

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ПРОДОЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТВЕРДОСТЬ И СТРУКТУРУ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПРИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ ПОД ФЛЮСОМ

Размышляев А. Д., Агеева М. В.

Исследовано влияние частоты продольного магнитного поля (ПРМП) на твердость и структуру наплавленного металла при дуговой наплавке под флюсом. Показано, что при увеличении частоты ПРМП твердость верхнего слоя наплавленного металла возрастает и наиболее эффективной является частота 5 Гц. При наплавке сталей, склонных к образованию закалочных структур в зоне термического влияния, применение ПРМП частотой 0,5-2,0 Гц снижает твердость этой зоны, что способствует снижению склонности к образованию холодных трещин. Применение ПРМП при наплавке под флюсом низкоуглеродистых сталей приводит к образованию мелкой разориентированной и равномерной структуры по всему сечению валика.

Досліджено вплив частоти подовжнього магнітного поля (ПДМП) на твердість і структуру наплавленого металу при дуговому наплавленні під флюсом. Показано, що при збільшенні частоти ПДМП твердість верхнього шару наплавленого металу зростає і найбільш ефективною є частота 5 Гц. При наплавленні сталей, схильних до утворення гартівних структур в зоні термічного впливу, застосування ПДМП частотою 0,5-2,0 Гц знижує твердість цієї зони, що сприяє зниженню схильності до утворення холодних тріщин. Застосування ПДМП при наплавленні під флюсом низьковуглецевих сталей призводить до утворення дрібної разорієнтованої і рівномірної структури по всьому перетину валика.

The frequency effect of the longitudinal magnetic field (LMF) on hardness and structure of weld metal at arc surfacing under flux is researched. The weld metal hardness of upper layer increase with the LMF frequency increasing is showed and the most effective frequency of 5 Hz is stated. The use of LMF with frequency of 0.5-2.0 Hz at surfacing of steel, prone to the formation of hardening structures in the heat affected zone decreases hardness of this zone, which leads to a reduction of propensity to the cold cracks formation. The LMF use at surfacing with flux of low-carbon steels leads to the formation for shallow disoriented and uniform structure throughout the whole section bead.

Размышляев А. Д.

д-р. техн. наук,
проф. каф. ОиТСП ГВУЗ ПГТУ

Агеева М. В.

канд. техн. наук,
доц. каф. ОиТСП ДГМА
sp@dgma.donetsk.ua

ГВУЗ ПГТУ – Государственное высшее учебное заведение «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь;
ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 621.791.927.5

Размышляев А. Д., Агеева М. В.

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ПРОДОЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТВЕРДОСТЬ И СТРУКТУРУ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПРИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ ПОД ФЛЮСОМ

Воздействие продольного магнитного поля (ПРМП) при дуговой наплавке электродной проволокой под флюсом позволяет получить ряд положительных эффектов: управлять формой наплавленного валика, снизить глубину и площадь проплавления основного металла, снизить долю участия основного металла в наплавленном, увеличить производительность процесса наплавки, улучшить формирование и измельчить структуру наплавленного металла [1, 2].

Однако в этих работах не рассмотрено влияние ПРМП в диапазоне частот 0...50 Гц на твердость и структуру наплавленного металла при дуговой наплавке под флюсом.

В работе [2] показано, что прочностные и пластические свойства металла при наплавке проволокой Нп-30ХГСА с воздействием ПРМП выше, чем при наплавке без магнитного поля. В зонах перекрытия смежных валиков при воздействии ПРМП в связи с улучшением однородности структуры и свойств металла отсутствуют «провалы» механических свойств, распределение микротвердости более равномерно, чем при наплавке без воздействия ПРМП.

Для оценки влияния ПРМП на изменение («провалы») твердости в зоне перекрытия смежных валиков выбран наплавочный материал, при наплавке которым эти явления ярко выражены. Такое явление имеет место при наплавке порошковой проволокой ПП-12Х13, широко используемой для повышения износостойкости роликов машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ).

