



Мовчанюк А. В.

Луговской А. Ф.

*Национальный
технический
университет
Украины
„Киевский
политехнический
институт”*

Клейман Я. И.

Кудрявцев Ю. Ф.

**INTEGRITY TESTING
LABORATORY INC.,
Канада**

УДК 621.787.6

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ РЕЛАКСАЦИОННОЙ ВИБРОУДАРНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ

Наведено результати експериментальних досліджень роботи ультразвукового інструменту для віброударної обробки поверхні металів.

The results of experimental studies of ultrasound stress treatment tool for metal surface.

Введение.

В настоящее время металлы и их сплавы являются основным сырьем для машиностроительного производства. Их свойства определяют надежность, долговечность и стоимость металлических конструкций. Интенсивное развитие промышленного производства повышает требования к основным свойствам металлов и сплавов с целью повышения характеристик промышленной продукции. С этой целью создаются новые сплавы с улучшенными свойствами, совершенствуются способы их обработки и повышения характеристик. Одной из самых важных характеристик металла является его прочность.

Увеличения прочности металлов можно добиться за счет увеличения числа дислокаций и создания тонкой субмикроскопической неоднородности строения. Эффективным средством повышения числа дислокаций является пластическая деформация металлов [1]. При пластической деформации поверхности повышаются прочностные характеристики, сопровождаемые снижением пластичности металлов, наблюдается искажение структуры металла, повышение твердости и повышение выносливости.

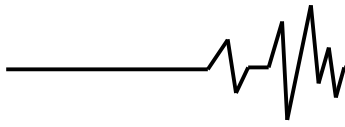
Пластическая деформация поверхности металла может осуществляться различными способами и методами. К ним можно отнести

обкатку шариками и роликами, деформацию поверхности металла различными ударными и виброударными инструментами. При этом основное различие между ними заключается в энергии воздействия на поверхность металла, конструкции привода и физическом принципе возбуждения колебаний инструмента [2-4].

Одним из эффективных способов получения поверхностной пластической деформации является обработка поверхности металла при помощи виброударного инструмента, где в качестве возбудителя используется ультразвуковой резонансный привод [5].

Такой виброударный инструмент состоит из ультразвукового резонансного привода на пружине и бойков-ударников. При прижатии ультразвукового резонансного привода к бойкам (создание натяга в системе) в парах привод-боек и боёк-обрабатываемая поверхность возбуждается виброударный режим работы.

Введение в конструкцию систем обработки металлов между обрабатываемой поверхностью и ультразвуковым резонансным приводом промежуточных элементов или передаточных звеньев, пружинных демпферов и т.п. сильно усложняет характер происходящих процессов [6] по сравнению с простейшими моделями, такими как модель Русакова-Харкевича. Влияние на характер



процессов оказывают также элементы конструкции, режимы обработки и свойства обрабатываемого металла.

В работе [7] была рассмотрена математическая модель подобного инструмента и установлено, что на области существования виброударного режима влияют абсолютно все параметры системы: масса, амплитуда колебаний и рабочая частота ультразвукового резонансного привода, масса бойка и параметры обрабатываемого металла. Поэтому большое практическое значение имеет экспериментальное исследование режимов работы инструмента.

Целью данной работы является получение рекомендаций по выбору рациональных режимов работы ультразвукового резонансного виброударного привода путем проведения экспериментального исследования.

Экспериментальная установка состоит из резонансного вибрационного привода и электронного блока системы управления (рис.1). Блок управления позволяет изменять и поддерживать амплитуду механических колебаний рабочей поверхности пьезопреобразователя при изменении параметров нагрузки. Амплитуда механических колебаний может принимать четыре фиксированных значения. Соответствие номера режима и амплитуды колебаний рабочего торца ультразвукового инструмента проверялось с помощью индикатора амплитуды механических колебаний UVM-4M (таблица 1).

Таблица 1

| Номер режима | Амплитуда колебаний (мкм) |
|--------------|---------------------------|
| 1 | 8 |
| 2 | 12 |
| 3 | 16 |
| 4 | 19 |



Рис. 1. Внешний вид экспериментальной установки

Резонансный вибрационный привод конструктивно состоит из нескольких составных частей (рис.2). Ультразвуковой преобразователь в стакане 3 и пружина 2 образует пару пружина - ударник. Головка 4 крепится к наружной поверхности стакана пьезопреобразователя и служит направляющей для бойка. Наружный стакан 5 совместно с ручкой-держателем 1 придает жесткость всей конструкции и служат направляющей для движения пьезопреобразователя.

