

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет»
(ТвГТУ)

Кафедра технологии металлов и материаловедения

ОСНОВЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

Часть 3. Измерение твердости сварных соединений

Методические указания к выполнению практических работ
для обучающихся по направлению подготовки магистров
15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств, направленность (профиль)
«Технологии сварочного производства»

Тверь 2020

УДК 001.89:378(075.8)
ББК 74.480.278я7

Рецензент кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой ТМ и М ТвГТУ Барчуков Д.А.

Основы научно-исследовательской работы. В 3 ч. Ч. 3. Измерение твердости сварных соединений: методические указания к выполнению практических работ / сост. Л.Е. Афанасьева. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2020. 16 с.

Предназначены для обучающихся по направлению подготовки магистров 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, направленность (профиль) «Технологии сварочного производства». Изложена методика выполнения практических работ по дисциплине «Основы научно-исследовательской работы». Приведены рекомендации по выполнению и требования к оформлению отчетов.

Обсуждены на заседании кафедры «Технология металлов и материаловедение» и рекомендованы к печати (протокол № 9 от 13.03.2020 г.).

© Тверской государственный
технический университет, 2020
© Афанасьева Л.Е., 2020

Практическая работа № 1

Измерение твердости по методу Виккерса

Цель работы: получение навыков измерения твердости сварных соединений по методу Виккерса.

Твердость – это свойство, характеризующее сопротивление материала сосредоточенной в малом объеме пластической деформации в условиях контактного воздействия на него другого более твердого тела определенной формы и размеров.

Испытания на твердость всегда производятся на поверхности изделия (образца) и осуществляются путем вдавливания под действием усилия в материал другого тела (индентора) с большей твердостью.

В зависимости от скорости приложения усилия к индентору способы определения твердости делятся на статические и динамические, последние применяются гораздо реже. При статических испытаниях на твердость индентор вдавливается нормально поверхности образца. Существующие методы измерения твердости значительно отличаются один от другого по форме применяемых инденторов, условиям приложения усилия и способу расчета чисел твердости. Выбор метода зависит от твердости испытуемого материала и толщины слоя, твердость которого нужно измерить.

При измерении твердости особое внимание должно быть уделено подготовке поверхности образца. На поверхности не должно быть окалины и посторонних веществ. При подготовке поверхности испытуемого образца необходимо принять меры предосторожности против возможного изменения его твердости при вырезке и шлифовке вследствие нагрева и нагартовки.

Поскольку при испытаниях на твердость усилие на образец передается нормально испытуемой поверхности, последняя должна быть плоско-параллельна опорной поверхности. Неплоские образцы крепятся на опорных столиках, которые входят в комплект прибора или изготавливаются специально для этих целей. Результаты испытаний зависят от времени приложения усилия к индентору и времени выдержки под нагрузкой τ .

Поверхность испытуемого металла часто неоднородна по химическому составу и строению. Это может привести к разбросу значений твердости. Для получения достоверных данных по твердости на каждом образце делают несколько замеров ($n = 3 \dots 10$) и рассчитывают среднее арифметическое значение \bar{x} , а также среднее квадратическое отклонение σ по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}},$$

где x – значение числа твердости, полученное тем или иным методом.

Испытания на твердость – один из наиболее распространенных видов механических испытаний. Измерение твердости сварных соединений конструкций и деталей проводят следующими методами: по Виккерсу (HV) в

соответствии с требованиями ГОСТ 2999; по Бринеллю (HB) в соответствии с требованиями ГОСТ 9012; по Роквеллу – шкалам A , B и C (HRA , HRB и HRC) в соответствии с требованиями ГОСТ 9013, отдавая предпочтение замеру по Виккерсу.

В соответствии с ГОСТ Р 57180–2016 измерение твердости по Виккерсу проводят на микрошлифах или образцах с полированной поверхностью, если очертания сварного шва видны без травления. Шероховатость поверхности должна быть не более 0,16 мкм по ГОСТ 2789.

Измерение твердости по Виккерсу основано на вдавливании в поверхность образца алмазного индентора в форме четырехгранной пирамиды с углом при вершине $\alpha = 136^\circ$ под действием усилия F . После снятия усилия измеряют диагональ отпечатка d , оставшегося на поверхности образца (рис. 1.1). Число твердости по Виккерсу HV определяют отношением усилия F к площади боковой поверхности полученного пирамидального отпечатка A и оценивают по формуле

$$HV = \frac{F}{A},$$

где $A = \frac{d^2}{2 \sin 68^\circ}$.