Целью данной работы является определение влияния частоты ПРМП на твердость и структуру наплавленного металла при дуговой наплавке под флюсом.

Поскольку при наплавке проволокой ПП-12Х13 роликов из стали 25Х1МФ может оказать влияние (на указанные провалы твердости) изменение состава наплавленного металла из-за перехода легирующих элементов из наплавляемой стали (из стали 25Х1МФ), выполняли наплавку на сталь Ст.3. Проволока ПП-12Х13 обеспечивает наплавленный металл ферритного, либо ферритно-мартеситного класса. При этом проволокой ПП-12Х13 наплавляли по 5 валиков в 2 слоя и 2 валика наплавляли сверху в 3^м слое, зону перекрытия которых и анализировали. Режим наплавки проволокой диаметром 3,6 мм был следующим: $I_n = 400$ А, $U_d = 28$ В, $V_n = 27,3$ м/ч, вылет электрода составлял 25 мм. При наплавке использовали флюс АН-26П. Наплавку осуществляли на обратной полярности автоматом АДС-1002 с использованием выпрямителя ВДУ-1202 (при падающей внешней характеристике). К мундштуку автомата крепили соленоид с ферромагнитным сердечником, который генерировал ПРМП. Для создания ПРМП частотой 50 Гц обмотку соленоида запитывали от сети через понижающий напряжение трансформатор. Для создания постоянного ПРМП обмотку соленоида запитывали от сварочного выпрямителя (ВСЖ-303). В серии наплавки с использованием ПРМП обмотку соленоида питали от источника УЭМП-1. Наплавку верхних двух валиков в третьем слое осуществляли при частотах поля: 1; 3,16; 6,25 и 12,5 Гц. Величина индукции магнитного поля составляла 25 мТл.

Измерения твердости (по HV с нагрузкой 10 кг) выполняли по горизонтальной линии на уровне 2 мм от нижнего слоя (рис. 1, а). Данные измерений показали, что при увеличении частоты ПРМП твердость (верхнего слоя) наплавленного металла возрастает (рис. 2) и наиболее эффективной является частота 5 Гц, которые подтвердили данные моделирования о целесообразности использования ПРМП частотой 2...5 Гц. Использование ПРМП позволяет повысить твердость наплавленного металла и значительно уменьшить «провал» твердости в зоне сопряжения смежных валиков в связи с улучшением однородности структуры и свойств металла (рис. 1, б).

