

УДК 669.14-15, 621.78

УПРОЧНЕНИЕ МЕТАЛЛОВ ПЕРИОДИЧЕСКИМ ВОЛНОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

HARDENING OF METALS BY PERIODIC WAVE INFLUENCE

Ильина Екатерина Евгеньевна

аспирант кафедры «Технология металлов и
металловедения».

Университет ИТМО

Тел.: +7(981) 132-93-98

il-190.89@mail.ru

Irina Ekaterina Evgenevna

postgraduate student, the department
«Technology of Metals and Metal».

ITMO University

Ph.: +7(981) 132-93-98

il-190.89@mail.ru

Аннотация. В настоящей статье выполнен обзор нового метода упрочняющей обработки – аэро-термоакустическая обработка. Проведено исследование характеристик акустического поля от полного давления и геометрических параметров установки аэро-термоакустической обработки. Проведено экспериментальное исследование влияния аэро-термоакустической обработки на структуру и свойства конструкционной стали 40X.

Ключевые слова: волновое воздействие, акустическое поле, частота, звуковое давление, колебания, резонатор, металл, упрочнение, ударная вязкость.

Annotation. In current article review of new method – aero-thermoacoustic processing was given. Research of relation of acoustic field from full pressure and geometric parameters of aero-thermoacoustic processing facility was shown. Experimental research of aero-thermoacoustic processing influence to a structure and properties of constructional low alloy steel 40X.

Keywords: wave influence, acoustic field, frequency, acoustic pressure, oscillations, resonator, metal, hardening, Toughness.

Введение

Одним из основных направлений современного материаловедения является развитие новых технологий высокоэнергетического воздействия на детали машин с целью их упрочнения. К наиболее значимой проблеме данного направления можно отнести вопросы поверхностного упрочнения, поскольку, известно, что эксплуатационные свойства металлических изделий в значительной мере определяется состоянием поверхности.

На сегодняшний день актуальной остается задача разработки такого метода упрочняющей обработки, обеспечивающей малые энергозатраты, высокие экономические показатели, экологичность и одновременно с этим позволяющего получить необходимый комплекс характеристик механических свойств, особенно для деталей сложной конфигурации.

Основным трендом развития технологий упрочнения металлов является переход к управлению свойствами материала на все более тонком уровне путем, предусматривающим формирование мелкозернистой структуры различными методами. Перспективным видится разработка нового метода основанного на периодическом воздействии ударными волнами или мощным акустическим полем (аэротермоакустическая обработка – АТАО), содержащим колебания дискретного тона, основано на эффекте возникновения волн Максвелла в поверхностном слое кристаллической решетки [1], который позволит влиять на изменение микроструктуры, субструктуры и дислокационной структуры металлов.

Впервые вопрос о влиянии АТАО на структуру металлов поставлен В.К. Ерофеевым и О.Н. Засухиным. В своих работах они приводят результаты экспериментальных исследований, проведенных на стандартных образцах, деталях и инструменте, изготовленных из различных конструкционных и инструментальных сталей и сплавов (углеродистых и легированных).

Полученные результаты свидетельствуют, что воздействия, осуществляемые при АТАО, на неравновесные структуры и высокий уровень остаточных напряжений,

полученных в материале в результате предшествующей обработки, являются достаточно эффективными управляющими параметрами, позволяющими изменять структуру материалов [2–4] .

Более поздние исследования Д.А. Иванова также подтверждают эффективность воздействия этого метода [5–7] .

Анализ статей дает основание сделать вывод, что метод особенно эффективен для случаев, когда необходимо снизить остаточные напряжения в деталях, а также повысить значение ударной вязкости металлов без снижения характеристик прочности.

На основе полученных экспериментальных данных коллективу исследователей во главе с Усковым В.Н. удалось сформировать теоретическое представление влияния термодинамики импульсных процессов на формирование свойств стали при АТАО, а также определить движущие силы процессов структурообразования [8] .

