

В. К. Лобанов, д-р техн. наук,
Г. И. Пашкова, канд. техн. наук, Харьков, Украина

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ЛИТЫХ КОРПУСОВ РЕДУКТОРОВ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

На підставі виконаного дослідження обрана оптимальна схема вібраційної обробки виливків складнопрофільних деталей з алюмінієвих сплавів в процесі їх виготовлення. Показана висока ефективність застосування такої обробки для стабілізації геометричних параметрів литих корпусів редукторів гусеничних машин.

На основании проведенного исследования выбрана оптимальная схема вибрационной обработки отливок сложнопрофильных деталей из алюминиевых сплавов в процессе их изготовления. Показана высокая эффективность применения такой обработки для стабилизации геометрических параметров литых корпусов редукторов гусеничных машин.

V. K. LOBANOV, G. I. PASHKOVA

OPTIMIZATION OF CAST VIBRATING PROCESSING PARAMETERS CASES OF CATERPILLAR MACHINES REDUCERS

On the basis of conducted studies was selected the optimum scheme of vibrating processing of castings of complex-profile parts from aluminium alloys in the process of their manufacturing. The high efficiency of the use of this process for stabilization of geometrical parameters of the casted caterpillar machines gearboxes was shown.

Одной из главных задач современного машиностроения является разработка и внедрение в промышленное производство новых технологий, направленных на повышение работоспособности изделий. Проблема увеличения долговечности и надежности становится особенно актуальной в связи с созданием мощных высокопроизводительных машин, работающих в условиях высоких скоростей и нагрузок.

К числу наиболее ответственных деталей относятся корпуса редукторов приводов систем гусеничных машин. Для изготовления таких деталей широко используются сплавы на основе алюминия. Корпус редуктора – сложная по конфигурации отливка, имеющая более десяти отверстий диаметром от 100 до 255 мм (рис. 1).

Установлено, что в процессе изготовления происходит неоднократное самопроизвольное изменение формы и размеров выполненных отверстий. Зафиксировано также возникновение трещин на корпусах, что является косвенным свидетельством неравномерного напряженного состояния детали и высоких значений растягивающих напряжений.

В настоящее время для снижения напряжений, стабилизации формы и размеров конструкций во многих отраслях промышленности наряду со стабилизационным отпускком применяют вибрационную обработку [1-6], которая

является высокопроизводительным методом, пригодным для сборных, литых, кованных, сварных и горячекатаных конструкций из черных и цветных металлов. При этом параметры прочности, твердости и долговечности не снижаются. Напротив, отмечается эффект снижения склонности металла к трещинообразованию и повышение сопротивления усталости, что безусловно является положительным фактором [7-10].

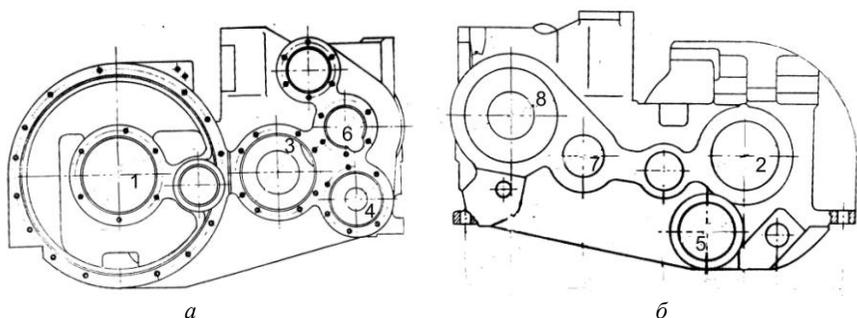


Рисунок 1 – Эскиз корпуса редуктора из сплава АК6Мг:
а – основной вид; б – с тыльной стороны

Кроме того, вибростабилизация применима к конструкциям любых размеров и массы, а оборудование, необходимое для ее осуществления, является весьма простым и малогабаритным. Существенно потенциальное сбережение времени на обработку и затрат энергии. Свобода от многих побочных эффектов, сопровождающих тепловое снятие напряжений – искривление, деформирование, снижение уровня механических свойств, делает процесс еще более привлекательным. Наиболее широкое применение получила низкочастотная резонансная вибрационная обработка.