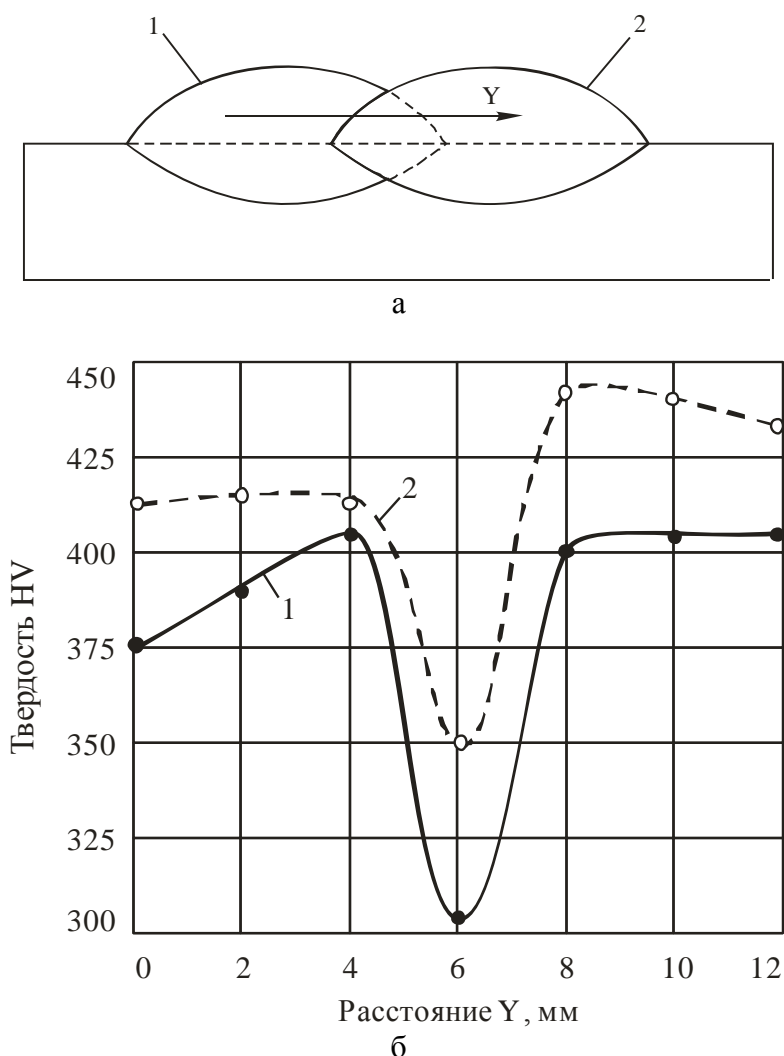


Рис. 1. Схема измерений (а) и распределение твердости на границе двух смежных валков (б):

а: 1, 2 – последовательность наплавки валков; б: 1 – наплавка без воздействия ПРМП; 2 – наплавка с воздействием ПРМП

Аналогичные данные получаются при использовании частоты 25 Гц (однополярные синусоидальные импульсы) и промышленной частоты 50 Гц. Для промышленной частоты 50 Гц эффект повышения твердости несколько снижается (рис. 2).

При наплавке слоев металла на стали, которые склонны к закалке под действием термического цикла наплавки, эффективность процесса наплавки зависит, в первую очередь, от образования закалочных структур в зоне термического влияния в основном металле.

Моделирование распределения температур в изделии и термических циклов осуществляли расчетным методом с использованием теории распространения тепла при сварке, предложенной Н.Н. Рыкалиным. При этом моделировали термические циклы в изделии для процессов наплавки проволокой без действия и с действием продольного магнитного поля.

Расчетные данные проверены экспериментально методом термографирования. Установлено удовлетворительное совпадение расчетных данных с экспериментальными. Ниже приведена методика эксперимента и полученные результаты.

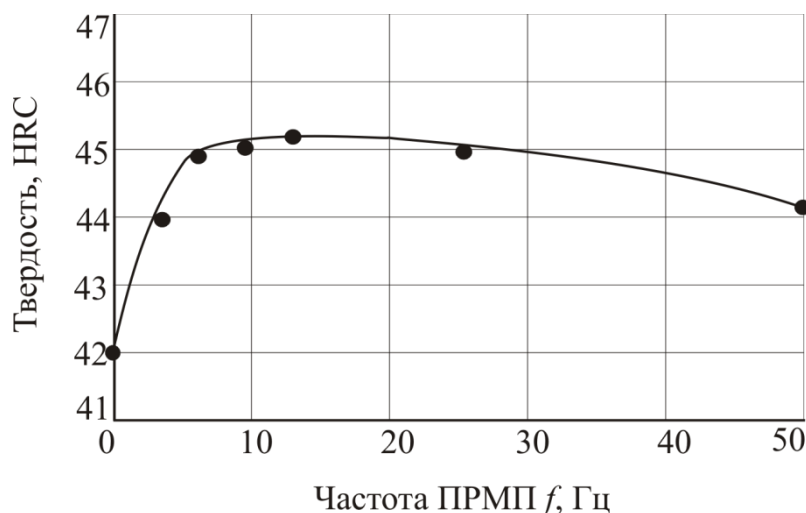


Рис. 2. Влияние частоты ПРМП на твердость металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-12Х13

