

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее распространенных процессов формообразования деталей в машиностроении является воздействие на металл режущего инструмента. В условиях постоянно возрастающих нагрузок на оборудование целесообразным является повышение прочности конструкционных материалов. Однако это приводит к снижению обрабатываемости и как следствие — к повышению трудоемкости изготовления машин. К настоящему времени резервы повышения качества твердосплавного инструмента практически уже исчерпаны и дальнейшего повышения производительности процессов резания можно достичь только от применения новых электрофизических способов, а также комбинации их с традиционными. К таким процессам относится и плазменно-механическая обработка (ПМО), являющаяся комбинацией процесса плазменной обработки (сварки, резки) и обычного процесса резания с помощью лезвийного инструмента. Ниже изложены основные технологические особенности ПМО и опыт внедрения процесса на ряде промышленных предприятий.

ПРОЦЕСС ПЛАЗМЕННО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Сжатая плазменная дуга может оказывать на металл воздействие двух видов: тепловое (передача тепла потоком заряженных частиц и нагретого газа) и механическое (удаление части нагретого и расплавленного металла с поверхности и образование на ней канавки).

Весь процесс ПМО можно представить как комплекс следующих операций:

нагрев удаляемого припуска;

механическое разрушение целостности поверхности перед резцом за счет воздействия дуги;

механическое удаление припуска режущим инструментом.

Все эти операции разнесены в пространстве всего на 10 — 20 см и протекают за малые промежутки времени (10^{-3} и 10^{-1} с), что затрудняет их анализ и исследование.

КУНИН Виктор Самуилович. Опыт внедрения *плазменно-механической обработки*. — Л.: 1982,

28 с. с ил. 5200 экз. 14 коп.

В брошюре описаны принципиальные основы процесса плазменно-механической обработки (ПМО) и его технологические возможности. На примерах опыта ряда предприятий, описана технология ПМО слитков вакуум -дугового переплава центробежных труб, деталей из сталей 110 Г13Л наплавленных поверхностей. Приведены требования к оборудованию и оснастке для ПМО, описано специальное оборудование для ПМО.

Брошюра предназначена для инженерно -технического состава машиностроительных предприятий.

УДК 621.6.048.7:533.9

© О-во «Знание» РСФСР, Ленингр. Организация. ЛДНТП, 1982,

Если принять работу, необходимую для нагрева, за P_n , работу, необходимую для удаления плазменной дугой части материала, за P_p , а работу механического резания за P_{mp} , то общая работа, необходимая для осуществления процесса, составит:

$$P_{общ} = P_n + P_p + P_{mp} \quad (1)$$

В зависимости от требований конкретного режима можно выбрать оптимальное распределение работы между компонентами, исходя из условия минимального значения $P_{общ}$ или минимального расхода работы на любую из составляющих процесса.

В промышленности используются несколько вариантов процесса с различным распределением работы.

Плазменная обработка, или плазменная поверхностная резка [1]. При этом технологическом процессе ($P_{mp}=0$, а P_n играет второстепенную, пассивную роль) осуществляется удаление поверхностного слоя с любых электропроводных материалов. Обрабатываемая деталь закрепляется в простейшем приспособлении и перемещается относительно плазматрона, который сплавляет весь припуск. При этом съем достигает $6,5 \text{ см}^3/\text{с}$ и энергетические затраты — около $20 \text{ кДж}/\text{см}^3$.

Такая обработка применяется в тех редких случаях, когда только расплавлением можно удалить материал, а нагрев всей заготовки до высоких температур не влияет на ее рабочие характеристики и не требуется высокое качество обработанной поверхности.

В настоящее время этот процесс используется для удаления литейных пригаров и литников. В 1979 г. Ждановским металлургическим заводом имени Ильича совместно с ВНИИЭСО была разработана и внедрена технология плазменного удаления слоя сормайта с вышедших из строя конусов засыпных аппаратов доменных печей.

Плазменно-токарная обработка: В этом процессе припуск нагревается плазматроном в аргоне или аргоно-азотной смеси до температуры, близкой к температуре плавления, и удаляется резцом при температуре резкого снижения механических характеристик [2]. При этом процессе P_{mp} — минимальное, P_p — близко к нулю, и почти вся энергия расходуется на нагрев материала. Способ может найти применение при промежуточном металлургическом переделе слитков из сплавов на никелевой основе и позволяет получить съемы около $7 \text{ см}^3/\text{с}$ при энергетических затратах около $10 \text{ кДж}/\text{см}^3$. Нагрев заготовки до высоких температур не позволяет применять этот процесс даже на грубой обдирке, не говоря уже о завершающих операциях.

Плазменно-механическая обработка: Процесс заключается в том, что плазменная дуга не только разогревает, но и частично разрушает поверхность резания перед резцом, образуя на ней канавку. Схема этого процесса приведена на рис. 1. Данный процесс разработан ПО «Ижорский завод» совместно с ВНИИЭСО

[3] в 1975 г. и используется на ряде предприятий, позволяя увеличить производительность обработки в 3—10 раз. Способ показал свою высокую эффективность при обработке слитков вакуумно-дугового переплава (ВДП) с марганцовистой коркой, броней дробилок из стали 110Г13Л, износостойких наплавов, типа ЖСН5, (центробежных труб, закаленных и титановых деталей с альфированным слоем и других изделий. При этом процессе обычно в качестве плазмообразующего газа используется воздух из заводской магистрали. Применение воздуха вызвано не только его доступностью и дешевизной, но и высокими энергетическими характеристиками дуги, сжатой потоком воздуха. Плазменно-механическая

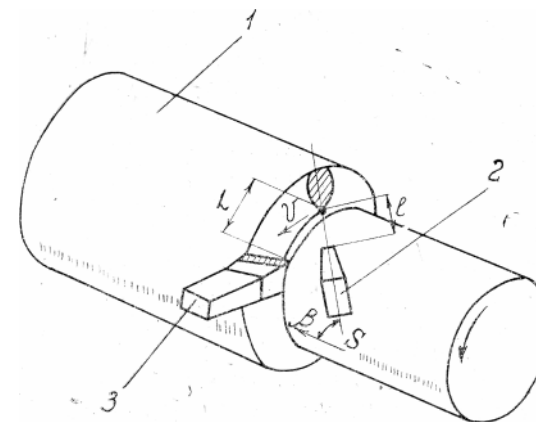


Рис. 1. Схема процесса плазменно-механической обработки (см. примечание к табл. 1 и 2): 1 — обрабатываемая деталь; 2 — плазматрон; 3 — резец

обработка в этом варианте является наиболее универсальным процессом и позволяет получать готовую деталь, не допуская перегрева ее выше допустимых по технологическим требованиям температур.

Энергетические показатели этого процесса лучше, чем у двух предыдущих. При общем съеме до $30 \text{ см}^3/\text{с}$ затраты энергии составляют от 2 до $5 \text{ кДж}/\text{см}^3$.