Отечественная и зарубежная практика использования в промышленности технологии вибрационной стабилизирующей обработки располагает почти полувековым опытом ее поступательного развития. За этот период определены особенности технологии, преимущества и недостатки, области применения, достигнуты определенные успехи в разработке средств оснащения для ее реализации [11-15]. Однако на практике применение этой технологии, несмотря на явные преимущества перед другими методами обработки, сдерживается. Основной причиной является недостаточная информированность о процессах, происходящих в детали под влиянием резонансных динамических колебаний, отсутствие методов для выбора рациональных параметров виброобработки. Следует отметить также, что большая часть рекомендаций относится к обработке сварных конструкций и существенно меньше сведений по практическому применению вибрационной обработки для крупных литых деталей, в том числе из цветных сплавов.

Целью настоящей работы являлась оптимизация параметров вибрационной обработки и оценка ее эффективности для стабилизации геометрических

параметров литых корпусов редукторов гусеничных машин, изготовленных из алюминиевых сплавов.

Для исследований были использованы отливки корпусов, изготовленные из сплава АК6Мг (6,0-8,0 % Si; 0,2-0,4 % Mg; Al – ост.) литьем в кокиль и подвергнутые термообработке по режиму: нагрев до температуры $535 \pm 5^\circ\text{C}$, закалка в воду, старение при 180°C в течение 5 ч. При этом обеспечивались следующие показатели механических свойств: твердость HB ≥ 60 , σ_b 220 МПа, δ 2 %.

Вибрационная обработка корпусов осуществлялась с использованием универсальной экспериментальной установки модели 489Р производства НПО ВИСП. Установка, состоящая из подпружиненного вибростола, вибратора (вибровозбудителя) и пульта управления, позволяет плавно изменять частоту нагружения от 20 до 100 Гц, регулировать возмущающую силу на резонансных частотах в пределах до 12 кН, регистрировать ток, потребляемый вибровозбудителем, и частоту возбуждения колебаний.

Для выбора оптимальной схемы виброобработки было опробовано несколько способов крепления детали и вибратора. Крепление осуществлялось через отверстия в детали с помощью болтов, планок и шайб. Выбирали такие схемы крепления, которые обеспечивали наибольшие относительные виброускорения на основных плоскостях корпусов. При этом в качестве основания, к которому крепился корпус, были опробованы две принципиально различные детали. Первой служила тяжелая (около 0,6 т) фундаментная металлическая плита с пазами для крепления детали, установленная на полу через виброизолирующие прокладки. Корпус к плите крепился жестко. Вторым являлся вибростол, в котором верхняя рабочая плита через четыре пружины соединяется с фундаментной плитой, установленной на виброизолирующих прокладках. Применение вибростола в данном случае обусловлено необходимостью уменьшения уровня шума и меньшими энергозатратами на возбуждение колебаний.

Если при первой схеме вибратор устанавливался на детали, возбуждая колебания той же плоскости, к которой был прикреплен, то на вибростоле возможны две схемы крепления вибратора: либо непосредственно к детали, либо к верхней рабочей плите. Тогда в детали, одной плоскостью скрепленной с плитой, возникают вибрации второй свободной плоскости. Схемы расположения детали и вибратора представлены на рис. 2.

Во всех случаях, и особенно при использовании схем 2, б и в, необходимо было оценить относительные смещения колеблющихся зон детали, которые представляют собой разности перемещений точек на поверхности детали и плиты, на которой деталь закреплена. Если относительное смещение равно нулю, вибронапряжения в детали не возникают, следовательно, виброобработка никакого воздействия на материал детали не оказывает.

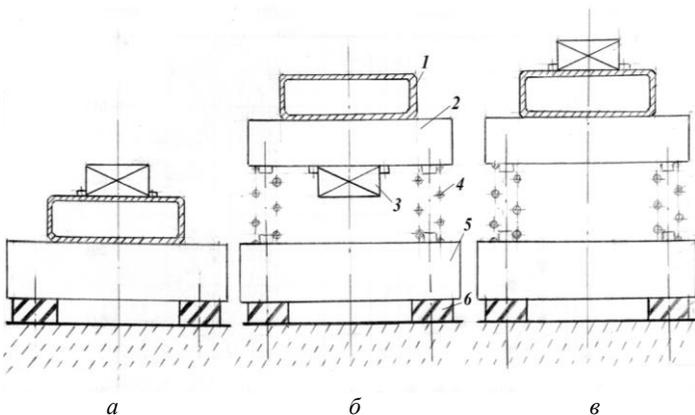


Рисунок 2 – Схема расположения детали и вибратора: 1 – обрабатываемый корпус; 2 – верхняя плита вибростола; 3 – вибратор; 4 – пружина; 5 – нижняя фундаментная плита; 6 – виброизолирующие прокладки