Для измерения температур в изделии при наплавке выполняли эксперимент, используя пластины из стали Ст.45 толщиной 20 мм. Использовали хромель-копелевые термопары из проволочек диаметром 0,2 мм. Спаи термопар приваривали (разрядом конденсатора) к наплавляемой пластине на определенном расстоянии от оси будущего валика. Наплавки осуществляли проволокой Св-08А диаметром 4 мм под флюсом АН-348А на режиме: $I_n = 360 \dots 400$ А, $U_d = 30 \dots 32$ В, $V_n = 30$ м/ч. Наплавки осуществляли без магнитного поля, а также с использованием ПРМП частотой 1 Гц при величине индукции 45 мТл. Запись термоциклов при наплавке осуществляли осциллографом Н-115. Было установлено, что в зоне термического влияния (на расстоянии около 1мм от линии сплавления) при наплавке с воздействием ПРМП частотой 1 Гц имеют место пульсации температурного поля (3-4 затухающие пульсации) с частотой также 1 Гц, то есть соответствующей частоте магнитного поля. Глубина пульсаций составляла 200–300°С (при максимальной температуре порядка 1000°С). Следует отметить, что пульсации температур наблюдались при частотах 0,5...2,0 Гц, а при частотах 4...12,5 Гц не наблюдались.

Выполняли экспериментальные наплавки проволокой Св-08А диаметром 4мм на сталь Ст.45, склонную к закалке, чтобы оценить влияние пульсаций температур в изделии (ЗТВ) при наплавке с использованием ПРМП частотой 1 Гц на твердость металла в этой зоне. Режим наплавки был приведен выше. Схема измерений и данные измерений твердости приведены на рис. 3. Данные показывают, что при наплавке без использования ПРМП твердость металла под наплавленным валиком значительно повышается от воздействия термоцикла. При наплавке с использованием ПРМП частотой 1 Гц твердость металла (стали Ст.45) в ЗТВ значительно меньше, чем при обычной наплавке. Это связано с пульсацией температуры в ЗТВ при воздействии знакопеременного частотой 1 Гц ПРМП. Аналогичные результаты получены и при воздействии ПРМП частотой 0,5 и 2,0 Гц. При частотах 4...12,5 Гц отмеченный эффект не наблюдался.

Указанный эффект связан с благоприятным пульсирующим термоциклом в ЗТВ при наплавке с воздействием ПРМП частотой 1...2 Гц. Поскольку в ЗТВ, имеющей закалочные структуры, зачастую образуются холодные трещины, то использование ПРМП при наплавке снижает склонность к образованию указанного дефекта. Следует отметить, что аналогичные результаты получены и при наплавке на образцы из стали 25Х1МФ с воздействием ПРМП частотой 0,5; 1,0; 2,0 Гц. Таким образом, когда для наплавки подсыла заводскими ТУ рекомендуется проволока из малоуглеродистой стали (Св-08А), целесообразно использовать ПРМП частотой 0,5...2,0 Гц. Оптимальными при этом являются значения индукции ПРМП у поверхности изделия под электродом 30...50 мТл.

