

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ 09Г2С В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ НА МЕТАЛЛ СВАРНОГО ШВА

А. М. Файрушин, к.т.н., доцент кафедры ТНА
Д. В. Каретников, к.т.н., доцент кафедры ТНА
А. С. Романчук, магистрант гр. ММА-17-01
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
450062, г.Уфа, Космонавтов,1,
Тел. 8-987-490-6585
E-mail: rushaniya_romanchuk@mail.ru

На сегодняшний день существует несколько способов получения габаритных металлических конструкций. Более технологичным способом, как правило, является изготовление с применением сварочных технологий.

Одним из недостатков получения конструкции с помощью сварки является то, что свойства сварных соединений редко достигает 80% свойств основного металла. Объясняется это тем, что сварное соединение является концентратором напряжений из-за температурных деформаций, различных дефектов и структурных изменений. Для улучшения механических свойств сварных соединений и повышения ресурса работы применяют различные способы термической обработки. Недостатком таких действий является существенные энерго- и трудозатраты, невозможность использования в труднодоступных местах, снижение качества поверхности и т.д.

Относительно новым, еще достаточно неизученным способом повышения качества сварных соединений является вибрационная обработка: обработка затвердевшего, расплавленного и кристаллизующегося металла [1-2]. Более эффективным является способ фоновой вибрационной обработки соединений непосредственно в процессе сварки. При вибрации жидкий металл в процессе своего затвердевания подвергается воздействию быстро чередующихся динамических импульсов, которые вызывают то потерю весомости, то компрессию металла за счет резкого изменения его эффективного веса. При потере весомости усиливается выделение растворенных газов и коагуляция их пузырьков; при последующем сжатии металла эти пузырьки усиленно выталкиваются на поверхность. То же происходит с неметаллическими включениями [3].

Зарождающиеся кристаллы под действием вибрационных импульсов не способны в начале процесса затвердевания металла удержаться на поверхности формы, в особенности, если ускорение будет значительным. Они будут отталкиваться более нагретыми частицами в сторону центра и одновременно устремляться вниз. В результате возрастает однородность структуры металла по толщине шва. Структура показывает значительное измельчение металла: улучшаются механические свойства, значительно увеличивается физическая плотность металла. Это позволяет получить более широкий спектр положительных эффектов. Так же возможен локальный ввод упругих колебаний, что значительно снижает требуемую мощность вибрационных устройств и повышает универсальность метода. Из различных источников известно, что при вибрации также наблюдается увеличение усадочной воронки прибыли. Практически устраняется ликвация. Можно получать также специальные структуры сплавов [3-5].

В данной статье приводятся исследования влияния основных параметров вибрационного нагружения на сварочную ванну упругими колебаниями, а также определения предельных режимов виброобработки в процессе сварки сварных соединений из низкоуглеродистых сталей.

Сварка образцов и наложение вибрационных колебаний осуществлялись в соответствии со схемой, представленной на рисунке 1. Далее из сваренных пластин были изготовлены образцы для исследования влияния режимов вибрационной обработки на уровень остаточных напряжений и свойства металла сварных соединений.

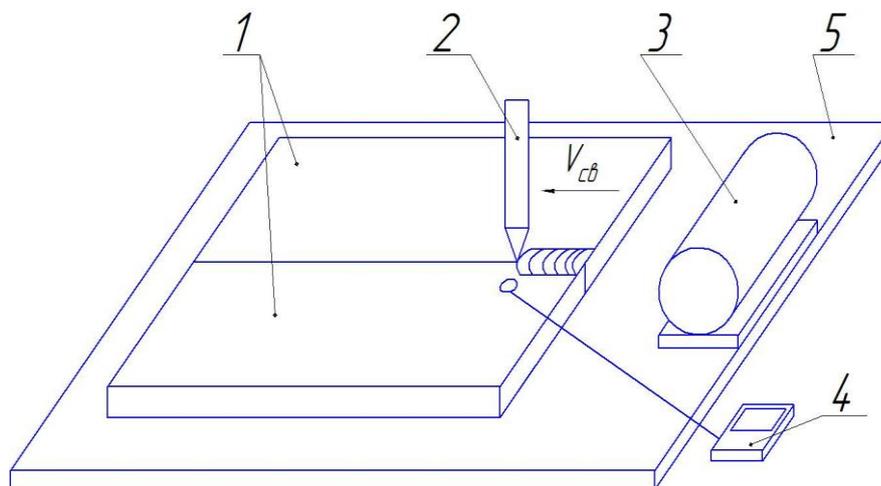


Рис. 1. Схема сварки с наложением вибрационных колебаний

Здесь приняты следующие обозначения:

