

УДК 621.73:620.179.14.

А. В. БЕРМАН, И. Н. СИЛЬВЕРСТОВ, **В. Е. АЛЕКСАНДРОВ**, кандидаты техн. наук; И. И. КАРПУХИН

## Возможности метода структурной памяти металла при прогнозе остаточного ресурса кузнечно-штамповочного оборудования

*Предложен новый метод диагностики и определения остаточного ресурса базовых деталей кузнечно-прессовых машин, основанный на анализе возбуждения виброколебаний в исследуемом объекте с последующей программной обработкой.*

*There is offered a new method of diagnostics and definition of remaining life of press-forging machines' principal members based on the analysis of excitation of vibrations in the object under investigation with subsequent software-processing.*

В последнее время в связи с резким увеличением аварийных ситуаций на производстве актуальной задачей является ужесточение мер промышленной безопасности. В современных условиях большая часть парка машин для обработки материалов давлением является стареющим оборудованием, с монотонно возрастающим во времени потоком отказов. Детали кузнечно-прессового оборудования выходят из строя по различным причинам, каждой из которых соответствует свое предельное состояние — многоцикловая усталость, фреттинг-коррозия, фреттинг-износ и т. д. Часто различные повреждающие факторы действуют одновременно, ускоряя деградиационные процессы в металле и снижая планируемое на стадии проектирования значение долговечности. Неожиданный отказ крупногабаритных машин может представлять серьезную опасность для человека. Кроме того, при внедрении новых, перспективных технологий необходима диагностика технического состояния и определение остаточного ресурса оборудования, давно находящегося в эксплуатации. Своевременная диагностика дефектов и определение остаточного ресурса экономически выгодны, так как ремонт и замена, например, 1 пог. м металлоконструкций соответственно в 20...25 раз и в 40...50 раз дороже оплаты услуг по диагностике.

Для диагностики дефектов, возникающих в процессе изготовления или эксплуатации

при циклических воздействиях (иногда в совокупности с коррозией), в настоящее время наиболее часто используют ультразвуковую дефектоскопию (УЗД). Направляемые через зачищенную поверхность металла ультразвуковые колебания на фиксированных частотах 2,5 или 25 МГц обеспечивают длины волн 2 и 0,2 мм соответственно. Однако указанные длины волн достаточно велики и поэтому из-за структурных шумов они не всегда позволяют обнаружить дефект (это зависит от его расположения в металле конструкции). Поэтому использование метода может быть ограничено величиной и расположением дефекта [1].

Развитие взаимной разориентации структурных форм фазовых составов металла во время деградиационных процессов позволило использовать метод магнитной памяти (ММП) [2]. Этот метод на базе анализа совокупности векторов магнитной насыщенности магнитных доменов позволяет оценить спектральные атомные моменты вращения деформированных кристаллических структур. Однако он очень чувствителен к магнитному полю Земли, т. е. к расположению диагностируемого объекта в пространстве.

В последнее время для экспертизы оборудования используют мониторинг на базе акустоэмиссионного излучения (АЭИ). При развитии дефектов, в частности при росте трещины, происходит излучение звуковых волн,

которые при существующем уровне аппаратуры, устойчиво определяются. Этот метод позволяет найти положение дефекта в детали большой протяженности со степенью точности, достаточной для того, чтобы использовать УЗД только в местах дислокации дефектов. Однако мониторинг подразумевает постоянные длительные измерения объекта в течение не менее 1—2 месяцев.

В ЗАО "Прочность" ОАО "АХК ВНИИметмаш" для оперативной диагностики объектов (станины прокатных станков, мощных гидравлических прессов, кожухов доменных печей и т. д.) был разработан метод структурной памяти металла (СПМ). Предлагаемый метод диагностики, соединяющий в себе достоинства УЗД, ММП и АЭИ, оценивает изменения структурных форм и фазовых составов металла по наиболее помехоустойчивому параметру — смещению информативных частотных резонансов. При этом предлагаемый метод лишен специфических недостатков, присущих его аналогам, — не требуется зачистка поверхности исследуемого объекта (результат исследования не зависит от слоя смазочного материала, окалины и т. п.), адекватность результата не зависит от ориентации объекта в магнитном поле Земли, на него не влияют посторонние электромагнитные излучения, результат, получаемый практически мгновенно, прост в расшифровке. Преимущество данного метода заключается, в первую очередь, в том, что независимо от наличия в конструкции усталостных дефектов и изменений в структуре материала он позволяет определять степень наработки при усталостном воздействии. Так, например, многочисленные исследования структуры металла сварных базовых деталей оборудования не позволили сделать однозначный вывод о корреляции изменения структуры с механическими свойствами. При одном и том же значении ударной вязкости и химическом составе в одном случае наблюдается выделение цементита по границам зерен, а в другом — нет. Использование СПМ позволяет определить, находилась ли конструкция под интенсивным усталостным воздействием (что осо-