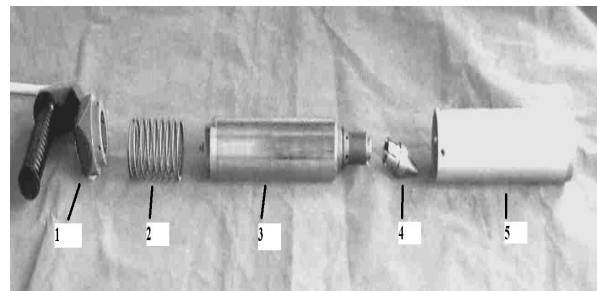
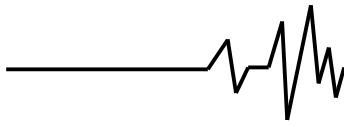


Рис. 2. Резонансный вибрационный привод. (1- ручка-держатель, 2- пружина, 3- пьезопреобразователь в стакане, 4- головка, 5- наружный стакан)

Для исследования работы привода можно изменять ряд параметров, влияющих на режим его работы. А именно, амплитуду колебаний ультразвукового преобразователя, статическую силу прижима, изменяющую величину натяга в виброударной системе, жесткость пружины и массу бойка. Изменение амплитуды колебаний ультразвукового преобразователя привода легко осуществлять при помощи изменения параметров электронного блока системы управления. В частности, изменение выходного напряжения ультразвукового генератора будет приводить к изменению амплитуды колебаний ультразвукового преобразователя привода. Изменение жесткости пружины ограничено рядом факторов. С одной стороны, при малой жесткости пружины будет невозможна работа ультразвукового инструмента в вертикальном положении, когда рабочий торец направлен вверх. Это обусловлено тем, что ультразвуковой преобразователь будет сжимать пружину собственным весом. С другой стороны, при чрезмерной жесткости пружины к ультразвуковому пьезопреобразователю необходимо подводить большую мощность для поддержания амплитуды колебаний даже при малых натягах. При жесткой пружине привод будет затруднительно использовать в качестве ручного – для создания натяга, необходимы большие физические усилия. Изменение массы



бойка также ограничено. Диаметр рабочего торца пьезопреобразователя определяет амплитуду колебаний. Поэтому, диаметр бойка не может превышать диаметр рабочей поверхности пьезопреобразователей. При обработке поверхностей сложной конфигурации необходимо использовать обойму из нескольких бойков. При уменьшении диаметра бойка, ухудшается его осевая устойчивость при динамическом воздействии ударника. Это приводит к тому, что при уменьшении диаметра бойка необходимо уменьшать его длину, а следовательно и его массу. В связи с тем, что кинетическая энергия бойка зависит от его массы, уменьшение массы ведет к уменьшению кинетической энергии, а значит и интенсивности воздействия на обрабатываемую поверхность. В связи с этим, наиболее целесообразно использовать бойки диаметром от 3 до 5 мм. Однако, в случае бойков малого диаметра наблюдается их интенсивный износ. Следовательно, наиболее целесообразно проводить исследования при неизменной массе бойка. Исходя из этого, можно предположить, что при проведении экспериментов, наиболее целесообразно изменять только два параметра – натяг в системе и амплитуду колебаний.

Еще одним методом является измерение силы удара бойка о плиту. По импульсу силы можно судить о скорости бойка в момент соударения, а так же измерить частоту ударов. Экспериментальная установка (рис.3) состоит из ультразвукового инструмента, бойка и плиты. При этом на плите закреплен пьезодатчик, регистрирующий удары бойка о плиту. Сигнал с пьезодатчика усиливался, подвергался аналогово-цифровому преобразованию, а затем регистрировался с помощью АЦП.

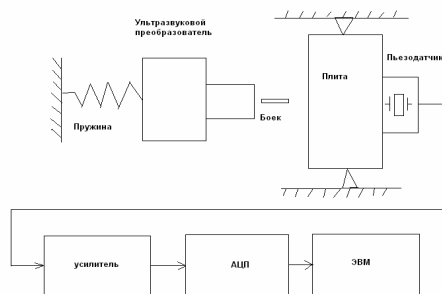


Рис. 3. Экспериментальная установка для измерения скорости бойка при помощи пьезодатчика

С целью проверки работы привода снимались сигналы ударов бойка о плиту при различных натягах в системе и различных амплитудах колебаний торца вибрационного резонансного привода. Соответствие между натягом в системе и статической силой прижима приведены в таблице 2.