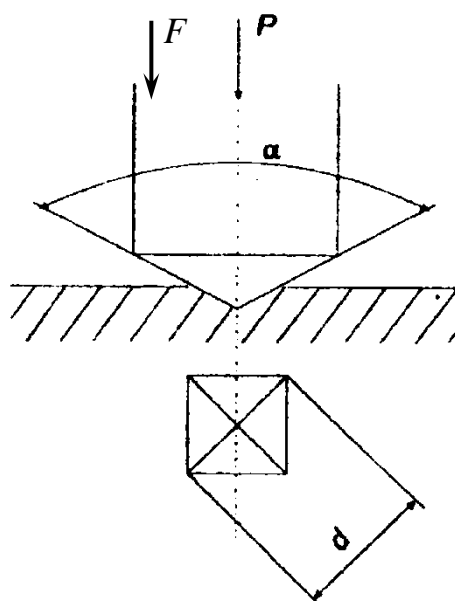


Рис. 1.1. Схема измерения твердости четырехгранной пирамидой

При измерении твердости алмазной пирамидой прилагают следующие усилия: 9,8; 19,6; 49; 98; 196; 294; 490; 980 Н (1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 20,0; 30,0; 50,0; 100,0 кгс). Пример записи числа твердости: $600HV$ – твердость по Виккерсу, полученная при усилии $F = 294$ Н (30 кгс) и времени выдержки 10...15 с; $220HV\ 10/40$ – твердость по Виккерсу, равная 220, полученная при нагрузке 98 Н (10 кгс) и времени выдержки 40 с. Поверхность для определения

твёрдости по Виккерсу должна быть отполированной и свободной от оксидных плёнок и посторонних веществ. При грубой структуре образца может возникнуть большой разброс значений HV в разных точках образца. При измерении твёрдости должна быть обеспечена перпендикулярность приложения действующего усилия к испытываемой поверхности.

Для получения достоверных средних значений необходимо на каждом образце делать не менее 3...10 замеров. Схема прибора для измерения твёрдости по Виккерсу представлена на рис. 1.2.