бенно важно при сложном моделировании спектра нагрузок), и дает возможность сократить объем исследований при анализе остаточного ресурса, в том числе и при расчете по многокритериальной методике [3]. Метод структурной памяти позволяет определить остаточный ресурс в тех случаях, когда достаточно сложно выявить количественные характеристики накопления усталости материала, например, когда начальные дефекты (полученные в результате изготовления), практически отсутствуют (кованные, тонколистовые детали и т. д.), или наоборот, когда детали имеют множество начальных дефектов (литые, толстолистовые, прокатанные детали в зонах сварки).

Метод реализован программно-аппаратным комплексом "DIM—2004" на базе измерителя смещений вибрационных резонансных частот "IRON-6" (разработки ЗАО "Прочность"). Колебания возбуждаются специальным ударным механизмом, дающим спектр нагружения, близкий к белому шуму. Интерес для исследования представляет начальный переходный процесс, поэтому граничные условия влияния не оказывают. В это малое время сигнал, проходя через материал, резонирует с собственными частотами различных кристаллитов.

Этот резонанс можно определить для каждого материала в любом состоянии. Если после этого деталь подвергнуть усталостному воздействию выше предела выносливости, то собственные частоты кристаллитов изменятся. Практические исследования различных металлов показали, что фактически необходимо отслеживать три достаточно узких участка спектра, что и было реализовано в приборе.

Если говорить о классических усталостных дефектах типа трещин, то эти дефекты изменяют установившиеся колебания и зависят от граничных условий. В настоящее время идет наработка экспериментального материала как на образцах, так и на реальных изделиях. Неспоримым преимуществом метода является то, что с его помощью можно оценить остаточный ресурс детали, не прибегая к дорогостоящим методам диагностики, и сделать

вывод о целесообразности дальнейшей эксплуатации детали. Если определена такая целесообразность, то необходимо проводить полный комплекс исследований с составлением карты дефектов и рекомендаций по дальнейшей эксплуатации.

Программное обеспечение СПМ "DIM-2004" может обеспечивать адекватный прогноз остаточного ресурса всего 1 раз в квартал при повторяющихся, например, ежедневно, блоках циклических нагрузений. Аналоги метода не обладают таким свойством и с их помощью остаточный ресурс необходимо определять после каждого блока нагружения. В настоящее время идет доработка метода СПМ, который будет определять местоположение дефектной зоны по длине объекта.

Метод применялся при диагностике базовых деталей прокатного оборудования и сварных конструкций металлургического оборудования. На данном этапе исследований при определении долговечности метод показал сходимость с сертифицированными методами в пределах 30 %. По мнению авторов, ошибка связана с недостаточностью накопленного экспериментального материала.

#### Список литературы

1. *Машиностроение*. Измерения, контроль, испытания и диагностика / Под общей ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 2001. 464 с.
2. Дубов А. А. Проблемы оценки остаточного ресурса стареющего оборудования // *Теплоэнерготехника*. 2003. № 11. С. 54—58.
3. Курдеев Ю. П., Корнилова А. В. Многокритериальная оценка долговечности базовых деталей кузнечно-прессовых машин // *КШП. ОМД*. 2004. № 9. С. 15—20.

УДК 621.979-82:674.812.05

С. А. ШПЫГАРЬ, канд. техн. наук

## Новая конструкция гидравлического этажного пресса

*Описана новая конструкция гидравлического этажного пресса, разработанная в ЗАО "Прочность" (ОАО "АХК ВНИИметмаш"), которая позволяет избежать недостатков, присущих существующим прессам этого типа.*

*There is described a novel design of stacked hydraulic press developed at the "Durability" Closed Joint-Stock Company ("ВНИИметмаш" Open Joint-Stock Company), which enables to avoid disadvantages inherent to existing presses of this type.*

Производство плит из древесных материалов, таких как древесно-волоконистые (ДВП), плиты средней плотности (МДФ) и древесно-стружечные плиты (ДСП), в настоящее время осуществляется на прессах непрерывного действия и на этажных прессах циклического действия.