Таблица 2

| Натяг (мм) | Статическая сила прижима (Н) |
|------------|------------------------------|
| 5 | 25 |
| 10 | 30 |
| 15 | 35 |
| 20 | 45 |

В результате экспериментов были получены сигналы, пропорциональные скорости бойка в момент соударения с плитой.

Анализ экспериментальных данных.

Анализ экспериментальных данных в частотной и временной областях проводился в среде MatLab. Исследовались зависимости спектральной мощности скорости бойка от амплитуды колебаний ультразвукового инструмента при различных натягах в системе (рис.4 – рис.7). Из полученных зависимостей видно, что в виброударной системе основная мощность сосредоточена в полосе частот от 5 кГц до 10кГц. В связи с тем, что данная полоса частот отлична от частоты возбуждения 22 кГц, можно сказать, что данная колебательная система является нелинейной, а следовательно, при работе инструмента имеет место виброударный режим. Отметим, что при всех значениях натяга в системе при различных амплитудах полученные спектральные характеристики имеют схожий вид. С ростом амплитуды колебаний увеличивается амплитуда спектральных составляющих в полосе частот 5-10 кГц, а так же при увеличении амплитуды колебаний появляются низкочастотные составляющие спектра в диапазоне десятки герц – единицы килогерц. Это можно объяснить появлением нелинейной амплитудной модуляции, когда высокочастотные сигналы следуют пачками переменной длительности с изменяющимся периодом. Можно предположить, что чем выше уровень низкочастотных составляющих, тем интенсивнее идет виброударное воздействие на обрабатываемую поверхность. Как видим, при постоянном натяге при увеличении амплитуды растет интенсивность воздействия.

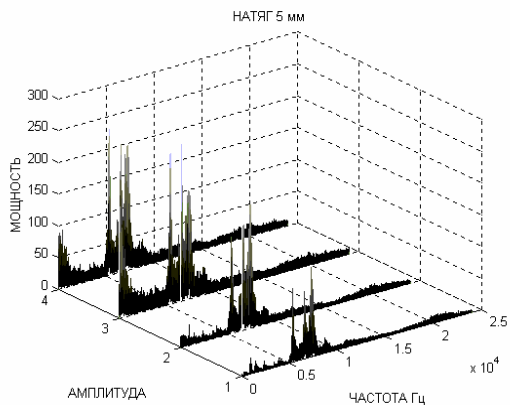
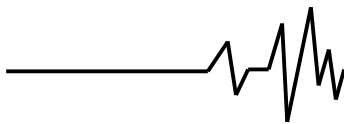


Рис. 4. Зависимость спектральных составляющих скорости бойка от амплитуды колебаний ультразвукового преобразователя привода при натяге 5мм

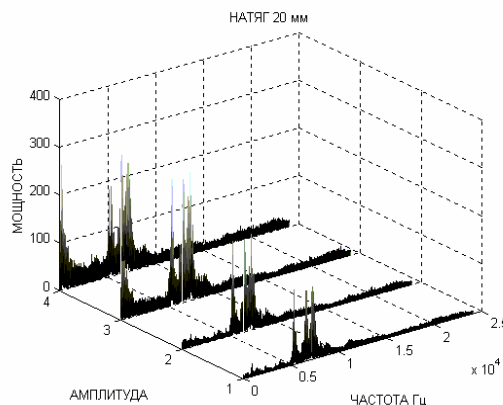


Рис. 7. Зависимость спектральных составляющих скорости бойка от амплитуды колебаний ультразвукового преобразователя привода при натяге 20мм

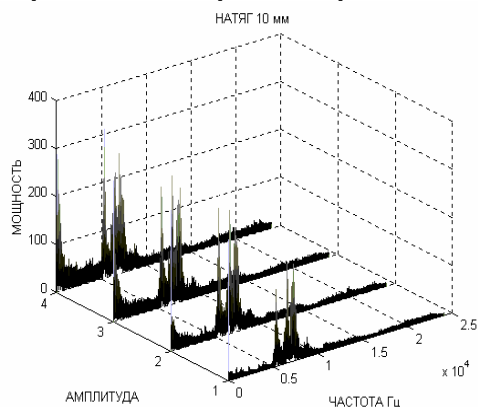


Рис. 5. Зависимость спектральных составляющих скорости бойка от амплитуды колебаний ультразвукового преобразователя привода при натяге 10мм

Рассмотрим поведение спектральных составляющих колебаний бойка при постоянной амплитуде и переменном натяге (рис.8 –рис.11).

