

РАЗВИТИЕ ПРОЦЕССОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СУДОСТРОЕНИЯ, МЕТАЛЛУРГИИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ

В. Д. ГОРБАЧ, д-р техн. наук (ФГУП «ЦНИИТС», г. Москва, РФ),
Н. И. НИКИФОРОВ, д-р техн. наук (ОАО «ВНИИавтогенмаш», г. Москва, РФ)

Описаны направления исследований в области термической, кислородной и плазменной резки металлов, проводимых в ОАО «ВНИИавтогенмаш», а также достижения этой организации и ФГУП «ЦНИИТС» в разработке и широком промышленном применении резательных машин нового поколения на предприятиях судостроения, металлургии и машиностроения.

Ключевые слова: термическая резка, кислородная резка, плазменная резка, газолазерная резка, математическая модель, теплофизические процессы, тепломассоперенос, машина нового поколения, примеры эффективного применения

Термическая резка является основной технологической операцией получения заготовок для сварных конструкций и широко применяется в машино- и судостроении, металлургии и других отраслях промышленности. В ведущих отраслях промышленного производства она составляет 30 % трудоемкости изготовления металлоконструкций из листового металла. В судостроении детали из листового проката составляют 85 % массы деталей корпусов судов, поэтому технический уровень методов термической резки имеет решающее значение для обеспечения экономической эффективности производства.

При разделке металла в основном используется три вида резки: газопламенная кислородная, плазменная и газолазерная. Наиболее широко применяется кислородная и плазменная резка.

Кислородная резка позволяет обрабатывать низкоуглеродистые стали различной толщины (от 5 до 2000 мм). Невысокая стоимость оборудования, его простота обеспечили широкое применение процесса практически во всех сферах промышленного производства. Однако технологический процесс кислородной резки характеризуется длительным временем подогрева в начале резки и небольшой скоростью резки 0,1...0,7 м/мин, что ограничивает производительность, вызывает термические деформации, снижающие точность деталей.

Плазменная резка обеспечивает резку на большой скорости стали толщиной до 30...40 мм, позволяет резать и другие металлы, а также сопровождается малыми термическими деформациями. Однако поверхности резов имеют заметную не-

перпендикулярность и шероховатость, имеет место нестабильность работы плазмотрона.

Наиболее высокое качество резки металлов небольшой толщины и неметаллических материалов обеспечивает газолазерная резка, однако она относительно дорога, а оборудование сложное.

За последние годы в машиностроении существенно изменились требования к термической резке. Так, современная машина термической резки должна обрабатывать металл толщиной от 1 до 200 мм. Ни одна из существующих технологий термической резки (ни кислородная, ни плазменная, ни лазерная) не в состоянии охватить этот диапазон. Поэтому возникла необходимость в создании машин с комбинированными оснастками, у которых малые толщины от 1 до 20 мм будут обрабатываться плазменным методом, а от 20 до 250 мм — кислородным. Возросли также требования к машинам по точности. Машина должна вырезать детали в размер без припусков под последующую механическую обработку.

В судостроении основным требованием к технологии термической резки является обеспечение точности вырезаемой заготовки в соответствии с требованиями плазменного раскроя.

В металлургии, наряду с обрезкой листового проката в размер, широко применяется резка металла толщиной от 150 до 700 мм. При этом проблемой является повышение скорости резки, так как последняя определяет производительность установок для непрерывной разделки сталей и соответственно объем получаемого проката.

В настоящей работе рассмотрены аспекты развития теоретических основ кислородной и плазменной резки металлов и примеры создания на их базе высокопроизводительных и высокоточных машин для раскроя листового проката.

Развитие процесса кислородной резки. В данной работе для изыскания путей повышения производительности кислородной резки сделана попытка построения математической модели всех

ее наиболее важных этапов технологического процесса: предварительного подогрева и окисления металла, теплопереноса, плавления и уноса расплава из зоны реза. Для этого были использованы методы трехмерного математического моделирования теплофизических процессов и теплопереноса при резке [1].

Для анализа характерных гидродинамических особенностей, происходящих в процессе кислородной резки, решали задачу о течении вязкой теплопроводной среды с химически реагирующим слоем. В общем виде данная постановка задачи включает следующие основные уравнения: уравнения неразрывности, уравнения движения, уравнение энергии, уравнение притока тепла в процессе окисления, уравнение кинетики плавления или кристаллизации (условие Стефана).

Сформулированная выше математическая постановка задачи теплопереноса и плавления под действием подогревающего пламени с последующим окислением и уносом расплавов из зоны реза решалась численно методом конечных разностей.

Результаты компьютерного моделирования развития тепловой картины под действием подогревающего пламени для резака с диаметром внутреннего (режущего) мундштука $d_{\text{внутр}} = 1,2$ мм и диаметром наружного мундштука $d_{\text{нар}} = 6,2$ мм приведены на рис. 1. Из рисунка видно, что температура в приповерхностном слое (на глубине 0,5 мм) распределяется очень неравномерно, имеется впадина по оси сопла.

