

Особенностями алгоритма решения поставленной задачи являются:

1) Возможность ввода исходной информации о точности поверхностей заготовки и детали как в виде номера качества размера, так и указанием величины допуска на размер, причем величина указанного допуска может отличаться от стандартного значения, а выбор ближайшего стандартного допуска выполняется автоматически;

2) По результатам расчета для каждого технологического перехода определяется максимально возможный коэффициент уточнения, таким образом, принимается минимальный, но достаточный состав элементарного маршрута обработки;

3) Результаты вычислений выводятся на экран в виде последовательности типовых технологических переходов, необходимых для обеспечения заданных параметров точности поверхности детали, кроме этого, программа выводит информацию о точности размера (номер качества и допуск), получаемую после каждого технологического перехода.

Результаты работы позволяют рекомендовать данную методику для создания САПР технологического профиля с возможностью наполнения базы данных о типовых методах обработки и увеличения количества входных параметров. Причем для типовых методов обработки можно предусмотреть подключение баз данных по соответствующей технологической оснастке и режущим инструментам.

Список цитированных источников

1. Проектирование технологий машиностроения на ЭВМ: Учебник для вузов/ О.В. Таратынов, Б.М. Базров, В.В. Клепиков и др.; Под ред. О.В. Таратынова. – М.: МГИУ, 2006. – 519 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя. Том 1 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова., М.: Машиностроение–1, 2001, 912 с
3. Справочник технолога-машиностроителя. Том 2 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова., М.: Машиностроение –1, 2001, 944 с
4. Методические указания для выполнения курсового проекта по специальности 36 01 01 «Технология машиностроения» / О. А. Медведев, А. П. Акулич, Брест: БрГТУ, 2009.

УДК 621.791

Ярмак М. А.; Парафенюк Н. Д.

Научный руководитель: к. ф.-м. н., доцент Веремейчик А. И.

ПОВЕРХНОСТНОЕ ПЛАЗМЕННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 45

Для реализации метода поверхностного упрочнения стальных изделий создана экспериментальная установка, состоящая из роботизированного комплекса *Advercut K6090T* с разработанным к нему узлом крепления плазменного генератора (рисунок 1).

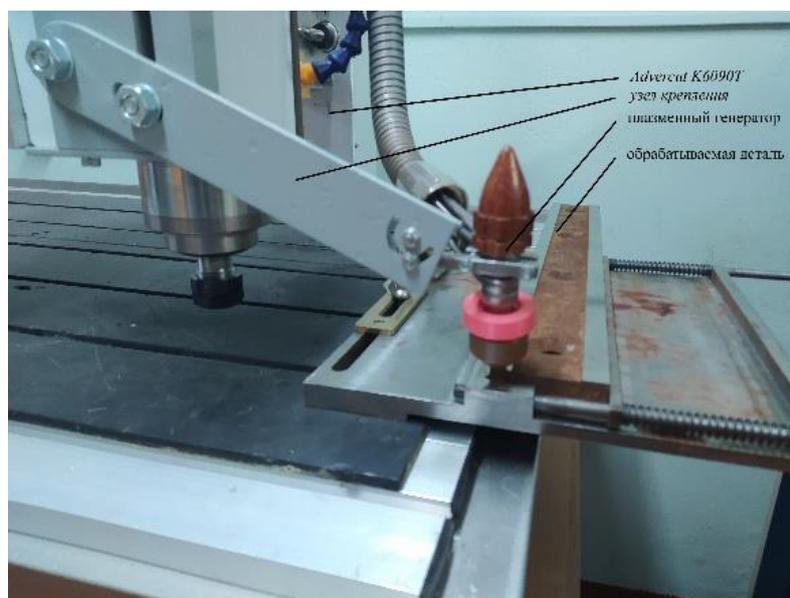


Рисунок 1 – Фрагмент экспериментальной установки для поверхностного плазменного упрочнения стальных изделий

