



*The analysis of features of non-destructive ultrasonic testing of castings of products is presented. It is shown, that for the testing shadow and mirror shadow methods should be used. It is preferable the application of special transducers with acoustically soft protector.*

А. Л. МАЙОРОВ, Г. Е. КОНОВАЛОВ, ГНУ «ІПФ НАН Беларусі»

УДК 620.179

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ОТЛИВОК ДЕТАЛЕЙ

Известно, что дефекты отливок отличаются по конфигурации от дефектов материала обработанного, например, давлением, ковкой или прокаткой. После обработки дефекты меняют свою форму, протяженность и ориентируются в соответствии с условиями нагружения. В данном случае речь пойдет о контроле именно отливок. Применение общих подходов контроля обработанных деталей или сварных соединений к контролю отливок приводит, как правило, к недобраковке и пропуску потенциально негодных изделий на дальнейшую обработку. Связано это с двумя основными факторами, характером дефектов отливок и качеством поверхности, через которую вводится ультразвук.

Рассмотрим сначала характерные дефекты отливок [1, 2].

В первую очередь это усадочные пустоты (раковины, пористость), которые возникают в процессе затвердевания, кристаллизации, так как большинство металлов в результате остывания уменьшается в объеме. Причем, если не предпринято специальных мер (например, подпитка жидким металлом, направленная кристаллизация и др.), внешние слои остывают и затвердевают быстрее, чем середина и поэтому во внешних частях отливки и появляются полости. Таким образом, усадочные раковины и рыхлоты располагаются в основном под прибылями и в местах утолщений. Однако при определенных условиях отвердевания могут образовываться усадочные раковины вдоль всей оси слитка. Кроме того, может возникнуть и междендритная усадочная рыхлость. Причем она может занимать значительную часть отливки. Следует отметить, что поверхности усадочных раковин и рыхлот в значительной степени окислены. Поэтому обработка давлением и ковка не приводят к исправлению дефекта и свариваемости поверхностей за счет взаимной диффузии. Особенно это характерно для высоколегированных сталей. Поэтому по данному дефек-

ту отливки должны отбраковываться или должна быть определена локализация дефектов для того, чтобы определить уйдут ли они при механической обработке.

Следующим характерным дефектом являются неметаллические включения. Причем неметаллические включения могут попадать в отливку из футеровки печи либо за счет истирания формовочного материала при взаимодействии с расплавом, а также из-за нарушения технологии плавки, например, неполного снятия шлака или плохого отвода флюса в процессе разливки. Могут быть и другие причины, но в результате получаются дефекты, которые могут быть разбросаны по заготовке совершенно произвольно и иметь любую форму. Кроме того, в процессе плавки и литья в отливку могут попадать оксиды и пленки достаточно хорошо связанные с основным металлом, но при этом сохраняющие физическую обособленность, в том числе и после деформационной обработки.

Газовые пузыри (пористость) возникают из-за вторичного окисления, в результате выделения газов при кристаллизации металла, за счет плохой вентиляции стержней и литейной формы. Возникающая пористость может быть рассеяна по всему слитку либо сосредоточена вблизи поверхности. При обработке давлением газовые пузыри практически не свариваются из-за наличия в них значительного количества газа. Более того, при прокате (например, тонких листов) в процессе термической обработки могут происходить вздутия в местах расположения пористости.

При непрерывном литье в результате перерыва струи металла могут образовываться неслитины. Неслитины представляют собой тонкую прослойку оксидов между зернами основного металла. Возникают за счет особенностей продвижения металла в кристаллизаторе.

Причиной возникновения горячих трещин является усадка, возникающая в процессе затвер-

девания. Горячие трещины характерны для сплавов, кристаллизующихся в значительном температурном диапазоне. Разрушаются первичные кристаллы вследствие усадочных напряжений. Образующиеся горячие трещины имеют окисленную поверхность и проходят по границам кристаллов. Как правило, появляются они в зонах слитков, затвердевающих в последнюю очередь, а при быстром охлаждении могут образовываться в центральных зонах отливки, там, где охлаждение происходит медленно.

Есть еще такие характерные дефекты, как холодные трещины и заливины. Заливины относятся к поверхностным дефектам и могут быть достаточно просто выявлены. В этом случае важным является определение зоны распространения заливины и образовавшейся в результате ее действия поверхностной плены. Холодные трещины могут образовываться во всей отливке и отличаются от горячих отсутствием окисленной поверхности. Они образуются в отливке после окончания отвердевания как реализация внутренних напряжений, возникающих из-за градиента температур вследствие конечной теплопроводности. При больших градиентах температур может возникнуть ситуация, при которой фазовые превращения будут проходить неравномерно по сечению отливки.