До сих пор основное внимание уделялось исследованию характеристик образцов, в то время как режимы АТАО мало исследованы. Для восполнения этого пробела разработана экспериментальная установка для АТАО, которая представляет собой газоструйный генератор пульсаций давления. Более подробно механизм возбуждения и спектр частот колебаний донного давления в подобных устройствах рассмотрен в статьях Ускова В.Н. и др. [9, 10, 11] . В настоящей статье приводится исследование характеристик акустического поля, создаваемого установкой, от полного давления и геометрических параметров установки. Проводиться также экспериментальное исследование одного из типичных режимов, на котором выделяется частота дискретного тона акустического излучения.

Методика формирования акустических волн

Для создания сильного акустического поля с заданными параметрами используется, как уже отмечено выше, газоструйный генератор пульсаций давления. Это механический генератор волн давления (ударных и акустических), не имеющий подвижных частей. Источником энергии волн служит кинетическая энергия струи (рис. 1). Главный принцип работы генератора основан на преобразовании энергии сжатого газа в энергию колебаний среды. Процесс преобразования энергии реализуется с помощью возникающих в устройстве автоколебаний, появляющихся в результате взаимодействия дозвуковой, звуковой или сверхзвуковой струи, в зависимости от режима работы, с преградой. При взаимодействии струи с преградой – кромками резонатора – возбуждаются автоколебания в системе струя-резонатор. При этом часть энергии стационарного потока газа преобразуется в акустическое излучение, а в полости резонатора возбуждаются интенсивные пульсации давления.

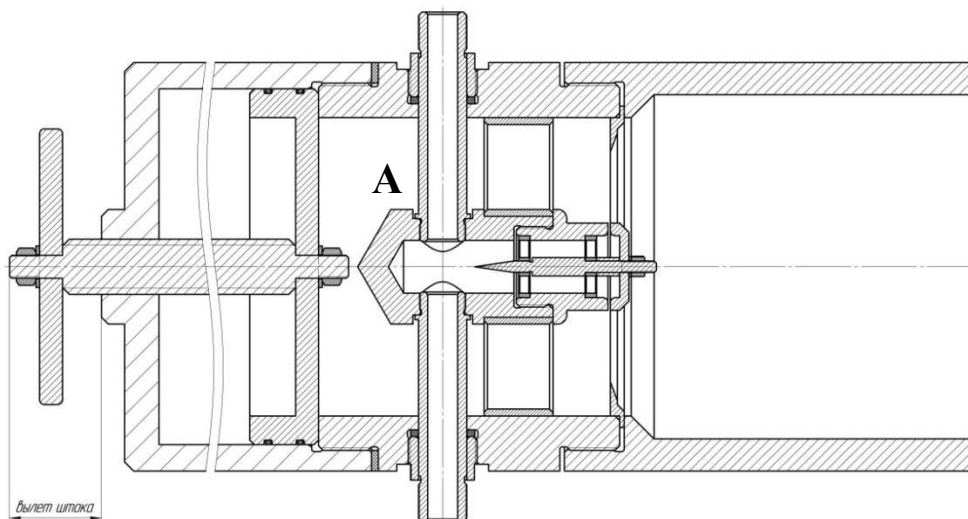


Рисунок 1 – Общий вид резонатора для создания колебаний ударно-волновых структур

Параметры акустического поля создаваемого генератором зависят от характеристик потока, а именно от давления подачи рабочей среды, от величины зазора, определяющего величину проходного сечения кольцевого сопла, и размеров камеры резонирующей полости (А, рис. 1). Таким образом, варьируя эти значения, мы можем создавать акустическое поле с требуемой частотой и интенсивностью.

Результаты и анализ

Экспериментальные исследования режимов АТАО

Экспериментальное исследование технологических режимов АТАО заключалось в измерении характеристик акустического поля в зависимости от полного давления, внутреннего диаметра диафрагмы и размеров/объема резонирующей области (регулируются положением штока).

С этой целью для каждого из сменных технологических колец, регулирующих диаметр канала резонатора: 60, 70, 80, 90 и 100 мм, был проведен следующий комплекс измерений:

- Измерения акустического поля, постепенно наращивая давление в установке от 0,25 до 2 атм с шагом 0,25 атм.
- Измерения акустического поля, указанные в п. 1, для положения штока в 10, 15, 20 и 25 см.

