

М249474

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

ЛОБИЦКИЙ Вадим Григорьевич

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ
МЕХАНИЗИРОВАННОЙ НАПЛАВКИ
МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПОРОШКОВОЙ
ПРОВОЛОКОЙ В СРЕДЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА
И УСЛОВИЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА
И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА
(05.04.05 — Технология и машины сварочного производства)

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук



1249474

Лобицкий В.Г. Исследования

Работа выполнена в Калужском филиале МВТУ имени Н. Э. Баумана.

Научные консультанты:
доктор технических наук, профессор Фролов В. В.,
кандидат технических наук, доцент Захаров Ю. Е.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Лившиц Л. С.,
кандидат технических наук Чернышов Г. Г.

Ведущее предприятие — Калужский машиностроительный завод.

Автореферат разослан « » 197 г.

Защита диссертации состоится « » 197 г.
на заседании Совета факультета «Автоматизация и механика»
за Баумана по адресу:
г.

ный печатью, просьба

в библиотеке Училища

Ю. А. Степанов

M249474

Директивами XXIV съезда КПСС по У пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971-75 гг. предусмотрено дальнейшее сокращение расхода дорогостоящих и дефицитных материалов. К числу таких материалов относятся быстрорежущие стали.

В настоящее время более половины всего металлорежущего инструмента в СССР изготавливается из быстрорежущих сталей различных марок так как эти стали обладают лучшими технологическими свойствами и меньшей стоимостью по сравнению с твердыми сплавами и металлокерамикой. Наплавка инструмента, как эффективный способ экономии быстрорежущих сталей, применяется в отечественной и зарубежной промышленности много лет. Однако в последние годы не наблюдается заметного прогресса в области наплавки металлорежущего инструмента, т.к. существующие методы наплавки не отвечают возросшим требованиям как по качеству наплавленного металла, так и по производительности процесса.

Основной целью настоящей работы является повышение стойкости и экономичности распространенных в массовом производстве различных видов металлорежущего инструмента путем разработки и применения при их изготовлении эффективной технологии механизированной наплавки порошковой проволокой в среде углекислого газа и условий получения высококачественного наплавленного металла.

В задачи исследований входило :

1. Уточнить влияние различных технологических факторов на качество и износостойкость наплавленного металла типа Р-18 и установить структурную зависимость между ними.
2. Изучить механизм воздействия вибраций на улучшение структуры наплавленного металла.
3. Исследовать влияние вибрации на повышение стойкости металла шва против образования пор и трещин.
4. Выбрать оптимальные режимы вибрации сварочной ванны.
5. Отработать технологический процесс наплавки с вибрацией различных видов металлорежущего инструмента в заводских условиях.

В первой главе дается обзор состояния вопроса по использованию наплавки при изготовлении металлорежущего инструмента и влиянию вибраций на свойства металла шва. В настоящее время основным способом наплавки металлорежущего инструмента является ручная дуговая наплавка штучными электродами. При этом используются различные способы легирования наплавленного металла. через электродный стержень, через покрытие и комбинированный способ. Наплав-

124944

ка с легированием через стержень не решает основной проблемы - экономии дефицитной быстрорежущей стали. При легировании через покрытие используется малоуглеродистая сварочная проволока, но затруднено получение однородности химического состава наплавленного металла. Кроме этого процесс наплавки штучными электродами малопроизводителен. Механизированная наплавка под слоем флюса позволяет получить качественный и однородный металл при высокой производительности процесса. Однако для наплавки металлорежущего инструмента, этот способ не получил широкого практического применения из-за существенных недостатков технологического характера. Возможность применения электрошлаковой наплавки металлорежущего инструмента ограничена малым объемом наплавленного металла и сложной формой наплавливаемых заготовок. Отмеченные недостатки могут быть устранены при использовании механизированной наплавки порошковой проволокой в среде углекислого газа. В ИЭС имени Патона разработано большое количество марок порошковых проволок в том числе и проволока Ш-Р18Т для наплавки металлорежущего инструмента в среде углекислого газа. Однако, широкое применение этой проволоки сдерживается недостаточной изученностью некоторых технологических аспектов наплавки и возможностью появления пор в наплавленном металле, в то время как даже единичные поры на режущих кромках металлорежущего инструмента являются недопустимым дефектом. Одним из способов повышения качества наплавленного металла является использование вибраций в процессе сварки и наплавки.