Процесс PERA «Cutfast». Разработан английской ассоциацией PERA, находит применение в Англии, США, Франции и других странах; состоит в том, что плазменная дуга, мощность которой не превышает 27 кВт, в среде аргона разогревает без расплавления поверхность детали перед резцом [4], а резец тут же удаляет нагретый слой. По сведениям фирмы, процесс осуществляется при высоких скоростях резания и малых подачах с использованием

минералокерамических резцов. Разогрев всей детали не превышает при этом 100°C . Этот процесс, при котором $P_p=0$, а $P_{рм} > P_n$, позволяет удалять до $10 \text{ см}^3/\text{с}$ металла при затратах, составляющих в сумме до $10 \text{ кДж}/\text{см}^3$, и может быть рекомендован для чистовой обработки труднообрабатываемых материалов.

Таким образом, уже существуют и могут применяться различные взаимно дополняющие друг друга варианты ПМО, позволяющие выбрать в каждом конкретном случае процесс с максимальным эффектом при минимальном общем расходе энергии.

В отличие от применявшихся для резания с нагревом источников тепла (печной нагрев, индукционный, газовый, электродуговой), плазменная дуга является источником концентрированного потока энергии, позволяющим довести до поверхности площадью (менее 1 см^2 мощность 100 кВт и более. Это преимущество плазматрона как источника нагрева должно быть полностью использовано. Однако при подводе к единице поверхности мощности, превышающей определенный предел, значительная часть ее начинает расходоваться на нагрев части металла выше температуры плавления. При этом за счет динамического воздействия струи нагретых газов перегретый металл выдувается из зоны нагрева, образуя канавку [5, 6].

Процесс ПМО можно разделить на три различных режима:

режим 1 — из канавки выдувается металл;

режим 2 — расплавленный металл не выдувается из канавки, оставаясь на том же месте;

режим 3 — канавки на поверхности резания не образуется.

В ряде случаев при режиме 1 металл, удаленный из канавки, остается рядом, на поверхности резания и, остывая, отдает ей значительную часть тепла. Тогда образование канавки позволяет перераспределить тепло, выделенное дугой. Кроме того, при образовании канавки за минимальное время (10^{-3} — 10^{-2} с) поверхность, через которую вводится тепло, углубляется на расстояние $3 \cdot 10^{-1}$ см. Это расстояние в несколько раз превышает глубину, на которую за это время могло распространиться тепло в металле. Третьим фактором, увеличивающим теплоотвод при выдувании металла из канавки, является существенное увеличение площади, через которую вводится тепло,—площадь канавки на 15 - 20% больше площади плоской поверхности. Как показали расчеты, все эти три фактора в сумме могут в некоторых случаях привести к тому, что общий теплоотвод в обрабатываемую поверхность при расплавлении и выдувании металла канавки не только не снизится, но может даже возрасти. Режим 1 эффективен при больших съемах металла, когда глубина резания составляет 15—20 мм, а подача 2,5—3 мм/об.

Режим 2, несмотря на кажущуюся (большую сохранность энергии, не обеспечивает перераспределения потока тепла и может использоваться при глубинах резания, соизмеримых с шириной канавки (8—10 мм). Режим 3 требует строгого соблюдения

соотношения подводимой мощности и скорости перемещения плазматрона над поверхностью. В этом случае удельной мощности не хватает для расплавления металла. Такой режим, осуществляемый при работе по способу «PERA», тщательно исследован японскими учеными [7], установившими, что способ резания с плазменным нагревом неэффективен при точении с сечением среза более 10 мм^2 . Таким образом, этот режим применим при полустачковом и чистовом точении с глубиной резания меньше 5 мм и скоростях резания около $200 \text{ см}/\text{с}$.

Анализ прихода и расхода энергии при целом ряде процессов ПМО, особенно с образованием канавки, показал, что вводимая в металл тепловая энергия при известных КПД плазменной дуги и скорости резания не может привести к нагреву всей срезаемой стружки до температуры разупрочнения.

Проведенные исследования [8] показывают, что в целом ряде случаев при процессах ПМО температура обрабатываемого материала в зоне контакта с режущим инструментом значительно ниже оптимальной температуры подогрева, которая требуется для повышения производительности обработки согласно данным [9]. Это заставило предположить наличие других механизмов разупрочнения материалов, появляющихся за счет высококонцентрированного ввода тепла.

Уже предложены и исследованы при обработке конкретных материалов следующие факторы, ответственные за изменение механических свойств:

1) металлургические изменения зоны металла, прилегающей к канавке расплавления, приводящие к структурным изменениям и снижающие механическую прочность материала;

2) образование за счет высоких скоростей нагрева и расплавления остаточных напряжений в зоне резания, облегчающих работу режущего инструмента [10];

3) удаление за счет канавки абразивных корок, снижающих стойкость режущего инструмента [11];

4) изменение распределения давления на режущую пластину, что происходит, когда канавка располагается в области, прилегающей к обработанной поверхности, и снижает вероятность хрупкого разрушения вершины режущей пластины. В области, прилегающей к вершине режущей пластины при несвободном резании, давление на поверхность пластины существенно превышает значения для других ее точек. Считая основной причиной хрупкого разрушения превышение предельно допустимого давления на наиболее нагруженную область пластины, можно сделать вывод, что режим резания ограничивается значениями давления в области вершины. Образуя на поверхности резания канавку в области, прилегающей к вершине реза, можно существенно снизить давление. Давление снижается за счет уменьшения толщины срезаемого слоя основным и вспомогательным лезвием режущего инструмента

или облегчения деформации стружки. Это явление, усиленное воздействием нагрева на данную область, позволяет в конкретных случаях обработки марганцовистых сталей увеличивать режимы резания в 3—5 раз при резком увеличении стойкости режущего инструмента.

Комбинируя влияние различных явлений, сопутствующих воздействию плазменной дуги на поверхность металла и подбирая режим резания таким образом, чтобы вся зона немедленно и без остатка удалялась резцом, можно так организовать процесс ПМО, что при увеличении производительности резания в несколько раз обработанная поверхность не будет иметь каких-либо отличий от полученной традиционными методами.

ПРИМЕНЕНИЕ ПМО ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Обработка слитков ВЦП. На ПО «Ижорский завод» им. А. А. Жданова с 1976 г. работает установка ПМО для удаления марганцовистой корки слитков ВДП на токарном станке 1А680 (рис. 2). Анализ резцов, вышедших из строя при обычной

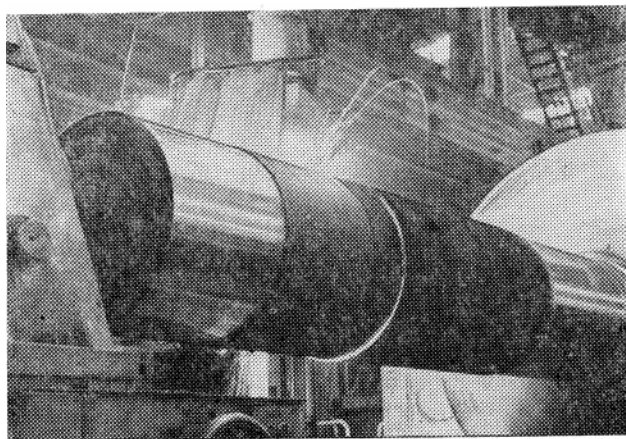


Рис. 2. Плазменно-механическая обработка слитков ВДП на станке мод. 1А680 ПО «Ижорский завод»

обработке слитков из стали 22КВД, показал, что основной причиной являлось хрупкое разрушение вершины твердосплавной пластины. В результате выбора режима ПМО было установлено, что оптимальная стойкость режущего инструмента может быть получена при расположении канавки выплавления на поверхности резания на расстоянии 1—2 мм от обработанной поверхности. Повышение производительности в 4—6 раз сопровождалось увеличением в 2—3 раза стойкости режущего инструмента, в основном за

счет снижения вероятности хрупкого разрушения. Применение ПМО позволило сократить на 3 единицы парк тяжелых токарных станков, занятых обработкой слитков. Режимы обработки слитков приведены в табл. 1.