Измерение амплитуд виброперемещений осуществляли с помощью вибродатчика типа ИС 318-1 и высокочастотного милливольтметра ВЗ-38. При этом величина амплитуды оценивалась по уровню максимальных ускорений, достигаемых вибродатчиком в каждой исследуемой точке на длине максимального перемещения. Для всех изучаемых схем установки детали и вибратора измеряли амплитуды перемещений различных точек детали путем переустановки в них вибродатчика. Вибрационную обработку для каждого варианта установки производили в резонансном режиме – таком, при котором ток, потребляемый двигателем вибратора, был минимальным. Если обнаруживали несколько резонансных режимов, то обработку проводили при наиболее устойчивом режиме. Кроме этого, для всех схем крепления производилось измерение амплитуды вибрации основания – верхней поверхности плиты вибростола либо фундаментной плиты.

В работе исследовались следующие варианты схем крепления (нумерация отверстий показана на рис. 1):

Схема 1. Деталь закреплена на фундаментной плите на базе 650 мм через шайбы $\varnothing 90$ мм с помощью болтов, входящих в отверстия 1 и 6 детали (см. рис. 1). Вибратор своей длинной осью (ось двигателя) расположен вдоль оси детали и закреплен на ее верхней (со стороны отверстия 8) поверхности двумя болтами на базе 260 мм. Измерялись виброускорения в 10-ти точках детали и вибрация основания – верхней поверхности плиты в зоне крепления корпуса.

Схема 2. Деталь закреплена на рабочей поверхности верхней плиты вибростола на базе 540 мм через шайбы $\varnothing 90$ мм болтами, проходящими через отверстия 1 и 3. Вибратор закреплен на той же плите, только снизу, ось дви-

гателя вибратора направлена вдоль оси детали. В связи с тем, что верхняя поверхность корпуса полностью свободна, измерения виброускорений производились в 11 точках детали.

Схема 3. Деталь расположена на рабочей поверхности верхней плиты вибростола и закреплена болтами, проходящими через отверстия 1 и 6 и расположенными на расстоянии 650 мм, с помощью шайб \varnothing 90 мм. Вибратор крепится к верхней поверхности детали, при этом ось двигателя вибратора располагается вдоль оси детали. Измерение виброускорений производилось в 9 точках детали.

Схема 4. Деталь закреплена в одной точке (через отверстие 3) с помощью шайбы \varnothing 90 мм и одного болта. Вибратор закреплён на плите вибростола снизу, ось двигателя вибратора вдоль оси детали.

Схема 5. Вибратор расположен аналогично схеме 4. Деталь на плите закреплена на базе 150 мм (через отверстия 3 и центральное (на рис. 1 без номера)).

Схема 6. В данной схеме вибратор, закреплённый под верхней плитой вибростола, располагался относительно оси детали в поперечном направлении. Крепление детали осуществлялось аналогично схеме 3.

Обобщенные результаты измерений представлены в таблице 1. В качестве характеристики амплитуды вибрации приведены величины ЭДС вибродатчика, пропорциональные величинам виброускорений.

Анализ полученных результатов свидетельствует о следующем. Как видно из таблицы, значительные отличия в величинах вибрации в разных точках детали (до 5 раз) и в сравнении с основанием (до 8 раз) дают возможность считать схему 1 весьма эффективной для вибростабилизации. Однако данная схема имеет ряд недостатков чисто технологического свойства:

- высокая трудоемкость подготовительных операций – каждый раз при замене детали нужно снимать вибратор;
- значительный уровень шума и вибрации пола в зоне фундаментной плиты.

Значения данных для схемы 2 показывают, что имеется заметная разница между величинами вибрации основания и детали (до 4 раз) и разных точек детали (до 3 раз). Указанная схема эффективна для вибростабилизации, поскольку максимальная разница амплитуд (в единицах ЭДС вибродатчика) составляет 32...62 mV. Кроме того, схема весьма технологична, так как замена детали в сравнении со схемой 1 существенно упрощена. Недостатком схемы является некоторая неустойчивость резонансного режима, причем в некоторых точках происходит произвольное изменение величины амплитуды в процессе обработки. Шум и вибрация пола в зоне размещения вибростола при данной схеме существенно ниже, чем в 1 случае.