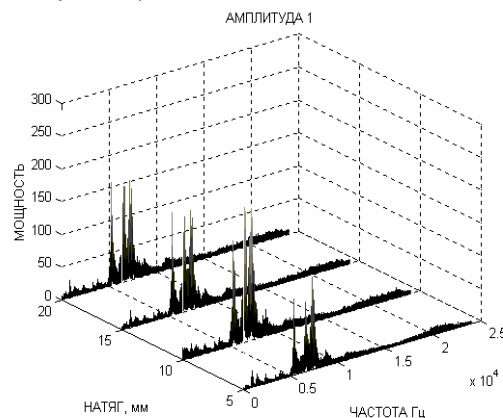


Рис. 8. Зависимость спектральных составляющих скорости бойка от натяга при амплитуде колебаний привода 1

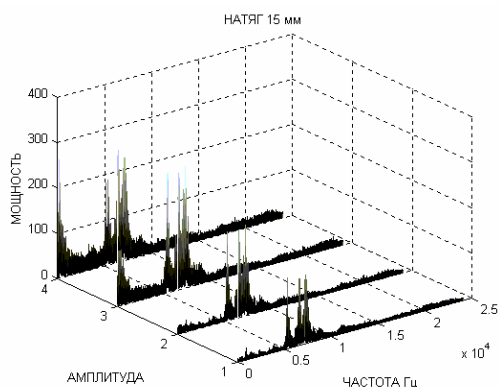


Рис. 6. Зависимость спектральных составляющих скорости бойка от амплитуды колебаний ультразвукового преобразователя привода при натяге 15мм

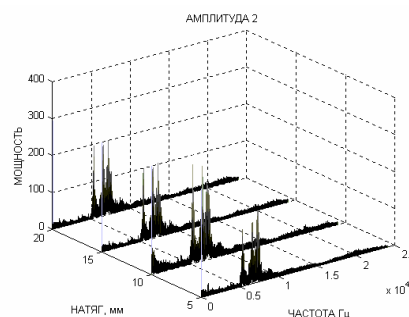


Рис. 9. Зависимость спектральных составляющих скорости бойка от натяга при амплитуде колебаний привода 2

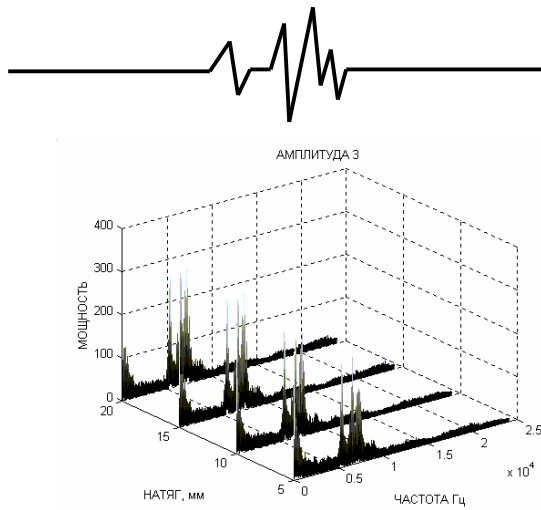


Рис. 10. Зависимость спектральных составляющих скорости бойка от натяга при амплитуде колебаний привода 3

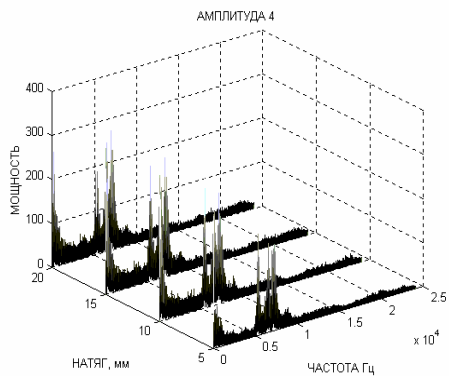


Рис. 11. Зависимость спектральных составляющих скорости бойка от натяга при амплитуде колебаний привода 4

При увеличении натяга в системе происходит рост высокочастотных и низкочастотных составляющих спектра. Однако при больших натягах спектр сигнала практически не изменяется. При этом форма спектра практически не изменяется. Однако следует отметить, что при амплитуде колебаний ультразвукового инструмента менее 5 мкм виброударный режим не наблюдался.

Проведем анализ работы экспериментальной установки во временной области. Фрагмент измеренного сигнала пропорционального скорости бойка (рис.12) показывает, что удары бойка о плиту следуют пачками. При этом при изменении амплитуды при постоянном натяге (рис.13) длительность пачки увеличивается.