Впервые вибрации звуковой частоты $f = 10 + 100$ гц с амплитудой $A = 0,01 + 3$ мм стали применяться для улучшения свойств кристаллизующегося металла при литье. Благотворное влияние вибраций на литейно-механические свойства различных сплавов доказано работами Гуляева Б.Б., Половинкина П.И., Баландина Г.Ф. и др.

Для обработки сварочной ванны используются колебания звуковой и ультразвуковой частоты. Известно, что воздействуя ультразвуковыми колебаниями на сварочную ванну в процессе ее кристаллизации, можно улучшить механические свойства сварного соединения благодаря измельчению структуры металла шва и удалению газов. Однако, относительная сложность ввода ультразвуковых колебаний в сварочную ванну ограничивает практическое применение этого способа.

Менее полно изучено влияние на свойства металла шва вибраций звуковой частоты /10-200 гц/.



В главе 2-ой приведено теоретическое обоснование разработки технологического процесса наплавки с вибрацией сварочной ванны. Установлено, что износостойкость наплавленного металла типа Р18 определяется его химическим составом и структурой. В свою очередь эти показатели зависят от основных параметров режима наплавки, термического цикла наплавки, химической и химико-термической обработки, условий первичной кристаллизации металла сварочной ванны. На характер первичной кристаллизации металла шва существенное влияние оказывают вибрации сварочной ванны, которые вызывают в расплаве периодические местные увеличения плотности молекул и разрежения. В момент сжатия происходит местное увеличение плотности ρ расплава, но при этом должно увеличиваться в тех же точках расплава и местная температура, уменьшающая степень переохлаждения. Наоборот, в момент разрежения - уменьшается мгновенная плотность и температура, т.е. увеличивается переохлаждение. Такие местные мгновенные перегревы и переохлаждения происходят и в спокойно остывающем расплаве, без воздействия вибрации, но только хаотически, случайно, в результате флуктуаций давления и плотности.

При воздействии вибрации они происходят периодически с заданной частотой f . Чтобы оценить величину этих мгновенных переохлаждений и перегревов нужно получить уравнение, связывающее температуру и давление (или плотность) внутри расплава, аналогичное уравнению Пуассона, при адиабатических сжатиях и расширениях. Для произвольной точки, лежащей на изотерме Ван-дер-Ваальса в жидкости, вблизи стыка с изотермой Френкеля можно применить уравнение Ван-дер-Ваальса с учетом адиабатического изменения объема. Тогда для разных состояний - "сжатие" (перегрев) и "расширение" (переохлаждение) :

$$\left. \begin{aligned} (P_1 + \rho_1^2 \frac{a}{M^2}) \cdot V_1' &= \frac{m}{M} RT \\ (P_2 + \rho_2^2 \frac{a}{M^2}) \cdot V_2' &= \frac{m}{M} RT \end{aligned} \right\} \quad (I)$$

Обозначив через $A_{\text{наг}}$ работу образования пародыма критического размера при адиабатическом сжатии молекулярного объема, т.е. при флуктуационном нагревании и увеличении плотности, и соответственно, через $A_{\text{охл}}$ - работу при охлаждении и уменьшении плотности расплава во время адиабатического расширения, вызванного вибрациями $f = 80$ гц, для чистого железа из выражения (I) после преоб-

разогнаний можно получить:

$$\frac{\lambda_{охл}}{\lambda_{наг}} \approx 0,03; \text{ т.е. } \lambda_{охл} \ll \lambda_{наг}$$

Следовательно, вероятность флуктуационного возникновения зародышевых центров $W \sim e^{-\frac{\Delta G}{kT}}$ будет гораздо больше при мгновенных переохлаждениях, чем при мгновенных перегревах. За каждый последующий цикл вибраций разность температур будет все больше нарастать, а вероятность возникновения зародышевых центров - увеличиваться, т.е. будут обеспечены предпосылки для получения более мелкозернистой структуры.