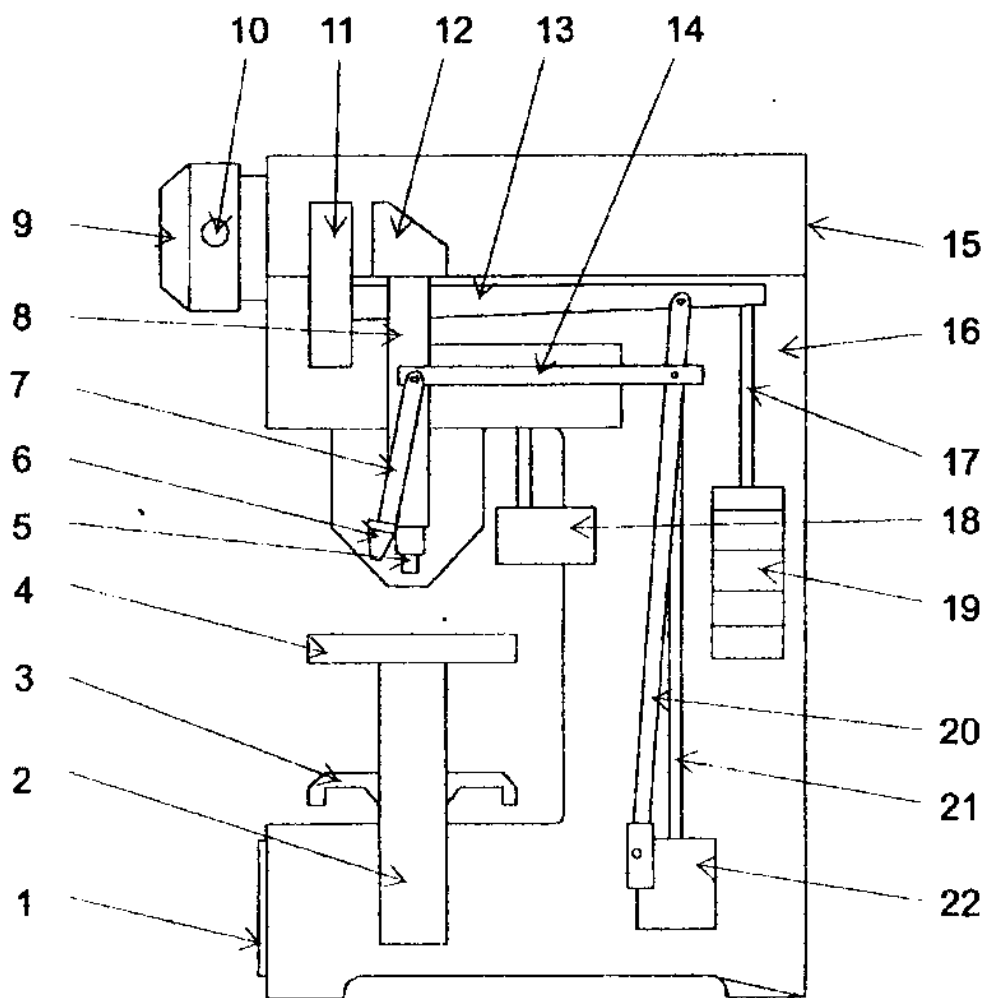


Рис. 2. Схема прибора для измерения твёрдости по Виккерсу (должен соответствовать требованиям ГОСТ 13408-67): 1 – станина; 2 – подъемный винт; 3 – маховичок; 4 – опорный столик; 5 – зеркало светоделительное; 6 – испытательный наконечник; 7 – рычаг; 8 – осветитель; 9 – измерительная головка; 10 – винт; 11 – противовес; 12 – головка; 13 – рычаг; 14 – планка; 15, 16 – крышки; 17 – подвеска грузовая; 18 – осветитель; 19 – груз; 20 – тяга; 21 – штанга; 22 – демпфер

Прибор смонтирован на массивной станине 1. Образец устанавливают на опорный столик 4. Совмещают перекрестие измерительной головки 9 с тем местом на образце, твёрдость которого необходимо измерить. Наводка на

резкость осуществляется перемещением подъемного винта 2 маховичком 3. Отводят рукоятку на правой панели прибора вправо и выводят ее из зацепления. Штанга 21 под действием пружин, рычага 13 и грузов 19 будет опускаться, а испытательный наконечник 6 внедряться в образец.

В момент приложения нагрузки зажигается лампочка и включается реле времени. По окончании заданной выдержки срабатывает световая сигнализация. Рукоятку на правой панели прибора вводят в зацепление. Медленным опусканием подъемного винта добиваются резкого изображения отпечатка. Затем с помощью измерительной головки определяют длину диагоналей отпечатка. На практике число твердости определяют с помощью специальных таблиц по значению диагонали отпечатка по выбранной нагрузке.

Проверка твердомеров Виккерса производится по контрольным плиткам (образцовым мерам твердости). Метод Виккерса применяют главным образом для материалов, имеющих высокую твердость, а также для испытания на твердость деталей малых сечений или тонких поверхностных слоев. Чем тоньше сечение детали или исследуемый слой, тем меньше выбирают нагрузку. Числа твердости по Виккерсу и по Бринеллю для материалов, имеющих твердость до 450 *HV*, практически совпадают.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством и принципом работы твердомера Виккерса.
2. Выполнить измерение твердости образца в области металла шва и основного металла (количество измерений на каждом участке не менее 3).
3. Провести статистическую обработку результатов, сравнить полученные результаты, сделать вывод.

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Краткое теоретическое введение.
3. Результаты измерения твердости сварного соединения.
4. Заключение о проделанной работе.

Практическая работа № 2

Изучение устройства и принципов работы микротвердомера ПМТ-3

Цель работы: изучение устройства, получение навыков работы на микротвердомере ПМТ-3.

Определение твердости вдавливанием индентора является наиболее простым и распространенным видом механических испытаний материалов. В зависимости от величины нагрузки, действующей на индентор, различают *макротвердость*, определяемую при нагрузках свыше 49 Н (5 кГ) и *микротвердость*, определяемую при нагрузках от 0,049 (5 г) до 4,9 Н (500 г).

При испытании на микротвердость размер отпечатка настолько мал, что появляется возможность определять твердость отдельных зерен или структурных составляющих материала. Кроме того, испытание на микротвердость применяют для контроля качества материала очень мелких деталей (например, деталей ручных часов), тонких полуфабрикатов (листов, лент, фольги, проволоки и т. п.), а также для определения твердости покрытий и весьма тонких поверхностных слоев, хрупких неметаллических материалов (абразивов, минералов, стекол), полимеров, строительных материалов и др.

Методика испытания на микротвердость указана в ГОСТ 9450-76. Применяют следующие типы алмазных наконечников: с четырехгранной пирамидой с квадратным основанием (индекс «кв»); с трехгранной пирамидой с основанием в виде равностороннего треугольника (индекс «тр»); с четырехгранной пирамидкой с ромбическим основанием (индекс «рб»); бицилиндрический наконечник (индекс «ц»).