Непрерывный процесс, аналогичный процессу прокатки, заключается в прессовании "ковра" размолотой древесной массы между двумя непрерывными стальными лентами, катящимися по роликам между горячими

плитами. По мере уменьшения зазора между плитами и повышения температуры происходит полимеризация связующего, карбамидной или фенолформальдегидной смолы и формирование готовой плиты. Процесс относится к так называемым "сухим", т. е. прессуется предварительно высушенная и смешанная со смолой древесная масса.

Достоинствами непрерывного процесса являются высокая производительность, возможность прессования плит с широким диапазоном толщин, использование низкосорт-

ного сырья. Недостаток процесса — высокое содержание смолы, а значит повышенное выделение фенола и формальдегида в готовой продукции, большая стоимость оборудования.

Этажные прессы применяют для прессования древесных плит, слоистых пластиков, фанеры, а также для вулканизации резины. Во всех случаях прессование производится между плитами, нагреваемыми теплоносителем, проходящим по каналам внутри плит. В качестве теплоносителя используются пар, перегретая вода или термомасло.

На этажных прессах прессование осуществляется как "сухим", так и "мокрым" способом. Примером "сухого" способа является производство древесно-стружечных плит. Здесь сухая стружка, смешанная со смолой, специальной машиной насыпается слоем определенной толщины на транспортный поддон и подается в горячий пресс.

При "мокроем" способе, применяемом только при производстве древесноволокнистых плит, размолотая древесная масса выливается специальной отливной машиной на закольцованную сетку и, проходя отжимные валики и зону вакуумного отсоса, обезвоживается (влажность примерно 70 %). Затем на транспортных поддонах сырые "ковры" подаются в горячий пресс, где производятся отжим воды и окончательное прессование плиты.

Этажные прессы по сравнению с прессами непрерывного действия в силу цикличности процесса менее производительны, однако их стоимость и занимаемая площадь значительно меньше.

Кроме того, производство тонких (до 6 мм) древесно-волоконистых плит "мокрым" способом при наличии достаточного количества хвойного сырья позволяет полностью отказаться от использования смолы в качестве связующего и получать экологически чистые плиты.

В то же время производство таких плит на ныне действующем оборудовании является низкорентабельным в силу его физического и морального износа. Большинство линий по

производству ДВП, находящихся в эксплуатации, изготовлены 30...40 лет назад по проектам 50-летней давности. Для повышения конкурентоспособности данного производства необходимы совершенствование технологии и разработка нового, более производительного и менее энергоемкого оборудования.

Классической конструкцией гидравлических этажных прессов, используемых при производстве древесно-волоконистых и древесно-стружечных плит, фанеры и слоистых пластиков, является колонный или рамный пресс с нижним расположением цилиндров. В открытом состоянии прессующие нагревательные плиты с уложенным на них "ковром" прессуемого материала лежат на упорах развесочной этажерки, неподвижно закрепленной между нижней и верхней траверсами пресса. В процессе прессования с помощью плунжеров рабочих цилиндров плиты, начиная с нижней, собираются в пакет, после чего начинается собственно процесс прессования.

На рис. 1 показана схема колонного гидравлического этажного пресса для прессования ДВП "мокрым способом". Архитрав посредством круглых главных колонн скреплен с отдельными рабочими цилиндрами — поперечинами, лежащими на фундаменте, вместе

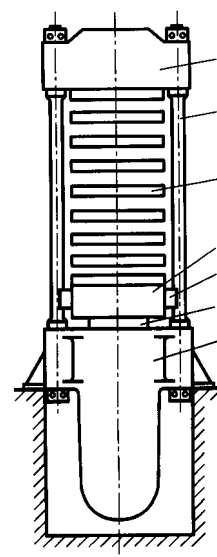


Рис. 1. Схема колонного гидравлического этажного пресса:  
1 — архитрав; 2 — колонна; 3 — нагревательная плита; 4 — подвижный стол; 5 — направляющий башмак; 6 — плунжер; 7 — цилиндр — поперечина

они составляют силовую раму пресса. Подвижный стол (траверса), имеющий такую же длину, как и архитрав, лежит на плунжерах рабочих цилиндров и с помощью направляющих башмаков при подъеме центрируется относительно вертикальной оси пресса. Нагревательные плиты в открытом состоянии пресса располагаются на упорах развесочной этажерки, закрепленной на архитраве, с равномерным зазором в пространстве между подвижным столом и архитравом.

