

УДК 631

ПЛАЗМЕННО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

Ж. А. МРОЧЕК*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск***Л. М. КОЖУРО***Учреждение образования «Белорусский государственный
аграрный технический университет», г. Минск***М. Л. ХЕЙФЕЦ***Учреждение образования «Полоцкий государственный
университет», Новополоцк, Республика Беларусь*

Известно [1], что нагретый металл легче обрабатывать резанием. Однако этот факт не имел практического значения для металлообрабатывающей промышленности вплоть до 70-х годов прошлого столетия, когда в основном обрабатывались обычные конструкционные материалы. Повышенные требования к качеству машин и механизмов, их долговечности и надежности вызвали необходимость использования сплавов со специальными свойствами: высокой механической прочностью, жаростойкостью, износостойкостью и т. д. Оказалось, что обрабатываемость этих сплавов по сравнению с конструкционными сталями значительно хуже. Скорость резания и стойкость инструмента снижаются в несколько раз.

Сущность процесса плазменно-механической обработки (ПМО) состоит в последовательном и согласованном действии плазменной дуги и режущего инструмента на удаляемом поверхностном слое заготовки детали.

Улучшение обрабатываемости обеспечивается за счет разупрочнения поверхности перед резцом сжатой дугой, генерируемой плазмотроном. Разупрочнение осуществляется в результате теплового воздействия плазменной дуги на поверхность резания. Для труднообрабатываемых материалов этот процесс начинается с температуры 700 °С. При температуре подогрева 800–850 °С предел прочности снижается почти в 2 раза. Благодаря этому удается повысить производительность точения жаропрочных и труднообрабатываемых сплавов почти в 4–5 раз за счет увеличения сечения срезаемого материала.

Плазменно-механическая обработка осуществляется обычно с использованием модернизированных токарных станков. На станине станка (или автономно) монтируется манипулятор плазмотрона. С его помощью плазмотрон можно установить на любом расстоянии от резца и заготовки детали под углом как к направлению вращения детали, так и к направлению подачи резца (рис. 1).

Станки снабжаются защитой от светового и ультрафиолетового излучений, вытяжной вентиляцией, дистанционным пультом управления источником питания плазмотрона.

В качестве режущего инструмента используют твердосплавные резцы с пластинами ВК-8 или Т5К10, которые припаиваются припоем, выдерживающим температуру не менее 1100 °С.

Режим обработки устанавливается постепенно: сначала включается механизм вращения детали и осуществляется нагрев поверхности резания плазменной дугой (за 3–4 оборота на малой скорости вращения). Затем включается подача (несколько ниже рабочей), увеличивается частота вращения и устанавливается оптимальная величина подачи резца.

Максимальный ток ограничивается 400 А с целью обеспечения нормальной работы гафниевого электрода. Напряжение холостого хода источника питания должно быть 320 В для обеспечения стабильного возбуждения дуги при расстоянии от торца сопла до нагреваемой поверхности до 50–60 мм.

Параметрами режима ПМО являются: мощность дуги плазмотрона; расстояние от торца сопла до поверхности нагрева; угол наклона плазмотрона относительно поверхности заготовки; расстояние от торца сопла плазмотрона до режущего инструмента; температура и скорость резания; температура и время предварительного нагрева; величина подачи режущего инструмента в направлении срезаемого слоя поверхности и др.