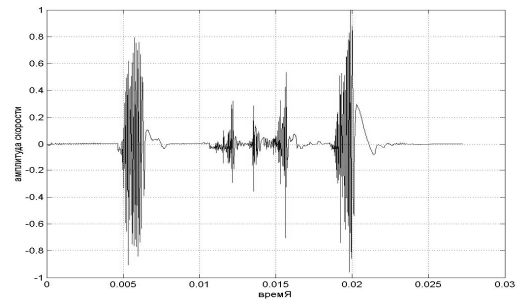


Рис. 12. Пример фрагмента измеренного сигнала пропорционального скорости бойка

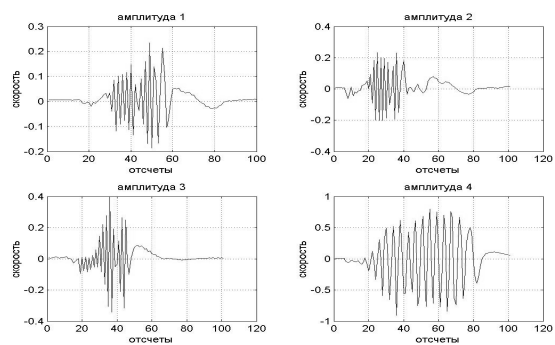


Рис. 13. Пример фрагмента измеренного сигнала пропорционального скорости бойка при различных амплитудах ультразвукового преобразователя привода

При работе вибрационного резонансного привода с увеличенными амплитудой и натягом растет потребляемая мощность. При этом зависимость от натяга практически линейная. Зависимость от амплитуды линейна только при больших амплитудах колебаний.

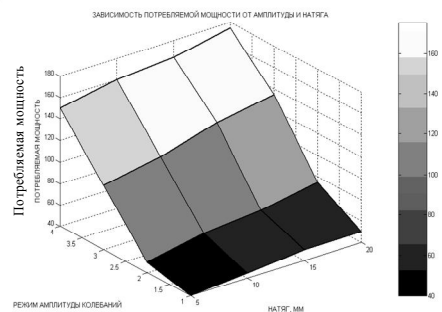
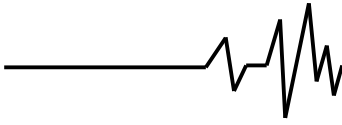


Рис. 14. Зависимость потребляемой мощности вибрационного резонансного привода от амплитуды и натяга



Средняя скорость бойка наиболее существенно зависит от натяга. При этом с увеличением натяга средняя скорость сначала возрастает, а затем начинает снижаться. Причем, при малых амплитудах колебаний ультразвукового преобразователя привода средняя скорость существенно падает.

был осуществлен переход к дискретному сигналу:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N V(n),$$

где: N - число отсчетов сигнала; n - номер текущего отсчета.

Как видим, с увеличением амплитуды (рис.17) мощность ударов возрастает, а при увеличении натяга вначале растет, а затем остается практически неизменной.

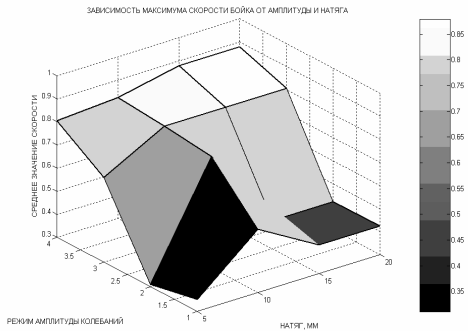


Рис. 15. Зависимость максимальной скорости бойка от амплитуды и натяга

Следует отметить, что средняя скорость бойка (рис.16) ведет себя аналогично максимуму скорости.

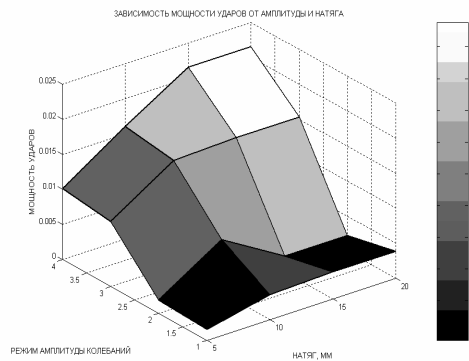


Рис. 17. Зависимость мощности ударов бойка от амплитуды и натяга

Если рассмотреть отношение мощности ударов к потребляемой приводом мощности (рис.18), то оптимальной является работа при натяге 10-15 мм. При этом с увеличением амплитуды колебаний ультразвукового преобразователя привода натяг должен быть несколько увеличен.