Из рассмотрения характерных дефектов отливок следует, что их форма и ориентация могут быть самыми разными. В то же время эффективность ультразвукового контроля определяется эффективной отражающей способностью дефектов. Все дефекты, кроме трещин, носят объемный характер. Это говорит о том, что они могут быть выявлены при различных направлениях прозвучивания как прямыми, так и наклонными преобразователями. Другое дело, что форма дефекта, например в виде усадочной раковины или скопления пористости, как правило, такова, что падающий акустический сигнал не отражается, а рассеивается. На рис. 1 показаны номограммы максимальных эхо-сигналов для прямого и наклонных преобразователей от усадочной раковины в заготовке из высокопрочного чугуна. Заготовка представляла собой цилиндр длиной 110 мм и диаметром 80 мм. После вскрытия было выяснено, что дефектом являлась усадочная раковина, окруженная пористостью. Причем эффективный диаметр дефекта

(по результатам вскрытия) можно оценить не менее чем в 25 мм или более 30% от сечения отливки. По существу дефект является фатальным, но, как видно из приведенных номограмм, в лучшем случае отражение составляет всего 14 дБ по отношению к шуму. Причем измерения проводили при вводе ультразвука с зачищенной поверхности. Полученные результаты говорят о том, что на эффективность контроля эхо-методом не влияют частота и тип упругой волны. Во всех случаях его эффективность низкая. Причем амплитуда сигнала, отраженного от дефекта, не может служить критерием его величины, как это делается в традиционных методиках.

На рис. 2 показана зависимость эхо-сигнала, отраженного от противоположной стенки, при движении преобразователя по образующей и вдоль диаметра для той же отливки. При измерениях на экране (в соответствующей временной зоне) появляется и отраженный от дефекта сигнал, но его амплитуда не сравнима с уменьшением амплитуды зеркально-теневого сигнала. По полученным данным можно судить о величине дефекта, причем в двух плоскостях.

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы. Для отливок эффективны зеркально-теневые или теневые методы контроля. Основным информационным параметром является протяженность области уменьшения теневого или зеркально-теневого сигнала, причем во всех возможных плоскостях. Величина уменьшения проходящего сигнала позволяет оценить поперечные размеры дефекта, если невозможно провести сканирование в данном направлении. Отраженный импульс позволяет определить положение дефекта и его толщину при прозвучивании с противоположных сторон, но не величину дефекта.

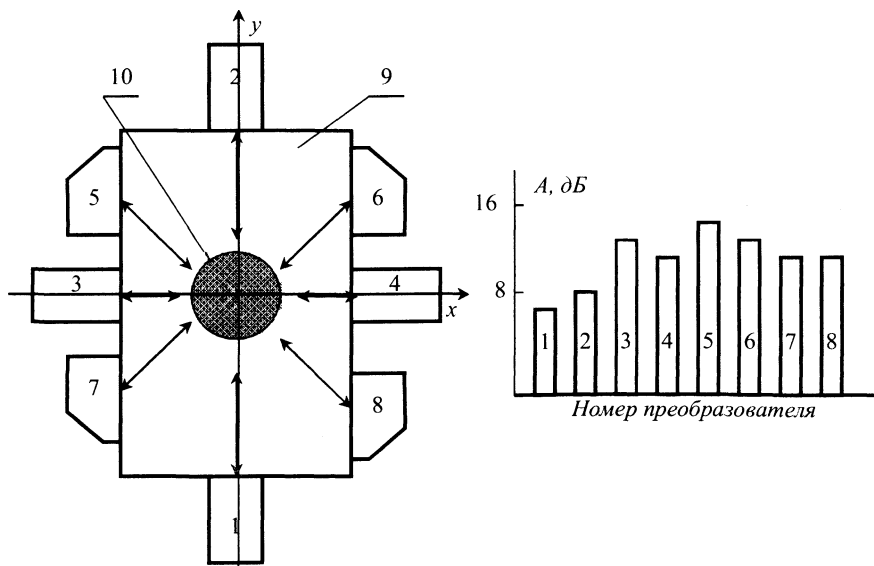


Рис. 1. Схема контроля и величина отраженных сигналов над уровнем шумов при контроле усадочной раковины в отливке из чугуна: 1, 3 – прямые преобразователи  $f=2,5$  МГц; 2, 4 – прямые преобразователи  $f=1,8$  МГц; 5 – наклонный преобразователь  $30^\circ$ ,  $f=1,8$  МГц; 6 – наклонный преобразователь  $40^\circ$ ,  $f=1,8$  МГц; 7 – наклонный преобразователь  $30^\circ$ ;  $f=2,5$  МГц; 8 – наклонный преобразователь  $40^\circ$ ;  $f=2,5$  МГц; 9 – отливка; 10 – зона дефекта