Как видно из рис. 2, в начале активного окисления происходит в области внутреннего диаметра. В результате проведенных компьютерных экспериментов, моделирующих процесс нагрева металла кольцевым подогревающим пламенем, выявлено наличие пространственного температурного минимума по оси резака, наличие которого сдерживает начало процесса резки. Значение температурной впадины уменьшается по мере снижения диаметра кольцевого отверстия для горючей смеси и приближения пламени к оси резака.

Кинетика окисления железа является определяющим фактором скорости кислородной резки сталей.

Процесс окисления при моделировании можно представить следующими стадиями: перенос окислителя к твердой поверхности; кристаллохимическое взаимодействие; образование и рост новой фазы; диффузия окислителя через оксидный слой.

При $T > 1000$ К в расплаве шлака в основном присутствует FeO (более 90 %), поэтому в расчетах рассматривали только кинетику образования вюстита.

Выведем уравнение химической кинетики образования и роста закисной пленки, основываясь

на представлениях К. Вагнера, предполагая, что процессы окисления можно рассматривать как электролитические, т. е. считать, что рост толщины пленки вызван диффузией заряженных частиц (катионов кислорода, анионов железа и электронов). Обозначим через E электрохимический потенциал электролита, через N_a число заряженных ионов железа, через N_k число заряженных ионов кислорода, через N_y число электронов. Далее с помощью закона Фарадея можно выразить образование dm (г/моль) оксида за время dT следующим образом:

$$\frac{dm}{dT} = \frac{R\sigma_0 S}{zF^2} (N_a + N_k) N_y \left(\frac{\partial T}{\partial h} \ln(P) + T \frac{1}{P} \frac{\partial P}{\partial h} \right),$$

где F — постоянная Фарадея; R — универсальная газовая постоянная; T — температура; z — величина заряда ионов; P — давление.

Таким образом, исходя из математической модели процесса (на уровне механики сплошной среды), можно перейти к описанию формирования оксидной пленки и определению факторов, влияющих на производительность резки. Численно-

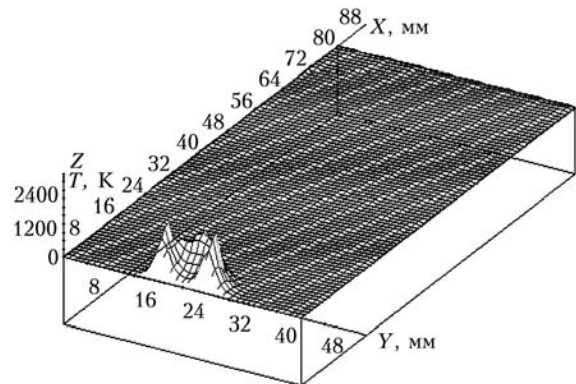


Рис. 1. Тепловая картина, сформировавшаяся через 1с под действием подогревающего пламени с диаметром наружного мундштука 6,2 мм ($T_{\text{max}} = 825$ К)

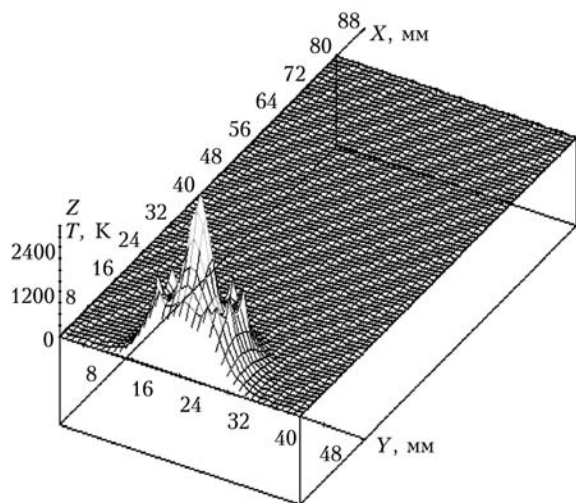


Рис. 2. Пикообразный рост температуры в зоне реза через 5 с ($T_{\text{max}} = 4742$ К)

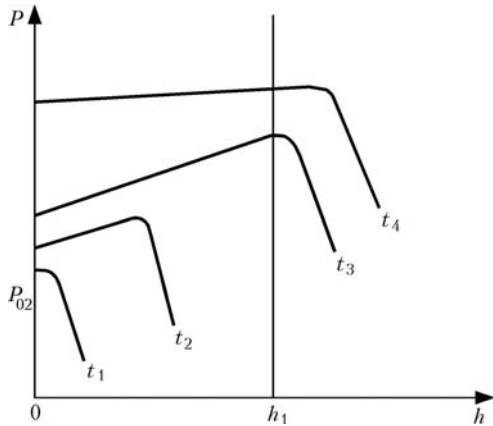


Рис. 3. Волновой характер распространения давления с поверхности вглубь окисляемого металла

ми расчетами обнаружено, что температура в зоне плавления оксидной пленки может стремительно возрастать до температур испарения металла (так называемые режимы с обострением). При этом возникают микролокальные области, в которых давление расплава также увеличивается скачком, что приводит к возникновению микроударных волн (рис. 3), которыми провоцируется выброс металла с той глубины, на которой они зародились, что в результате повышает скорость резки.