Таблица 1 – Параметры вибрационной обработки по различным схемам литых алюминиевых корпусов

Номер схемы	Параметры режима возбуждения при резонансе		Величина ЭДС вибродатчика в точках, mV												
	Частота, Гц	Ток нагрузки, А	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	основание	
1	63	0,9	30	22	58	70	85	15	40	34	82	46	–	10	
2	83	1,0	30	30	45-60	32	55-70	28	45	32	44	66	58-90	23	
3	83	0,8	75	64	64	84	87	44	87	82	90	–	–	35	
4	4.1	50	1,5	20	25	75	18	44	15	25	35	22	54	45	–
	4.2	63	1,2	22	30	120	18	40-50	25	40	40	30	100	45	–
5	38	34	14	9	78	8	22	10	20	13	14	60	20	–	
6	50	1,5	25	30	80-90	28	35-40	27-35	25-30	25-30	12-18	–	–	16	

Схема 3 по сравнению со схемой 2 имеет то преимущество, что режим обработки очень устойчив во времени. Максимальная разница амплитуд (в единицах ЭДС) вибродатчика составляет 46 mV, что указывает на возможность получения эффективного результата. Шум и вибрация пола в зоне размещения вибростола невелики. Недостаток схемы только один – недостаточная технологичность, т. к. при замене детали нужно крепить не только ее, но и вибратор к ней.

Для проверки стабильности обработки по данной схеме был проведен специальный опыт. Деталь на вибростоле трижды вводилась в резонансный режим. Измеряемые параметры практически совпали, ЭДС вибродатчика при закреплении в соответствующих точках были аналогичны приведенным в таблице. Небольшие отличия (до 5 mV) связаны с точностью установки вибродатчика в соответствующих точках.

Для вариантов 4 и 5 фактически приводятся результаты измерения амплитуд вибраций двух модификаций схемы 2: при неизменном положении вибратора (под рабочей плитой вибростола) менялась база крепления детали.

При креплении детали по схеме 4 были обнаружены два близко расположенных резонансных режима, поэтому в таблице приведены результаты измерения амплитуд вибраций для обоих режимов (4.1 и 4.2). Как показывают данные таблицы, оба резонансных режима весьма близки по амплитудам вибраций практически во всех точках. Поэтому для практических целей могут быть использованы оба режима. Однако недостатком приведенной схемы, несмотря на очевидную ее технологичность, является малая разница амплитуд в большинстве точек измерения. Исключения составляют только точки 3 и 10, обе находящиеся в зоне отверстия 2. Такая неравномерность распределения амплитуд не позволяет рекомендовать указанную схему для дальнейшего использования. Кроме того, шум и вибрация в зоне обработки чрезвычайно велики – без специальной камеры обработку вести нельзя.

Приведенные в таблице результаты измерения амплитуд при использовании схемы 5 показывают, что при высокой разнице их значений в разных точках измерения на поверхности детали резонансный режим обладает токопотреблением, в два раза большим, чем при других схемах, т. е. выведение на резонансный режим происходит сложнее. Кроме того, повышенная сила тока означает, что вибратор работает в более тяжелых условиях, чем при других схемах возбуждения вибраций, а значит можно ожидать, что надежность и долговечность вибратора при применении такой схемы будут пониженными.

Что касается рассматриваемой схемы 6, режим при ней нестабилен, резонанс неустойчив, для его поддержания требуется постоянное присутствие оператора во время обработки.

Анализ достоинств и недостатков всех рассмотренных схем обработки позволил для обработки опытной партии корпусов выбрать схему 3, которая обеспечивает высокий уровень относительных амплитуд вибраций, устойчивое повторение параметров обработки при переустановках, высокую стабильность параметров режима вибраций за все время обработки каждой детали.

Помимо выбора оптимальной схемы виброобработки в данном исследовании было произведено измерение величины напряжений, возникающих в характерных точках детали при виброобработке в резонансном режиме. Необходимость такого исследования обусловлена тем, что в процессе виброобработки в детали возникают циклические напряжения, величина которых не должна превышать предела выносливости. В ином случае часть ресурса по долговечности может быть израсходована на технологические нужды. Поэтому в качестве характерных точек были выбраны те, где предполагались максимальные напряжения. Задача решалась методом электрического тензометрирования с использованием тензорезисторов типа 2ПКБ-10-100Б с базой 10 мм и сопротивлением 100 Ом.

