

**В.Г.Иванченко, В.Т.Тилик*, С.Д.Адамский, А.М.Нестеренко,
С.Н.Коваль*, Г.Н.Голубых, В.С.Панченко*, Ю.М.Беклемешев**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУР
ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ОСАДКЕ ОСОБОТОНКОЙ ЛИСТОВОЙ
НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ**

*ИЧМ НАН Украины, *ОАО «МК «Запорожсталь»*

Экспериментально установлено, что при горячей осадке особотонких листовых заготовок в области температур аустенитного, аустенитно–ферритного и ферритно–перлитного состояния деформация не распространяется равномерно на всю толщину, что является причиной образования в металле структурной неоднородности.

Постановка задачи и цель работы.

При горячей и теплой осадке в сечении заготовок имеет место плоская деформация с преобладанием напряжений сжатия. Неравномерный характер их распределения по сечению заготовки создает проблемы в получении требуемой бездефектной микроструктуры обрабатываемого металла. Согласно [1] наиболее распространенным дефектом микроструктуры, деформируемых при осадке предварительно термически обработанных заготовок, является ее разнотонность, которая, например, для листовой низкоуглеродистой стали высших категорий качества по ГОСТ 16523, не должна превышать трех смежных номеров зернистости. На практике в структуре металла, подвергнутого горячей осадке, наблюдаются случаи образования отдельных зерен аномально больших размеров 2–го, 3–го номеров при допуске стандартом величиной зерна не крупнее 5–го номера. Крупнозернистая структура не допускается в готовых изделиях.

Рассмотрим причины, вызывающие структурные неоднородности, возникающие в металле при осадке. Условия пластического течения в поверхностных слоях деформированного при осадке металла отличаются от условий течения во внутренних слоях из–за сил трения между инструментом и поверхностью металла. Считается, что когда определяющим в деформации металла являются силы сжатия, что имеет место при осадке, то соприкасающиеся с инструментом слои металла из–за влияния сил трения деформируются слабее, чем внутренние, вследствие чего и образуется структурная неоднородность. Причиной разнотонности могут служить различия в условиях охлаждения при осадке внутренних и поверхностных слоев металла вследствие того, что последние контактируют с холодными бойками. При этом может оказаться, что при осадке металл во внутренних слоях деформируется в состоянии однофазной аустенитной структуры, а в охлажденных поверхностных – в состоянии двухфазной аустенитно–ферритной или ферритно–перлитной структуры. Естественно последую-

щая рекристаллизация этих участков будет проходить по-разному, что и приведет к разнородной структуре.

Изложение материалов исследования.

Рассмотренные структурные превращения характерны для осадки заготовок, в которых высота или равна, или в несколько раз больше ширины и длины [2]. В литературе практически отсутствуют результаты исследований высокотемпературной осадки особотонких (толщиной менее 2 мм) листовых заготовок, в которых толщина в несколько десятков раз меньше ширины и длины. В настоящих исследованиях высокоскоростную осадку листовой стали 08пс из исходной заготовки размером 1,5x100x100 мм производили на прессе-молоте за одно и два нагружения при температурах, соответствующих аустенитному, аустенитно-ферритному и ферритно-перлитному состоянию металла. Осадку производили в середине заготовки на площади 1600 мм² (40x40 мм) без применения технологической смазки.

Для создания одинаковых начальных условий предварительно перед осадкой все экспериментальные образцы листовых заготовок были подвергнуты нормализации – нагрев до 1000⁰С, выдержка 5 минут, охлаждение на воздухе (таблица, 1-й режим). Микроструктура нормализованных образцов (рис.1,а) по всей толщине состоит из равномерных зерен феррита 8–8,5 номеров (диаметр зерен $d = 21,9–15,1$ мкм). Зерно у поверхности образцов несколько увеличено. Кроме этого, исследовали структуру образцов, нагретых до 650⁰С (ферритно-перлитная область) и охлажденных от этой температуры вместе с печью (табл., 2-й режим). Структура металла (рис.1,б) характеризуется наличием равномерного зерна 8,9 номеров ($d = 12,5–13,1$ мкм). Зерно у поверхности увеличено незначительно.