В результате скоростного локального нагрева поверхности детали плазменной дугой до высоких расчетных температур и дальнейшего охлаждения изделия, которое достигается высокоскоростным отводом тепла во внутренние его слои, в материале происходят структурные превращения. Так как объем нагреваемого под дугой металла мал, происходит быстрый отвод тепла в тело образца. Исследование скоростей нагрева и охлаждения, в зависимости от режимов работы плазматрона проведены в работах [1–3]. При воздействии высококонцентрированного источника тепла в зоне термического влияния образуется мартенситно-аустенитная структура. Следует отметить, что структурные превращения при плазменном упрочнении происходят в основном также, как и при объемной закалке, однако, высокие скорости нагрева и охлаждения приводят к увеличению плотности дислокаций и термонапряжений в кристаллической решетке, что существенно увеличивает твердость поверхностного слоя. Так, например, твердость стали при объемной закалке (48–53) HRC, закалке ТВЧ (51–56) HRC, плазменной закалке (54–59) HRC. Основное достоинство плазменной закалки заключается в существенном увеличении твердости приповерхностного слоя изделия и сохранении исходных свойств металла в его внутренних слоях, что повышает сопротивление усталости и изнашиванию детали, и что недостижимо при традиционных методах упрочнения. Отметим также, что глубина модифицированного слоя при воздействии плазменного источника нагрева варьируется в пределах 0,5–2,5 мм, ширина упрочненной зоны – 5–15 мм [4]. Процесс плазменного упрочнения может осуществляться с оплавлением и без оплавления поверхностного слоя. Во втором случае упрочненная зона не требует финишной обработки.

Проведены исследования вольт-амперных характеристик дуги при токах (7–30) А, при этом напряжение дуги составляет (14–35) В в зависимости от соотношения расходов аргона и азота.

Для исследования свойств упрочненного поверхностного слоя применялись металлографический, фазовый, рентгеноструктурный анализы. Шероховатость

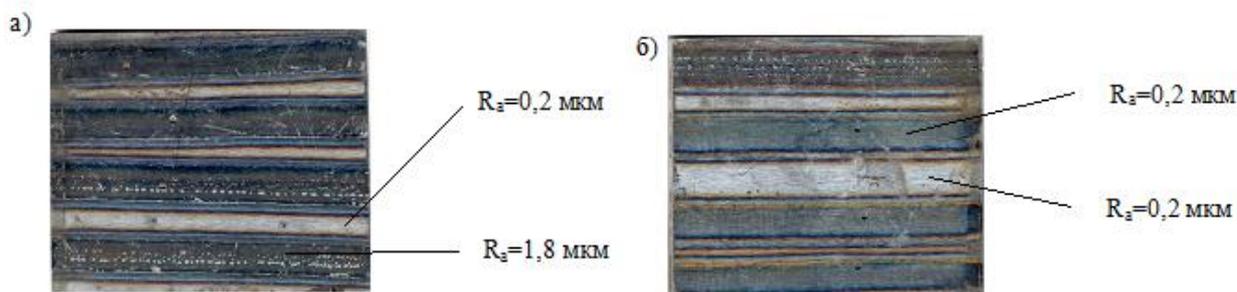
Ra поверхностного слоя определялась с помощью измерительного комплекса с лазерным сканированием *Mistral 070705* фирмы *BROWN&SHARPE* с программным обеспечением *PC-DMIS PRO Software*, позволяющего производить контроль в 3D с предоставлением протоколов контроля (точность измерения 0,003 мм). Для определения влияния плазменной дуги на микроструктуру и свойства стали выполнен металлографический анализ образцов в форме параллелепипеда с нанесенной плазменной дорожкой.

Для совершенствования процесса поверхностной плазменной заковки в качестве материала выбрана сталь 45, свойства которой достаточно изучены при обработке лазером, микроплазменной дугой и другими методами. Этот факт позволяет оценить достоверность результатов поверхностного плазменного упрочнения с помощью разрабатываемого метода. При термообработке осуществляется высокоскоростной нагрев с быстрым охлаждением, что приводит к упрочнению зоны нагрева, т. е. вследствие оговоренных превращений создается слой с высокой степенью дискретности мартенсита. Рассматриваемая сталь содержит менее 0,5 % углерода и при фазовых превращениях его кристаллы имеют форму пластин.