Данная конструкция при своей очевидной простоте и рациональности имеет ряд существенных недостатков, которые наиболее явно проявляются в прессах большой этажности и мощности для производства ДВП и ДСП.

В первую очередь, это большой холостой ход смыкания плит. Так, на прессах для производства ДВП с количеством этажей 25...30 холостой ход составляет порядка 2,7 м. Для подъема четырех плунжеров диаметром 700 мм и массой более 10 т каждый требуется подача более 4000 л рабочей жидкости. Учитывая то, что масса подвижной траверсы и прессующих плит с уложенным на них "ковром" составляет порядка 150 т, для обеспечения минимального времени смыкания и максимальной производительности пресса требуется высокопроизводительная насосно-аккумуляторная установка с двигателями большой мощности. Кроме того, прессуемый "ковер" имеет влажность 70 %, и осуществляемый подъем воды бесполезен — вода будет отжата в процессе прессования.

Во вторых, при таких больших ходах плунжеров трудно обеспечить их надежное уплотнение, а из-за перекосов плунжеров, что неизбежно при таких больших вылетах, происходит интенсивный и неравномерный, как правило, эллиптический, износ направляющих втулок рабочих цилиндров.

В третьих, данная конструкция не позволяет точно регулировать рабочее давление в процессе прессования, так как гидравлическая система пресса имеет большую инерционность.

В ЗАО "Прочность" разработана и запатентована конструкция пресса, не имеющая ука-

занных недостатков<sup>1</sup>. Достигается это тем, что прессующие плиты смыкаются не при подъеме, а при опускании развесочной этажерки (при сбросе давления в подъемных цилиндрах) под массой прессующих плит и подвижной плиты. После смыкания плит в образовавшееся пространство между неподвижными и подвижными частями пресса вводятся проставки, замыкающие силу рабочих цилиндров.

Рабочие цилиндры — короткоходовые с величиной хода 250...300 мм, необходимой для отжима и окончательного прессования "ковра". Это позволяет перейти от насосно-аккумуляторного привода к насосу приводу гораздо меньшей мощности. Такой привод при использовании регулируемых клапанов позволяет сохранять оптимальную скорость смыкания плит по мере уменьшения их массы, а также точно регулировать давление в процессе прессования.

Данный гидравлический этажный пресс имеет рамную конструкцию с нижним расположением рабочих цилиндров, подвижную развесочную этажерку и опирающиеся на фундамент подъемные цилиндры.

На рис. 2, а показан гидравлический этажный пресс — вид по оси загрузки-выгрузки в закрытом состоянии, на рис. 2, б — вид в плане. Показана только одна пара рамных секций. Количество секций — не ограничено и определяется его конструкцией. Пресс содержит неподвижную станину, состоящую из стянутых между собой силовых рамных секций. Внутри каждой пары секций находятся рабочие цилиндры, опирающиеся прямоугольными фланцами на нижние ригели секций. Подвижный стол лежит на плунжерах рабочих цилиндров. Прессующие нагревательные плиты располагаются над подвижной траверсой и в состоянии загрузки пресса развешены с зазором на упорах упорных стоек, а в состоянии прессования сложены па-

<sup>1</sup> Положительное решение о выдаче патента по заявке № 2005114706/02(016860) от 14.05.2005 МКП В 30 В 7/02 (В 27 N 3/00). Гидравлический этажный пресс.

кетом на подвижной траверсе. Упорные стойки прикреплены к подвижной плите, перемещающейся вертикально при помощи подъемных цилиндров. К верхним ригелям

секций прикреплена верхняя неподвижная плита, по которой по направляющим перемещаются проставки.

В состоянии загрузки подвижная плита находится в крайнем верхнем положении и прижата к верхней неподвижной плите. Смыкание нагревательных плит происходит под их собственным весом и весом подвижной плиты при сбросе давления в подъемных цилиндрах. После смыкания нагревательных плит в пространство между верхней неподвижной и подвижной плитами при помощи горизонтальных гидроцилиндров вводятся проставки. По окончании цикла прессования давление в рабочих цилиндрах сбрасывается, проставки освобождаются и обратным ходом горизонтальных гидроцилиндров возвращаются в пространство между стойками рамных секций, освобождая место для подъема подвижной плиты. Подачей давления в подъемные цилиндры поднимаются подвижная плита и упорные стойки. Нагревательные плиты, по одной сверху, развешиваются на упорах. Производятся выгрузка готовых изделий и загрузка нового "ковра".