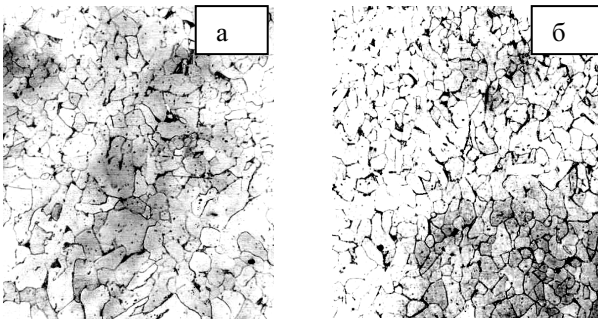


Рис.1. Микроструктура особотонкой листовой стали 08пс, х200; а – после нагрева до 1000⁰С, выдержки 5 минут и охлаждения на воздухе, б – после нагрева до 650⁰С и охлаждения вместе с печью.

После осадки с высокотемпературного нагрева (1000⁰С) за одно нагружение при температуре 900⁰С, которая, согласно диаграммы железа и углерода, находится выше верхней критической точки A_{r3} , т.е. в области однофазной аустенитной структуры металла.

Таблица. Экспериментальные температурно–деформационные режимы нагрева, осадки и охлаждения особотонкой листовой стали 08пс из исходной заготовки толщиной 1,5 мм с высокотемпературного (1000°С) и низкотемпературного (700°С) нагреваов.

№ ре- жи- ма	Режимы нагрева, осадки и охлаждения											Т _{печи}	
	I-е нагружение		II-е нагружение					ΣΔh	Σε	Т _{печи}			
	Т _{1ос.}	h ₁	Δh ₁	ε ₁	Т _{2ос.}	h ₂	Δh ₂				ε ₂		
	°С	мм	мм	%	°С	мм	мм	%	°С				
1	1000	исходная заготовка – осадка не производилась										охл.возд.	
2	650	исходная заготовка – осадка не производилась										650	
3	1000	900	1,12	0,38	25,3	не производилось					0,38	25,3	охл.возд.
4	1000	900	1,10	0,40	26,7	не производилось					0,40	26,7	650
5	1000	900	не определялись		780	0,90	не определялись			0,60	40,0	650	
6	1000	900	не определялись		700	1,05	не определялись			0,45	30,0	650	
7	700	700	1,35	0,15	10,0	не производилось					0,15	10,0	650

Примечания: Т_{нагр.} Т_{1ос.}, Т_{2ос.} – температуры нагрева, осадки при первом и втором нагружении, соответственно; h₁, h₂ – толщина листа после первого и второго нагружения; Δh₁, Δh₂ – абсолютное обжатие при первом и втором нагружении; ε₁, ε₂ – относительная степень деформации при первом и втором нагружении; ΣΔh, Σε – суммарные абсолютная и относительная степень деформации, Т_{печи} – температура начала охлаждения образцов вместе с печью после осадки; охл.возд.– охлаждение образцов естественное на воздухе.

При дальнейшем охлаждении на воздухе (таблица, 3-й режим) – на одной из поверхностей образцов и прилежащих к ней зонах (под ударным бойком) зерно феррита мелкое и равномерное 10 номера ($d = 9,4$ мкм), а на другой поверхности крупное – 6 номера ($d = 34,8$ мкм) – рис.2а. В связи с тем, что при быстром охлаждении на воздухе происходит неполная рекристаллизация и фиксируется зеренная структура, близкая к полученной после деформации, можно утверждать, что деформация при осадке особотонкой листовой стали неравномерно распределяется по всей толщине металла. Если на большей (верхней) его части (примерно 65% толщины), под ударным бойком она максимальная, то в остальной нижней части, прилегающей к неподвижному бойку, она минимальная или практически отсутствует.

После осадки за одно нагружение при температуре 900°C (в аустенитной области) и охлаждении с печью (таблица, 4-й режим) образовалась в целом равномерная структура с зерном 9,10 номеров ($d = 14,5\text{--}10,0$ мкм) – рис.2,б. В данном случае при охлаждении образцов с печью, в отличие от охлажденных на воздухе, рекристаллизация прошла более полно, структура по толщине несколько выровнялась. Однако на нижней поверхности наблюдаются отдельные крупные зерна феррита. Полученная структура также является подтверждением того, что деформация при осадке особотонкой листовой стали не распространяется равномерно на всю толщину.