Выполнен микроструктурный анализ сталей при термообработке образцов с использованием аргона и азота в качестве защитных газов. Зона влияния плазменной струи имеет форму сегмента и по своему строению аналогична зоне влияния при термообработке стали лазером и электронным лучом.

Воздействие плазменной дуги на поверхность образца приводит к изменению микрогеометрии поверхности. При упрочнении в твердой фазе заковка металла происходит без оплавления и шероховатость поверхности остается такой же, как и при механической обработке в исходном состоянии. С помощью системы *Mistral 070705* построена топография поверхности образцов из стали 45 без оплавления и с оплавлением (рисунок 2).

Эксперименты показали, что поверхностное упрочнение сталей высококонцентрированным источником нагрева можно осуществлять с оплавлением и без оплавления поверхности (из жидкого состояния, в твердой фазе).



а) с оплавлением поверхности; б) без оплавления поверхности

Рисунок 2 – Микрогеометрия поверхности образцов после термообработки

Проведено исследование механических характеристик образцов при горении дуги в среде аргона. На рисунке 3 показано распределение микротвердости стали 45 по глубине упрочняемого слоя.

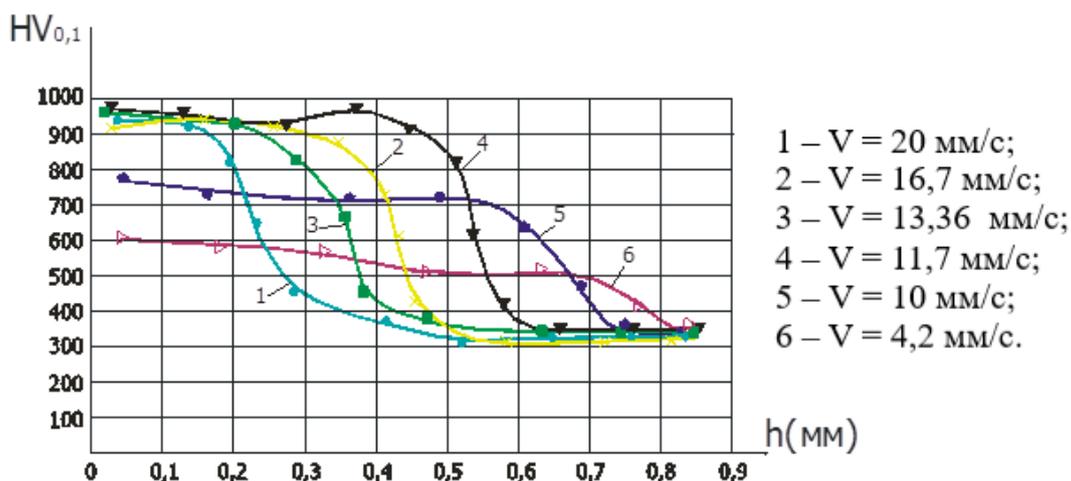


Рисунок 3 – Зависимости распределения микротвердости стали 45 по глубине поверхностного слоя

В таблице 1 указаны режимы плазменной закалки поверхности и результаты измерения микротвердости в точках по длине дорожки.

Таблица 1 – Режимы плазменной закалки и значения микротвердости

Номер дорожки	d, мм	h, мм	U, В	I, А	v, см/с	G _{осн} (Ar), л/мин	G _{защ} (Ar), л/мин	Микротвердость HV		
								слева (л)	центр (ц)	справа (п)
35	1,8	1,4	39	23	10	10	60	379,498	525,916	365,344
36			38	22	26	8	60	418,747	484,35	461,372
37			39	23	26	10	80	368,889	571,976	373,049
38			39	23	20	10	80	380,359	561,788	398,864
40			40	23	20	10	80	447,63	525,653	424,195
41			42	26	20	10	80	482,081	675,484	550,808
43			42	26	16	10	80	502,831	693,988	522,978
44			42	26	16	10	80	572,892	663,479	499,025
45			39	23	16	10	80	499,607	573,536	487,471

Примечание: d – диаметр сопла; h – расстояние от сопла до обрабатываемой поверхности; U – напряжение дуги; I – ток дуги; v – скорость движения источника нагрева; G_{осн}(Ar) – расход основного газа; G_{защ}(Ar) – расход защитного газа.