Наиболее широко используют алмазную пирамиду с квадратным основанием правильной четырехгранной формы с углом при вершине между противоположными гранями пирамиды, равным 136° . Форма алмазной пирамиды такая же, как при испытании на твердость по Виккерсу (ГОСТ 2999-75), но точность изготовления пирамиды выше, так как при малых отпечатках погрешности индентора сильнее сказываются на результатах испытаний. При испытании на микротвердость поверхность алмазной пирамиды и испытываемая поверхность образца должны быть сухими (без смазки).

Согласно ГОСТ 9450-76 при определении микротвердости используют следующие нагрузки: 0,049; 0,098; 0,196; 0,49; 0,98; 1,96; 4,9 Н (5; 10; 20; 50; 100; 200; 500 г). Испытуемая поверхность должна быть плоской, гладкой, свободной от загрязнений на участке с радиусом, равным длине диагонали, считая от центра отпечатка. Для микротвердости *HV* продолжительность приложения нагрузки должна быть в пределах 10...15 с.

После вдавливания индентора под указанной нагрузкой в чистую плоскую поверхность на ней остается маленький квадратный отпечаток. Измерив с помощью микроскопа его диагонали d_1 и d_2 , находят их среднее арифметическое $d = (d_1 + d_2)/2$. Эту величину принимают за расчетную длину

диагонали отпечатка. Число микротвердости HV представляет собой (как и при определении твердости по Виккерсу) частное от деления нагрузки на условную площадь боковой поверхности полученного отпечатка A . Так как для четырехгранной пирамиды с углом между противоположными гранями при вершине 136° $A = d^2/1,854$, то

$$HV = 1,854 \cdot F/d^2,$$

где F – нагрузка на пирамиду, кГ; d – среднее арифметическое длин обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки, мм.

Микротвердость определяют при помощи отечественного прибора ПМТ-3. Он имеет массивный штатив, обеспечивающий большую устойчивость. В приборе обеспечена точная центровка отпечатка в поле зрения микроскопа. На рисунке показано устройство прибора.

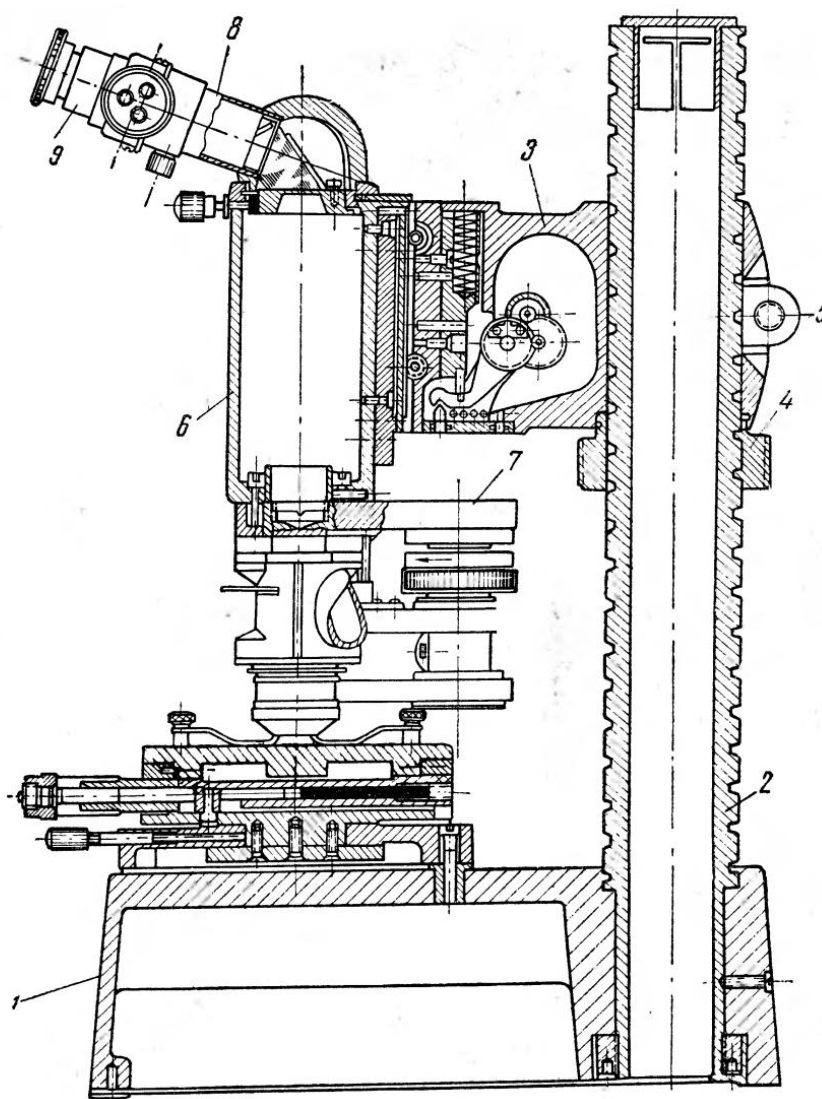


Схема прибора ПМТ-3. Вертикальный разрез: 1 – основание; 2 – цилиндрическая колонка; 3 – кронштейн; 4 – кольцевая гайка; 5 – зажимной винт; 6 – тубус; 7 – индентор; 8 – окулярная трубка; 9 – винтовой окулярный микрометр