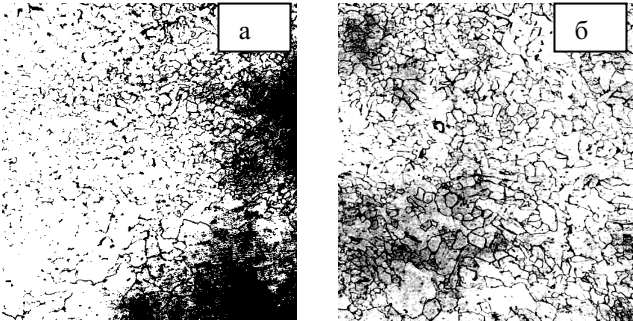


Рис.2. Микро- структура особотонкой листовой стали 08пс после осадки с высокотемпературного нагрева (1000°C) за одно нагружение при 900°C , $\times 200$; охлаждение после осадки: а – естест-

венное на воздухе, б – вместе с печью от 650°C .

После осадки образцов за два нагружения, первое из которых осуществлялось при температуре аустенитного состояния металла (900°C), а второй – аустенитно-ферритного (780°C) и последующего охлаждения вместе с печью от температуры 650°C (таблица, 5-й режим) структура отличается разнотонкостью с зерном от 7 до 10 номеров ($d = 26,7\text{--}11,4$ мкм). Крупное зерно расположено в нижней подповерхностной зоне (рис.3,а). Крупнозернистая структура с нижней стороны (рис.3,б) характерна также для образцов, подвергнутых осадке за два нагружения – пер-

вое в области аустенитного состояния металла (при 900°C), второе – в области ферритно–перлитного состояния (при 700°C) и охлажденных вместе с печью от температуры 650°C (таблица, 6–й режим). Крупное зерно достигает 7 номера ($d = 40,0\text{ мкм}$). В остальной части образцов структура мелкозернистая равномерная с зерном 10,11 номеров ($d = 8,5\text{ мкм}$). Мелкозернистая структура объясняется низко температурой второго нагружения.

После осадки за одно нагружение при температуре ферритно–перлитного состояния металла (700°C) с низкотемпературного нагрева 700°C (таблица, 7–й режим) структура образцов по толщине неоднородна (рис.4). На верхней поверхности зерно мелкое 9,10 номеров, диаметр зерна в среднем составляет 12,3 мкм. По направлению к нижней поверхности зерно постепенно укрупняется, достигая средних размеров в диаметре 36,4 мкм (6,7 номеров). Это также свидетельствует о том, что деформация при осадке особотонкой листовой стали не проникает на всю толщину образцов.

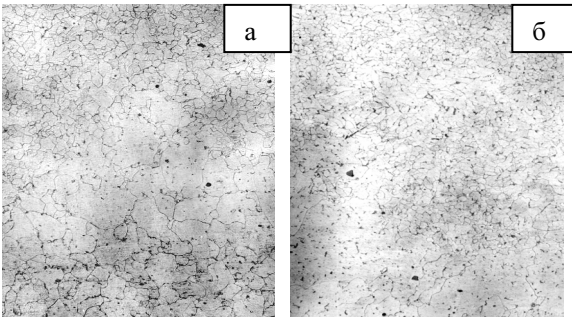


Рис. 3. Микроструктура особотонкой листовой стали 08пс после осадки с высокотемпературного нагрева (1000°C) за два нагружения, $\times 200$; температура металла при первом нагружении: а,б – 900°C , температура металла при втором на-

гружении: а – 780°C , б – 700°C , а,б – охлаждение металла после осадки вместе с печью от 650°C .



Рис. 4. Микроструктура особотонкой листовой стали 08пс после осадки с низкотемпературного нагрева (700°C) за одно нагружение при температуре металла 700°C и охлаждении вместе с печью от 650°C , $\times 200$.

Выводы.

Резюмируя вышеизложенное, можем утверждать, что характер структурных изменений особотонкой листовой стали при горячей осадке (рис.2–4) связан в основном с условиями деформации, так как исходный материал (рис.1) не имеет видимых структурных различий и дефектов. По-видимому, условия деформации при горячей осадке особотонкой листовой стали и, как следствие, структурные различия по ее толщине могут существенно измениться с применением высокотемпературных технологических смазок.

1. *Металловедение и термическая обработка стали: Справ. изд. В 3–х т. Т.П. Основы термической обработки / Под ред. М.Л.Бернштейна, А.Г.Рахштадта // М.: Металлургия. – 1983. – 368с.*
2. *Циммерман Р., Гюнтер К. Металлургия и материаловедение. Справочник // М.: Металлургия. – 1982. – 480с.*

Статья рекомендована к печати д.т.н., проф. Г.В.Левченко