Данная конструкция пресса позволяет полностью отказаться от литых и кованных деталей и перейти на сварные конструкции, что значительно дешевле. Самой сложной деталью являются рабочие цилиндры. Однако ввиду их небольших размеров изготовление поковок для таких деталей не представляет сложности. В классическом колонном прессе силой 40...50 МН количество рабочих цилиндров составляет 3 или 4, что требует высокой жесткости архитрава и подвижного стола.

В прессе новой конструкции той же силы и той же рабочей площади количество рабочих цилиндров — 10 (по два в пяти парах секций). Это позволяет более равномерно распределять рабочую силу по площади прессования, а значит, изготовить подвижный стол и подвижную плиту меньшей высоты. В итоге мы имеем пресс меньшей массы, менее сложный и трудоемкий в изготовлении, а значит, более дешевый.

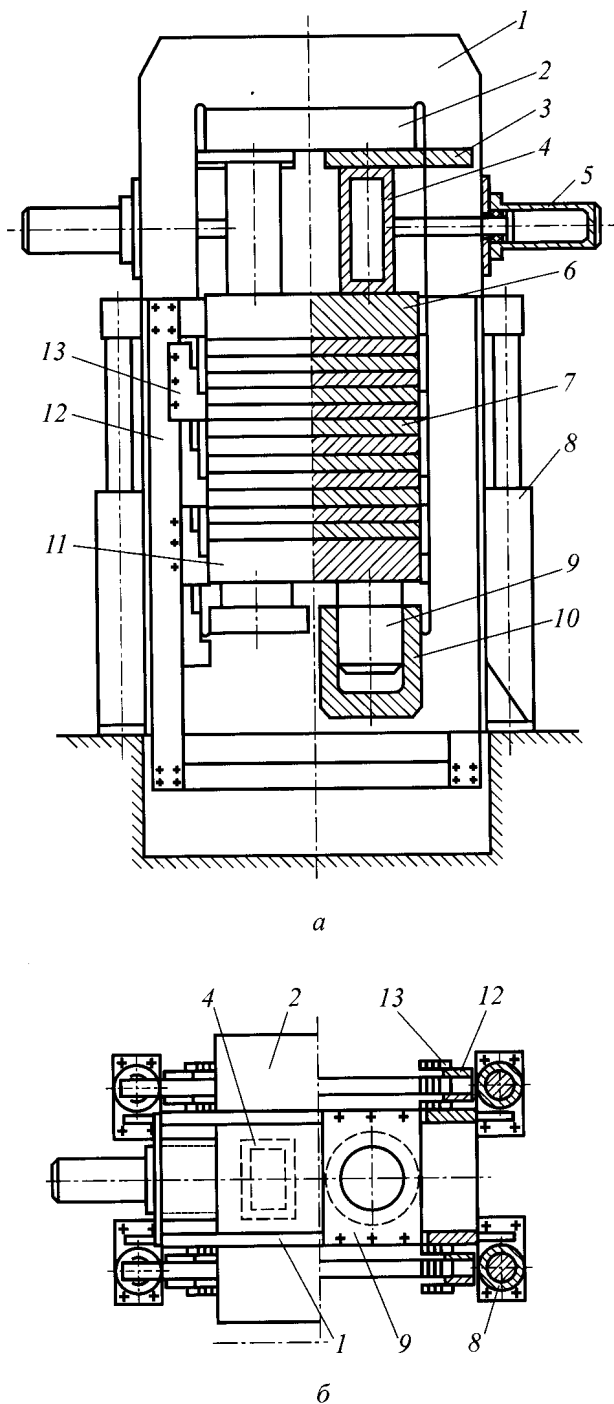


Рис. 2. Конструкция гидравлического этажного пресса (а — вид по оси загрузки — выгрузки, б — вид в плане):

1 — рамная секция; 2, 6 и 7 — неподвижная, подвижная и нагревательная плиты; 3 — направляющая; 4 — проставка; 5, 8 и 10 — горизонтальный, подъемный и рабочий цилиндры; 9 — плунжер; 11 — подвижный стол; 12 — упорная стойка; 13 — упор