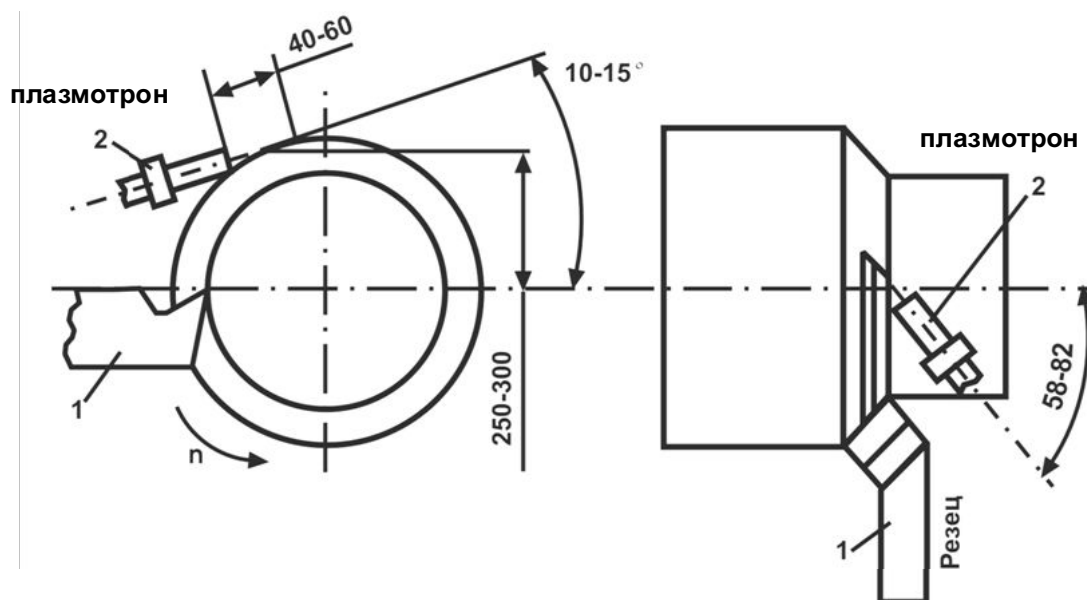


Рис. 1. Схема установки плазмотрона относительно обрабатываемой заготовки

Тепловое и механическое воздействия плазмотрона – это нагрев, расплавление и удаление части расплавленного металла потоком плазмы. Интенсивность указанных процессов обуславливается мощностью сжатой дуги, которая связана с мощностью источника питания соотношением $\eta_n = IU$, где η_n – эффективный КПД нагрева; I – ток дуги; U – напряжение. Эффективная тепловая мощность при ПМО расходуется на нагрев удаляемого дугой металла и непосредственно на разогрев поверхности изделия перед резцом.

Необходимо отметить, что на современном этапе требования к прочности, износостойкости и другим характеристикам материалов возрастают столь быстро, что в ряде случаев существующими инструментами нельзя выполнить высокопроизводительную обработку. К тому же процесс резания часто приходится вести в экстремальных условиях – по корке, по поверхности наплавки, при больших сечениях среза, что требует разработки способов резания, основанных на новых принципах взаимодействия режущих элементов инструмента с материалом обрабатываемого изделия. К числу таких прогрессивных способов обработки относится ротационное резание материалов [2].

Повысить эффективность ротационного резания поверхности заготовки можно путем временного снижения прочности материала и изменения характера контактных процессов, протекающих на рабочих поверхностях инструмента. Такое влияние на обрабатываемый материал достигается комбинированием механической энергии процесса резания с одной или несколькими видами энергий – тепловой, электрической, которые обеспечивают повышение стойкости инструмента.

Влияние режима ротационного резания и плазменного нагрева на основные характеристики поверхности обработки высокопрочных материалов исследовалось при помощи математического планирования экспериментов и математической статистики.

Для получения моделей ротационного резания с плазменным нагревом использовался центральный композиционный униформ-план второго порядка. В качестве параметров оптимизации процесса были приняты: $Y_1 - K$ – кинематический коэффициент ротационного резца, $K = V_p / V$ (V_p – скорость перемещения режущей кромки резца, V – скорость резания); $Y_2 - J$ – шаг поперечной волнистости, мм; $Y_3 - Ra - HRC$ – твердость обработанной поверхности; $Y_5 - \xi$ – упрочнение поверхности после обработки, %.