По результатам проведенных измерений получены графики зависимости основных частот от энергии потока (мощности). Примеры результатов проведенных измерений представлены на рисунках 2–6. Графики представлены при минимальном положении штока т.к. именно в данном случае мы имеем минимальный объем резонирующей камеры, что способствует получению максимальной частоты колебаний в установке. В большинстве случаев можно отчетливо отследить главные частоты акустического излучения на каждом из исследуемых режимов. При минимальном диаметре канала резонатора (рис. 4) спектры размытые, тогда как на больших диаметрах режимы дискретного тона (частоты основной колебательной моды) ярко выражены и видны на графиках. На основе полученных данных можно определить наиболее эффективные (с точки зрения энергетического воздействия) режимы для упрочняющей обработки.

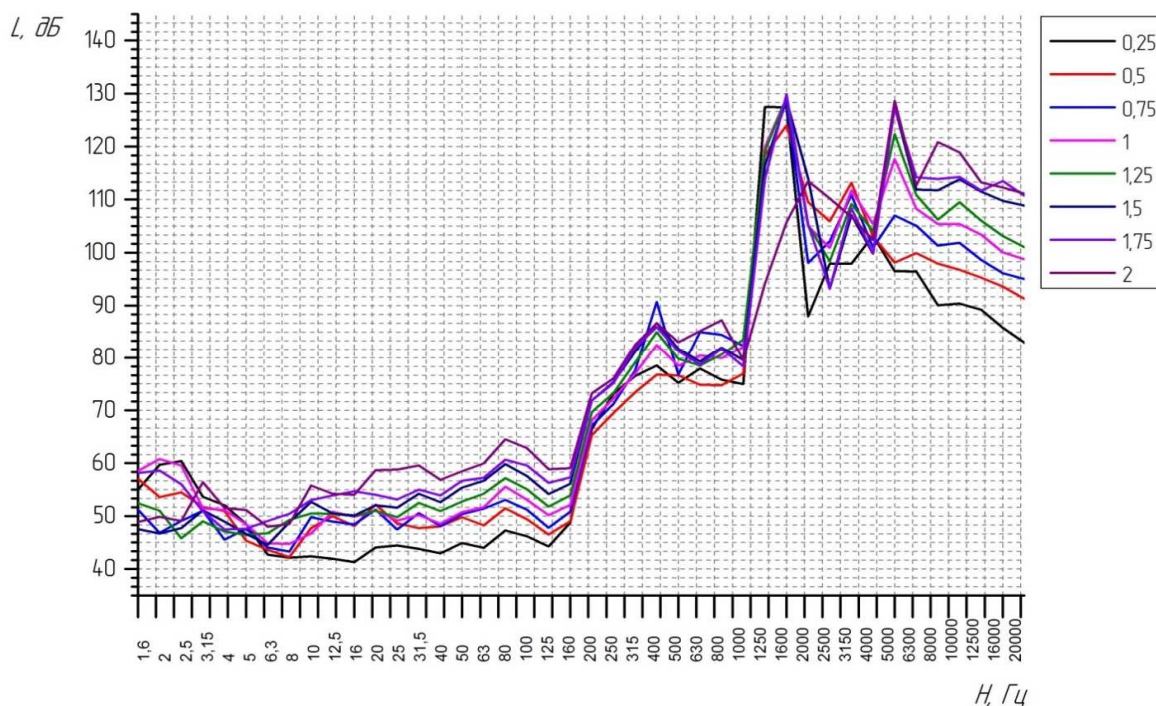
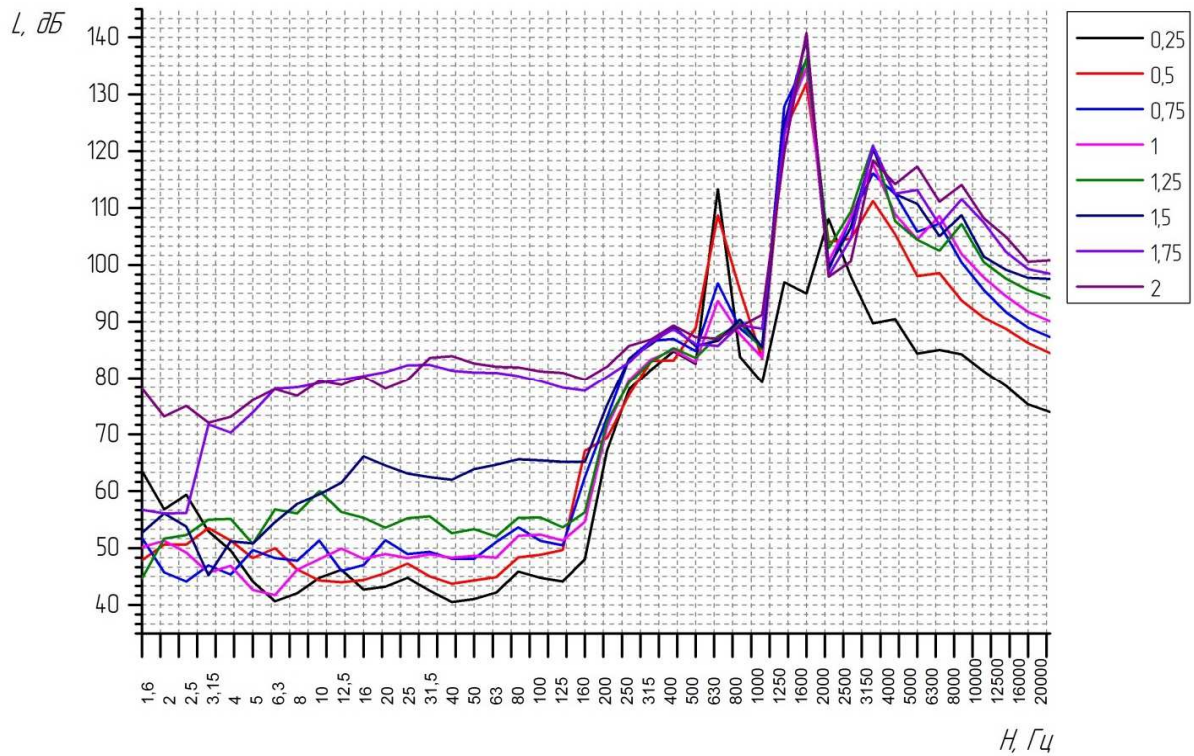
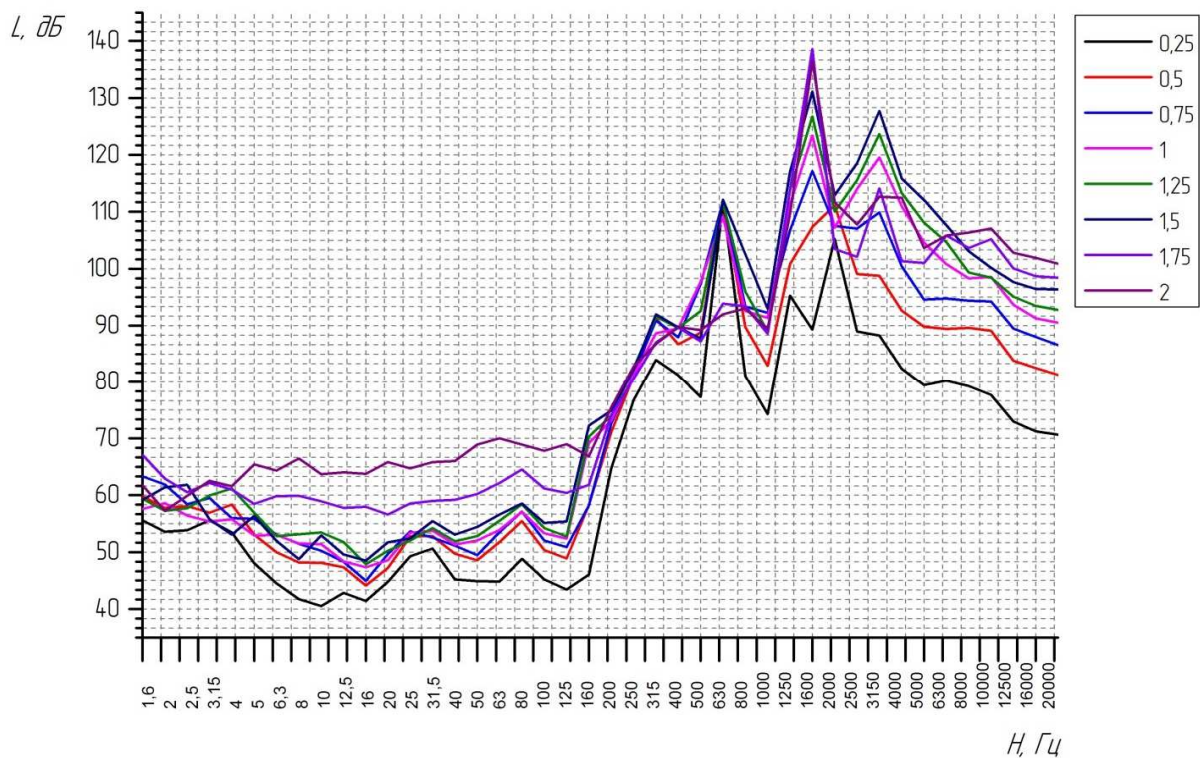