Дальнейшие экспериментальные исследования показали, что под воздействием вибрации происходит более сложное изменение структуры, нежели простое измельчение зерна.

Известно, что вибрации уменьшают порообразование в отливках. О влиянии вибрации на образование пор при сварке и наплавке в литературе сведений почти нет, поэтому изучение данного вопроса представляет определенный интерес.

Общепризнано, что зарождение пузырьков газа в жидком металле происходит на границе раздела фаз. Рост и отрыв пузырьков происходит по-разному в зависимости от величины краевого угла смачивания

θ , величина которого определяется выражением:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{сг} - \sigma_{жг}}{\sigma_{жг}}$$

Полагая $\sigma = \sigma(T)$ и разлагая в ряд Тейлора вблизи точки $T=T_0$ получим:

$$\sigma_T = \sigma_0 - \beta(T - T_0); \quad (3)$$

где $\frac{\partial \sigma}{\partial T} = -\beta$

Для газового пузырька радиуса R , находящегося в жидкости, полная потенциальная энергия системы "пузырек-жидкость" будет равна:

$$U = \frac{4}{3}\pi R^2 [nR - \sigma_0 + \beta(T - T_0)] \quad (4)$$

При $T > T_0$ система станет неустойчивой, это приведет к образованию шейки /Рис. I-a/.

В момент адиабатического расширения, наоборот, U (4) уменьшается / $T < T_0$ /, поверхностное натяжение пленки жидкости вокруг пузырька возрастает, и толщина пленки делается равной 0, пузырек

разделится /Рис. I-б/

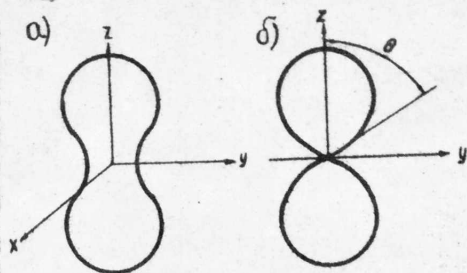


Рис. I. Схема изменения формы газового пузырька в сварочной ванне под воздействием вибрации.

При небольшом отклонении от сферичности уравнение поверхности пузырька с шейкой после некоторых преобразований примет вид:

$$R = R_0 (a + b x^2 - c x^4), \quad (5)$$

где $a = 1 + \beta_0 - \frac{\beta_2}{2} - \frac{8}{3}\beta_4$; $b = \frac{3}{2}(\beta_2 + \frac{5}{2}\beta_4)$; $c = \frac{35}{8}\beta_4$; $x = \cos \theta$.

β - параметры деформаций, величина которых определяют форму пузырька.

При $R=0$; $c x^4 - b x^2 - a = 0$.

Решая это биквадратное уравнение находим:

$$x^2 = \cos \theta = \frac{b}{2c} \pm \sqrt{\frac{b^2}{4c^2} + \frac{a}{c}}. \quad (6)$$

Здесь a , b , c - функции, зависящие от радиальных и поверхностных деформаций, поэтому положим:

$$\frac{b}{2c} \pm \sqrt{\frac{b^2}{4c^2} + \frac{a}{c}} = f(\zeta),$$

где $f(\zeta)$ - уравнение поверхности.

Считая, эту функцию квадратной относительно текущей координаты ζ в простейшем случае получим $\zeta = \cos \theta$, что даст кривую, изображенную на рис. I-б, т.е. уравнение пузырька с шейкой, когда радиус шейки становится равным нулю. Это произойдет в момент отрыва одного пузырька от другого, когда потенциальная энергия системы U уменьшается.

Энергия отрыва $E = 4\pi R_0^2 \sigma f(x)$, где $f(x)$ - выражается уравнением (5). Но резкое уменьшение σ возможно только в момент адиабатического переохлаждения, как видно из (4), т.е. когда $T < T_0$. Следовательно, вибрации будут вызывать дробление пузырьков в сварочной ванне и облегчать их отделение от поверхности растущих кристаллов.