Рис. 4 наглядно иллюстрирует отставание скорости реза по толщине металла. Причем оно тем больше, чем толще металл. Основными факторами, вызывающими отставание, являются воздействия тепловых полей, формируемых с учетом интенсифицирующего скорость окисления подогревающего пламени в верхней части реза и снижающейся теплопроводности при высоких температурах смываемого расплава в нижней части реза.

Кроме того, анализ компьютерных экспериментов показал, что увеличение производительности резки может быть достигнуто вследствие

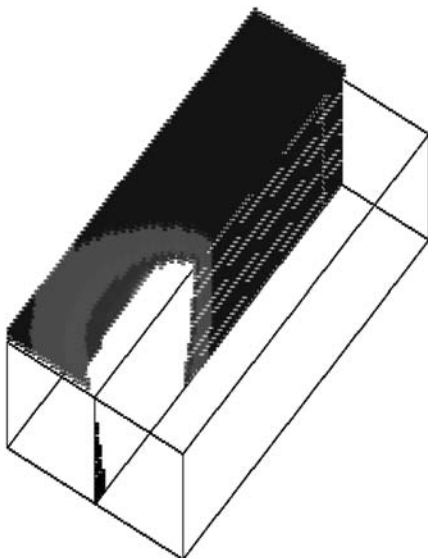


Рис. 4. Динамика распространения тепловых полей при формировании реза в стальной плите толщиной 20 мм

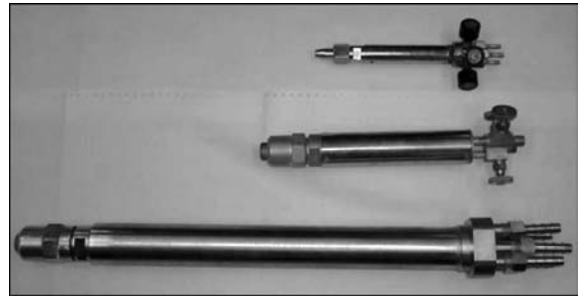


Рис. 5. Машинные резаки для резки металла толщиной 150, 300 и 500 мм

применения повышенного давления режущего кислорода, а время подогрева также может быть уменьшено за счет ликвидации температурного минимума по оси резака при нагреве металла кольцевым подогревающим пламенем. По результатам выполненных исследований были разработаны кислородные резаки с оптимальными геометрическими параметрами, в которых угол между осью сопла режущего кислорода и осями подогревающего пламени изменяется в зависимости от толщины разрезаемого металла (рис. 5).

Угол между осью сопла режущего кислорода и осями подогревающего пламени определяли из условия касания пятна режущего кислорода и пятна подогревающего пламени (светящегося участка) на поверхности металла (максимальный угол) и из условия удаления указанных окружностей на расстояние 1,5...2 мм (минимальный угол). В связи с тем, что диаметры режущего сопла и его проекция на металл изменяются в зависимости от толщины металла, установлены следующие соотношения между толщиной металла и углами наклона осей подогревающего пламени:

толщина металла, мм	5...20	20...50	50...100	100...150
угол наклона, град	15	10	8	5

Углы наклона резака выбраны таким образом, чтобы пятно нагрева с максимальной температурой располагалось на расстоянии 1...2 мм от границы проекции струи режущего кислорода. Указанная схема реализована в конструкции новых резаков серии «Норд». На рис. 5 представлен внешний вид резаков для резки металла толщиной до 500 мм, внедренных на металлургических предприятиях.

Развитие процесса плазменной резки металла. Дальнейшее развитие плазменно-дуговых технологий резки металлов проходило в ходе исследований тепловых и газогидродинамических закономерностей, показавших, что основную часть поступающей в металл тепловой мощности образует режущий тепловой поток, обеспечивающий проплавление металла и смыв расплава плазмой из полости реза. В процессе резки часть теплоты распространяется в прилегающую к резу массу разрезаемого металла, при этом часть рас-

плава оттесняется на боковые поверхности реза. При излучении открытого столба дуги и с факелом плазмы некоторая часть теплоты теряется в плазммотроне.

Установлено, что скорость резки металла зависит от толщины фронтной пленки расплава, увеличивающейся с углублением в полость реза, что вызывает при плазменно-дуговой резке «отставание» режущей струи, ограничивающее скорость резки и искажающее вырезаемый контур. Уменьшить отставание можно резкой дугой с высокими плотностью тока, скоростью плазменной струи и рациональным выбором плазмообразующих сред. При этом важно обеспечить максимальную равномерность теплопередачи от режущей дуги фронту разрезаемого металла по толщине объекта резки. Это также существенно для уменьшения непараллельности поверхности реза, характерной для плазменно-дуговой резки.