На рисунке 4 показана микроструктура поверхности упрочненной зоны образца в зависимости от режимов плазменной закалки. На каждой дорожке произведено девять замеров микротвердости. Точки промеров распределены по длине следующим образом: по три точки вначале участка (слева), по центру (центр), в конце участка (справа).

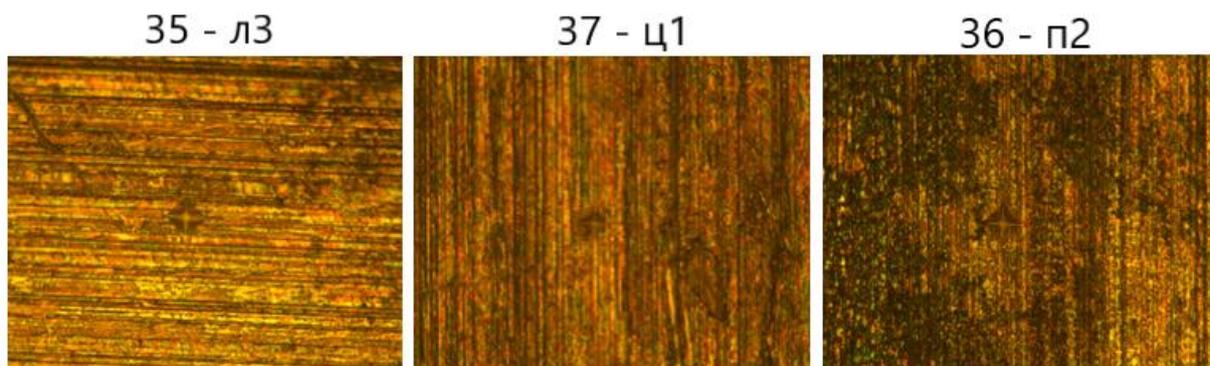
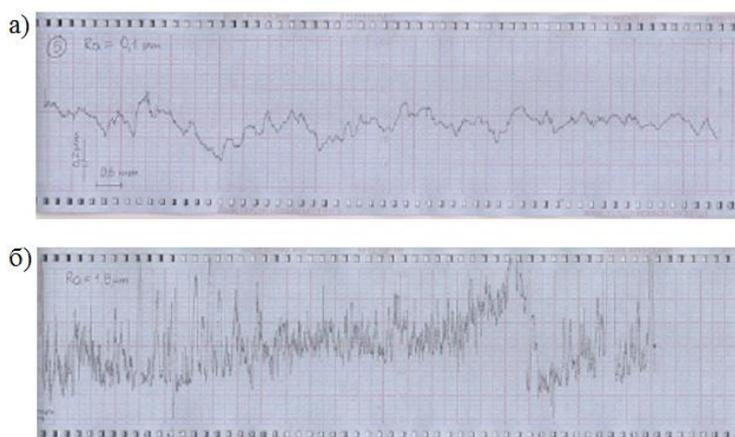


Рисунок 4 – Микроструктура поверхности упрочненной зоны

Анализируя профилограммы, можно заключить, что шероховатость поверхности порядка $Ra = 0,2$ мкм после механической обработки образцов сохраняется такой же и после обработки плазменной дугой.

Как видно из рисунка 4, поверхность образца с оплавлением имеет сложный рельеф, обусловленный системой впадин и гребней. По результатам экспериментальных исследований установлено, что при закалке поверхности в твердой фазе целесообразно применить аргон в качестве защитного газа, который в меньшей степени, чем азот, обжимает дугу. В результате снижается плотность потока энергии, которую поглощает поверхность, и температура поверхностного слоя металла получается ниже температуры его плавления.