Физическое моделирование гидродинамических процессов в расплаве на примере трубы с жидкостью, установленной на столе вибростенда показало, что при отсутствии вибрации отрыв пузырьков от конца трубы происходит при диаметре 5-18 мм для различных жидкостей; при вибрации диаметр пузырька в момент отрыва составляет 1-2 мм для всех жидкостей. Это подтверждает правильность вышеприведенных теоретических предпосылок.

Уменьшение размеров зерна при сварке с вибрацией также благоприятно влияет на удаление газовых пузырьков, так как в этом случае устраняется возможность их "защемления" растущими кристаллами.

В 3-ей главе реферируемой работы приведены результаты экспериментальных исследований влияния основных параметров режима наплавки и вибрации на состав и свойства металла шва. Исследования проводились на специальной установке, разработанной в Ка - лужском филиале МВТУ им. Баумана при участии автора /Рис.2/, основным элементом которой является вибростенд /1/.

Установлено, что требованиям вибрационной обработки в сварочном производстве наиболее полно отвечает электрогидравлический вибростенд ВС-1.

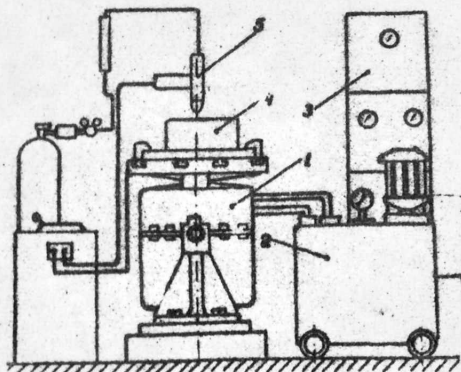


Рис.2. Конструктивная схема установки для наплавки с вибрацией. 1-электрогидравлический вибростенд; 2-маслоба; 3-шкаф управления; 4-наплавляемая деталь; 5-сварочная головка.

Конструкция вибростенда позволяет плавно менять частоту вибраций в пределах 0-150 гц и перегрузку в пределах $\dot{\epsilon} = 0-12g$.

Анализ данных, приведенных в отечественной и зарубежной литературе, посвященных влиянию вибрации на свойства металла шва, показывает, что до настоящего времени нет единой методики выбора оптимальных режимов вибраций, обеспечивающих получение наилучших структурно-механических свойств наплавленного металла.

С целью подбора оптимальных параметров режима вибрации были проведены специальные исследования. В качестве исследуемых материалов использовались перлитные стали марок МСт.3 и 20ХМФЛ, титан ВТ-1, бронза Бр.ОЦ 4-3. Исследовалось влияние вибраций на размер зерна, механические свойства, размер и форму шва. Установлено, что решающее воздействие на свойства металла шва оказывает перегрузка $\dot{\epsilon}$. Изменение частоты в диапазоне 20-150 гц при оптимальной перегрузке сказывается на свойствах металла шва в меньшей степени. Оптимальное значение перегрузки и частоты составляет:

$$\dot{\epsilon}_{\text{опт}} = 1 - 1,5g ; f_{\text{опт}} = 40 - 80 \text{ гц} ;$$

При сварке и наплавке с вибрацией на оптимальных режимах происходит размельчение зерна, повышаются прочностные характеристики шва, уменьшаются глубина проплавления и увеличивается ширина шва.

Для изучения структуры наплавленного металла типа Р 18 производилась наплавка проволокой ПП-Р18Т ϕ 3,2 мм цилиндрических образцов ϕ 16-20 мм в специальной водоохлаждаемой медной форме. Известно, что в литом металле можно отчетливо различить три структурных составляющих - темную, светлую и эвтектику. При наплавке ПП-Р18Т в CO_2 нам удалось выявить четвертую составляющую, которая по виду в микроскопе была названа "рябой". Ее появление обусловлено особенностями протекания процесса кристаллизации в сварочной ванне.