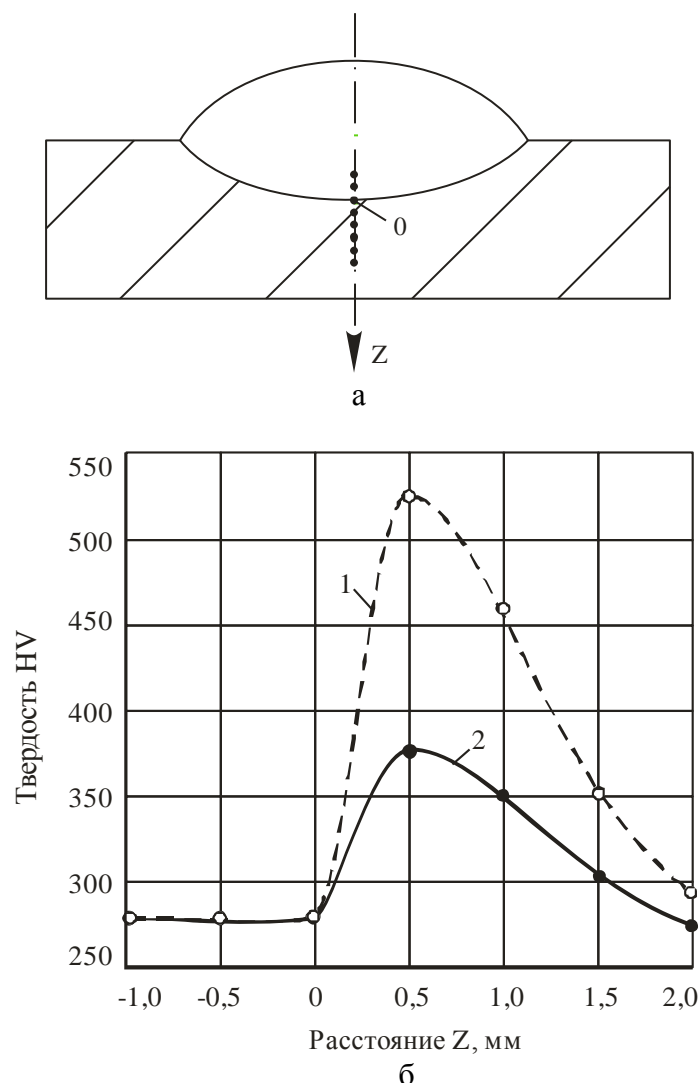


Рис. 3. Схема измерений (а) и распределение твердости в зоне термического влияния (б): 1 – наплавка без воздействия ПРМП; 2 – наплавка с воздействием ПРМП

Для определения влияния частоты ПРМП на структуру и твердость наплавленного металла осуществляли наплавку на пластины из стали 09Г2С проволокой Св-08А Ø4 мм под слоем флюса АН-348А. В экспериментах использовали постоянное с частотой 4 и 50 Гц ПРМП с отрицательным радиальным градиентом продольной составляющей индукции, равной 70...80 мТл у поверхности основного металла. Наплавленные образцы разрезали и подвергали металлографическому исследованию. На рис. 4 представлены микроструктуры образцов металла, наплавленных с применением магнитного поля различной частоты и без него. Определяли ширину литых кристаллитов и параллельно измеряли твердость металла шва. Результаты измерений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние ПРМП на твердость и размеры кристаллитов

№№ п/п	Частота ПРМП, Гц	Металл шва	
		Ширина кристаллитов, мм	Твердость $H\mu_{1000}$, кгс/мм ²
1	–	0,1 – 0,36	237
2	пост	0,03 – 0,2	251 – 260
3	4	0,2	237 – 249
4	50	0,05 – 0,25	239 – 240

Структура шва, наплавленного с воздействием ПРМП, характеризуется более узкими кристаллитами и значительно дезориентирована (рис. 4). Твердость металла шва при наплавке с воздействием ПРМП повышается, особенно при воздействии постоянного ПРМП (см. табл. 1). Таким образом, для повышения твердости металла шва применительно к наплавке подслоя проволоками из малоуглеродистой стали целесообразно применение постоянного ПРМП.