Основание 1 представляет собой коробку с ребрами жесткости. К нему присоединена цилиндрическая колонка 2 с ленточной резьбой. На колонку надет кронштейн 3, который закреплен на ней разрезной втулкой с зажимным винтом 5 и может перемещаться с помощью кольцевой гайки 4. Кронштейн несет тубус 6, в нижней части которого укреплен кронштейн индентора 7. Сверху тубуса устанавливается наклонная окулярная трубка 8 и винтовой окулярный микрометр 9.

В кронштейне размещены механизмы грубой и тонкой подачи тубуса. Рукоятка тонкой подачи имеет деления, каждое из которых соответствует 0,002 мм подъема или опускания тубуса.

Предметный столик может перемещаться во взаимно перпендикулярных направлениях, что достигается с помощью микрометрических винтов. Точность перемещения до 0,01 мм достигается в пределах 10 мм. Для поворота предметного столика на 180° от упора до упора (из начального положения, когда визируется место испытания, во второе положение для производства испытания) служит специальная рукоятка.

Испытание на микротвердость проводят следующим образом. Исследуемый объект помещают под объектив микроскопа. Сфокусировав микроскоп на резкость изображения и осмотрев участок, предназначенный для испытания, выбирают место для определения микротвердости. Затем поворотом столика подводят это место под индентор. После вдавливания индентора поворачивают столик в обратном направлении и измеряют диагонали отпечатка окуляр-микрометром.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством и принципом работы микротвердомера ПМТ-3.
2. Выполнить измерение микротвердости образца при нагрузках на индентор 50, 100 и 200 г (количество отпечатков при каждой нагрузке не менее 3).
3. Провести статистическую обработку результатов, сравнить полученные результаты, сделать вывод.

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Краткое теоретическое введение.
3. Результаты измерения микротвердости.
4. Заключение о проделанной работе.

Практическая работа № 3

Измерение микротвердости сварных соединений

Цель работы: получение навыков измерения микротвердости сварных соединений.

Испытания сварных соединений проводятся в организациях, аккредитованных в порядке, установленном нормативными и правовыми актами Российской Федерации, а именно в испытательных центрах, имеющих следующие виды документов (не менее одного):

свидетельство Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии;

аттестат аккредитации в системе сертификации отрасли.

Для измерения твердости применяются твердомеры для проведения замеров в соответствии с документами:

ГОСТ 9012 «Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю»;

ГОСТ 9013 «Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу»;

ГОСТ 9450 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников»;

ГОСТ 2999 «Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу».

В соответствии с ГОСТ 57180-2016 «Соединения сварные. Методы определения механических свойств, макроструктуры и микроструктуры» измерение твердости проводят в поперечном сечении образцов для всех видов сварных соединений конструкций и деталей. Твердость основного металла, различных участков зоны термического влияния и металла шва измеряют по одной или нескольким линиям, указанным на рис. 3.1. Если соединение выполнено из металлов различных марок, то твердость измеряют для каждого из них. Линии измерения твердости во всех случаях, кроме позиции VII, проходят через все участки сварного соединения.

При измерениях, выполняемых в непосредственной близости от границы сплавления, рекомендуется проводить два–три измерения в соответствии с позицией I (рис. 3.2) или дополнительные измерения по позиции II (рис. 3.2). Допускается проведение измерений на участках сварного соединения, указанных на рис. 3.3.

Твердость стыковых и угловых соединений, выполненных дуговой сваркой, измеряют:

при толщине основного металла или углового шва от 1,5 до 9 мм – в соответствии с позицией VIII (рис. 3.1) по одной пунктирной линии:

при толщине от 9 до 25 мм – в соответствии с позициями I и III (рис. 3.1) по двум сплошным линиям;

при толщине от 26 до 60 мм – в соответствии с позициями II или III (рис. 3.1) по двум сплошным и одной пунктирной линиям.