Обработка износостойких наплавов. Применение ПМО позволяет перевести обработку поверхностей, наплавленных износостойкими материалами типа 3Х2В8, ЖСН5, с шлифовальных станков на обычные токарные с повышением производительности. По опыту Ждановского металлургического завода имени Ильича применение ПМО на токарном станке мод. 165 обеспечивает обработку всех наплавленных поверхностей. Режимы обработки приведены в табл. 2. Если прежде использование износостойких наплавов лимитировалось в основном возможностями последующей обработки, то теперь на предприятии смогли перейти к наплавке роликов подающих рольгангов и валков станов холодной прокатки. Это позволило не только повысить качество получаемого металла, но и увеличить межремонтный период металлургического оборудования. В этом случае дуга направлена практически на край поверхности резания, прилегающий к необработанной поверхности. Образованная дугой канавка захватывает при этом не только поверхность резания, но и часть обрабатываемой поверхности. Такой же технологический прием был применен при обработке внутренних поверхностей обечаек резиносмесителей, наплавленных такими же износостойкими материалами на Киевском ПО «Большевик». При диаметре от 400 до 600 мм сложность заключалась в размещении не только плазмотрона и резца, но и системы манипулятора, позволяющей изменять положение плазмотрона. Интенсивный нагрев подходящих к плазмотрону кабелей и шлангов потоком отраженных газов и излучением потребовал замены их на медные трубки. На рис. 3 показан внешний вид установки для ПМО внутренних поверхностей на базе станка мод. 1525.

Обработка стали 110Г13Л. Особенно большой эффект применение ПМО дает при обработке марганцовистых сталей типа 110Г13Л. Высокая степень упрочнения под действием ударных нагрузок делает стали этого типа незаменимыми при изготовлении деталей дробильного оборудования. Из них делают футеровки конусных и щековых дробилок, футеровки мельниц и другие детали, работающие при больших ударных нагрузках. Однако высокие эксплуатационные характеристики являются причиной крайне низкой обрабатываемости этих сталей, составляющей не более 0,25 по сравнению со сталью 45. Применение ПМО при обработке этих сталей позволило повысить производительность в 5—6 раз. На Криворожском центральном рудоремонтном заводе горно-обогатительного оборудования; КЦРЗ) эксплуатируются 2 установки ПМО на станках мод. 1550, что позволило в 2 раза увеличить производство этих трудоемких деталей при сокращении в 3 раза расхода режущего инструмента. Аналогичные результаты получены

Таблица 1

Обрабатываемый материал	Без ПМО				ПМО									
	V , см/с	s , см/об.	t , см	v , см ³ /с	V , см/с	s , см/об.	t , см	I , А	U , В	L , см	l , см	β , град.	v , см ³ /с	
22КВД	13	0,16	1,5	3,12	50	0,25 - 0,3	1,5 - 2,0	250	170	25,0	4,0	45	18,75	
Нержавеющая сталь	15	0,16	1,5	3,6	57	0,25	1,5 - 2,0	270	180	25,0	4,5	45	21,4	
ОХ18Н10Т 10ГН2МФА	11	0,16	1,5	2,64	41	0,25	1,5 - 2,0	250	150	25,0	4,0	45	15,4	

Таблица 2

Обрабатываемая насадка	ПМО										Шлифование	
	V , см/с	s , см/об.	l , см	I , А	U , В	L , см	l , см	β , град.	v , см ³ /с			
ЖСН5	46,7	0,112	0,25	250	180	20,0	3,5	27	1,3	0,39		
3Х2В8	40,0	0,112	0,25	250	190	20,0	4,0	27	1,12	0,29		

Примечание. L — расстояние от реза до точки пересечения оси плазматрона с поверхностью детали; l — расстояние от сопла плазматрона до детали; β — угол наклона между поверхностью детали и осью плазматрона (см. рис. 1).

и на других завод ал. В табл. 3 приведены режимы обработки стали 110Г13Л по данным КЦРЗ и рдбюггы [12].

Обработка центробежных труб. В целом ряде деталей, полученных литьем, на поверхности образуются литейные корки, представляющие большие трудности при обработке. Так, на трубах.

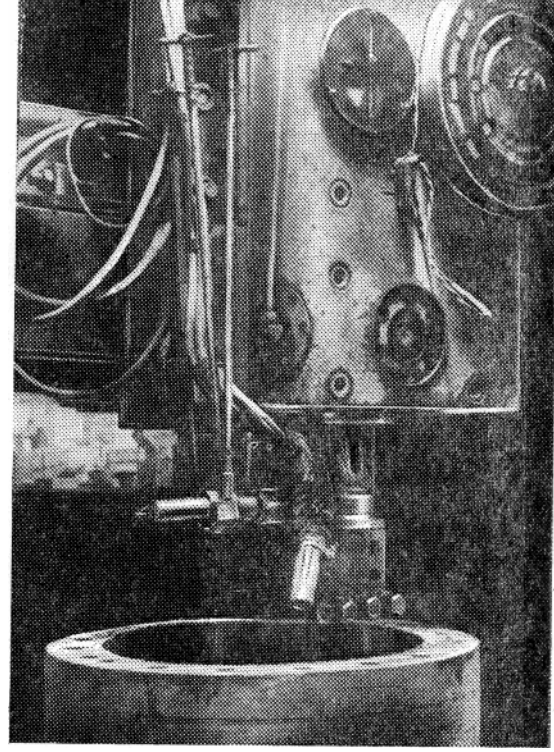


Рис. 3. Оснащение карусельного станка мод. 1532 для ПМО внутренних поверхностей на Киевском ПО полимерного машиностроения «Большевик»

полученных центробежным литьем, образуется корка, состоящая из песка и вызывающая интенсивный абразивный износ режущего инструмента. Опыт обработки таких труб на ПО «Пролетарский завод» [13] показал, что если направить дугу на абразивный слой, то удаление его и размягчение содержащей его основы резко снижает абразивный износ. Режим обработки приведен в табл. 4, а на рис. 4 показана установка ПМО на ПО «Пролетарский завод». Обработка проводилась с использованием резцов того же типа, что и на ПО «Ижорский завод», оснащенных пластинами из твердого сплава ВК8. Технология обработки предусматривала предва-

рительный прогрев обрабатываемой поверхности (3—4 оборота детали) при выключенной подаче и малых оборотах. Затем включалась подача и устанавливалось заданное число оборотов. Шероховатость обработанной поверхности находилась в пределах от 160 до 80 (мкм).