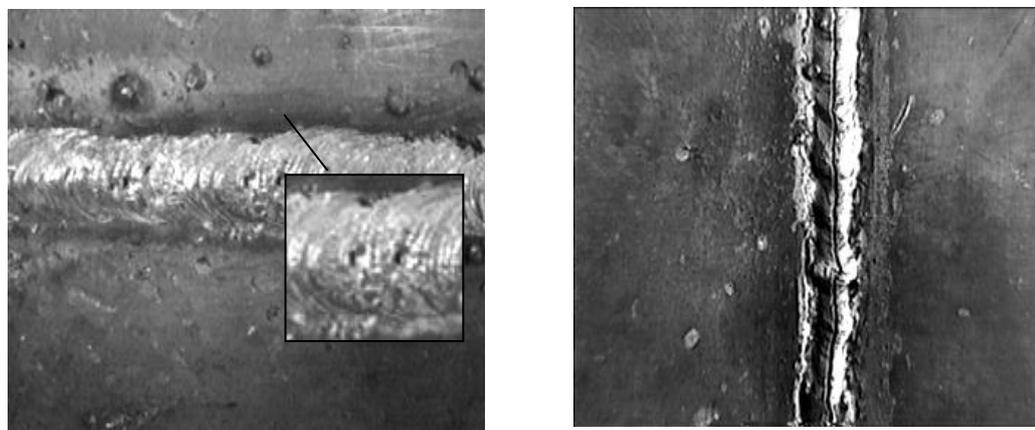
1 – свариваемые пластины; 2 – сварочная проволока трактора; 3 – вибрационное устройство, 4 – прибор для контроля параметров вибрации; 5 – сварочный стол.

Как подтверждают многочисленные исследования, наилучший эффект от применения вибрационной обработки в процессе сварки достигается при амплитудах вибрации 1.0 мм, при частоте от 50 и до 400 Гц. При литье амплитуду вибрации увеличивают до 3...10 мм, при этом частоту вибрации снижают до 30 Гц. Во многом это связано с тем, что при увеличении амплитуды вибрации (с увеличением мощности вводимых упругих колебаний) происходит увеличение свободной энергии, которая расходуется на обламывание ветвей дендритов и создание в системе дополнительных центров кристаллизации. Однако, в процессе сварки применение амплитуды вибрации более 1 мм приводит к снижению механических свойств металла шва, образованию трещин, пор и других дефектов.

Исследования по определению эффективных режимов вибрационной обработки в процессе сварки были выполнены в лабораторных условиях с использованием вибростенда ВЭС -400 и специально разработанного вибростола, на котором крепились электромеханический, либо пневматический вибратор.

Анализируя исследования предельных параметров вибрационной обработки можно установить, что визуально качественного сварного соединения можно добиться на режимах вибрации с различной частотой вибрации, но с амплитудой виброперемещения не более 1...1.2 мм. Использование амплитуды выше этих

значений повышало вероятность появления визуально определяемых дефектов в виде пор (рисунок 2,а), либо горячих трещин (рисунок 2,б) в сварном шве. Это объясняется низкой деформационной способностью металла в первоначальный момент кристаллизации, характеризуемый температурным интервалом хрупкости.