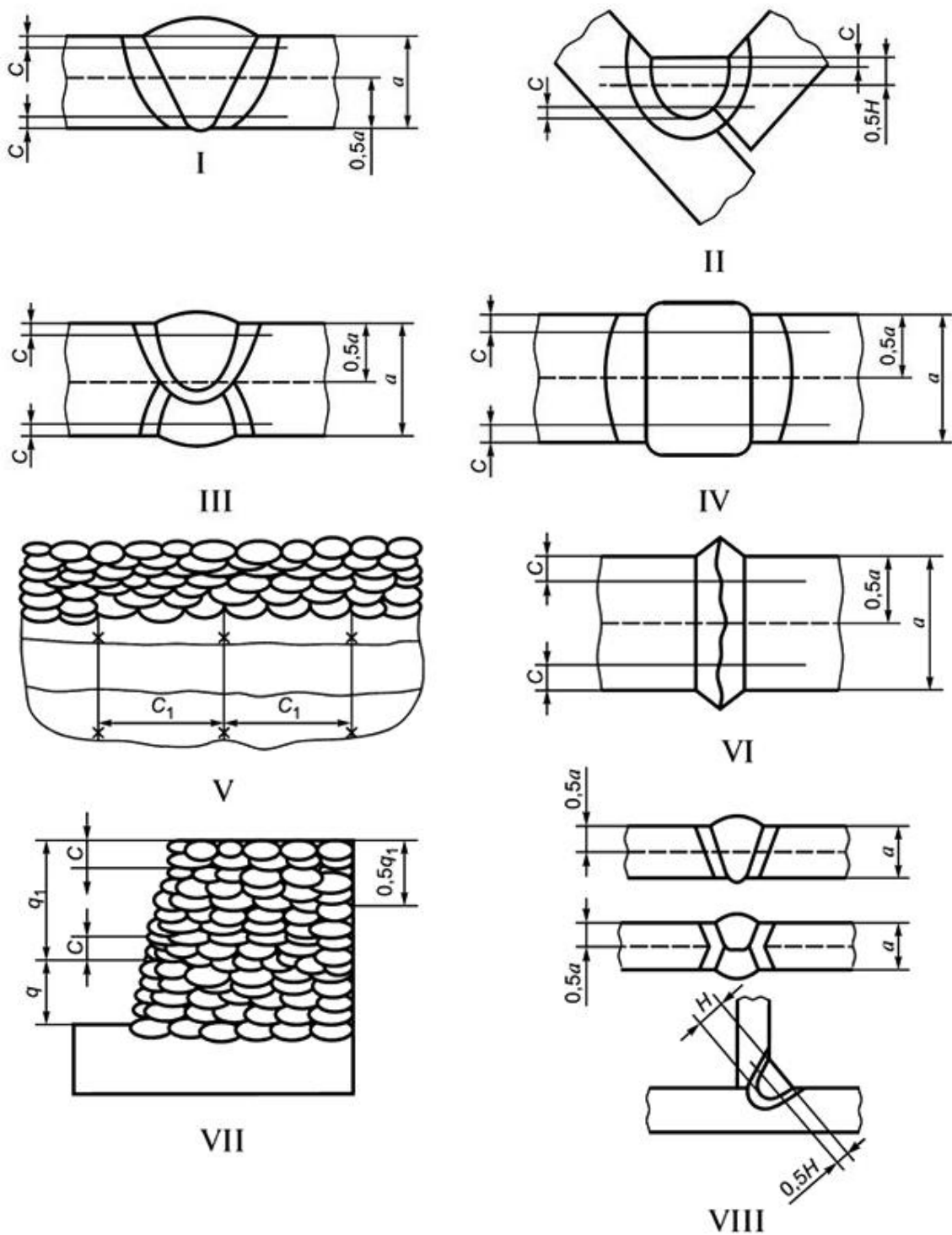


Рис. 3.1. Схемы измерения твердости сварных соединений:
 C – от 2 до 4 мм; для угловых швов, имеющих вогнутую или выпуклую поверхность, величину C отсчитывают от места максимальной вогнутости или выпуклости; C_1 – от 10 до 15 мм;
 a – толщина основного металла, мм; H – толщина углового шва, мм;
 q – подготовительный участок толщиной не менее пяти слоев;
 q_1 – участок измерения твердости не менее шести слоев (ГОСТ 57180-2016)