Металлографические исследования показали, что дефектный слой на поверхности детали после ПМО практически отсутствует и оставляемый на последующую полустружковую обработку припуск увеличивать не требуется.

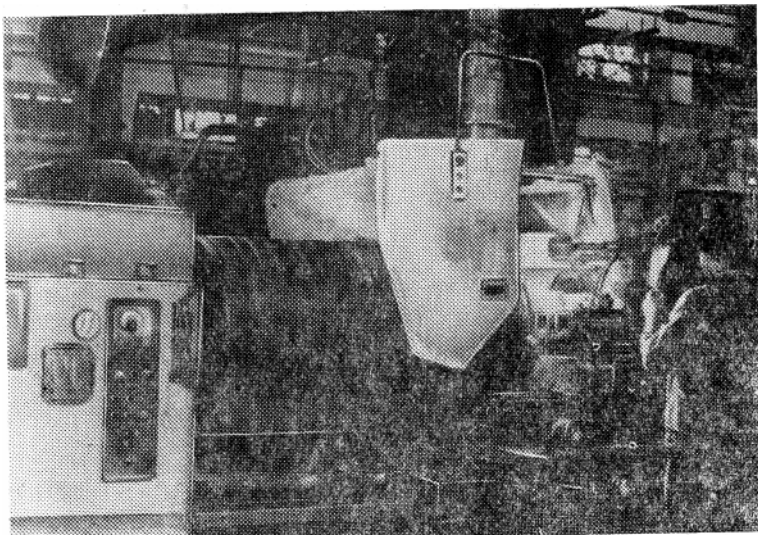


Рис. 4. Плазменно-механическая обработка на станке мод. ПО «Пролетарский зарод»

1A660

Обработка титана. На ряде заводов производится ПМО деталей из титана с альфированным слоем. Обрабатываемость сплавов титана резанием составляет 0,6—0,28 от обрабатываемости стали 45. Применение ПМО позволяет в несколько раз повысить скорость резания, увеличить объемную стойкость режущего инструмента. Обработке подвергались титановые сплавы различных марок. Режимы обработки приведены в табл. 5.

Основным вопросом при обработке титана является дробление стружки, так как хорошо нагретая стружка титана становится пластичной и не ломается. Эксперименты показали, что в ряде случаев дробления можно добиться снижением тока до минимального значения и созданием на передней поверхности реза стружколомающего уступа. В том случае, когда справиться со сливной стружкой не удастся, может быть использовано устройство, пред-

Таблица 3

Обрабатываемый материал	Без ПМО			ПМО									
	V, см/с	s, см/об.	t, см	v, см ³ /с	V, см/с	s, см/об.	t, см	l, А	U, В	L, см	l, см	β, град.	v, см ³ /с
110Г13Л	13,8	0,1	0,3	0,4	23	0,25	1,0	270	180	10,0	4,0	90	5,76
					28	0,25	0,8	250	170	—	—	—	5,6

Таблица 4

Обрабатываемый материал	Без ПМО			ПМО									
	V, см/с	s, см/об.	t, см	v, см ³ /с	V, см/с	s, см/об.	t, см	l, А	U, В	L, см	l, см	β, град.	v, см ³ /с
Центробежная труба из хромоникелевой стали	6,9	0,064	1,7	0,75	20,7	0,103	1,7	300	200	25,0	5,0	58	3,6

Таблица 5

Марка обрабатываемого материала	Без ПМО			ПМО									
	V, см/с	s, см/об.	t, см	v, см ³ /с	V, см/с	s, см/об.	t, см	l, А	U, В	L, см	l, см	β, град.	v, см ³ /с
ВТ3-1	4,17	0,05	1,0	0,21	3,67	0,03	1,0	400	160	22,0	4,0	45	2,9
ТЛ-1	51,7	0,02	0,4	0,41	166,7	0,052	0,5	120	25	7,0	0,8	90	4,3
ВТ5	36,7	0,04	0,8	1,17	43,3	0,12	0,8	130	140	20,0	30	45	4,15
ВТ6	28,3	0,04	0,8	0,9	46,7	0,12	0,8	120	160	18,0	40	45	4,5
ОТ-4	33,3	0,04	0,8	1,07	51,7	0,134	0,8	160	180	19,0	50	45	5,5

ложенное Трифом Р. Л., в котором стружка наматывается на специальный барабан с помощью простейшего тянущего механизма.

Получистовая обработка закаленных деталей. Большой интерес представляет использование ПМО для получистовой и чистовой обработки. Переход на эти процессы возможен только после тщательной проверки металлографии обработанной поверхности детали и полной уверенности в отсутствии отрицательного влияния ПМО на эксплуатационные характеристики детали. Одной из первых попыток применения ПМО для этой цели явилась обработка закаленных дорнов пильгерстанов на Нижнеднепровском трубопрокатном заводе имени К. Либкнехта. Изготовленные из высокопрочной никелевой стали дорны служат оправкой для расковки трубы заданного диаметра из слитка. В процессе работы поверхность дорна приобретает наклеп, а образующиеся на ней «взрывы» и трещины ухудшают качество получаемой трубы, однако переточка дорна на новый диаметр была практически невозможна из-за высокой прочности поверхностного слоя. Применение ПМО позволяет в этом случае не только сэкономить металл на изготовление новых дорнов, но и повысить качество получаемых на пильгерстанах труб.

ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ДЛЯ ПМО

Источники питания. Источники питания для ПМО должны в первую очередь обеспечивать надежное возбуждение и устойчивое горение дуги во всем диапазоне рабочих токов. Установлено, что только крутопадающие внешние статические характеристики источника питания могут обеспечить поддержание заданных технологических параметров дуги. Процесс возбуждения основной (рабочей) дуги обычно осуществляется в следующей последовательности:

в промежутке электрод — сопло образуется искровой разряд с помощью высоковольтного высокочастотного разряда осциллятора;

искровой разряд переходит в дуговой разряд так называемой «дежурной дуги» (горит между электродом и соплом плазмотрона и выдувается из сопла потоком плазмообразующего газа); ток дежурной дуги ограничен сопротивлением, включенным последовательно в цепь ее питания;

замыкается промежуток электрод — изделие при касании факелом дежурной дуги обрабатываемого изделия и возбуждается основная дуга.

Для надежного возбуждения основной дуги, длина которой достигает 50—60 мм, напряжение холостого хода источника питания должно быть не менее 300 В.

Все эти процессы происходят совершенно аналогично друг другу как при процессах плазменной резки, так и при ПМО. Однако высокие скорости относительного перемещения детали и

плазмотрона налагают на источники питания для ПМО специфические требования.