Поскольку наиболее равномерная ширина реза достигается в зоне скопления пятна, то для получения при резке наиболее высококачественных (параллельных) поверхностей резов важно принимать меры, обеспечивающие максимальную растяжку по глубине зоны сканирования анодного пятна, и применять источники режущего тока с крутопадающими вольт-амперными характеристиками, обеспечивающими постоянство тока при изменениях длины сканирующей режущей дуги. Так как энергия, вводимая режущим потоком, будет обеспечивать только образование разреза, то у реза должна быть минимальная ширина, достаточная для смыва через него образуемого расплава и исключающая возможность заплавления получаемой сквозной полости.

Установлено, что объемы расплава, смываемого на боковые поверхности реза, уменьшаются при высоких скоростях его смывания, а расплав, застывая на поверхностях реза, образует литой слой и шероховатость. Уменьшение глубины литого слоя и шероховатости можно достичь интенсивным сбросом расплава из формируемой полости реза скоростным потоком плазмы. Интенсивность смыва расплава возрастает с «жесткостью» режущей дуги, определяемой составом, плотностью и массовым расходом плазмы, что достигается ограничением тока, расхода газа, длины канала режущего сопла и уменьшением его диаметра. Последнее при высоких плотностях тока требует стабильности их значения как в ходе возбуждения режущей дуги, так и при колебаниях сетевого напряжения питания источника тока дуги и ее длины в процессе резки. Для стабильной работы плазмотрона в этих условиях и исключения возможности возникновения аварийного режима «двойной дуги» созданы принципиально новые типы источников тока, питающих режущую дугу, с микропроцессорными стабилизирующими

устройствами, которые обеспечивают стабильно максимальную плотность энергии и позволяют получить высокую скорость плазменной струи, что способствует повышению скорости резки, стойкости гафниевого катода, уменьшению непараллельности поверхностей реза. Применение этих источников позволило повысить в полтора раза скорость резки, вдвое увеличить стойкость гафниевого катода, уменьшить непараллельность и шероховатость поверхностей реза.

Новые установки УТР4011, разработанные фирмой «Спектр Плюс» (г. Санкт-Петербург), позволяют резать металл толщиной от 2 до 100 мм и ими оснащают современные машины плазменной резки.

В ходе исследований определены также целесообразные виды различных плазмообразующих сред: наряду со сжатым воздухом для заготовительной резки металлов целесообразно также применять для чистой резки сталей кислород, а для их скоростной резки — плазму богатой смеси кислорода с азотом, для легированных сталей и меди — азот или его смеси с водородом, а для чистой резки алюминия — аргоноводородную смесь.

Создание и внедрение новых машин термической резки ВНИИавтогенмаш. ВНИИавтогенмаш разработал концепцию ускоренного обновления имеющегося парка машин термической резки (МТР). На первом этапе выполняется модернизация имеющегося парка машин. Для этого обследуются состояние старой машины, на основе чего разрабатывается проект ее обновления. В максимальном варианте выполняется замена устаревших УЧПУ, электроприводов, механических модулей, режущей оснастки в условиях действующего производства. Все вновь устанавливаемые на машине элементы (режущее устройство и кинематическая часть машины) изготовлены с учетом выполненного комплекса исследований и соответствуют мировому уровню.

Главным фактором повышения технического уровня МТР является применение новейших систем управления на базе промышленных компьютерных станций. Комплектная система на базе универсальной УЧПУ «4С 300 FAST» управляет не менее чем 4 координатами, имеет пульт управления на базе промышленного компьютера с цветным 14" дисплеем, встроенным накопителем на магнитном диске и фотосчитывающим устройством. Система может обеспечить возврат и возобновление движения резака по контуру с восстановлением технологии и защитой от помех. Возможна связь с персональным компьютером и другими устройствами, контроль ошибок слежения, хранение, отладка программ управления и т. п. Система имеет относительно невысокую стоимость.

Для модернизации использовали также зарубежные системы управления фирмы «Берни»



Рис. 6. Портальная МТР с двумя кислородными и одним плазменным резаком

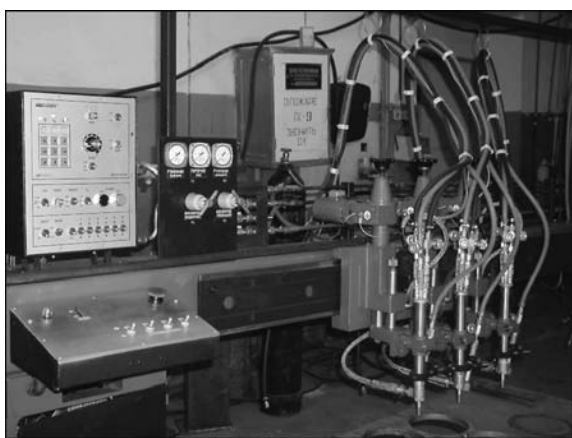


Рис. 7. Портально-консольная МТР с тремя кислородными резаками

(США). В результате принципиальной модернизации функциональные возможности широкопортальных машин «Омнимат» на ОАО «Коломенский завод», ОАО «Южуралмаш» и других предприятиях возросли. В частности, имеется возможность задания с пульта оператора программ на резку более 50 типовых деталей. По точностным характеристикам они в два раза, а по производительности на 30 % превосходят старые машины. В то же время по сравнению с заменой машин на новые модернизация позволяет в 2-3 раза снизить капитальные затраты на восстановление и совершенствование заготовительного производства. Всего модернизировано более 500 машин с программным управлением как кислородной, так и плазменной резки. Все это подтверждает прогрессивность и эффективность выработанного подхода к решению этой проблемы и целесообразность его широкого распространения как действенного средства развития и повышения технического уровня машинной термической резки. В настоящее время работы по модернизации продолжают ускоренными темпами. Срок модернизации одной машины составляет в среднем 3 месяца.