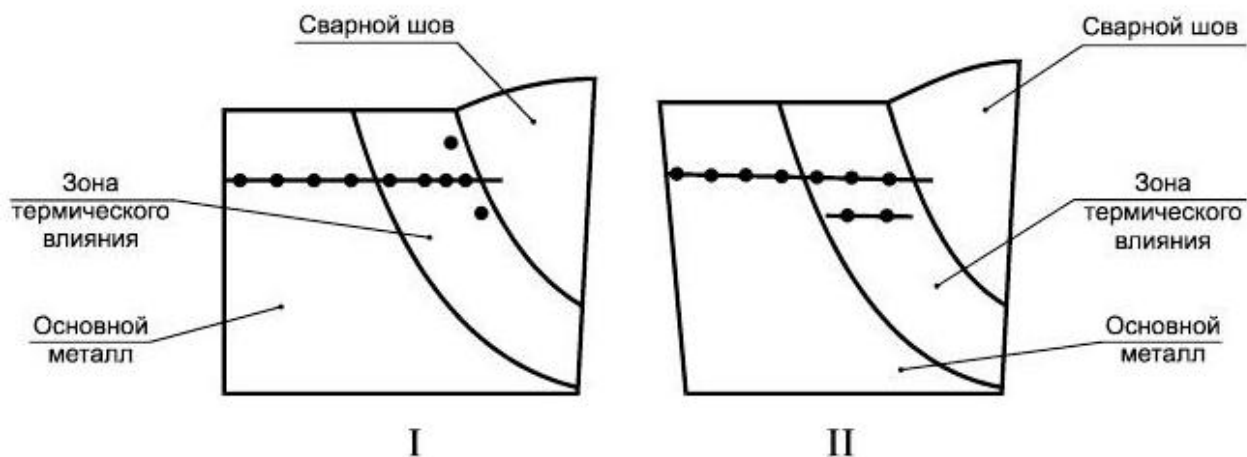


Рис. 3.2. Схемы замеров твердости:
I – основная; II – дополнительная (ГОСТ 57180-2016)

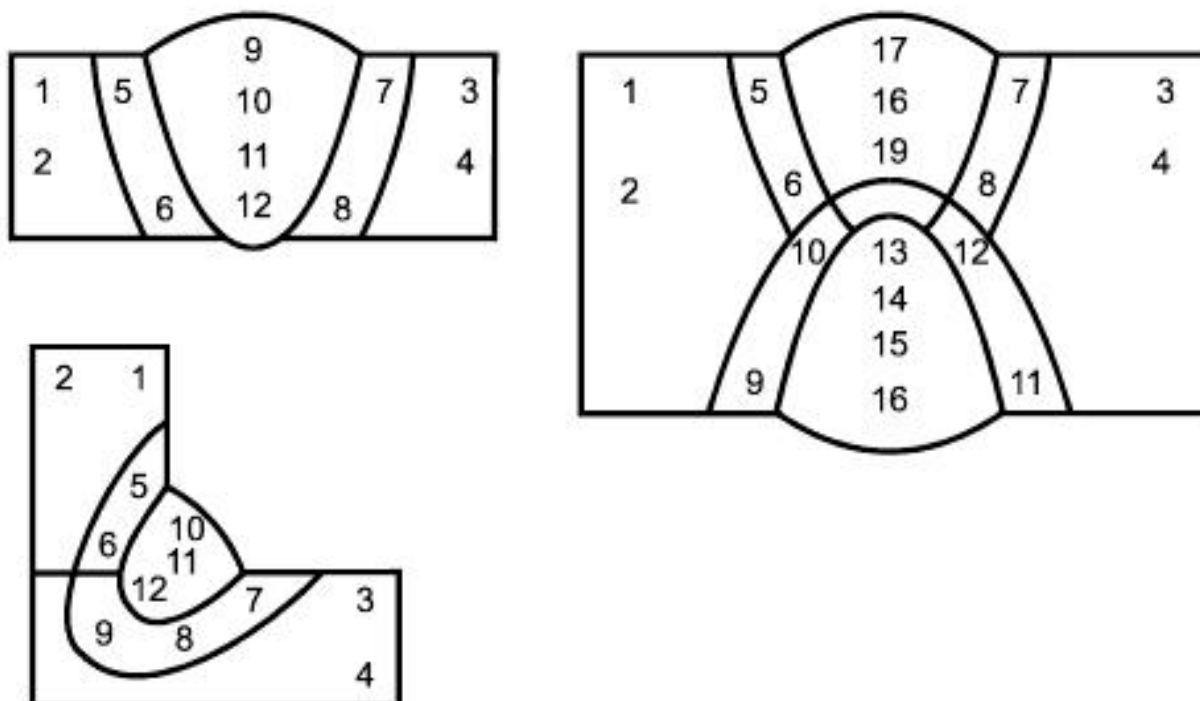


Рис. 3.3. Участки замеров твердости,
обозначенные цифрами (ГОСТ 57180-2016)

Схему измерения твердости при толщине основного металла или углового шва более 60 мм оговаривают в технических документах на сварное соединение конкретной детали или конструкции.