1. Дежурная дуга должна гореть постоянно и обеспечивать (возбуждение основной дуги при расстоянии плазмотрон - деталь заданной величины. В современных источниках питания для резки с целью увеличения срока службы сопла применена импульсная дежурная дуга, время горения которой ограничено временем заряда батареи конденсаторов, а интервал между импульсами — временем разряда батареи. Такая схема может быть применена при ПМО только в том случае, когда обрабатываются цилиндрические детали без обрывов и возбуждений дуги после начала процесса. Однако если деталь имеет неправильную форму или неравномерный припуск, то дуга в процессе работы обрывается и каждое ее последующее возбуждение должно произойти обязательно в том месте, в котором резец должен коснуться обрабатываемого припуска. При чистоте следования импульсов дежурной дуги 0,2 с и скорости перемещения детали 0,5 м/с за интервал между двумя соседними импульсами деталь пройдет 100 мм.

2. Время нарастания тока не должно превышать 0,02 с., Источники питания для плазменной резки снабжаются схемой, обеспечивающей плавное нарастание тока основной дуги. Это вызвано тем, что малый диаметр и большая длина канала сопла не допускают бросков тока. В источнике питания АПР-403 время выхода тока на номинальный режим достигает 3 с. При ПМО это недопустимо.

3. Надежное возбуждение основной дуги при расстоянии сопло — деталь не менее 40 мм. Это требование определяется геометрическим положением плазмотрона относительно обрабатываемой поверхности. Как показали исследования, максимальный тепловод в деталь происходит при длине свободного участка дуги (сопло — деталь) 40—50 мм.

Первые два требования предъявляются к источникам питания при прерывистых процессах резания, а при непрерывных режимах источники питания установок воздушно-плазменной резки типа АПР-403 могут успешно использоваться при ПМО.

Третье требование определяется не столько статическими, сколько динамическими характеристиками источника питания. При работе от АПР-403 для надежного возбуждения приходится приближать плазмотрон к детали и только потом переводить его в рабочее положение.

Плазмотрон. Разработка технологии ПМО проводилась с использованием наиболее распространенных плазмотронов для воздушно-плазменной резки ПВР-1 и ПВР-402. Оба плазмотрона и запасные части к ним серийно выпускаются, что обеспечивает нормальную эксплуатацию установок. Одновременно с накоплением опыта применения этих плазмотронов для ПМО начали определяться требования к специальному плазмотрону.

1. Надежная изоляция всех частей плазмотрона, находящихся под напряжением. Это вызвано не только тем, что при перемещении плазмотрона он может коснуться гайкой или корпусом детали, а в основном тем, что стружка, отлетая от резца, попадает между корпусом и деталью или узлами крепления. Попытки установить стружкоотбойники снижают вероятность этого, но полностью предотвратить не могут. Поэтому только надежная изоляция всего плазмотрона может служить гарантией надежности процесса.

1) Габариты плазмотрона, обеспечивающие свободный подход к детали под оптимальными углами при заданном расстоянии сопла — деталь. Этому требованию удовлетворяет плазмотрон ПВР-402 и не удовлетворяет ПВР-1, габариты которого на много больше.

2) Возможность заменять в плазмотроне любые, вышедшие из строя детали за время, соизмеримое со временем замены резца. Только в этом случае вспомогательное время, необходимое для процесса механической обработки, существенно не возрастает (с учетом увеличения стойкости режущего инструмента и более редкой его замены). Одним из удачных решений этой задачи является конструкция быстросменного плазмотрона. Так, плазмотрон ПВР-402 может быть заменен за 1—2 мин, а подготовка вышедшего из строя может быть проведена вне рабочей зоны.

3) Защита подходящих к плазмотрону коммуникаций от попадания горячей стружки. При работе с плазмотроном ПВР-1 наблюдались случаи перерезания стружкой шлангов и проводов, отходящих к плазмотрону.

Таким образом, в настоящее время для ПМО возможно применение плазмотрона ПВР-402 и выявилась необходимость в разработке плазмотрона специальной конструкции.

Манипулятор плазмотрона. Первые манипуляторы, разработанные для ПМО, представляли собой конструкции с максимальным числом степеней свободы. Оптимальное положение плазмотрона подбиралось в процессе работы, и варьирование всех координат и углов производилось оператором при обработке деталей. Примером, таких конструкций могут служить манипуляторы ПО «Ижорский завод», предназначенные для станка мод. 1А680, и ПО «Пролетарский завод» — для станка мод. 1А660 [13]. На рис. 5 показан манипулятор для станка мод. 165, разработанный во ВНИИЭСО

Поляковым Б. Ф. Этот манипулятор позволяет перемещать плазмотрон по всем трем координатным осям и наворачивать его вокруг двух из них. Конструкция всех трех манипуляторов предусматривает крепление в резцедержателе станка вместо одного из резцов. Недостатком всех трех конструкций следует считать большое число рукояток управления, необходимость оператору находиться на суппорте станка во время работы резца и чплазмотрона для настройки.

В процессе эксплуатации выяснилось, что оператор практически пользуется ограниченным числом перемещений используя остальные как подстрочные. Кроме того, разработка ОСНОВНЫХ положений ПМО позволила резко сократить диапазон регулировок. Все это создало возможность разработки следующего поколения манипуляторов — с дистанционным управлением. У этих манипуляторов два перемещения снабжены приводом (обычно это одно

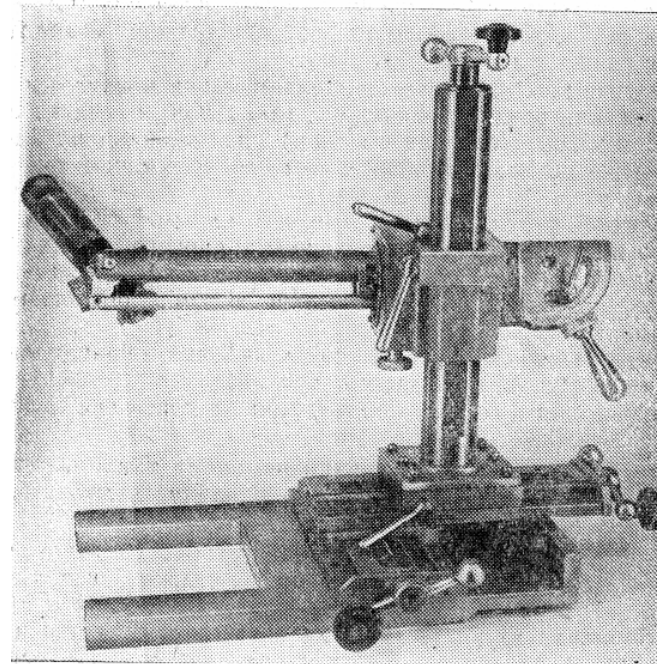


Рис. 5. Манипулятор для станка мод. 165

перемещение и один поворот). Остальные перемещения осуществляются с помощью настроечных рукояток. Выбор для дистанционного управления поворота связан с еще одним применением ПМО — для торцевой обработки на карусельных станках. В этом случае при движении резца по радиусу к центру детали плазмотрон (если он установлен на резцедержателе) движется по хорде и, естественно, отстает от движения резца. Поэтому плазмотрону необходимо давать дополнительное движение, корректирующее его положение по отношению к резцу. Оказалось, что наиболее простым путем является поворот плазмотрона в плоскости детали, а для дистанционной настройки положения плазмотрона отно-

сително плоскости торцовой обработки — вертикальное перемещение.

