



Two series of experiments on investigation of structure formation in rolled wire of alloy steel of welding function are carried out.

А. Б. СЫЧКОВ, Восточно-Европейский металлургический дивизион ОАО «МЕЧЕЛ»,
М. А. ЖИГАРЕВ, А. В. ПЕРЕГУДОВ, С. Ю. ЖУКОВА,
Т. М. ФИЛИППОВА, ОАО «Молдавский металлургический завод»

УДК 669.

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ В КАТАНКЕ ИЗ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ СВАРОЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПРИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ВЫДЕРЖКЕ

Исследования закономерностей структурообразования в катанке из стали марок Св-10ГАА, Св-08ХГ2СМФ, Св-08Г1НМА, Св-08ГНМ при различных температурно-временных условиях изотермической выдержки и температурно-деформационных вариантов протекания рекристаллизационных процессов были проведены в два этапа.

На первом этапе изучали структурообразование катанки из указанных выше марок стали в процессе изотермической обработки при температурах 700, 650, 600 и 500 °С и времени выдержки 20 и 30 мин при каждой температуре. При металлографическом анализе определяли структурные составляющие катанки, размеры действительного зерна, полосчатость структуры на продольных образцах катанки, оценивали количество и свойства структурно-свободного цементита (ССЦ), также измеряли микротвердость металла. Эти исследования проводили по стандартным методикам (ГОСТ 8233, 5639, 5640, NF 04–114 и т. д.) с использованием оптических микроскопов OLYMPUS IX 70

при увеличении 50–1000, OLYMPUS BX51M (оценка размеров действительного зерна феррита) при увеличении 400, полуавтоматического микротвердомера LECO МНТ-240 при нагрузке 25 и 500 г.

Всего было исследовано 64 образца: по 16 на каждую марку стали. Причем первая половина образцов – поперечные, вторая – продольные.

Анализ результатов лабораторных исследований представлен ниже по маркам стали.

1. Катанка из стали Св-10ГАА. Химический состав и механические свойства приведены в табл. 1.

На рис. 1–5 показаны структурные особенности строения продольного и поперечного сечения катанки из стали Св-10ГАА при различных температурно-временных режимах. На рис. 1 показана микроструктура продольного образца 1 (испытательный режим $t = 700$ °С, $\tau = 20$ мин). Из рисунка видно, что сечение разделяется на поверхностную зону и полосчато-бейнитно-мартенситную сердцевину (основную зону). Поверхностная зона толщиной 0,20–0,25 мм состоит (рис. 1, б) из фер-

Таблица 1. Химический состав стали и механические свойства опытной катанки диаметром 5,5 мм

Номер плавки/бунта	Марка стали	Массовая доля химических элементов, %						Механические свойства			
		C/Mn	Si/P	S/Cr	Ni/Cu	N/B	B/N Mo	σ_b , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ_5 , %	Ψ , %
1/1	Св-10ГАА	0,078/ 1,14	0,036/ 0,015	0,008/ 0,049	0,095/ 0,184	0,005/ 0,0073	1,46/ 0,254	472	304	33.7	74.6
2/69	Св-08ХГ2СМФ ¹	0,052/ 0,913	0,261/ 0,015	0,011/ 0,657	0,067/ 0,111	0,009/ 0,0069	0,77/ 0,454	491	246	39	74.8
3/2	Св-08Г1НМА	0,046/ 1,13	0,326/ 0,009	0,005/ 0,034	0,562/ 0,163	0,006/ 0,0089	1,48/ 0,70	772	633	19	69.4
4/2	Св-08ГНМ	0,036/ 0,779	0,242/ 0,008	0,004/ 0,033	0,596/ 0,147	0,006/ 0,0087	1,45/ 0,965	697	570	23.3	76.1

¹ Содержание ванадия – 0,155%.