а) без оплавления поверхности; б) с оплавлением поверхности

Рисунок 5 – Профилограмма поверхности образцов после термообработки

Плазменная закалка сталей без оплавления поверхности является наиболее распространенной, т. к. обеспечивает сохранение необходимых качеств поверхности изделия (шероховатость), которые получены механической обработкой. В этом случае процесс поверхностной плазменной закалки используется как финишная операция. Необходимые значения твердости, размеры зоны воздействия струи и другие параметры можно регулировать в широких пределах. В случаях, когда для детали необходимо получить особенные эксплуатационные свойства или к шероховатости рабочей поверхности не предъявляются высокие требования, используют плазменную закалку с оплавлением поверхности.

Большое влияние на изменение шероховатости поверхности оказывает ток дуги, скорость движения источника и объемы расхода газов. Эксперименты показали, что шероховатость поверхности в диапазоне $0,1-20$ мкм для образцов из стали 45 можно получать, варьируя процентным отношением смеси защитных газов аргон:азот. Установлено, что при 30 % содержании азота и 70 % аргона в смеси термообработка происходит без оплавления поверхности, повышение же процентного содержания азота приводит к оплавлению поверхности (технологические параметры процесса: ток дуги $I = 26$ А, скорость перемещения источника $v = 11,7$ мм/с). Оплавление поверхности можно получить также, изменяя скорость движения источника при постоянстве других технологических параметров. Установлено, что наименьшая шероховатость поверхности $Ra = 0,2$ мкм получается при воздействии дуги в защитной 100 % среде аргона при $v = 11,7$ мм/с, $I = 26$ А.

Список цитированных источников

1. Немчинский, А. Л. Тепловые расчеты термической обработки / А. Л. Немчинский. – Л. : Судпром, 1953. – 106 с.
2. Веремейчик, А. И. Температурное поле в ноже гильотинных ножниц при действии движущегося нормально-кругового источника нагрева / А. И. Веремейчик, В. М. Хвисевич, Б. Г. Холодарь // Новые технологии и материалы, автоматизация производства: сборник статей / Брестский государственный технический университет. – Брест : БрГТУ, 2022. – С. 188–193.
3. Веремейчик, А. И. Температурное поле в ноже гильотинных ножниц при локальной поверхностной плазменной закалке / А. И. Веремейчик, В. М. Хвисевич // Актуальные проблемы прочности: материалы междунар. науч. конф., г. Минск, 23–27 мая 2022 г. / под ред. В. В. Рубаника – Минск : УП «ИВЦ Минфина», 2022. – С. 375–376.
4. Сафонов, Е. Н. Плазменная закалка деталей машин: монография / Е. Н. Сафонов // М-во образования и науки РФ; ФГАОУ ВПО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2014. – 116 с.

УДК 004.94:539.3

Ярмак М. А.; Парafenюк Н. Д.

Научный руководитель: к. ф.-м. н., доцент Веремейчик А. И.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЕЙ

В сегодняшних условиях производства широко используются низколегированные стали с высоким содержанием углерода и чугуны. Но эксплуатационные свойства и срок службы не отвечают постоянно растущим требованиям, предъявляемым к таким деталям. Это влечет за собой частое обслуживание и замену отдельных узлов. Одним из вариантов решения таких задач является обработка концентрированным потоком энергии (лазерная, электроннолучевая, катодно-ионная и др.), но оборудование для такой обработки дорогое и сложное в освоении, требует использование вакуума, специальных помещений, что ограничивает габариты обрабатываемых деталей. Плазменная обработка лишена большинства из этих недостатков [1].

Поверхностное упрочнение может производиться тремя основными группами методов.

Механические методы: дробеструйная обработка (ABSP), механическая обработка поверхности истиранием (SMAT), ультразвуковая дробеструйная обработка (USP), абразивно-струйная обработка (SB), лазерное ударное упрочнение (LSP).

Термические методы: обработка ТВЧ, цементация, азотирование, плазменная закалка, плазменное азотирование, лазерная обработка.

Химические и электрические методы: химическое осаждение пленок (CVD), анодирование, ионное осаждение [2].

Наиболее перспективными методами поверхностной обработки являются лазерная и плазменная локальные поверхностные закалки.

В отличие от традиционных способов термообработки воздействие концентрированной плазменной струи (дуги) включает одновременное тепловое,