Следует отметить, что в настоящее время еще нет конструкции манипулятора, перемещение плазмотрона в котором автоматически связано с перемещением резца, однако его создание необходимо и принципиально не представляет больших сложностей.

На основе имеющегося опыта уже можно сформулировать основные требования к манипулятору следующего (третьего) поколения — с автоматически связанной подстройкой плазмотрона при движении резца. Для этого манипулятор должен обладать следующими качествами:

автоматическим перемещением плазмотрона вокруг оси по мере продвижения резца, связанным с величиной подачи на оборот;

дистанционной (без автоматики) подстройкой плазмотрона вдоль той же оси для корректировки его положения при замене резца;

настроечной регулировкой положения плазмотрона при замене, режущего инструмента или переходе с торцового точения на цилиндрическое;

жесткой конструкцией, не допускающей вибрации плазмотрона при резании;

минимальными габаритами, позволяющими обрабатывать изнутри детали с диаметром меньше 400 мм;

надежной защитой всей конструкции от перегрева излучением и отраженным факелом дуги.

Можно надеяться, что в ближайшее время такие манипуляторы будут не только разработаны, но и начнут выпускаться промышленностью.

С манипулятором связано еще одно устройство, необходимость в применении которого выявилась при попытках использования ПМО на операциях торцового карусельного точения и строжки. При этих операциях часть стружки неизбежно остается на горизонтальной поверхности и, попадая при следующем обороте или проходе между плазмотроном и деталью, вызывает не только обрыв дуги, но и изменение его положения. Наиболее простой и удачной явилась конструкция, разработанная С. Н. Бахраком, состоящая из вращающейся с небольшой скоростью круглой металлической щетки (ширина 150 — 200 мм и диаметр 100 мм), привод которой осуществляется от электродвигателя с редуктором.

Металлорежущие станки для ПМО. Первым требованием к станку является максимальная жесткость его конструкции. В большинстве случаев при черновой обработке применение ПМО вызывает необходимость увеличения съема металла в единицу времени, при этом усилия резания выбираются максимальными и ограничения не должны определяться жесткостью станка. В связи с этим применение для ПМО старых, вышедших из строя станков недопустимо.

Опыт эксплуатации показывает, что желательным является наличие у станка плавной регулировки скорости и подачи. Это требованию вызвано тем, что в начале процесса оператор должен обозначить ту поверхность резания, на которую и должен быть натравлен плазмотрон. Делается это, как правило, без включения дуги и на малых скоростях резания и подачах. Как только дуга возбуждена и направлена в нужную точку поверхности, скорость резания и подача могут быть доведены до номинального значения. Отсутствие такой возможности увеличивает вспомогательное время и усложняет работу оператора. Поэтому специальные станки для ПМО будут оснащаться приводом постоянного тока с плавными дистанционными регулировками.

Повышение производительности обработки при ПМО остро поставило еще и вопрос уборки стружки. Если при обычной обработке слитков ВДП образуется всего 80—100 кг стружки за 1 ч, то при ПМО — до 600 (кг). Уборка такого количества стружки вручную практически невозможна. В ряде конструкций станков, например мод. 1А680, предусмотрена система удаления стружки в контейнер с помощью транспортера. Однако таких систем нет в станках мод. 165 и меньших габаритов, нет и во всех конструкциях карусельных и продольно-строгальных станков. Эта задача стоит перед станкостроителями и должна быть решена в ближайшее время.

Еще одно требование к дополнительному оснащению станка — защита его от перегрева, который вызван высокой температурой и большим объемом получаемой при ПМО стружки. Исследования, проведенные О. А. Ефимовым, показали, что температура направляющих поднимается до +40° С. [14]. Поэтому на токарных станках, оснащаемых для ЛМО, становится обязательным установка направляющего лотка, обычно используемого при холодной обработке. На тяжелых станках устанавливается система защиты направляющих двигающимися кожухами. Сложнее решение этой задачи на карусельных станках, где предотвратить попадание стружки на планшайбу практически невозможно. Интересное решение предложено на ПО «Ижорский завод» В. Н. Нестеровым, установившим на планшайбе плоские короба для стружки в виде секторов между кулачками.

Важной оснасткой для ПМО является токоподвод к детали. Деталь соединяется с плюсовой клеммой и заземляется, она включена в электрическую цепь дуги, и через нее проходит ток, величина которого достигает 400 А. Если «весь этот ток пойдет через подшипники и шестерни станка, то они могут выйти из строя. Поэтому планшайба станка или деталь, неподвижно с ней соединенная, оснащается щеточной системой. Проведенные Экспериментальным НИИ металлорежущих станков (ЭНИМСом) на ПО «Ижорский завод» исследования показали, что ток, проходящий через детали станка, не должен превышать 9 А. Таким образом, сопротивление щеточной системы должно быть в 50 раз меньше,

чем сопротивление участка планшайба — земля.. Обычно в токарных станках, в шпиндель вставляется медная, бронзовая или латунная деталь, а на передней бабке устанавливается набор щеток, рассчитанный на номинальный рабочий ток.

Режущий инструмент для ПМО. Проблема режущего инструмента состоит в обеспечении необходимой стойкости твердосплавной пластины и обеспечении фиксированного положения режущей кромки при замене инструмента. Второе требование связано с настройкой плазмотрона: если резец находится после замены точно в том же положении относительно плазмотрона, то подстройки не требуется и значительно сокращается вспомогательное время.. Этому требованию хорошо удовлетворяют резцы с механическим креплением пластины, но такие резцы для черновой обработки промышленностью не выпускаются. Возможно, это связано с тем, что по результатам исследований [15], резцы с механическим креплением имеют меньшую разрушающую подачу, чем напайные. В этих условиях весьма удачными оказались резцы с клиновым креплением вставки, на которую припаяна пластина [16]. Обеспечивая хорошую фиксацию режущей кромки, они выдерживают высокие нагрузки на резец ($t=20-30$ мм, s — до 3,0 мм/об). Попытки разработки конкурентоспособного резца с механическим креплением пока не увенчались успехом [17], Таким образом, при выборе резца для обработки необходимо также выбрать соответствующие материалы пластины, геометрию режущей части; конструкцию и материал державки. Выбор материала пластины на основании опыта для черновой обработки может осуществляться, только из сплавов ВК8 Т5К10, Т15К6 и Т14К8 рекомендованных для этих целей по ГОСТ. При этом обычно хорошую стойкость показывает тот материал, который использовался для холодной обработки. Так, для обработки углеродистых сталей использовался Т5К10, а для титановых сплавов — ВК8 или ВК6ОМ.

Геометрия режущей части определяется режимом обработки. Поскольку обычно для черновой обработки используются большие, подачи, то радиус резца при вершине увеличивают до 4—5, мм, а передний угол резца уменьшают до 0. В ряде случаев при обработке титана и нержавеющей сталей резание ведут при отрицательном переднем угле. Для стружколомания на передней поверхности образуют стружкозавивающую канавку радиусом 6—8 мм, расположенную на расстоянии 2—3 мм от режущей кромки. Положительный эффект оказывает алмазная доводка режущей кромки.