Тензорезисторы были наклеены по стандартной методике клеем циакрин в продольном и поперечном направлении в зонах с высокими (датчики № 1, 2, 3) и небольшими (датчик № 4) амплитудами вибраций. При этом исходили из следующих предпосылок. По своей конструкции корпус представляет конструктивный элемент коробчатого типа. В местах заделки верхней и нижней плоскостей, колеблющихся аналогично заделанным по контуру мембранным пластинам, можно ожидать минимальных амплитуд (место максимальной жесткости), но максимальных напряжений. Наоборот, в средней части колеблющейся мембраны могут иметь место максимальные амплитуды перемещений и минимальные напряжения.

Измерение и запись показаний тензорезисторов производились с помощью тензоусилителя 8АНЧ-7М и самописца Н-338. Тарировка показаний тензорезисторов производилась с помощью изгиба стандартной балки равного сопротивления.

В таблице 2 приведены результаты тензометрирования при виброобработке по схемам 1 и 3.

Таблица 2 – Значения напряжений при вибрационной обработке алюминиевых корпусов по различным схемам

Номер точки	Значения напряжений, МПа	
	при виброобработке по схеме 1	при виброобработке по схеме 3
1	1,0	0,5
2	5,6	1,0
3	1,4	0,6
4	11,2	2,5

Из данных таблицы 2 следует, что при использовании обеих исследуемых схем возбуждения вынужденных колебаний даже в резонансном режиме максимальные напряжения у заделки плоскости не превышают 11,2 МПа. Нет никаких оснований ожидать, что в какой-либо зоне обрабатываемой детали номинальные напряжения выше измеренных в данном случае. Даже при наличии концентрации напряжений, в реальной конструкции редко превышающих значение $K_{\sigma} = 3$, максимальные значения напряжений намного ниже, чем предел выносливости материала корпуса (70 МПа).

С другой стороны, учитывая полученные результаты, следует предполагать, что вибростабилизация размеров в данном случае осуществляется по механизму повышения релаксационной стойкости материала, т. е. воздействие на остаточные макронапряжения будет минимальным.

Оценку эффективности вибрационной обработки для стабилизации геометрических параметров осуществляли на отливках отмеченных корпусов.

Определение твердости методом Полюди показало, что материал корпусов соответствует техническим условиям. Однако можно выделить три группы деталей: с высокой твердостью (НВ 102-107), со средней твердостью (НВ 92-96), с малой твердостью (НВ 84-85).

Виброобработку опытной партии корпусов производили по оптимальной схеме (№ 3). Каждую деталь обрабатывали индивидуально в два приема – со стороны отверстия 8 и с противоположной стороны. Время обработки с каждой установки – 15 минут, т. е. каждый корпус обрабатывался 30 минут. Параметры, характеризующие работу установки и вибрацию деталей, контролировались непрерывно с помощью вибродатчика ИС 318-1 и милливольтметра типа ВЗ-38.

В целом, параметры виброобработки на разных корпусах несколько отличались, т. к. при обработке всегда соблюдали следующий принцип: путем плавного повышения частоты находили такой резонансный режим, при котором ток, потребляемый вибратором, был минимальным. Именно такой режим работы считался оптимальным. На резонансную частоту корпуса оказывает влияние не только незначительные колебания его геометрических размеров в необработанной и обработанной частях, но и параметры закрепления вибратора и детали. Все это обусловило некоторые различия в режимах виброобработки.

В среднем, частота обработки корпусов составляла 80-86 Гц, сила тока – 0,8-0,9 А, величина ЭДС вибродатчика, характеризующая амплитуду, находилась в пределах от 60 до 120 мВ.

Диаметр каждого из отверстий измерялся в 4-х сечениях, расположенных одно относительно другого под углом 45°, причем первое сечение во всех случаях выбиралось перпендикулярно к базовой плоскости детали при ее установке на расточном станке. Замеры проводили с помощью нутромеров типа ИЧ с ценой деления 0,01 мм. При этом фиксировалась температура в зоне измерений.

В качестве исходного при сравнительных исследованиях выбран серийный вариант.

Прежде чем приступить к анализу полученных результатов измерений, рассмотрим некоторые факторы, влияющие на их точность.

Накопленный за время проведения работы опыт дает основание считать, что использованная в данной работе методика измерений может приводить к заметным случайным погрешностям. Это связано, прежде всего, с тем, что точки измерений в каждом сечении не были зафиксированы специальными метками. Из-за несовершенства геометрии отверстий несовпадение точек контакта инструмента с деталью при нескольких измерениях может привести к ошибкам в пределах $\pm 0,01$ мм. Такая методика была обусловлена сложностью нанесения меток на используемые в производстве детали.