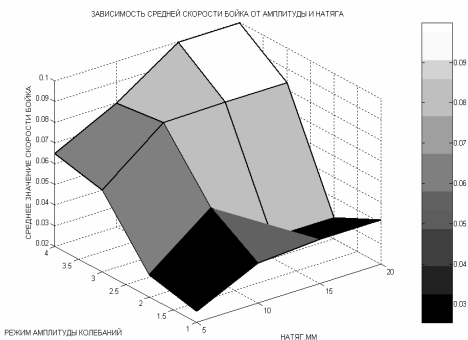


Рис. 16. Зависимость средней скорости бойка от амплитуды и натяга

Представим мощность ударов бойка о плиту как

$$P = \frac{1}{t} \cdot \int_0^t V^2(\tau) d\tau,$$

где: P - мощность ударов; t - время наблюдения; V - скорость бойка в моменты соударения; τ - текущее время.

В связи с тем, что сигнал скорости колебаний бойка представлен дискретной величиной, знак интеграла был заменен знаком суммы. А от непрерывного сигнала скорости

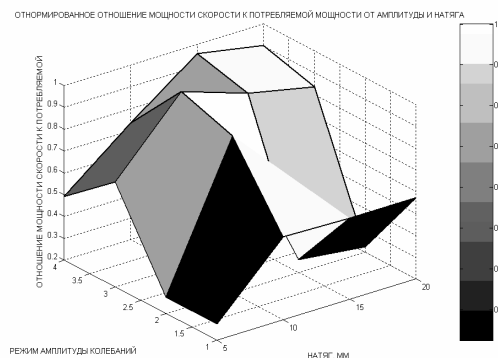
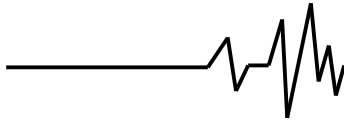


Рис. 18. Зависимость отнормированного отношения мощности ударов бойка к потребляемой приводом мощности от амплитуды колебаний и натяга



Проведенный анализ экспериментальных данных показывает, что при увеличении амплитуды колебаний ультразвукового преобразователя привода увеличивается интенсивность виброударного воздействия на обрабатываемую поверхность. С увеличением натяга в системе эффективность работы сначала возрастает, а затем уменьшается. При этом для каждой амплитуды колебаний существует оптимальный натяг. Чем больше амплитуда колебаний, тем больше должен быть натяг. Стабильная работа резонансного вибрационного привода подтверждает правильность выбора схемы управления.

Выводы

Экспериментальное исследование позволило установить, что основными параметрами, влияющими на эффективность работы резонансного виброударного привода и определяющими достигаемый технологический результат при заданной массе бойков, являются амплитуда колебаний и величина натяга в колебательной системе.

Литература

1. Балтер М.А. Упрочнение деталей машин. - 2-е изд., перераб. И доп.-М.: Машиностроение, 1978.-184с., ил.
2. Бабичев А.П., Бабичев И.А., Шевцов С.Н., Аксенов В.Н. Новый инструмент для

отделочно-упрочняющей обработки лекальных поверхностей – шарико-стержневой упрочнитель (ШСУ). Вибрации в технике и технологиях. №2(14). 2000г. с.1-6.

3. Муханов И.И., Голубев Ю.М., Комиссаров В.И. Ультразвуковая упрочняюще-чистовая обработка деталей машин и инструментов. Передовой научно-технический и производственный опыт. №20-67-1323/17. 1967г. с.1-10.

4. Марков А.И. Ультразвуковая обработка материалов. М.: Металлургия, 1980. 237 с.

5. Патент № UA 68264; 15.07.04. Бюл. № 7; Прокопенко Г.І., Луговський О.Ф., Чорний В.І., Мовчанюк А.В., Фесіч В.П., Клейман Я.І., Кудрявцев Ю.Ф. Ультразвуковий інструмент для деформаційного зміцнення і релаксаційної обробки металів.

6. Виброударные системы (Динамика и устойчивость). Кобринский А.Е. и Кобринский А.А., Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука» , Москва, 1973, 592 стр.

7. Мовчанюк А.В., Луговской А.Ф., Чорный В.И., Прокопенко Г.І. Динамическая модель ультразвукового инструмента для виброударной обработки поверхности // Всеукраїнський науково-технічний журнал "Промислова гідроліка і пневматика", №4(6), 2004.