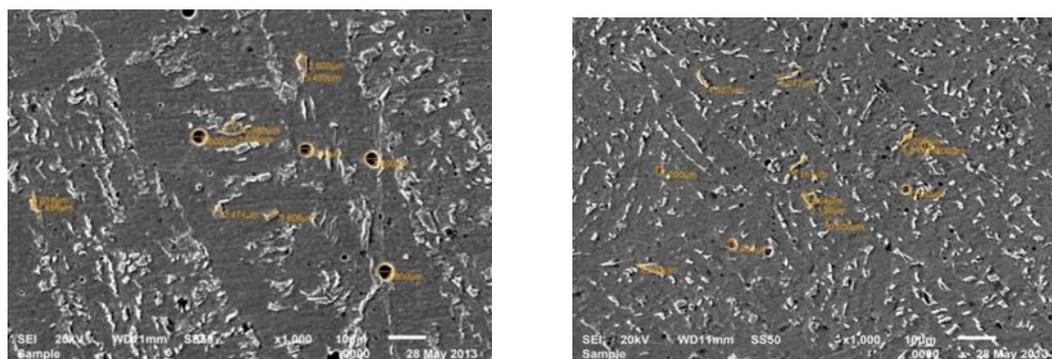
а) поры в шве, возникающие при амплитуде вибрации 1.2..1.8 мм б) горячие трещины, возникающие при амплитуде вибрации 2.0..2.5 мм

Рис. 2. Дефекты сварных швов, полученных с применением операции вибрационной обработки в процессе сварки

Влияние таких параметров, как частота, виброскорость и виброускорение в пределах допустимой амплитуды вибрации не замечено. В работе проведена серия различных исследований, подтверждающих влияние вибрационной обработки в процессе сварки на структуру металла и сварочной ванны.

Эльдарханов А.С. и др. исследователи в своих работах доказали повышение плотности отливок при вибрационной обработке, что в дальнейшем благоприятно влияет и на другие свойства металла. Однако, влияние вибрационного воздействия сварочной ванны на повышение плотности металла сварного шва не рассмотрено в известных работах. С целью определения влияния вибрационной обработки на плотность металла сварного шва были проведены исследования снимков структуры на растровом электронном микроскопе JEOLJSM-6610LV.

Полученные снимки микроструктуры металла сварного шва стали 09Г2С с 1000-кратным увеличением приведены на рисунке 3. Как видно из данных снимков, вибрационная обработка позволяет значительно снизить размеры и площадь микрополостей в металле сварного шва, снизить размеры зерен и повысить однородность и в определенной степени плотность структуры.



а) без вибрации

б) амплитуда вибрации
0.4-0.8 мм, частота 50 ГцРис.3. Микроструктура металла сварного шва, $\times 1000$

Обработка данных снимков показала, что диаметры максимальных микрополостей с применением вибрационного воздействия на металл сварочной ванны снижаются практически в 2.8...3 раза, а общая площадь полостей - в 1.48.

Для оценки влияния режимов сопутствующей вибрационной обработки (в/о) на особенности микроструктуры сварных соединений из пластин были изготовлены шлифы для анализа микроструктуры образцов. Визуальный анализ микроструктуры металла сварного соединения проводился на оптическом микроскопе ЕС МЕТАМ РВ-21 с увеличением в 300 раз в соответствии со схемой, представленной на рисунке 4.

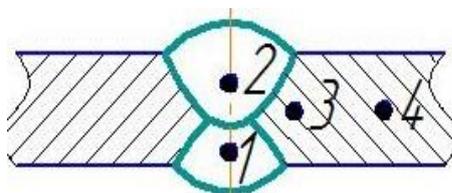


Рис. 4. Схема точек для анализа микроструктуры различных участков сварного соединения

Здесь приняты следующие обозначения:

Точка 1 – участок шва первого прохода; 2 – участок шва второго прохода; 3 – участок зоны термического влияния; 4 – участок основного металла.

На рисунке 5 представлена микроструктура металла лицевого валика шва - точка 1 в соответствии с вышеприведенной схемой. На рисунке 6 - микроструктура металла обратного валика (рисунок 4, точка 2). На рисунке 7 - микроструктура участка зоны термического влияния (рисунок 4, точка 3). На рисунке 8 - микроструктура основного металла (рисунок 4, точка 4).