При кристаллизации отливок первые кристаллы представляют собой δ - раствор, в то время как по диаграмме равновесия должны были бы выделяться кристаллы γ - раствора. Это объясняется высоким содержанием в δ - фазе тугоплавких элементов и в частности W, т.к. W способен образовывать с Fe твердый раствор с более высокой температурой плавления, чем твердые растворы Fe V и Fe-Cr. Кроме того W сужает γ - область диаграммы. При этом содержание C в этих кристаллах невелико. Вследствие снижения растворимости углерода в δ - фазе при охлаждении

с малой скоростью, характерной для отливок, из δ' -фазы выделяются карбиды W , V и Si . Образующаяся структура и является темной составляющей. При наплавке скорость кристаллизации значительно выше, поэтому часть δ' -фазы не успевает выделить из себя тугоплавкие карбиды тяжелых элементов, ввиду малой подвижности их атомов. По этой причине химический состав микрообъемов с высокой концентрацией тяжелых элементов и низким содержанием углерода при достаточно большой скорости охлаждения остается неизменной даже после полного охлаждения. Подобные микрообъемы и представляют собой "рябую" составляющую. Эта составляющая имеет сравнительно невысокую микротвердость (400 - 450 H_{μ}), а количество ее в наплавленном металле изменяется от 25% до 10% при увеличении углерода от 0,74 до 1,0%. Микроструктура металла, наплавленного с вибрацией характеризуется более равномерным распределением карбидной фазы, размельчением зерна и отсутствием "рябой" составляющей. Поскольку при наплавке с вибрацией "рябая" составляющая не появляется, то можно предположить, что под воздействием упругих колебаний создаются условия для распада δ' -фазы и выделения карбидов тяжелых элементов. На наш взгляд таких условий два: 1) на основании ранее выполненных работ на сплавах системы $Sn-Zn$ установлено, что вибрация изменяет положение важнейших критических и концентрационных точек диаграммы состояния. В связи с этим вероятно, что под воздействием вибрации первые кристаллы δ' -фазы будут более богаты C и тогда при охлаждении в связи с понижением растворимости углерода в $Fe\delta$ должны выделиться карбиды тяжелых элементов, т.е. образуется темная составляющая, а не рябая, 2) возможно, что вибрация способствует более высокой диффузионной подвижности тяжелых элементов и приводит к выравниванию химического состава в отдельных микрообъемах, что затрудняет возможность образования "рябой" составляющей. Количественное определение размеров зерна в наплавленном металле типа Р-18 затруднено, поэтому было проведено определение микротвердости и количества структурных составляющих (Рис. 3).

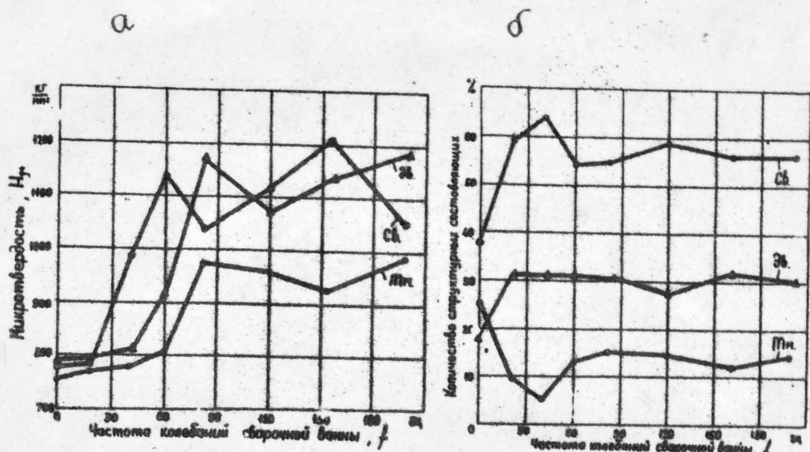


Рис. 3. Изменение микротвердости (а) и количества структурных составляющих (б) в наплавленном металле типа Р-18 под воздействием вибрации ($i = 1,25g$).

Св - светлая составляющая, Тм - темная составляющая, Эв-эвтектика.

Таким образом, при наплавке с вибрирующей сталей Р-18 происходит не только уменьшение размеров зерна, но изменяется характер распределения основных структурных составляющих, их количество и микротвердость.