Вторым этапом является разработка новых МТР. Для проектирования высокоточных машин были разработаны: динамическая модель погрешностей движения механического привода и конструкции портальной машины, на основе которой предложена методика расчета погрешностей движения резака, учитывающая важнейшие составляющие отклонений от заданной траектории [2]. Получены уравнения для определения скорости резки на линейных и криволинейных участках в зависимости от установленной динамической точности подвижных элементов, циклических составляющих, кинематических ошибок приводов, массы портала и кривизны контура. Предложены решения по снижению кинематических и динамических погрешностей элементов машины.

По результатам работы был создан новый типоразмерный ряд машин повышенной точности и производительности, разработаны и внедрены в серийное производство портальные МТР нового поколения. На основе результатов проведенных исследований ВНИИавтогенмашем разработана, испытана и внедрена базовая модель машины нового поколения «Алмаз» (рис. 6) с точностью копирования не хуже $\pm 0,2$ мм и фотокопировальная портально-консольная машина кислородной резки «Луч» (рис. 7). По требованию заказчика машина оснащается новыми режущими устройствами: для скоростной кислородной резки стали толщиной от 6 до 150 мм; резки тонкого металла толщиной от 2 до 6 мм; резки металла толщиной от 100 до 500 мм.

Машины нового поколения разработки ФГУП «ЦНИИТС». Одним из основных направлений деятельности ФГУП «ЦНИИТС» является разработка и производство машин тепловой резки с ЧПУ. На предприятиях России и стран СНГ были успешно внедрены более 1000 машин плазменной и кислородной резки типа «Кристалл», «Гранта», разработанных в институте и выпущенных в 1970–1990-х годах [3].

Начало нового века ФГУП «ЦНИИТС» отметил разработкой и организацией производства машин нового поколения типа «Ритм-М». У этих машин существенно повышена точность резки деталей благодаря применению современных комплектных приводов, источников питания плазменной резки с микропроцессорным управлением, промышленных компьютеров и программного обеспечения нового поколения, а также расширены технологические возможности машин в результате оснащения их модулями маркирования и разметки.

Рассмотрим основные модификации машин разработки ФГУП «ЦНИИТС», а также наиболее интересные решения, заложенные в их конструкцию.

В 2001 г. в ФГУП «ЦНИИТС» были спроектированы, изготовлены и внедрены на листопркатном

цехе № 3 ОАО «Северсталь» четыре широкопортальные МТР типа «Ритм МПл-5000» (рис. 8). Машины, оснащенные двумя ведущими каретками, предназначались для контуровки кромки листов, поступающих с прокатного стана. Три машины были изготовлены в плазменном исполнении, одна — в газовом. К особым требованиям, предъявляемым к машинам, следует отнести трехсменный режим работы в цехах металлообрабатывающего предприятия и максимальную ширину обработки листа 5 м.

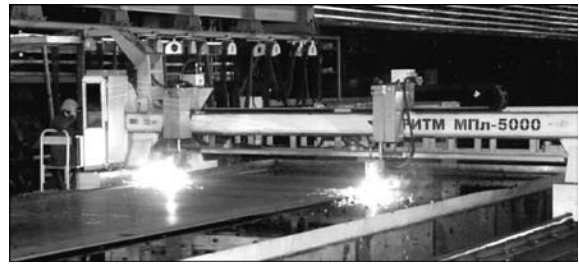


Рис. 8. Широкопортальная МТР типа «Ритм МПл-5000» с двумя плазменными каретками для резки листов шириной до 5 м

Для ускорения процесса проектирования и изготовления МТР, а также снижения их себестоимости, в 2003 г. была начата разработка модульного ряда конструктивных блоков МТР. Разработка завершилась выпуском головного образца машины «Ритм-М» (рис. 9). Плазменный вариант машины был изготовлен и внедрен на вагоностроительном заводе в г. Уссурийск. В продолжении работ по разработке модульных конструктивных блоков в 2004–2005 гг. разработан и изготовлен трехрезаковый газовый блок, предназначенный для резки листового проката с одновременной разделкой кромок под сварку. Трехрезаковыми блоками были оснащены машины, изготовленные по заказам ФГУП «Адмиралтейские верфи» и НТО им. Лавочкина.