Еще одним источником случайных ошибок при измерениях является погрешность индикаторного нутромера, достигающая 0,02 мм. Таким образом, максимальная суммарная ошибка измерений может достигать 0,03 мм.

Очевидно, что температура воздуха в зоне измерений существенно влияет на их результаты. Для сплава АК6Мг, из которого изготовлены корпуса, температурный коэффициент линейного расширения составляет $23-24,5 \cdot 10^{-6}$

град⁻¹. Это значит, что изменение температуры всего на 2°С приводит к изменению диаметра отверстия на 0,01 мм (расчет проведен для исходного диаметра 200 мм). Температура воздуха в процессе измерений менялась в довольно широких пределах – от 19°С до 27,5°С, что равноценно изменению диаметра на 0,04 мм, т. е. соизмеримо с допуском на размер.

Сравнение результатов измерения температуры с характером изменения диаметров отверстий в процессе вылеживания полностью подтверждает такую зависимость.

Обобщенные результаты исследований показаны на диаграмме, приведенной на рис. 3.

Одной из основных характеристик корпусов является соответствие фактических размеров отверстий заданным и с учетом установленных чертежом допусков. Поэтому первой сравнительной характеристикой выбрано общее количество размеров, выходящих за пределы чертежных допусков (вариант 1 на диаграмме). Результаты такого анализа показывают, что виброобработка более чем в 2 раза уменьшает склонность корпусов к изменению размеров, выходящих за пределы поля допусков.

Однако приведенные значения не в полной мере отражают разницу между серийными и опытными корпусами, так как в результатах подсчетов в неявном виде присутствуют погрешности измерений, перечисленные выше.

Для снижения неточностей измерений было решено аналогичный подсчет произвести для размеров, выходящих за пределы допуска более чем на 0,03 мм, а размеры, отличающиеся от чертежных менее чем на 0,03 мм, не учитывать.

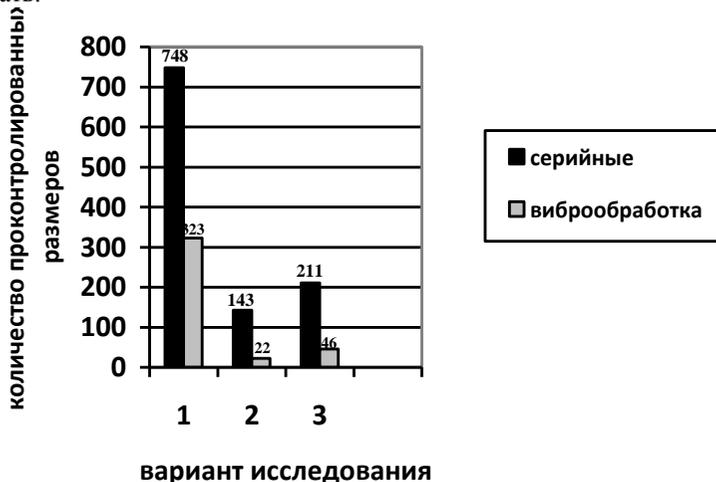


Рисунок 3 – Количество проконтролированных размеров отверстий, выходящих за пределы поля допусков: 1 – общее; 2 – более чем на 0,03 мм; 3 – при измерениях в течение суток

Приведенные данные подтверждают правильность такого выборочного учета: в данном случае количество размеров, выходящих за пределы допуска, в результате виброобработки уменьшается в 6,5 раз по сравнению с серийными корпусами (вариант 2 на диаграмме).

Исходя из указанных соображений, при дальнейшем сравнительном анализе любые отклонения менее 0,03 мм было решено условно не учитывать.

Важной характеристикой стабильности размеров отверстий в корпусах является также амплитуда изменений размеров в течение суток. Поэтому было подсчитано общее количество суточных изменений размеров для обеих партий корпусов (вариант 3 на диаграмме).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что виброобработка практически в 4,5 раза уменьшает суточные изменения размеров отверстий в корпусах.

Кроме общего количества суточных изменений размеров отверстий представляет несомненный интерес уровень таких изменений. Для анализа этой характеристики было подсчитано количество изменений в пределах каждого интервала размеров.

Полученные данные, приведенные в таблице 3, подтверждают несомненное преимущество виброобработанных корпусов над серийными.