Для изучения влияния вибрации на порообразование в наплавленном металле Р18 использовался составной образец из МСт.3 с разделкой кромок, в которую укладывалась проволока с дозированным количеством ржавчины и производилась сварка на достоянном режиме ($I_{св} = 350-360$ А; $U_d = 32-34$ В; $V_{св} = 32$ м/час; $Q_{св} = 950$ л/час) проволокой ИИ-Р18Т $\phi 3,2$ мм. Наружные поры выявлялись внешним осмотром, а внутренние - после разрушения образца вдоль шва. Наличие 5-и и менее пор на 10 см² сечения оценивались как единичные, 6-10 пор - есть, более 10 - много. Одновременно изучалось также влияние добавки 30% O_2 к CO_2 на образование пор. В таблице представлены средние результаты пяти экспериментов.

Для получения наплавленного металла высокой износостойкости необходимо обеспечить оптимальный химический состав металла шва. Как известно, при сварке и наплавке происходит выгорание легирующих элементов за счет протекания химических реакций интенсивность которых зависит от режимов наплавки, элек-

тродной проволоки, флюса или защитного газа.

Таблица I

Количество ржавчины мг/100 мм	Наличие пор			
	Сварка в CO_2 $f=0$	Сварка в сме- си 70% CO_2 + 30% O_2 $f=0$	Сварка в CO_2 $f=80 \text{ м, } i=115 \text{ а}$	Сварка в смеси $f=80 \text{ м, } i=115 \text{ а}$
570	нет	нет	нет	нет
750	единичное	нет	нет	нет
920	есть	единичное	нет	нет
1060	много	есть	единичное	нет
1210	много	много	есть	единичное
1360	много	много	есть	есть

В реферируемой работе было исследовано комплексное влияние основных параметров режима наплавки (силы тока $I_{\text{д}}$, напряжения на дуге $U_{\text{д}}$, вылета электрода $\ell_{\text{эл}}$ и расхода углекислого газа Q_{CO_2}) проволокой ПП-Р18Т в среде CO_2 на химический состав металла шва. Для получения удовлетворительных результатов в случае множественной корреляции при минимальном числе опытов, была использована методика рационального планирования экспериментов, предложенная Протодьяконовым М.М. и Тедером Р.И.

После обработки экспериментальных данных с использованием элементов математической статистики получены формулы, позволяющие определить содержание $\text{C}, \text{Si}, \text{Cr}, \text{W}, \text{V}$ в наплавленном металле в зависимости от $I_{\text{д}}, U_{\text{д}}, \ell_{\text{эл}}$ (влиянием Q_{CO_2} можно пренебречь). На основании расчетных и экспериментальных данных построена диаграмма состава наплавленного металла для проволоки ПП-Р18Т в сочетании с CO_2 .

В 4-ой главе диссертации представлены результаты исследований термической и химико-термической обработки, а также горячей твердости и термической усталости наплавленного металлорежущего инструмента. Установлено, что при изготовлении однолезвийного инструмента, не подвергающегося в процессе последующего изготовления механической обработке, термическая обработка может быть ограничена 3-х кратным отпуском от $T = 550-560^\circ\text{C}$ с выдержкой после каждого отпуска по 1,5 часа. Многолезвийный инструмент (фрезы, протяжки и т.п.) в процессе его изготовления подвергается механической обра-

ботке (фрезеровка зубьев). Для возможности такой обработки необходимо, чтобы наплавленный металл имел невысокую твердость (26-28 HRC). Снижение твердости наплавленного металла достигается проведением отжига. После механической обработки для восстановления высокой твердости и режущих свойств необходимо проводить операцию закалки с последующим отпуском.