Рис. 9. Комбинированная МТР, оснащенная плазменным модулем и трехрезаковым газовым блоком, с шириной обрабатываемых листов до 2,5 м

В 2006–2007 гг. была выполнена разработка типоразмерного ряда облегченных относительно недорогих МТР для раскроя листового проката небольшой ширины как порталного, так и консольного типа. Комбинированная порталная МТР с односторонним приводом «Ритм-МА ППлКП-2,0» для резки листа шириной до 2 м была изготовлена по заказу ОАО «Алитер-Акси» (Санкт-Петербург) (рис. 10). Комбинированная консольная МТР с односторонним приводом «Ритм-МК ПкПлКП-1,5» для резки листа шириной до 1,5 м была поставлена на ООО «АМТ» в г. Нижний Новгород.



Рис. 10. Комбинированная порталная МТР с односторонним приводом и шириной обрабатываемого листа до 2 м

В 2007 г. были разработаны система и датчик контроля начальной установки плазменных резаков в составе плазменного модуля и модуля газовой резки с уменьшенным расходом горючего газа и режущего кислорода. Все выпускаемые ФГУП «ЦНИИТС» МТР типа «Ритм-М» теперь оснащаются данными модульными блоками.

Среди оригинальных технических решений, реализованных в составе МТР, следует отметить: автоматическую систему стабилизации положения реза над поверхностью детали (рис. 11); систему определения координат кромок металлического листа (рис. 12);

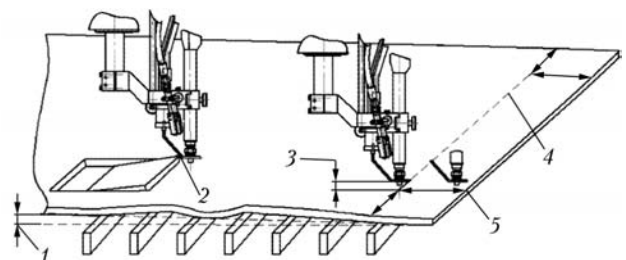


Рис. 11. Функции, выполняемые системой «Адапт»: 1 — определение угла перекоса положения листа; 2 — подача сигнала о контакте антенны с препятствием; 3 — стабилизация рабочего зазора; 4 — программа сканирования кромки листа; 5 — подача сигнала о пересечении антенной кромки листа

устройства дистанционного поджига газовых резаков;

рабочий инструмент для реализации технологии водоинъекционной плазменной резки под водяной завесой (рис. 13);

стабилизатор высоты резака СВР-3М, выполненный с применением одновиткового токовихревого датчика положения резака и защищенный патентом;

систему адаптации МТР к положению листа на раскройном столе с автоматическим выводом инструмента в точку начала реза «Адапт», не имеет аналогов в отечественной промышленности и за рубежом.

Система «Адапт» на базе стабилизатора высоты резака СВР-3М с одновитковым токовихревым датчиком и программного обеспечения к нему способна:

поддерживать заданный рабочий зазор между мундштуком газового или колпаком плазменного резака и разрезаемым металлическим листом, имеющим бухтиноватость;

предотвращать аварийное опускание режущего узла вплоть до удара о разрезаемый металлический лист при подходе его к кромке листа или при падении вырезанной детали за пределы плоскости листа;

предотвращать поломки режущего узла путем аварийного отключения его движения при наезде на опрокинутые вырезанные детали или деформированные нагретом фрагменты разрезаемого листа;

определять координаты кромок металлического листа перед его раскроем для ввода этих дан-

ных в управляющий вычислительный комплекс с целью оптимального размещения карты раскроя на листе, занимающем произвольное положение на раскройном столе, и автоматического вывода режущего узла в точку начала реза.

При разработке СВР-3М и системы «Адапт» были использованы три технических решения, оформленные как изобретения ЦНИИТС. Первое связано с устройством охлаждения датчика сжатым сухим воздухом, который поступает в корпус электронного блока обработки сигнала, а также через отверстия в держателях датчика подается на антенну токовихревого преобразователя; второе — с гальванической развязкой между антенной датчика и электронной измерительной цепью, позволившей подать на антенну дежурное напряжение постоянного тока относительно заземленного металлического листа. Благодаря этому при столкновении антенны с препятствием в виде опрокинутой вырезанной детали или деформированного нагретом фрагмента листа срабатывает релейная схема, и машина останавливается, предотвращая поломку режущего узла. Третье предполагает использование СВР-3М для определения координат кромок металлического листа с целью адаптации программы движения инструмента машины тепловой резки к конкретному положению листа на раскройном столе. Его суть в перемещении каретки с установленными на ней обрабатывающим инструментом и токовихревым датчиком регулятора высоты инструмента, расположенным над листом, вдоль поверхности листа по направлению к его кромке при включенном регуляторе высоты. При подходе каретки с датчиком к кромке листа возникает краевой эффект: бы-