Таблица 3 – Распределение суточных изменений размеров отверстий по величинам отклонений

Величина изменений за сутки, мм	Количество изменений проконтролированных размеров для корпусов	
	серийных	с виброобработкой
0,04	94	32
0,05	55	10
0,06	29	3
0,07	17	1
0,08	6	–
0,09	6	–
0,10	2	–
0,11	2	–
0,12	1	–

На основании комплекса проведенных исследований и полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Разработана технологическая схема и основные параметры вибрационной обработки корпусов, позволяющие обеспечивать идентичные условия при обработке партий деталей.

Из различных опробованных вариантов крепления детали и возбуждения вынужденных колебаний выбрана схема, обеспечивающая максимальный уровень относительных амплитуд, повторяемость их при перестановках одной и той же детали и установках различных деталей, а также достаточно высокую стабильность значений амплитуд в процессе обработки.

2. Сравнение десяти корпусов, подвергнутых вибрационной обработке, с аналогичными десятью серийными деталями показало высокую эффективность виброобработки для стабилизации геометрии отверстий в деталях:

- общее количество размеров, выходящих за пределы допуска на чертежный размер, в 2 раза меньше, чем в серийных корпусах. При этом количество размеров с отклонениями от чертежных более 0,03 мм в результате виброобработки уменьшается в 6,5 раз по сравнению с серийными;

- количество изменений контролируемых размеров корпусов с виброобработкой за каждые сутки вылеживания более чем в четыре раза меньше аналогичных отклонений в серийных корпусах;

- отклонения фактических размеров корпусов с виброобработкой от чертежных существенно (примерно в два раза) меньше по абсолютной величине, чем серийных деталей.

Для внедрения процесса вибрационной обработки корпусов редукторов гусеничных машин в опытно-промышленное производство создан гибкий участок с виброкомплексом для изготовления корпусных деталей, позволивший существенно повысить их качество.

Список использованных источников: 1. Коцюбинский О.Ю. Коробление чугунных отливок от остаточных напряжений. – М.: Машиностроение, 1965. – 175 с. 2. Винокуров В.А. Отпуск сварных конструкций для снижения напряжений. – М.: Машиностроение, 1983. – 215 с. 3. Вибрационное старение чугунных отливок/ О.Ю. Коцюбинский, А.М. Герчиков, Э.Ч. Гини // Литейное производство. – 1962. – № 4. – С.31-34. 4. Гини Э.Ч. Вибрационное старение чугунных деталей. – Ереван: Айастан, 1970. – 145 с. 5. Борздыка А.М., Гецов Л.Б. Релаксация напряжений в металлах и сплавах. – М.: Металлургия, 1972. – 304 с. 6. Вибрационное старение корпусных чугунных деталей станков: Обзор/ В.Д. Анистратов, Э.Ч. Гини, –М.: НИИМАШ, 1981. – 36 с. 7. Вибростабилизирующая обработка металлических деталей/ Г.Н. Иванова, М.Н. Могильнер, В.Г. Полнов, О.Г. Чикадили. – Алма-Ата, 1987. – 61 с. 8. Шнеер Ф.З., Панов В.И. Вибрационная обработка крупногабаритных конструкций с целью уменьшения деформации и склонности к образованию трещин // Сварочное производство. – 1983. – № 5. – С. 13-15. 9. Янус Ю.Р. Исследование влия-

ния вибрационного воздействия на релаксацию остаточных напряжений, структуру и свойства конструкционных сталей и алюминиевых сплавов: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук 05.16.04. – Свердловск, 1988. –21 с. **10.** Исследование влияния виброобработки на снижение деформаций коробления и припусков на механическую обработку сварных тонкостенных деталей из алюминиевых сплавов/ *Б.А. Брусиловский, А.И. Дрыга* // Вибрации в технике и технологиях: Тр. III Международ. науч.-техн. конф. – Евпатория, 1998. – С.96-99. **11.** *Сутырин Г.В.* Снижение остаточных напряжений сварных соединений низкочастотной вибрационной обработкой // Сварочное производство. - 1983. -№2.- 22 – 24. **12.** Статические и динамические способы снижения уровня остаточных напряжений и стабилизации размеров отливок/ *В.Г. Горенко, П.В. Русаков* //Повышение надежности и долговечности литых деталей: сборник научных трудов. – К.: АН УССР Институт проблем литья. – 1987. – С. 23-39. **13.** *Дрыга А.И.* Вибростабилизирующая обработка сварных и литых деталей в машиностроении. Теория, исследования, технология.– Краматорск: ДГМА, 2004. – 168 с. **14.** *Русаков П.В.* Совершенствование способов применения динамического нагружения для интенсификации процессов старения отливок: Дис. ... канд. техн. наук.: 05.16.04. – К., 2002. – 244 с. **15.** *Колот О. В.* Підвищення надійності технології вібростабілізуючої обробки на основі оптимізації її режимів: автореф. дис. ... канд. тех. наук 05.03.08. – Київ, 1997. – 16с.