В процессе исследований было установлено, что существующие режимы отжига не обеспечивают снижения твердости до требуемых значений, поэтому был разработан следующий режим изотермического отжига: загрузка в печь при $T=500^{\circ}\text{C}$, выдержка при $T=500^{\circ}\text{C}$ 3 часа, нагрев до $T=860-880^{\circ}\text{C}$ со скоростью 30 град/час, выдержка при $T=860-880^{\circ}\text{C}$ 5 часов, охлаждение до $T=740-760^{\circ}\text{C}$ со скоростью 10 град/час, выдержка при $T=740-760^{\circ}\text{C}$ 5 часов, охлаждение до 500°C со скоростью 10 град/час, дальнейшее охлаждение на воздухе. Твердость после данного отжига составляет 25-28 HRC. При разработке режимов закалки и отпуска изменилась температура и время закалки, кратность отпуска, его температура и продолжительность. На основании исследований был выбран следующий режим закалки: подогрев в печи до $T=830-850^{\circ}\text{C}$, выдержка при $T=830-850^{\circ}\text{C}$ из расчета 20 сек на 1 мм толщины наплавленного металла, нагрев в хлоробариевой ванне до $T=1260-1280^{\circ}\text{C}$ из расчета 7 сек на 1 мм толщины наплавленного металла, охлаждение в масле. Оптимальный вариант отпуска выбран трехкратный отпуск от $T=550-560^{\circ}\text{C}$ с выдержкой по 1 часу после каждого отпуска.

Существенное влияние на износостойкость наплавленного металла оказывает обработка холодом, а также такие виды химико-термической обработки, как цианирование и азотирование. На основании исследований установлено: обработка холодом в газовой среде жидкого азота при $T = -70^{\circ}\text{C}$ в течение 40 мин, оказывает положительное влияние на его микроструктуру и эксплуатационные характеристики (износостойкость повышается на 8-10%) и в то же время позволяет сократить число отпусков после закалки с трех до одного; цианирование и азотирование значительно повышается твердость поверхностного слоя без существенных изменений структуры и твердости сердцевин, что позволяет повысить износостойкость наплавленного инструмента на 20-25% при цианировании и на 8-10% при азотировании.

В 5-ой главе диссертации приведены результаты промышленного освоения механизированной наплавки металлорежущего инструмента с вибрацией в условиях Калужского турбинного завода. В на-

чеством объекта наплавки были выбраны резцы различных типов размеров, а также червячные, цилиндрические, торцевые и профильные фрезы.

Для наплавки различных групп инструмента разработана соответствующая оснастка, приспособления и оборудование, отработан технологический процесс полуавтоматической наплавки и последующей термической обработки. Всесторонние испытания наплавленного металлорежущего инструмента показали, что его износостойкость не ниже, чем у инструмента, изготовленного из ковальной быстрорежущей стали соответствующей марки. Использование вибрации при наплавке позволило повысить износостойкость наплавленного инструмента на 10-20% (Рис. 4).

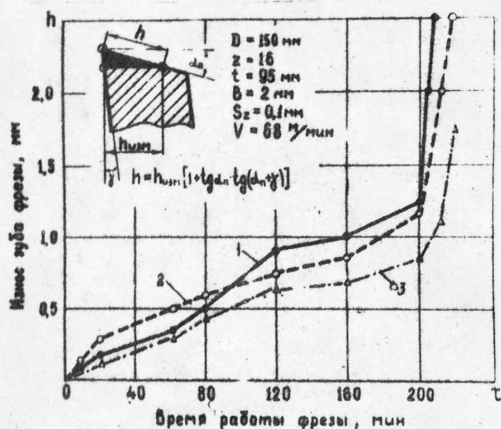


Рис. 4. Кривые износа фрезы при обработке стали 45. 1-кованая сталь Р18, 2-наплавка ШП-Р18Т без вибрации, 3-наплавка ШП-Р18Т с вибрацией ($f=60 \text{ Гц}$, $i=1,15 \text{ г}$).

Применение механизированной наплавки металлорежущего инструмента порошковой про-

волокой ШП-Р18Т в среде углекислого газа в условиях инструментального цеха КТЗ позволило уменьшить расход дефицитной быстрорежущей стали Р18, сократить трудозатраты и получить экономический эффект в сумме 10000 рублей в год.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.

1. Из всех существующих способов наплавки металлорежущего инструмента наиболее эффективным является механизированная наплавка порошковой проволокой в среде углекислого газа.
2. Качество наплавленного металла тигля Р18 определяется целым рядом взаимосвязанных факторов, наиболее важным из которых является характер и условия первичной кристаллизации металла шва.

