной ванны и стыком формируется три раза в секунду при сканировании луча по поверхности детали в течение короткого периода времени. Процесс ЭЛС не исключает возможности его прерывания на этот короткий период времени  $\tau_{пр} = 0,1(d/v_{св})$ , где  $d$  — диаметр луча;  $v_{св}$  — скорость сварки. Для  $d = 1$  мм (размер луча, типичный для мощных пушек) при  $v_{св} = 6$  м/ч (1,7 мм/с) прерывания процесса на  $\tau_{пр} < 60$  мс не вызывают никаких возмущений при образовании шва. При  $v_{св} = 60$  м/ч (17 мм/с) это время сокращается до 6 мс. В течение этих периодов сварочный луч может переключаться в режим зондирования, стык, ванна и шов в непосредственной близости от ванны могут быть визуализированы. Система автоматически вычисляет величину отклонения шва и с помощью механизмов или системы отклонения совмещает луч с линией стыка.

### Технические характеристики системы

Количество выборок, пиксел..... 256×256  
 Динамическая ошибка при слежении по шву, мм ..... ±0,1

*Система работает с блоками питания типа ELA мощностью 15, 60 и 120 кВт.*

**Контакты:** 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11  
 Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 57  
 Тел./факс: (38044) 525 43 19  
 E-mail: nazarenko@technobeam.com.ua