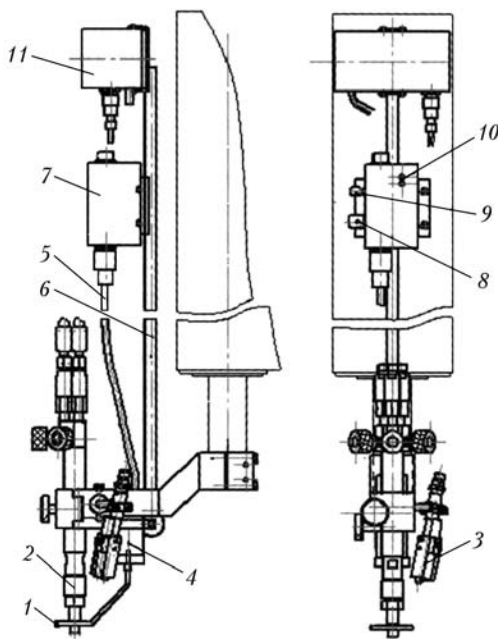


Рис. 12. Схема расположения устройств СВР-3М и УПГ-2 на каретке МТР: 1 — одновитковая антенна стабилизатора высоты; 2 — газовый резак; 3 — зажигалка; 4 — корпус датчика стабилизатора высоты; 5 — соединительный кабель стабилизатора высоты; 6 — штанга-держатель; 7 — электронный блок стабилизатора высоты; 8 — ручка плавной установки высоты; 9 — ручка ступенчатой установки высоты; 10 — сигнальные светодиоды; 11 — электронный блок устройства поджига газа

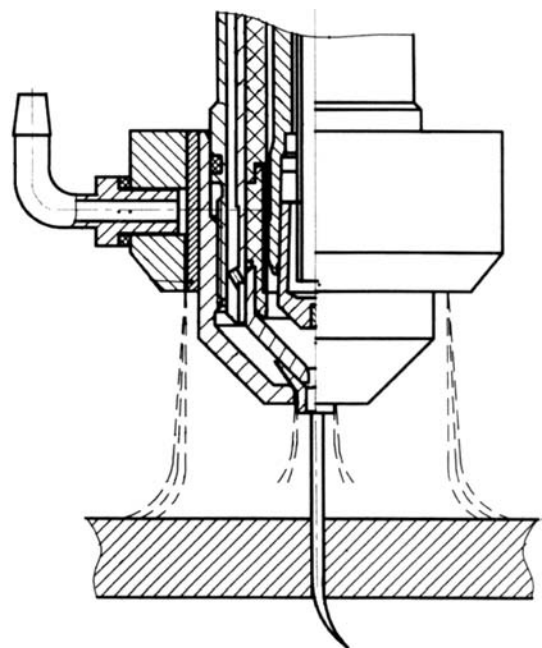


Рис. 13. Схема рабочего инструмента для водоинъекционной плазменной резки под водяной завесой

твое изменение сигнала на выходе датчика при его перемещении в районе кромки листа, которое возникает в результате влияния на датчик пространства за кромкой, воспринимаемого датчиком как увеличение расстояния до поверхности листа.

В 2006 г. специалистами института проведены дополнительные исследования по использованию водоинъекционной плазменной резки под водяной завесой на новых машинах «Ритм-М» и «Альфа-М», для чего на них были установлены плазменный модуль нового поколения, содержащий специальный водоинжекторный плазматрон для резки металла под водяной завесой. Насадка, охватывающая колпак плазматрона, служит для создания водяной завесы. Вода подается в насадку по шлангу через штуцер и, вытекая через щель шириной 0,2 мм, создает водяную завесу. При использовании плазматрона для водоинъекционной плазменной резки дополнительно применяется наружное сопло с канавками, которое устанавливается соосно с внутренним соплом и поджигается колпаком. По канавкам наружного сопла, расположенным на внутренней и наружной поверхностях, на канал сопла и в зону дуги из системы охлаждения резака подается вода (0,25...0,35 л/мин), которая частично испаряется, частично диссоциирует на водород и кислород, создавая в зоне дуги нейтрализующую атмосферу, уменьшающую насыщение кромок листа азотом, 0,06...0,10 л/мин воды попадает в канал сопла (расход воды определяется конструктивным устройством плазматрона).

Испытания разработанного узла водоинжекторного плазматрона с насадкой для создания воздушно-водяной завесы на машине тепловой резки показали следующее. После возбуждения режущей дуги и начала резки включались вода и сжатый воздух, подаваемые в насадку, которая создавала экран вокруг плазменной дуги. Прорезая металлический лист, столб плазмы уходил в воду. Выделение дыма, пыли, аэрозолей существенно уменьшалось вследствие поглощения водой, что позволило сделать заключение о перспективности использования технологии водоинъекционной плазменной резки под воздушно-водяной завесой на новых машинах, выпускаемых ФГУП ЦНИИТС.

Программное обеспечение (ПО) машин тепловой резки разработки ФГУП «ЦНИИТС» реализовано на базе многозадачной операционной системы жесткого реального времени QNX6 и графической оболочки Photon. С точки зрения структурной организации ПО представляет собой в укрупненном виде совокупность следующих взаимодействующих друг с другом программных подсистем:

- интерфейса оператора;
- подсистемы управления движением;
- подсистемы управления технологией;

- подсистемы управления ручным режимом;
- подсистемы управления автоматическим режимом;

- подсистемы подготовки кадров управляющей программы (УП).