3. Одним из способов положительного воздействия на кристаллизующийся металл является введение упругих колебаний в сварочную ванну за счет вибрирования наплавляемой детали.
4. Показано, что воздействие вибраций на кристаллизующийся металл сварочной ванны способствует получению более мелкозернистой структуры и благоприятному распределению основных структурных составляющих в наплавленном металле.
5. Установлено, что при сварке и наплавке с вибрацией облегчаются условия отрыва газовых пузырьков в сварочной ванне от поверхности растущих кристаллов.
6. Создана установка для сварки и наплавки с вибрацией сварочной ванны в процессе ее первичной кристаллизации и последующего охлаждения.
7. Установлено, что решающее воздействие на свойства металла шва оказывает перегрузка i . Влияние частоты f при оптимальной перегрузке сказывается в меньшей степени. Оптимальные значения перегрузки и частоты составляют: $i_{opt} = 1 - 1,5 g$, $f_{opt} = 40-80 гц$.
8. Разработаны формулы и номограммы для определения содержания C, Si, Mn, Cr, W, V в наплавленном металле в зависимости от основных параметров режима наплавки.
9. Разработаны режимы термической и химико-термической обработки различных видов металлорежущего инструмента, обеспечивающие его максимальную износостойкость.
10. Показано, что металлорежущие инструменты, наплавленные порошковой проволокой ПП-Р18Т с вибрацией на оптимальных режимах, обладают большей износостойкостью, чем инструменты, изготовленные из кованой стали соответствующей марки.
11. Внедрение механизированной наплавки металлорежущего инструмента с вибрацией позволяет повысить его износостойкость, снизить брак, получить экономию дефицитной быстрорежущей стали и сократить трудозатраты, что обеспечивает получение значительного экономического эффекта.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Лобицкий В.Г., Сутырин Г.В. Полуавтоматическая наплавка резцов порошковой проволокой ПП-Р18 в среде углекислого газа. Сборник трудов КФ МВТУ им.Баумана "Машиностроение" № 2. Калуга, 1967.
2. Лобицкий В.Г., Сутырин Г.В. Исследование влияния условий наплавки и охлаждения на свойства наплавленного металла Р18. Сборник трудов КФ МВТУ, № 2, г.Калуга, 1967.
3. Сутырин Г.В., Лобицкий В.Г., Головашкин Н.Д. Автоматическая наплавка многолезвийного инструмента. Сборник трудов КФ МВТУ, № 2 г.Калуга, 1967.
4. Сутырин Г.В., Лобицкий В.Г. Изготовление наплавкой металлорежущего инструмента. "Сварочное производство" № 6, 1967.
5. Акулиничев Е.В., Лобицкий В.Г. Отжиг наплавленных режущих инструментов. МТОМ № 2, 1968.
6. Акулиничев Е.В., Лобицкий В.Г., Сутырин Г.В. "Горячая твердость" наплавленного инструмента. МТОМ, № 6, 1971,
7. Сутырин Г.В., Лобицкий В.Г. Влияние вибраций на износостойкость наплавленного металлорежущего инструмента. Материалы научно - технической конференции в г.Калуге. Калуга, 1972.
8. Сутырин Г.В., Лобицкий В.Г. Изменение геометрических размеров шва под воздействием упругих колебаний. Сборник трудов КФ МВТУ им.Баумана, № 139, г.Калуга, 1970.
9. Сутырин Г.В., Захаров Ю.Е., Лобицкий В.Г., Смирнов В.Г. Экспериментальная установка для исследований влияния вибраций на свойства металла шва. Сборник трудов КФ МВТУ, № 139, 1970.
10. Сутырин Г.В., Белосельский В.С., Лобицкий В.Г., Банцерг Н.Э., Смирнов В.Г. Влияние вибраций низкой частоты на величину остаточных напряжений и деформаций при сварке. "Сварочное производство" № 6, 1973.
11. Лобицкий В.Г., Сутырин Г.В. Исследование и разработка технологии изготовления наплавленного металлорежущего инструмента. Материалы 3 Всесоюзной научно-технической конференции, г.Москва, МВТУ им.Баумана, 1970.
12. Лобицкий В.Г., Сутырин Г.В. Наплавка металлорежущего инструмента порошковой проволокой в CO_2 . Материалы 2 Всесоюзной научно-технической конференции, г.Москва, МВТУ, 1969.