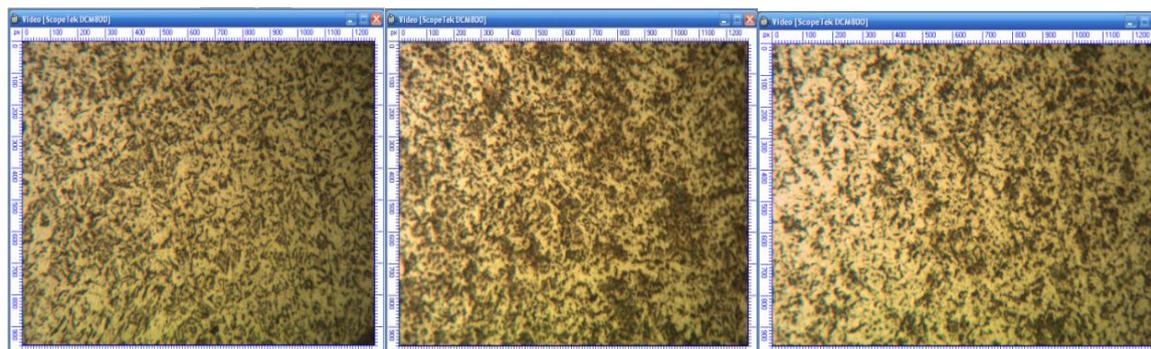


а) без обработки

б) в/о $f=50$ Гц

в) в/о $f=150$ Гц

Рис. 5. Микроструктура металла шва первого прохода, х300

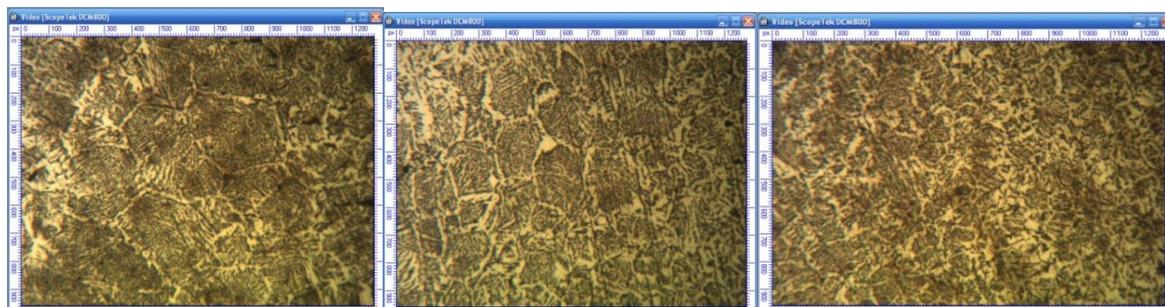


а) без обработки

б) в/о $f=50$ Гц

в) в/о $f=150$ Гц

Рис. 6. Микроструктура металла шва второго прохода, х300

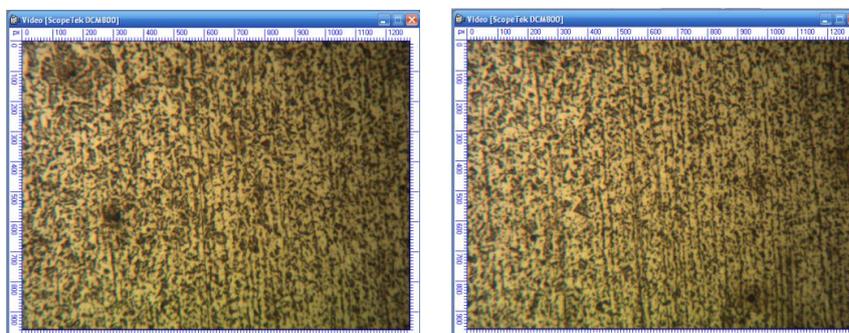


а) без обработки

б) в/о $f=50$ Гц

в) в/о $f=150$ Гц

Рис. 7. Микроструктура металла зоны термического влияния, х300



а) без обработки

б) в/о $f=150$ Гц

Рис. 8. Микроструктура участка основного металла, х300

Произведя визуальный анализ снимков, представленных на рисунке 5, можно установить, что с увеличением возмущающейся частоты сопутствующей вибрационной обработки происходит уменьшение направленности микроструктуры металла лицевого валика сварного шва за счет возникновения в дендритной структуре ветвей дендритов второго и третьего порядка, которые характеризуются меньшими размерами и большей разнонаправленностью в поперечной плоскости шва.