Независимыми переменными были факторы: $X_1 - I$ – ток плазменной дуги, А; $X_2 - L$ – расстояние между торцом сопла плазматрона и ротационным резцом, мм; $X_3 - S$ – подача ротационного резца, мм/об; $X_4 - V$ – скорость резания, м/с; $Y_5 - t$ – глубина резания, мм.

Постоянные факторы: материал резца – твердый сплав ВК6, диаметр резца (круговой режущей кромки) $d_p = 46$ мм; углы заточки резца $\gamma = 27^\circ$ и $\alpha = 12^\circ$; углы установки резца $\gamma_y = 22^\circ$, $\beta = 24^\circ$. В экспериментах использовался плазматрон ПВР-402 с диаметром отверстия сопла 8 мм, который размещался перпендикулярно обрабатываемой поверхности на расстоянии 12 мм. Расход плазмообразующего газа-воздуха составлял $G = (584,5 - 668) \cdot 10^{-6}$ м³/с.

Образцами служили поверхности с плазменной наплавкой порошка ПГ-СР4 твердостью 60...62 НР. Диаметр образцов $d_0 = 85$ мм. Эксперименты выполняли с использованием модернизированного токарно-винторезного станка модели 1К62. Обработку проводили по схеме, обеспечивающей максимальную скорость самовращения и жёсткость ротационного резца. Резец устанавливался таким образом, чтобы след от пятна нагрева перекрывался режущей кромкой со стороны обработанной поверхности.

Обработку результатов экспериментов (табл. 1), полученных по матрице центрального композиционного ротационного униформ-плана второго порядка, проводили по разработанной программе на ЭВМ. Значимость коэффициентов регрессии проверяли по критерию Стьюдента, а адекватность уравнений – по критерию Фишера.

Математические модели, определяющие характер зависимости кинематического коэффициента, шага поперечной волнистости, шероховатости обработанной поверхности, твердости и наклепа поверхности образцов от процесса ротационного резания с плазменным нагревом, позволили установить влияние факторов резания на K, J, Ra, HRC, ξ .

Таблица 1

Условия эксперимента

Уровни факторов	Факторы				
	I, A	$L, мм$	$S, мм/об$	$V, м/с$	$t, мм$
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
$-α$	60	40	0,097	0,9	0,05
-1	80	50	0,195	1,8	0,1
0	100	60	0,3	2,7	0,15
+1	120	70	0,39	3,6	0,2
$+α$	140	80	0,52	4,5	0,25

Анализ полученных результатов использования математических моделей позволил выявить степень влияния факторов на параметры оптимизации (табл. 2).

Таблица 2

Влияние факторов на функции отклика

Факторы	Кодовое обозначение факторов	Степень влияния фактора, %				
		Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
Ток плазменной дуги	X_1	24,2	13,06	29,66	44,27	35,1
Расстояние между резцом и плазматроном	X_2	13,9	40,67	24,37	9,28	8,16
Подача резца	X_3	33,85	25,37	13,77	14,76	25,99
Скорость резания	X_4	22,52	11,94	19,03	28,96	30,34
Глубина резания	X_5	5,53	8,96	13,17	2,73	0,41

Для определения оптимального режима обработки решали задачу с несколькими параметрами оптимизации. Для этого применяли метод перебора различных вариантов, который позволяет решать компромиссные задачи поиском условного экстремума по математическим моделям для нескольких параметров оптимизации, результаты которых представлены в табл. 3.

Таблица 3

Поиск оптимального варианта

Кодированное значение варьируемых признаков					Значение параметров оптимизации					Желательность
X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	
0	0	0	0	0	0,65	0,66	4,4	62,3	2,96	0,824
0	0	0	0	+1	0,628	0,69	3,54	61,6	2,52	0,846

Окончание табл. 3

Кодированное значение варьируемых признаков					Значение параметров оптимизации					Желатель- ность
X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	
0	0	0	+1	0	0,61	0,778	4,47	61,9	3,07	0,793
0	0	-1	0	0	0,603	0,78	3,21	61,0	2,44	0,822
0	+1	0	0	0	0,654	0,75	3,83	61,1	2,77	0,831
-1	0	0	0	0	0,659	0,68	3,26	63,0	2,75	0,899

Комплексный показатель параметров оптимизации процесса ротационного резания с плазменным нагревом при обработке поверхности экспериментальных образцов максимален для шестого варианта. Следовательно, режим ротационного резания с плазменным нагревом по шестому варианту можно считать оптимальным.