Поступила в редколлегию 15.04. 2011

Bibliography (transliterated): 1. Kocjubinskij O.Ju. Koroblenie chugunnyh otlivok ot ostatochnyh naprjazhenij. – М.: Mashinostroenie, 1965. – 175 s. 2. Vinokurov V.A. Otpusk svarnyh konstrukcij dlja snizhenija naprjazhenij. – М.: Mashinostroenie, 1983. – 215 s. 3. Vibracionnoe starenie chugunnyh otlivok/ O.Ju. Kocjubinskij, A.M. Gerchikov, Je.Ch. Gini // Litejnoe proizvodstvo. – 1962. – № 4. – S.31-34. 4. Gini Je.Ch. Vibracionnoe starenie chugunnyh detalej. – Erevan: Ajastan, 1970. – 145 с. 5. Borzdyka A.M., Gecov L.B. Relaksacija naprjazhenij v metallah i splavah. – М.: Metallurgija, 1972. – 304 s. 6. Vibracoinnoe starenie korpusnyh chugunnyh detalej stankov: Obzor/ V.D. Anistratov, Je.Ch. Gini, –М.: NIIMASh, 1981. – 36 s. 7. Vibrostabilizirujuwaja obrabotka metallicheskih detalej/ G.N. Ivanova, M.N. Mogil'ner, V.G. Polnov, O.G. Chikadili. – Alma-Ata, 1987. – 61 s. 8. Shpeer F.Z., Panov V.I. Vibracionnaja obrabotka krupnogabaritnyh konstrukcij s cel'ju umen'shenie deformacii i sklonnosti k obrazovaniju trewin // Svarochnoe proizvodstvo. – 1983. – № 5. – S. 13-15. 9. Janus Ju.R. Issledovanie vlijanija vibracionnogo vozdejstvija na rелаксацию остатоchnyh naprjazhenij, структуру i svojstva konstrukcionnyh stalej i aljuminievyh splavov: Avtoref. diss. ... канд. tehn. nauk 05.16.04. – Sverdlovsk, 1988. –21 s. 10. Issledovanie vlijanija vibroobrabotki na snizhenie deformacij koroblenija i pripuskov na mehanicheskuju obrabotku svarnyh tonkostennyh detalej iz aljuminievyh splavov/ *Б.А. Брусиловский, А.И. Дрыга* // Вибрации в технике и технологиях: Тр. III Mezhdunar. науч.-tehn. конф. – Evpatorija, 1998. – С.96-99. 11. *Сутырин Г.В.* Snizhenie ostatochnyh naprjazhenij svarnyh soedinenij nizkочастотnoj vibracionnoj obrabotkoj // Svarochnoe proizvodstvo. - 1983. -№2.- 22 – 24. 12. Sticheskie i dinamicheskie sposoby snizhenija urovnja ostatochnyh naprjazhenij i stabilizacii razmerov otlivok/ *В.Г. Горенко, П.В. Русаков* //Povyshenie nadezhnosti i dolgovechnosti lityh detalej: sbornik nauchnyh trudov. – К.: AN USSR Institut pro-blem lit'ja. – 1987. – S. 23-39. 13. *Дрыга А.И.* Vibrostabilizirujuwaja obrabotka svarnyh i lityh detalej v mashinostroenii. Teorija, issledovanija, tehnologija.– Краматорск: DGMA, 2004. – 168 s. 14. *Русаков П.В.* Sovershenstvovanie sposobov primenenija dinamicheskogo nagruzhennija dlja intensivacii processov starenija otlivok: Dis. ... канд. tehn. nauk.: 05.16.04. – К., 2002. – 244 s. 15. *Колот О. В.* Pidviwennja nadijnosti tehnologii vibrostabilizujuchoi obrobki na osnovi optimizacii її rezhimiv: avtoref. dis. ... канд. tehn. nauk 05.03.08. – Київ, 1997. – 16с.