Микроструктура металла сварного шва второго прохода каких-либо значительных изменений, в зависимости от режима обработки, не показала.

Анализ снимков микроструктуры участка металла зоны термического влияния (рисунок 7) выявил снижение размеров зерна участка перегрева. А это, в свою очередь, является значимым фактором, влияющим на прочность при переменных (циклических) нагрузках, особенно, при эксплуатации конструкций в условиях пониженных температур.

Микроструктура основного металла, находящегося вблизи сварного соединения и испытывающего вибрационные нагрузки аналогичные металлу сварного шва остается без изменений.

Из снимков микроструктуры видно, что наибольшее влияние наложение вибрационных колебаний в процессе сварки оказывает на микроструктуру металла лицевого валика (шва второго прохода) и зоны термического влияния. При этом для лицевого валика с увеличением частоты вибрации происходит снижение направленности микроструктуры металла за счёт дробления дендритных ветвей, а в зоне термического влияния наблюдается снижение средней площади размера зерна.

Показанное выше повышение прочностных свойств с точки зрения микроструктуры объясняется, во-первых, вследствие снижения средней площади зерна, во-вторых, благодаря возрастанию количества перлитной фазы в металле сварного соединения с увеличением интенсивности вибрационной обработки. Оценка балла феррито-перлитной структуры проведена компьютерным анализом снимков микроструктуры различных зон сварного соединения с применением программы SIAMS. Результаты оценки приведены в таблице 1, из которой видно, что с увеличением частоты вибрационного воздействия происходит незначительное снижение балла структуры.

Таблица 1. Результаты определения размера зерна феррито-перлитной структуры в программе SIAMS

Частота вибрации, Гц	Размер зерна феррито-перлитной структуры, балл			
	ОМ	ЗТВ	СВ1	СВ2
0	7.5	7.8	7.9	7.2
50	7.5	7.6	7.8	7.1
100	7.5	7.3	7.2	7.0
150	7.5	7.1	7.1	7.0
200	7.5	7.1	7.0	7.0

Примечание: ОМ – основной металл; ЗТВ – зона термического влияния; СВ1 – второй шов; СВ2 – первый шов.

Увеличение прочности обрабатываемых сварных соединений подтверждают и результаты измерения микротвёрдости металла. Для исследования влияния режимов вибрационной обработки на микротвёрдость различных участков сварного соединения нами по ГОСТ 9450 были произведены измерения по схеме, представленной на рисунке 9. Шаг измерений на участке сварного шва составлял 0.25 мм, в зоне термического влияния – 0.50 мм. Оценка твердости производилась при помощи микротвердомера ПТМ-3М1 вдавливанием трехгранной алмазной пирамиды при нагрузке 0.981 Н по зернам перлитной фазы.

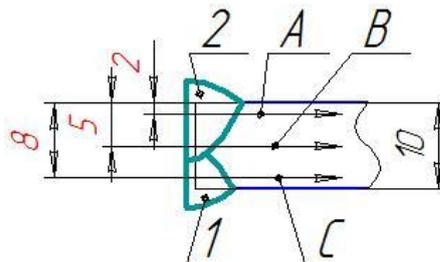
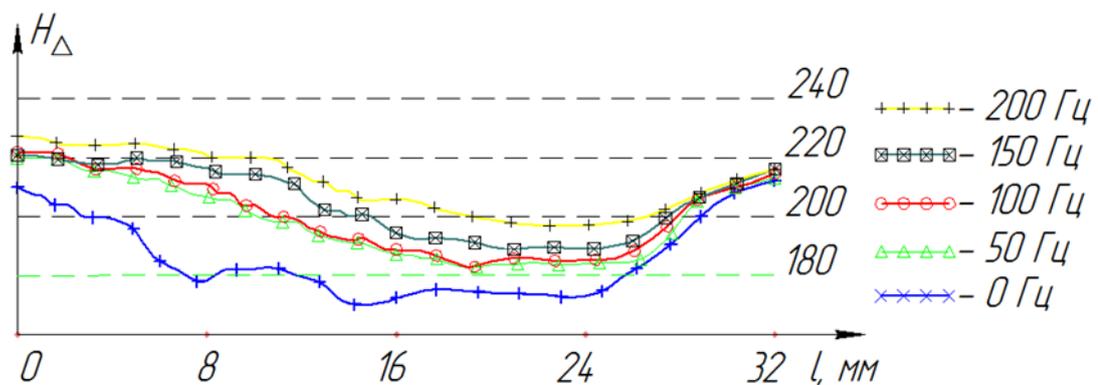