Таким образом:

- получены математические зависимости кинематического коэффициента ротационного резца, шага волнистости, шероховатости, твёрдости и величины упрочнения поверхностного слоя от факторов процесса ротационного резания с плазменным нагревом, которые позволяют установить режим обработки, обеспечивающий лучшие характеристики качества обрабатываемой поверхности; установлено, что ротационное резание с плазменным нагревом позволяет обеспечить шаг волнистости $l = 0,66...1,00$ мм, шероховатость поверхности $Ra = 1,8...4,1$ мкм, твёрдость $60...63$ HRC, упрочнение поверхности $\xi = 1,8...4,6$ % при кинематическом коэффициенте ротационного резца $K = 0,52...0,66$;
- показано, что влияние факторов процесса ротационного резания с плазменным нагревом при обработке высокопрочных заготовок в порядке убывания их значимости можно расположить в ряд: сила тока плазменной дуги → величина подачи ротационного резца → скорость резания → расстояние между поверхностью резания и торцом сопла плазмотрона → глубина резания;
- предложено использовать ротационное резание с плазменным нагревом для наружного точения протяженных поверхностей крупногабаритных заготовок деталей типа тел вращения (валы, катки, оси) с твердостью поверхности до $50...60$ HRC и выше.

Механическая обработка заготовок с литой коркой является весьма трудоемкой и малоэффективной из-за чрезвычайно низкой стойкости режущего инструмента. Такой слиток до недавнего времени приходилось обрабатывать в течение 10 смен и более.

Использование ПМО позволяет сократить время и стоимость обработки в два-три раза, в два раза уменьшить расход электроэнергии, а расход резцов в пять раз. Наиболее эффективно с использованием ПМО вести обработку поверхностей, наплавленных износостойкими материалами (до ПМО такие поверхности обрабатывались только шлифованием), что позволяет увеличить производительность обработки примерно в десять раз.

О технико-экономических преимуществах плазменно-механической обработки можно сделать заключение из следующего примера. Обработка на обычном токарном станке заготовок из титанового сплава осуществляется на скорости $7,5$ м/мин и подаче $0,3$ мм/об. При этом режиме толщина срезаемого металла в 5 мм достигается

за 5 рабочих проходов. При ПМО толщина срезаемого металла в 12,5 мм осуществляется за 2 рабочих прохода на скорости резания 18 м/мин и подаче 1,3 мм/об.

Резание с плазменным подогревом позволяет в ряде случаев увеличить сечение стружки удаляемого металла в 8–15 раз, при этом наиболее целесообразно увеличить ширину срезаемого слоя.

Результаты исследований позволяют сделать вывод: в настоящее время плазменно-механическая обработка – один из наиболее эффективных и перспективных методов обработки крупногабаритных литых заготовок и слитков, изготовленных из жаропрочных и труднообрабатываемых материалов, имеющих на поверхности литейную корку, неметаллические включения и отбел.

Литература

1. Джанелидзе, Ш. Ш. Применение электромеханического метода при восстановлении автомобильных поворотных цапф / Ш. Ш. Джанелидзе // Труды УСХИ. – 1970. – Т. 17, вып. 1.
2. Шатуров, Г. Ф. Прогрессивные процессы механической обработки поверхностей / Г. Ф. Шатуров, Ж. А. Мрочек. – Минск : УП «Технопринт», 2001. – С. 460.

Получено 10.04.2006 г.