Рисунок 2 – Результаты измерения акустического поля.
Диаметр технологического кольца – 60 мм, положение штока – минимум



**Рисунок 3 – Результаты измерения акустического поля.
Диаметр технологического кольца – 70 мм, положение штока – минимум**



**Рисунок 4 – Результаты измерения акустического поля.
Диаметр технологического кольца – 80 мм, положение штока – минимум**

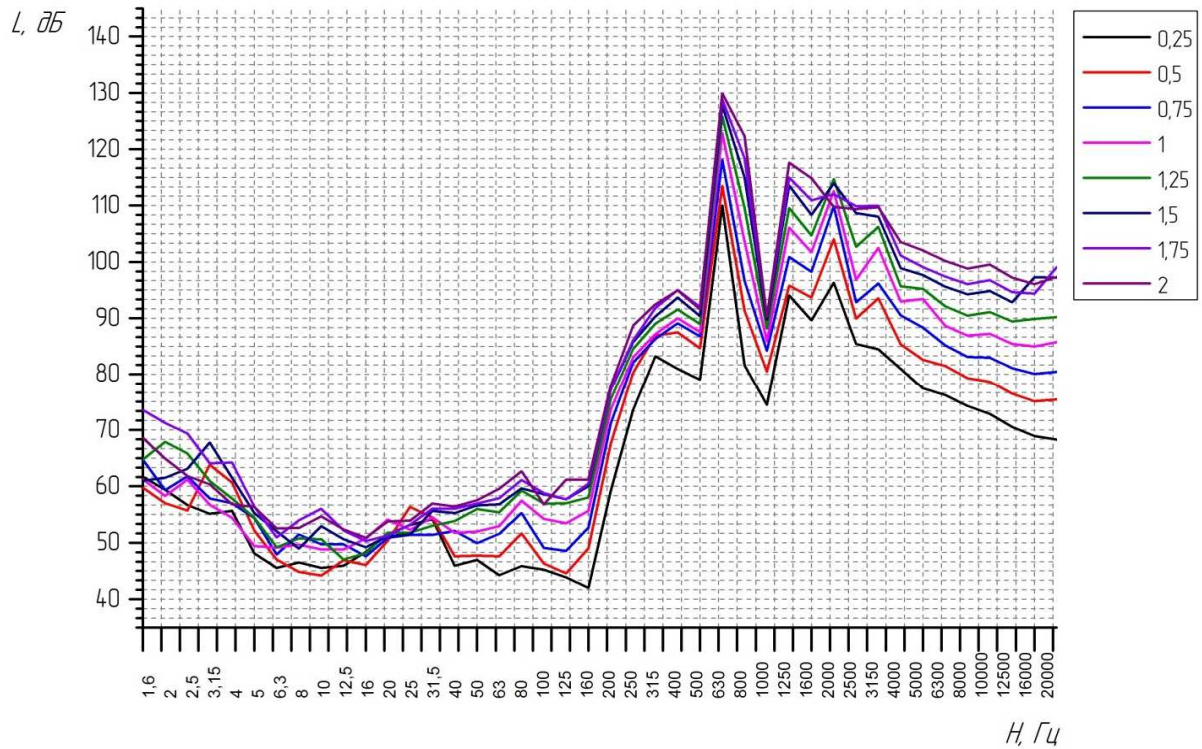


Рисунок 5 – Результаты измерения акустического поля.
Диаметр технологического кольца – 90 мм, положение штока – минимум