Размеры державки определяются режимом резания и габаритами станка. Обычно для ПМО применяют державки с максимально допустимым для данного станка сечением державки. Большую роль играет материал державки: если твердосплавная пластина выдерживает температуры 700—900°C, то инструментальные стали уже при 400—500 °C теряют свои механические характеристики. Это потребовало применения в ряде случаев для

ПМО водяного охлаждения, державки. Следует подчеркнуть, что охлаждается не режущая пластина, а материал державки. Охлаждение пластины ведет не только к большим конструктивным сложностям, но и снижает ее стойкость, так как в пластине создаются высокие градиенты температур, что часто приводит к ее растрескиванию. Оснащение охлаждением напайной конструкции сложно и неудобно, поэтому желательна разработка конструкции державки с водяным охлаждением и механическим креплением пластины.

Установка для плазменно-механической обработки УПМО-401. В связи с потребностью промышленности заводом «Электрик» им. Н. М. Шверника разработана и подготовлена к производству специализированная установка для плазменно-механической обработки УПМО-401. Эта установка предназначена для оснащения действующих токарных, карусельных и строгальных станков и комплектования специальных станков, разрабатываемых для ПМО. Технические данные установки приведены в табл. 6.

Наименование параметров	Норма
1. Напряжение питающей трехфазной сети при частоте 50 Гц, В	380
2. Потребляемый ток, А	Не более 124
3. Номинальная потребляемая мощность, КВА	Не более 150
4. Номинальный рабочий ток, А	400
5. Номинальная продолжительность включения (ПВ), %	100
6. Пределы регулирования рабочего тока, А	200—500
7. Номинальное условное рабочее напряжение на дуге, В	270
8. Пределы рабочего напряжения, В	100—270
9. Напряжение холостого хода силового блока установки, В	320
10. Охлаждение силового блока	Воздушно-принудительное и водяное
11. Охлаждение плазмотрона	Водяное
12. Расход охлаждающей воды при давлении на входе 0,3 МПа (3,0 кгс/см ²), л/с (Нм ³ /2)	Не менее 0,55 (0,2)
13. Плазмообразующий газ	Воздух
14. Давление плазмообразующего газа, МПа (кгс/см ²)	Не более 0,4 (4,0)
15. Расход плазмообразующего газа, л/с (Нм ³ /ч)	0,55—1,65 (2,0—6,0)
16. Габаритные размеры, мм: силового блока механизма перемещения плазмотрона	1550×850×1250 515×160×325

Т а б л и ц а 6

В состав установки (рис. 6) входят:

а) источник питания, являющийся управляемым тиристорным выпрямителем;

- б) шкаф управления, на котором размещены приборы управления и контроля работы установки;
- в) манипулятор плазмотрона, с дистанционным управлением двумя перемещениями (одно линейное перемещение и один поворот) ;
- г) плазмотрон с изолированным корпусом;
- д) переносной пульт управления, с которого возможно включение дуги и приводов перемещения плазмотрона.

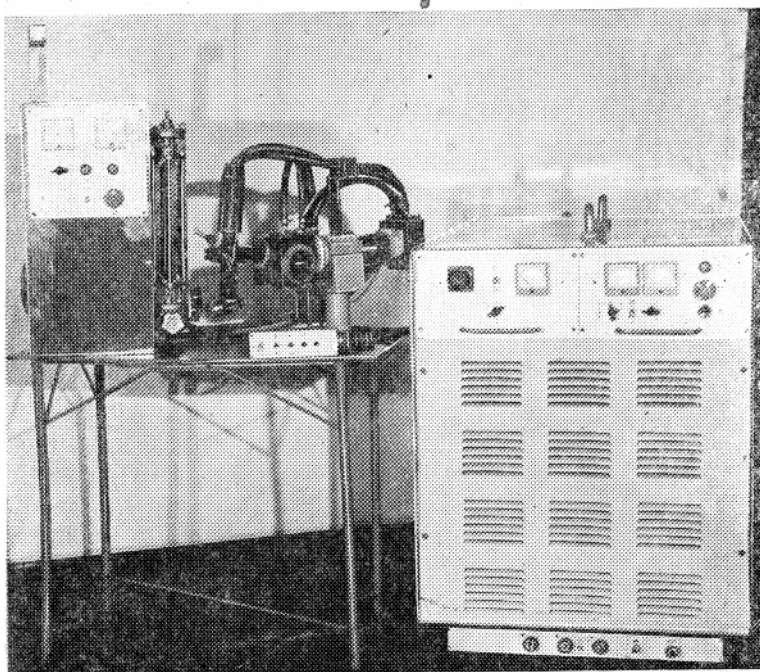


Рис. 6. Установка УПМО-401

Источник литания установки УПМО-401 собрал по трехфазной мостовой схеме. Формирование крутопадающей внешней характеристики осуществляется с помощью обратной связи по току. Источник питания размещен в горизонтальном шкафу, в нижней части которого расположен блок охлаждаемого сопротивления для ограничения тока дежурной дуги. Высокое напряжение холостого хода (320 В) обеспечивает возбуждение основной дуги на расстоянии 40—45-мм.

В шкафу управления размещен возбудитель дуги типа УПД-1, вольтметр и амперметр тока дуги, кнопки включения и выключения установки и аппаратура настройки и контроля расхода воздуха в плазмотроне.

Манипулятор плазмотрона представляет собой конструкцию закрепляемую на суппорте станка. Он позволяет осуществлять два настроечных перемещения плазмотрона и два дистанционных. Привод дистанционных перемещений выполнен на шаговых пневмодвигателях оригинальной конструкции и позволяет осуществлять перемещение вдоль одной оси на 150 мм и поворот вокруг этой же оси на 360°.

Плазмотрон для ПМО отвечает основным требованиям, изложенным выше. Использование катода с резьбой позволило отказаться от регулировок и существенно упростило всю конструкцию. Плазмотрон является быстросменным: отвинтив накладную гайку, можно заменить плазмотрон на новый за время, не превышающее времени замены резца.

Переносной пульт оснащен элементами для включения - выключения дуги и включения приводов манипулятора.

Установка УПМО-401 проходит производственные испытания на токарном станке ПО «Ижорский завод».

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ ПРИ ПМО

Плазменная дуга является источником целого ряда неблагоприятных для обслуживающего персонала факторов [18], к которым относятся: высокочастотный шум в комбинации с ультразвуком, аэрозоли и газы, высокая степень ионизации воздуха, ультрафиолетовое оптическое излучение, воздействие дуги., образуемой резцом стружки, пыли, шума станка и наблюдение за двумя протекающими одновременно процессами. Это вызывает необходимость организации работ и рабочего места оператора так, чтобы ограничить вредные воздействия ;и снизить напряженность обслуживающего персонала.