Рис. 9. Схема измерения микротвёрдости

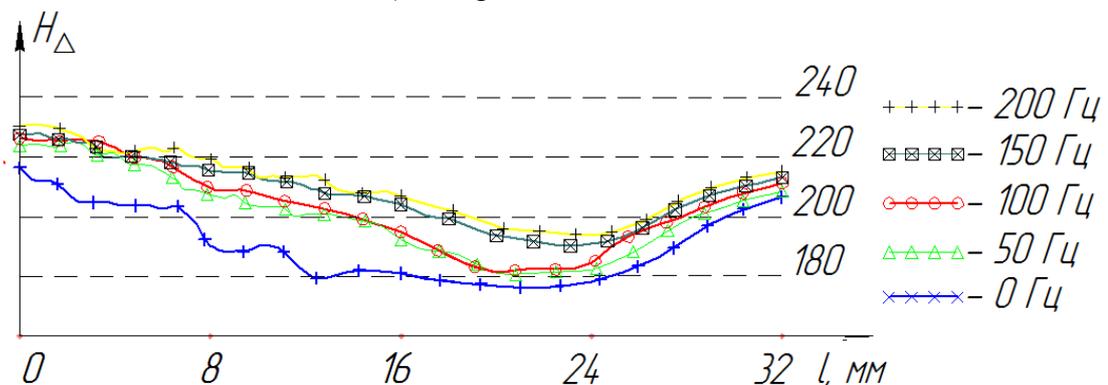
Здесь приняты следующие обозначения:

1 – шов первого прохода; 2 – шов второго прохода; А, В, С – линии измерения микротвердости.

Распределение значений микротвердости металла сварного шва по линиям А, В и С представлено на рисунке 10.



а) измерение по линии А



б) измерение по линии В

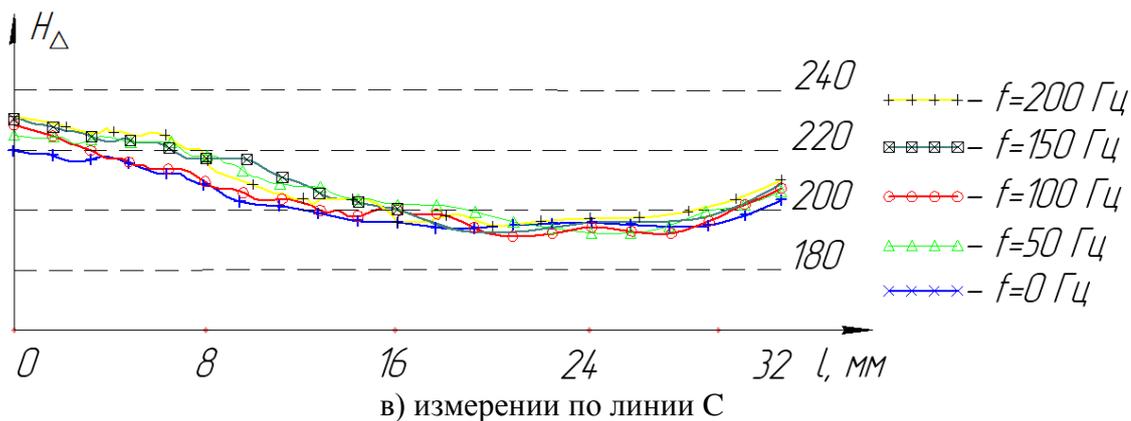


Рис. 10. Распределение микротвердости металла по ширине сварного соединения

Анализ кривых распределения микротвердости по различным участкам сварного соединения показывает, что с увеличением частоты вибрационного воздействия происходит смещение кривых вверх по координатной сетке, т.е. происходит увеличение механических характеристик зерен перлитной фазы. Это в свою очередь подтверждают и результаты механических испытаний металла сварного соединения, представленных в работах [5-6]. При этом с увеличением частоты вибрационного воздействия, происходит сглаживание кривых микротвердости, что свидетельствует о снижении неоднородности механических свойств по ширине сварного соединения. Это в свою очередь увеличивает объем металла сварного соединения, вовлекаемого в пластическую деформацию при статическом нагружении сварных соединений, что является фактором увеличивающим характеристики статической прочности.