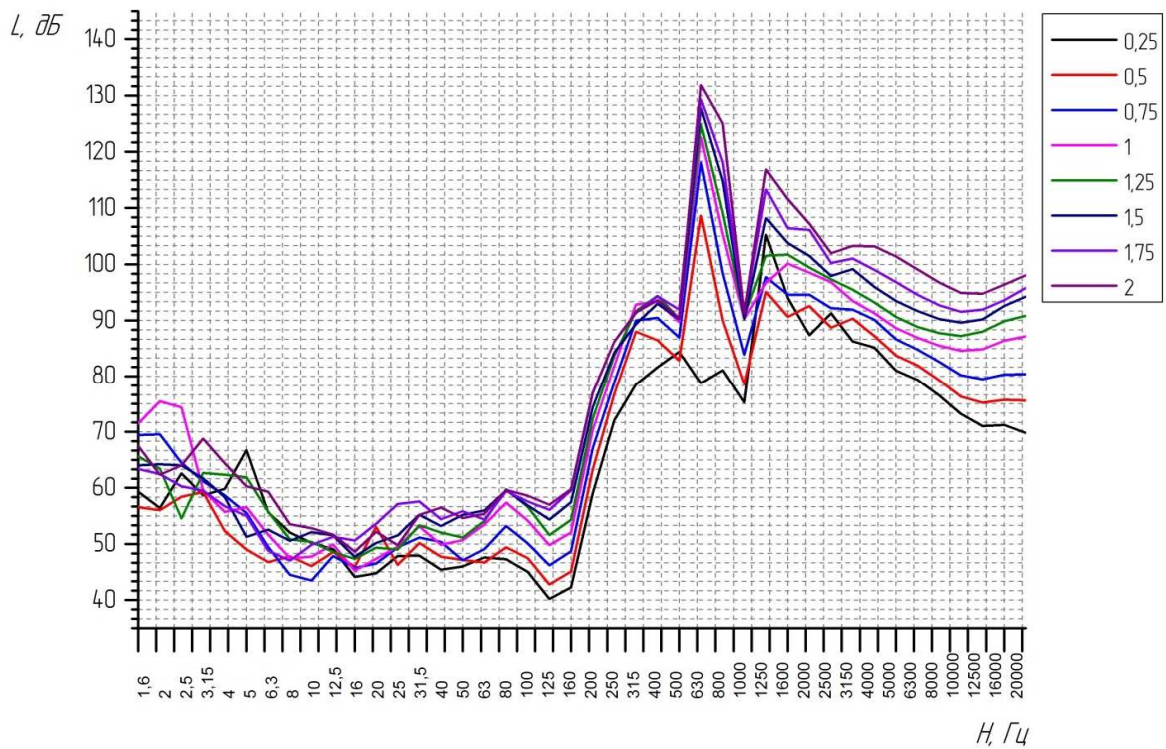


Рисунок 6 – Результаты измерения акустического поля.
Диаметр технологического кольца – 100 мм, положение штока – минимум

Экспериментальное исследование влияния АТАО на структуру и свойства металла

В качестве объекта исследования использовались стандартные ударные образцы, изготовленные из конструкционной низколегированной стали 40Х следующего состава: С – 0,39 %, Si – 0,3 %, Mn – 0,64 %, S – 0,021 %, P – 0,018 %, Cr – 0,95 %, Ni – 0,15 %, Cu – 0,13 %.

Аэротермоакустическая обработка выполнялась следующим образом: образцы из стали в высокопрочном состоянии, достигнутом за счет закалки и низкого/высокого отпуска, помещают на выходе из успокоительной камеры установки (рис. 1), где подвергают воздействию при комнатной температуре пульсирующим дозвуковым воздушным потоком, обладающим частотой колебаний 630 Гц и уровнем звукового давления 129–130 дБ в течение 15–20 минут.