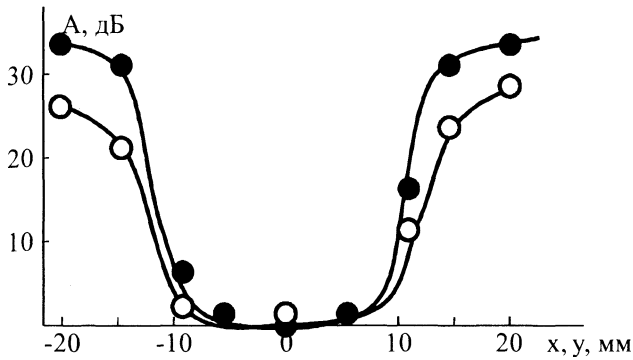


Рис. 2. Зависимость зеркально-теневого сигнала от положения преобразователя: ● — в направлении у; ○ — в направлении х (направления указаны на рис. 1)

Следует обратить внимание на то, что амплитудные измерения при контроле отливок надо проводить очень осторожно, так как структура материала может отличаться от зоны к зоне, например краевая и осевая, тонкостенная и толстостенная. Особенно это характерно для крупнозернистых материалов. В любом случае влияние структуры нивелируется тем сильнее, чем ниже используемая частота, поэтому при выборе параметров контроля всегда нужно ориентироваться на технические требования к изделию. Выбор высоких частот с целью повышения чувствительности может привести к обратному эффекту. В местах с более крупной структурой (например, в чугунных заготовках, где размер графита зависит от скорости остывания) дефекты не будут выявляться вследствие рассеяния, хотя на контрольных образцах метод будет работать.

Вторым фактором, существенно влияющим на результаты контроля отливок, является качество поверхности, т.е. акустический контакт [3]. Известно, что шероховатость ограничивает чувствительность ультразвуковых методов. В любом случае при контроле отливок требуется очистка от окалины, желательна пескоструйная или дробеструйная обработка поверхности. В то же время прочнодержащаяся грунтовка не затрудняет контроль. Считается, что шероховатость поверхности, превышающая 1/10 длины волны, значительно ухудшает акустический контакт. Однако нас должно интересовать не общее ухудшение качества контакта, а его стабильность в процессе измерений. При прохождении акустическим сигналом шероховатой поверхности происходит диффузное рассеяние. Это приводит к уменьшению коэффициента направленности, дополнительному шуму и паразитным сигналам на экране дефектоскопа. Для преодоления указанных моментов есть два пути. Во-первых, понижение частоты акустического сигнала, во-вторых, согласование акустических характеристик протектора ультразвукового преобразователя, контактной среды и материала изделия.

Возможное понижение частоты акустического сигнала зависит от требований к чувствительности контроля и определяется конструктором. Согласование в системе протектор — контактная среда — изделие зависит в основном от материала протектора. Материал изделия не заменишь, аку-

стический импеданс жидких сред, используемых в качестве контактных, меняется в небольших пределах. Условно материалы, используемые в качестве протекторов, можно разделить на материалы с высоким акустическим импедансом (акустически жесткие) и с малым (акустически мягкие). Ярким представителем акустически жестких материалов является керамика. Протекторы из керамики обладают высокой износостойкостью, но при их использовании по необработанной поверхности отливки возникают значительные колебания акустического контакта, десятки дБ, т.е. колебания акустического контакта того же порядка, что и сигналы от дефектов. В случае контроля по литой поверхности необходимо использовать акустически мягкие протекторы, например, из пластмассы или отвердевшей эпоксидной смолы с наполнителями. Недостатком таких протекторов является быстрый износ. Можно использовать защитную пленку из пластмасс типа полиуретана. Конечно, это ведет к уменьшению чувствительности и разрешающей способности, но в то же время гасит паразитные переотражения в зоне ввода ультразвука. Для теневого метода контроля, который рекомендован нами выше, данные потери будут несущественными [4].

Таким образом, исходя из проведенного анализа, можно предложить следующие рекомендации для выбора средств контроля отливок деталей и оптимизации самого процесса контроля.

1. Определить уровень брака по литью и, исходя из этого, решить, что экономически выгодно, контроль именно отливки или можно контролировать уже готовое изделие с более высокой чувствительностью.

2. Решить с конструктором вопрос требуемой чувствительности.

3. При составлении методики контроля провести консультации с литейщиком с целью определения критических с точки зрения образования дефектов мест отливки.

4. В контролируемой области найти отражающую поверхность или зону, где может быть проведен теневой контроль.

5. Выполнить в изделии искусственные дефекты требуемого размера и определить частотные и направленные характеристики первичных преобразователей, которые эти дефекты выявляют.

6. Всегда помнить, что дефекты литья существенно отличаются от дефектов обработанного давлением материала, поэтому методика контроля и тест-образцы изделий должны быть разработаны и изготовлены именно для контроля отливок.

### Литература

1. Спасский А.Г. Основы литейного производства. М.: Металлургиздат, 1950.
2. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986.
3. Крауткремер Й., Крауткрамер Г. Ультразвуковой контроль материалов: Справ. М.: Металлургия, 1991.
4. Kononov G., Mayorov A., Prokhorenko P. The Systems for Automated Ultrasonic Testing // 7<sup>th</sup> European Conference on NDT // Copenhagen, 1998.