Синхронизация и координация работы подсистем осуществляется посредством системных механизмов приоритетной диспетчеризации, обмена сообщениями, общих областей памяти, программных таймеров. Временной такт программного управления в зависимости от решаемых подсистемами задач варьируется от единиц миллисекунд (подсистема управления движением) до нескольких десятков миллисекунд (модуль интерфейса оператора).

ПО настраивается на конкретную конфигурацию машины с использованием директив условной трансляции, что оптимизирует получаемый программный код как по размеру, так и по быстродействию. Отличительные особенности ПО:

- компактность (суммарный объем системной и прикладной части не превышает 10 Мб);

- реализация всего спектра функций системы управления программным способом на одном процессоре с использованием относительно простых и недорогих плат ввода-вывода сигналов;

- большой набор программных настроечных констант для тонкой регулировки параметров системы управления с учетом всех нюансов технологического процесса плазменной и газовой резки;

- поддержка автоматического позиционирования резаков на рабочую высоту над листом, управление высотой во время пробивки, стабилизация высоты во время резки, приподнимание резаков на холостых перегонах;

- управление плавным нарастанием режущего кислорода во время пробивки, поддержка различных режимов выполнения УП (резка, прочерчивание, контур, имитация, непрерывный, покадровый, циклический), а также обратного хода вдоль контура и возврата на контур;

- возможность изменения на лету скорости движения машины, высоты резака над листом, технологических выдержек времени во всех режимах работы;

- возможность наблюдения на экране за движением резака по контуру в режиме «Лупа» с коэффициентом увеличения до 10 раз, что особенно актуально для сложных карт раскроя с большим количеством деталей;

- удобный сервис по диагностике и наладке (включая возможность просмотра графиков изменения рассогласований в реальном времени, просмотра таблиц состояния сигналов с индикацией мнемонических обозначений для каждого из сигналов);

- поддержка ввода УП с клавиатуры, дискеты, USB флеш-диска и по каналу связи Ethernet;

организация хранения файлов УП в виде расширяемой системы вложенных папок;
 поддержка параметрических УП, в том числе, возможность составления пользователем собственных параметрических программ для часто встречающихся конфигураций деталей;
 поддержка подпрограмм;
 возможность геометрических преобразований контура УП, находящейся в памяти с визуальным отображением (масштабирование, разворот на заданный угол, зеркальное отражение относительно координатных осей, привязка к положению листа);
 расчет эквидистантного контура для введенной с пульта оператора поправки на ширину реза;
 возможность остановки выполнения УП в произвольной точке с сохранением текущих координат резака и возможностью продолжить резку с точки остановки, в том числе и после полного выключения/включения электропитания машины;
 доступ к функциям системы управления посредством вложенных пользовательских меню и горячих клавиш, встроенная справка для каждого из пунктов меню.

В заключение следует отметить, что ФГУП «ЦНИИТС» ведет непрерывную работу по совершенствованию машин тепловой резки. Одной из последних перспективных разработок института является лазерная МТР, адаптированная для условий судостроительных предприятий. Она создается с использованием итербиевого волоконного лазера YLR-5000 фирмы IPG Corporation мощностью 5 кВт на базе машины «Ритм-М». ОАО «ВНИИавтогенмаш» работает над созданием машины для резки металла толщиной до 700 мм методом кислородно-флюсовой резки для предприятий металлургии.

1. *Результаты численных и натурных экспериментов по высокоскоростной кислородной резке металлов* / Н. И. Никифоров, Г. К. Сухинин, Р. А. Крекулева и др. // Автомат. сварка. — 2000. — № 5. — С. 21–24.
2. *Динамика погрешностей движения порталных машин термической резки листовых материалов* / Н. И. Никифоров, А. В. Тихомиров, Е. П. Кудрявцев, А. Г. Фролов // Тяж. машиностроение. — 1999. — № 3. — С. 2–4.
3. *Повышение точности машин термической резки* / Н. И. Никифоров, А. В. Тихомиров, Е. П. Кудрявцев, А. Г. Фролов // Там же. — 1999. — № 3. — С. 4–8.

The paper describes investigations in the field of thermal oxygen and plasma cutting of metals conducted at OJSC «VNIIPavtomash», as well as achievements of this organization and FSUE «TsNIITS» in development and wide industrial application of new generation cutting machines in shipbuilding, metallurgical and mechanical engineering enterprises.

Поступила в редакцию 17.03.2008



7-Я ВСЕРОССИЙСКАЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «БЫСТРОЗАКАЛЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПОКРЫТИЯ»

2–3 декабря 2008 г.

г. Москва
 «МАТИ» — РГТУ им. К. Э. Циолковского

Организаторы:

ОАО «Московский комитет по науке и технологиям»
 «МАТИ» — Российский государственный технологический университет им. К. Э. Циолковского

Работа секций:

- секция 1 — быстрозакаленные материалы;
- секция 2 — методы нанесения и исследования покрытий;
- секция 3 — лазерные, электронно-лучевые и ионно-плазменные методы модифицирования поверхности;
- секция 4 — композиционные материалы и неразъемные соединения

Контактный тел./факс: (495) 353 83 17,
 Ученый секретарь конференции д-р техн. наук О. А. Барабанова