В качестве предварительных режимов термической обработки были выбраны широко используемые на практике в материаловедении режимы:

- закалка 850 °С, выдержка 20 минут, охлаждение – вода;
- низкий отпуск 200 °С, выдержка 30 минут, охлаждение – вода;

Полученные после АТАО образцы исследованы на ударную вязкость (динамические испытания), в том числе сравнительные образцы, которые не подвергались АТАО (только предварительная термическая обработка). Это позволило нам оценить вклад в изменение свойств, полученный именно от воздействия АТАО. Полученные по результатам испытаний образцов значения ударной вязкости после закалки составили 0,0125 МДж/м². Обработка непосредственно после закалки пульсирующим воздушным потоком позволила получить значения ударной вязкости, равные 0,18 МДж/м².

После термической обработки на высокопрочное состояние путём закалки (рис. 7) в воду с температуры 850 °С с последующим низким отпуском при температуре 200 °С и аналогичных закалки и отпуска с дополнительной обработкой при комнатной температуре пульсирующим дозвуковым воздушным потоком, получены, в последнем случае, значения показателя ударной вязкости КСУ, в среднем 0,34 МДж/м² против 0,2 МДж/м² без газоимпульсной обработки, что соответствует повышению сопротивления.

Значения ударной вязкости

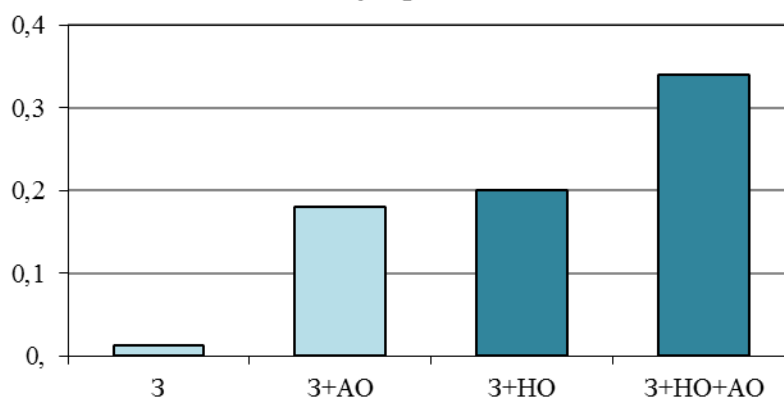


Рисунок 7 – Результаты после различных сочетаний обработки разных видов: закалка (З); АТАО (АО); низкий отпуск (НО)

Традиционно термическая обработка на высокопрочное состояние включает в себя низкий отпуск (НО) продолжительностью 1,5–2 часа. Столь продолжительный отпуск требуется для наиболее полного снятия остаточных напряжений. Как следует из полученных результатов, возможно сокращение в 3–4 раза продолжительности отпуска в случае дополнительного использовании технологического процесса упрочняющей обработки пульсирующим дозвуковым воздушным потоком. Полученные значения ударной вязкости обеспечивают достаточную надёжность благодаря получению высокого комплекса механических свойств. Дополнительная обработка АТАО после традиционных.

Заключение

Выполнено экспериментальное исследование характеристик акустического поля от полного давления и геометрических параметров установки АТАО. Получены графики зависимостей частоты от уровня звукового давления для каждого из сменных технологических колец, регулирующих диаметр канала резонатора и объемов резонирующей камеры в диапазоне значений давления от 0,25 до 2 атм. На основе полученных данных можно определить и выбрать наиболее эффективные (с точки зрения энергетического воздействия) режимы для проведения АТАО. Проведено экспериментальное исследование одного из полученных режимов на структуру и свойства конструкционной низколегированной стали 40Х. Результаты исследования полученных образцов показали увеличение значения показателя ударной вязкости у образцов подвергнутых дополнительной обработке пульсирующим дозвуковым воздушным потоком.