Твердость сварных соединений, полученных электрошлаковой сваркой, измеряют в соответствии с позицией IV (см. рис. 3.1). Число точек измерений в зоне термического влияния должно быть не менее 10. Твердость различных участков металла шва измеряют в соответствии с позицией V (см. рис. 3.1).

Твердость сварных соединений, полученных сваркой давлением, измеряют в соответствии с позицией VI (см. рис. 3.1). Твердость наплавленного металла при контроле качества сварочных материалов измеряют в соответствии с позицией VII (см. рис. 3.1).

Измерение микротвердости проводят для определения свойств сварных соединений, глубина и площадь которых не позволяют проводить замеры макротвердости, например, методом Виккерса; отдельных участков; структурных составляющих; зерен; тонких слоев покрытий и зон термического влияния сварных соединений; поверхностных явлений (обезуглероживания); явлений, связанных с локальным пластическим деформированием; изучения химической и структурной неоднородностей, а также для получения значительного количества замеров (для накопления объективной информации). Измерение микротвердости проводят в соответствии с требованиями ГОСТ 9450.

Подготовка к испытанию

Поверхность испытываемого изделия (образца) должна быть свободной от загрязнения на участке нанесения отпечатка. При подготовке поверхности испытываемого образца необходимо принять меры предосторожности, учитывая возможное изменение твердости испытываемой поверхности вследствие нагрева при вырезке или наклепа при механической обработке.

Испытуемое изделие (образец) должно быть установлено на предметном столике микротвердомера так, чтобы в процессе испытания оно не смещалось, не прогибалось и не поворачивалось. Поверхность изделия (образца), подлежащая испытанию, должна быть установлена перпендикулярно к оси алмазного наконечника. Рабочая поверхность алмазного наконечника и поверхность испытываемого изделия должны быть сухими (без смазки).

Расстояние от центра отпечатка до края изделия (образца) должно быть не менее двойного размера отпечатка. Расстояние между центрами отпечатков, нанесенных на одну поверхность, должно превышать размер отпечатка более чем в три раза.

Нагружение должно осуществляться плавно, без толчков. Скорость опускания алмазного наконечника не должна сказываться на размерах отпечатка. Продолжительность выдержки должна составлять 10...15 с.

Порядок выполнения работы

1. Подготовить поверхность образца сварного соединения к измерению микротвердости. Выполнить при необходимости шлифовку и полировку исследуемой поверхности на алмазных пастах.
2. Выбрать схему нанесения отпечатков в соответствии с ГОСТ 57180-2016.
3. Выполнить измерение микротвердости в соответствии с выбранной схемой.

4. Провести при необходимости статистическую обработку результатов, построить график изменения микротвердости по сечению сварного соединения, сделать вывод.

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Краткое теоретическое введение.
3. Результаты измерения микротвердости.
4. Заключение о проделанной работе.

Рекомендуемая литература

1. ГОСТ 9012. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю. М.: Стандартиформ, 2007. 42 с.

2. ГОСТ 9013. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу. М.: Издательство стандартов, 2001. 10 с.

3. ГОСТ 9450. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных нако-нечников. М.: Издательство стандартов, 1993, 34 с.

4. ГОСТ 2999. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу. М.: Издательство стандартов, 1987. 31 с.

5. ГОСТ 57180-2016. Соединения сварные. Методы определения механических свойств, макроструктуры и микроструктуры. М.: Стандартиформ, 2017. 20 с.

Содержание

Практическая работа № 1	
Измерение твердости по методу Виккерса.....	3
Практическая работа № 2	
Изучение устройства и принципов работы микротвердомера ПМТ-3.....	7
Практическая работа № 3	
Измерение микротвердости сварных соединений.....	10
Рекомендуемая литература.....	14

ОСНОВЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

Часть 3. Измерение твердости сварных соединений

Методические указания к выполнению практических работ
для обучающихся по направлению подготовки магистров
15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств, направленность (профиль)
«Технологии сварочного производства»

Составитель Л.Е. Афанасьева

Корректор Я.А. Петрова

Подписано в печать 25.05.2020

Формат 60×84 1/16

Физ. печ. л. 1

Тираж 50 экз.

Усл. печ. л. 0,93

Заказ № 27

Бумага писчая

Уч.-изд. л. 0,87

С – 27

Редакционно-издательский центр
Тверского государственного технического университета
170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22