Для снижения воздействия оптического и ультрафиолетового излучения дуги оператор должен пользоваться индивидуальными методами защиты глаз — щитком или маской сварщика по ГОСТ 12 4.035—78 со светофильтром типа С-9 или С-10. Для защиты глаз от случайного попадания ультрафиолетового излучения рекомендуется постоянно пользоваться очками защитными по ГОСТ 12.4.003—74 и ГОСТ 12.4.013—75 с прозрачными стеклами, которые, защищая глаза, не ограничивают в то же время обзора рабочей зоны. Смотреть на дугу без защитного щитка категорически воспрещается. Необходимо ограничивать зону излучения защитными щитками и ширмами таким образом, чтобы рабочих соседних станков и участков не ослепляло излучение дуги.

При воздействии дуги на металл и работе резца образуются аэрозоли и пыль, состоящие из частиц обрабатываемого материала и окислов составляющих его элементов. В связи с этим установки ПМО должны быть обязательно снабжены местной вытяжной вентиляцией рабочей зоны, В соответствии с «Временными

правилами техники безопасности и производственной санитарии при процессах плазменной обработки металлов» для локализации пылегазоотделений следует предусматривать вентиляционные укрытия; максимально приближенные к обрабатываемой поверхности. Схема укрытия определяется типом станка, видом обрабатываемого изделия, технологическими параметрами процесса. ВНИИОТ ВЦСПС (Ленинград) разработаны типовые укрытия для различных станков. Воздух, отсасываемой местными вентиляционными устройствами, как правило, должен подвергаться очистке, для чего могут использоваться тканевые рукавные фильтры. Допускается применение сухих циклонов малых размеров. *Работа при отсутствии местной вентиляции - запрещена*

Шум при ПМО существенно ниже, чем при резке, так как применяемые сопла имеют большой диаметр и меньшую длину канала, но он в некоторых диапазонах превышает допустимый уровень. Поэтому необходимо применять средства индивидуальной защиты слуха для операторов (наушники. ВЦНИИОТ-2М или ВЦНИИОТ-4, «Беруши»). Источник шума (плазматрон) рекомендуется изолировать шумопоглощающим экраном — кожухом, который удобно совместить с вентиляционным кожухом и защитой от излучения. Следует помнить, что с удалением от плазмотрона интенсивность шума падает, а дистанционное управление снимает необходимость в средствах индивидуальной защиты.

Рекомендуется участки со станками ПМО выделять из общего объема цеха шумопоглощающими перегородками, защищающими от излучения дуги и от распространения пыли. Площадь помещения на 1 рабочего, за исключением занятого оборудованием, должна быть не менее 4,5 м².

Эксплуатация электротехнического оборудования должна производиться в соответствии с «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей». Ремонт наладку плазмотрона можно производить только при полностью отключенном оборудовании. Не разрешается оператору установки самостоятельно ремонтировать источник питания и пульт управления плазменной установки. Эти работы может производить только ремонтный персонал, прошедший соответствующее обучение.

Необходимо перед каждым включением установки, проверять надежность заземления источника питания и станка, визуально проверять надежность изоляции плазмотрона и исправность подходящих к нему проводов. Не реже 1 раза в месяц следует проверять сопротивление щеточной системы станка.

Литература

1. Быхвкий Д. Г., Теелер Ш. Л., Никифоров В. А., Кунин В. С. и др. Плазменная поверхностная резка цилиндрических заготовок, — Научно-технический реферативный сборник «Технология электротехнического производства». — М., 1972, вып. 5—6, с. 38—39.
2. Лакомский В. И., Слипченко В. Г., Ельцов К. С., Стеценко Н. В., Немзер В. И., Лейбензон С. А. Способ зачистки поверхности металлических заготовок. Авторское свидетельство СССР № 624748, — Б. И., 1978, № 35.
3. Быховский Д. Г., Кунин В. С., Васин В. М., Алексеев К. П., Нестеров В. Н., Александров В. А. Способ механической обработки с подогревом. Авторское свидетельство СССР № 860936. — Б. И., 1981, № 33.
4. The PERA «Cutfast» plasma-assisted Hot-machining process. — Engineering Digest (Canada), 1977, 38, № 7, p. 17.
5. Резников А. Н., Резников Л. А. Энергетические расчеты при резании с плазменным подогревом обрабатываемого материала. — Энергомд-ишностроение, 1981, № 11, с. 26—28.
6. Устинов Н. Г. Выбор теплового режима в плазменном механообработке. — Научно-технический реферативный сборник «Электротехническая промышленность», серия «Электросварка». — М., 1981, вып. 5 (68).
7. Вакаса Х.- Применение обработки резанием с плазменным подогревом. — Oyo kikai kogaku (Mechanical Engineering Application), 1976, т. 17, № 3, с. 54—59.
8. Шатерин М. А., Коротких М. Т., Ярицын В. В. Фрезерование кромок листов с подогревом срезаемого слоя осциллирующей плазменной дугой. — В сб.: Обработка материалов резанием. — М.: МДНТП, 1980.
9. Стрипков А. Н., Теллер Ш. Л., Шабошов С. П., Эминов Д. С. Обработка труднообрабатываемых материалов с нагревом. — М.: Машиностроение, 1977.
10. Кобецкой Н. Г. Исследование нестационарного плазменно-дугового нагрева и автоматизация процесса плазменно-механической обработки. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. — Л.: ЛПИ им. Кашкина, 1982.
11. Быховский Д. Г., Кунин В. С., Васин В. М., Фомин Э. Р. Способ плазменно-механической обработки. — Авторское свидетельство СССР № 691243. — Б. И., 1979, № 38.
12. Шатерин М. А., Молоканов Б. И., Ушомирская Л. А. Износ и стойкость твердосплавного режущего инструмента при плазменно-механическом точении стали 110Г13Л. — В сб.: Современный твердосплавный инструмент и рациональное его использование. — Л.: ЛДНТП, 1980.
13. Плазменная технология. Опыт разработки и внедрения. — Л.: Лениздат, 1980.

14. Шатерин М. А., Ефимов О. А., Короленко С. В. Исследование температуры нагрева узлов токарного станка при плазменно-механической обработке. — Научно-технический реферативный сборник «Электрофизические и электрохимические методы обработки», — М., 1981, вып. 9, с. 5—6.
15. Хаев Г. Л. Прочность режущего инструмента. — М.: Машиностроение, 1975.
16. Нестеров В. Н., Александров В. А. Совмещенная плазменно-механическая обработка. — Экспресс-информация. — НИИЭинфЦрмэн'ергомаш 3-78-21.
17. Апраксин С. В. Новые конструкции резцов для ПМО. — В сб.: Современный твердосплавный инструмент и рациональное его использование. — Л.: ЛДНТП, 1980.
18. Алексеева И. С., Норкин Ю. И. Сварочно-механические особенности процесса ПМО стали. — В сб.: Термическая обработка сварных конструкций. — Л.: ЛДНТП, 1979.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Процесс плазменно-механической обработки.....	3
Применение ПМО для обработки деталей	8
Оборудование и оснастка для ПМО	14
Техника безопасности и производственная санитария при ПМО	23
Литература	25