Проведенные исследования доказывают положительное влияние вибрационного воздействия на структуру кристаллизующегося металла сварочной ванны. В отличие от вибрационного воздействия при литье, в процессе сварки вибрационную обработку необходимо проводить при больших значениях частоты (100..200 Гц) и меньшей амплитуде (до 1 мм).

Список литературы:

1. Сутырин, Г.В. Снижение остаточных напряжений сварных соединений низкочастотной вибрационной обработкой // Сварочное производство. – 1983. – № 2. – С. 22 – 24.
2. Каретников Д.В., Ризванов Р.Г., Файрушин А.М., Колохов К.С. Повышение надежности нефтегазового оборудования, работающего в условиях значительного перепада температур // Сварочное производство. – 2012. – № 6. – С. 21-25.
3. Ефимов В. А., Эльдарханов А. С. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов. М.: Металлургия, 1995 – 272 с.
4. Игнатъев И.Э., Концевой Ю.В., Игнатъева Е.В., Долматов А.В., Пастухов Э.А. Условия обеспечения турбулентного перемешивания расплавов при их вибрационной обработке низкочастотными колебаниями тигля // Расплавы. – 2010. – №5. – С. 3-9.
5. Голоднов А.И., Сулицин А.В., Хазан Г.Л. Влияние вибрационной обработки на структуру и свойства меди // Расплавы. – 2009. – №5. – С. 38-44.

6. Файрушин А.М., Ризванов Р.Г., Каретников Д.В., Гасимзянов Б.А. Исследование влияния вибрационной обработки стали 09Г2С в процессе сварки на металл сварного шва // Расплавы. – 2017. - № 2. – С. 162-170.

ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ С МНОГОСЛОЙНЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

Котыхова Ольга Анатольевна
кандидат химических наук, доцент кафедры «ХимБиоТех»,
Московского политехнического университета
(107023, Москва, ул. Б. Семёновская, 38),
E-mail: buhtaprov59@mail.ru

Трутнев Николай Степанович кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры
«Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств»,
директор центра «Нано МТ»,
Московского политехнического университета
(107023, Москва, ул. Б. Семёновская, 38),
E-mail: trutnev7@yandex.ru

Самойлова Анастасия Сергеевна
Студентка 2-го курса группы 161-231 Машиностроительного факультета,
Московского политехнического университета
(107023, Москва, ул. Б. Семёновская, 38),
E-mail: tiger.56@mail.ru

Введение.

Многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ) уже нашли применение в получении полимеров, защитных покрытий, цементов, смазочных материалов с улучшенными свойствами, композиционных материалов с повышенной прочностью, электропроводностью, теплопроводностью и т. д. [1,2]. Эти материалы играют важную роль в машиностроении, в частности, автомобилестроении. В современных автомобилях доля разнообразных пластмассовых деталей постоянно растёт. Исследования в области получения новых полимерных материалов не завершены, и существуют перспективы создания веществ и композитов с новыми свойствами.

МУНТ - порошкообразный материал, технологичный в переработке, может быть введен в различные материалы (полимеры, смазки, цементы) как в сухом виде, так и в виде суспензий [3].

МУНТ образуют дисперсные системы с некоторыми растворителями в присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ) [4]. Однако в литературе мало сведений о количественном соотношении смешиваемых компонентов и об условиях получения тех или иных дисперсных систем, об их стабильности и степени дисперсности и методике введения таких суспензий в полимерные матрицы..

Для получения новых ценных свойств МУНТ добавляют в вещества или композиты разной химической природы (углеводородные полимеры, полиэферы, полиамиды), которые находятся в растворах или расплавах. Следовательно, и растворители (и, соответственно, стабилизаторы) для МУНТ требуются разные,