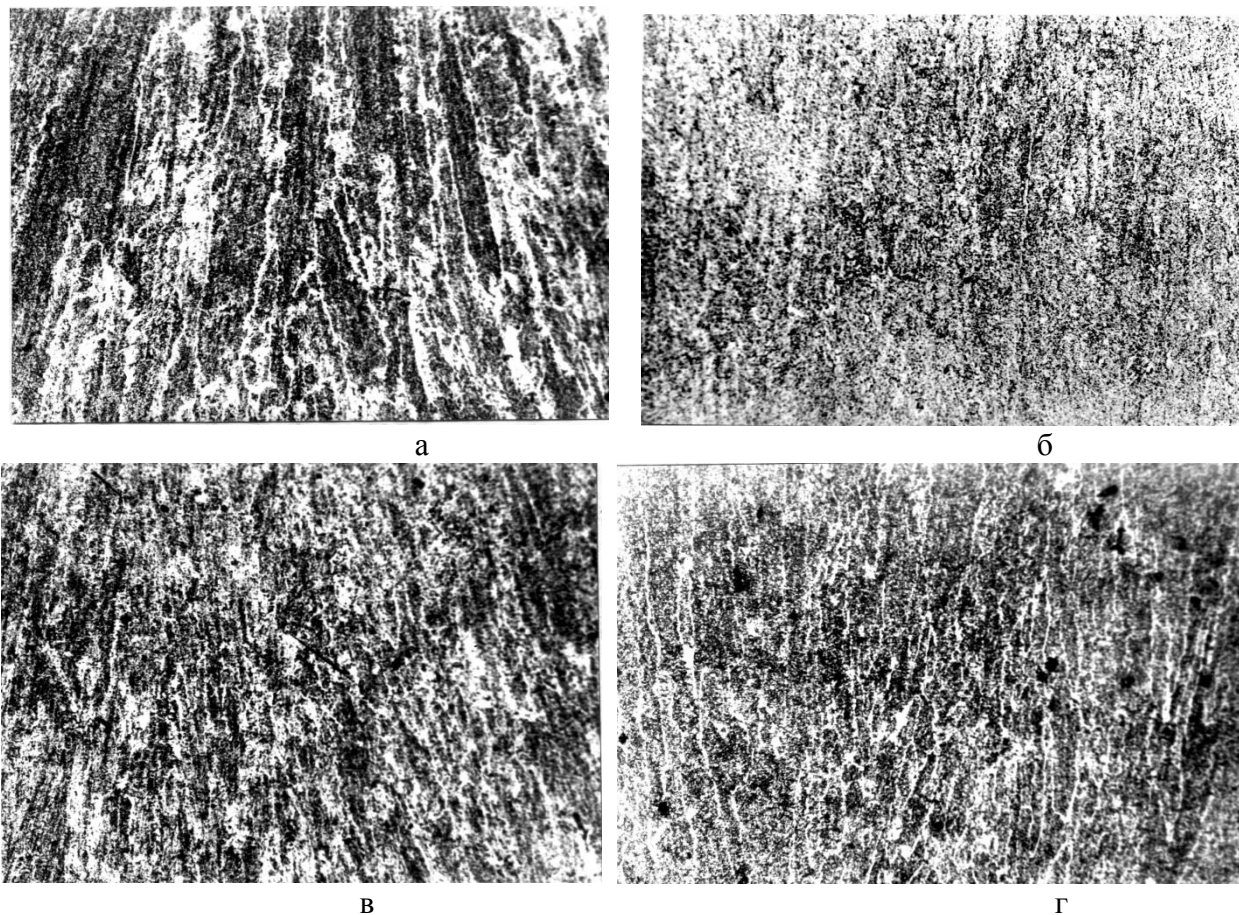


Рис. 4. Микроструктура сварного шва (x 50):

а – без поля; б – ПРМП частотой 4 Гц; в – ПРМП частотой 50 Гц; г – постоянное ПРМП

ВЫВОДЫ

1. Показано, что при увеличении частоты ПРМП твердость (верхнего слоя) наплавленного металла возрастает, и наиболее эффективной является частота 5 Гц.
2. При наплавке сталей, склонных к образованию закалочных структур в ЗТВ, применение ПРМП, частотой 0,5–2,0 Гц, снижает твердость этой зоны, что способствует снижению склонности к образованию холодных трещин.
3. Применение ПРМП при наплавке под флюсом малоуглеродистых сталей приводит к образованию мелкой разориентированной и равномерной структуры по всему сечению валика, межкристаллитные прослойки тоньше и границы сильно развиты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сварка с электромагнитным перемешиванием / В.П. Черныш, В.Д. Кузнецов, А.Н. Брисман и др. – К.: Техника, 1983. – 127 с.
2. Размышляев А.Д. Магнитное управление формированием швов при дуговой сварке / А.Д. Размышляев. – Мариуполь: ПГТУ, 2000. – 245 с.