Литература:

1. Ерофеев В.К. Концептуальная модель влияния АТАО на свойства металлических материалов / В.К. Ерофеев, Г.А. Воробьева // *Металлообработка*. – 2009. – № 3. – С. 31–39.
2. Воробьева Г.А. О структурных превращениях в металлах и сплавах под действием импульсной обработки / Г.А. Воробьева, А.Н. Иводитов, А.М. Сизов // *Известия АН СССР. Металлы*. – 1991. – № 6. – С. 131–137.
3. Ерофеев В.К. Влияние аэротермоакустической обработки на свойства литейных и деформируемых алюминиевых сплавов / В.К. Ерофеев, Г.А. Воробьева, Г.А. Лукьянов, П.Г. Генкин // *Металлообработка*. – 2007. – № 4. – С. 21–25.
4. Ерофеев В.К. Исследование влияния аэротермоакустической обработки на структуру инструментальных быстрорежущих сталей и сплавов / В.К. Ерофеев, Г.А. Воробьева // *Металлообработка*. – 2009. – № 6. – С. 34–40.
5. Иванов Д.А. Повышение конструкционной прочности металлических материалов путем обработки нестационарными газовыми потоками без предварительного нагрева // *Технико-технологические проблемы сервиса*. – 2011. – № 4 (18). – С. 24–29.
6. Иванов Д.А. Воздействие газоимпульсной обработки на структуру и механические свойства нормализуемых сталей // *Технико-технологические проблемы сервиса*. – 2013. – № 3 (25). – С. 19–22.
7. Иванов Д.А. Газоимпульсная обработка стальных витых пружин / Д.А. Иванов, О.Н. Засухин, А.П. Иванов // *Технико-технологические проблемы сервиса*. – 2014. – № 3 (29). – С. 20–24.
8. Воробьева Г.А. Аэротермоакустическая обработка сталей и сплавов / Г.А. Воробьева, В.Н. Усков // *Балтийский государственный технологический университет*. – СПб., 2012. – 132 с.
9. Усков В.Н., Булат П.В. Об исследовании колебательного движения газового подвеса ротора турбохолодильных и детандерных машин. Часть I. Постановка задачи.

References:

1. Erofeyev V.K. Conceptual model of influence of ATAО on properties of metal materials / V.K. Erofeyev, G.A. Vorobyova // *Metal working*. – 2009. – No. 3. – P. 31–39.
2. Vorobyova G.A. About structural transformations in metals and alloys under the influence of pulse processing / G.A. Vorobyova, A.N. Ivoditov, A.M. Sizov // *News of Academy of Sciences of the USSR. Metals*. – 1991. – No. 6. – P. 131–137.
3. Erofeyev V.K. Influence of aero thermoacoustic processing on properties of the foundry and deformed the alyuminevykh alloys / V.K. Erofeyev, G.A. Vorobyova, G.A. Lukyanov, P.G. Genkin // *Metal working*. – 2007. – N 4. – P. 21–25.
4. Erofeyev V.K. Research of influence of aero thermoacoustic processing on structure of tool quick cutting steels and alloys / V.K. Erofeyev, G.A. Vorobyova // *Metal working*. – 2009. – N 6. – P. 34–40.
5. Ivanov D.A. Increase of constructional durability of metal materials by processing by non-stationary gas streams without preliminary heating // *Technical and technological problems of service*. – 2011. – No. 4 (18). – P. 24–29.
6. Ivanov D.A. Impact of gas-pulse processing on structure and mechanical properties the normalized staly // *Technical and technological problems of service*. – 2013. – No. 3 (25). – P. 19–22.

7. Ivanov D.A. Gas-pulse processing of steel twisted springs / D.A. Ivanov, O.N. Zasukhin, A.P. Ivanov // Technical and technological problems of service. – 2014. – No. 3 (29). – P. 20–24.

8. Vorobjeva G.A. Aero thermoacoustic processing staly and alloys / G.A. Vorobjeva, V.N. Uskov // Baltic state technological university. – SPb., 2012. – 132 p.

9. Uskov V.N., Bulat P.V. About research of an oscillating motion of gas subweight of a rotor turbo-refrigerator and the detandernykh of cars. Part I. Problem definition.