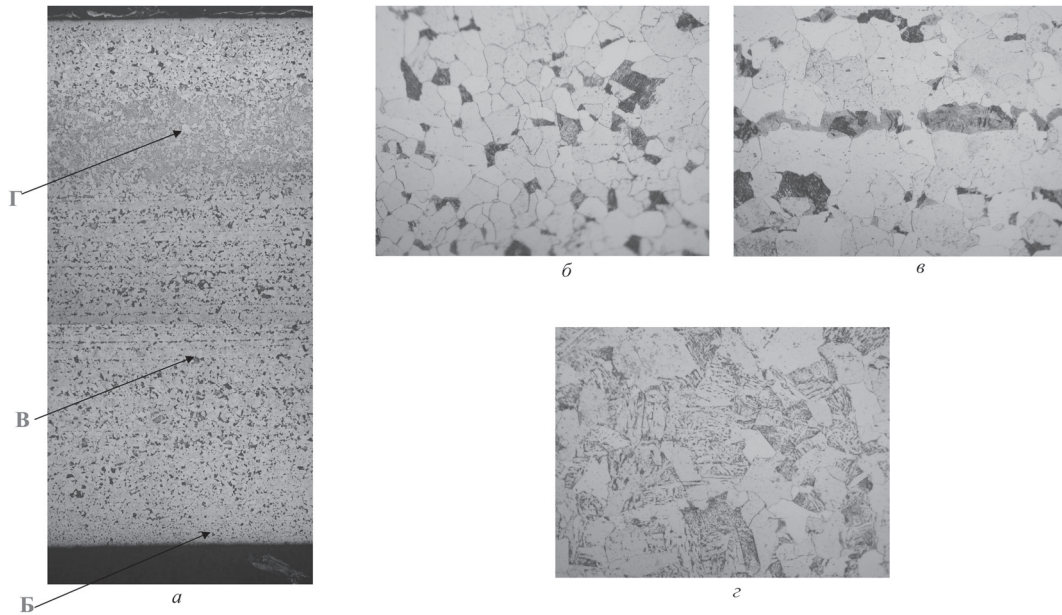


Рис. 1. Микроструктура катанки из стали Св-10ГАА (образец 1: $t = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 20\text{ мин}$): *a* – общий вид продольного сечения; *б* – микроструктура поверхностной зоны; *в* – бейнитно-мартенситная полоса в сердцевине; *г* – микроструктура отдельного участка. $a - \times 50$, $б-г - \times 500$

рита (75%), перлита (20%) и бейнитно-мартенситных участков БМУ (~ 5%), размер зерна № 10, 11, микротвердость 130 ед. HV_{500} . Основная зона состоит из базовой структуры – феррит (75%), перлит (~ 15%), БМУ (~ 10%) в виде отдельных зерен или в составе перлитных зерен (рис. 1, в) и обособленного участка (рис. 1, г)

в виде полосы шириной ~ 1,3 мм, включающего продукты промежуточного превращения аустенита (ПППА – отпущенные в разной степени закалочные участки, имеющие структуру игольчатого феррита и карбиды), феррит и отдельные участки БМ. Эта зона имеет среднюю микротвердость 183 ед. HV_{500} .

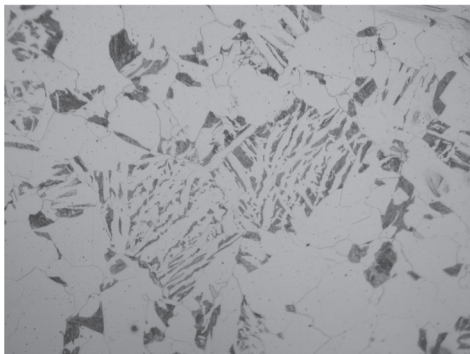


Рис. 2. Микроструктура отдельного участка образца катанки из стали Св-10ГАА ($t = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 30\text{ мин}$). $\times 50$



Рис. 3. Основная структура образца 3 катанки из стали Св-10ГАА ($t = 650\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 30\text{ мин}$). $\times 50$



Рис. 4. Основная структура образца 4 катанки из стали Св-10ГАА ($t = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 20\text{ мин}$). $\times 50$

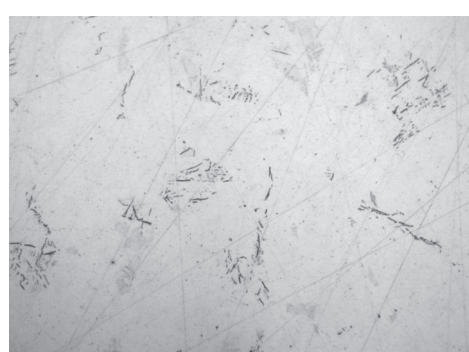


Рис. 5. Следы цементита в образце 5 катанки из стали Св-10ГАА ($t = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 30\text{ мин}$). $\times 50$

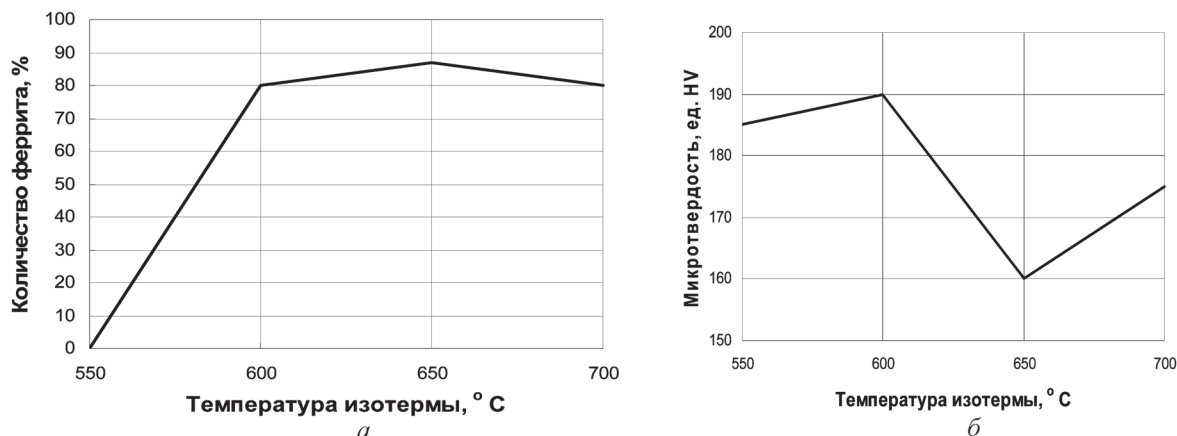


Рис. 6. Зависимость количества поверхностного феррита (а) и микротвердости HV (б) от температуры изотермы для катанки из стали Св-10ГАА

Микроструктура поперечного образца 2 (режим: $t = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 30\text{ мин}$) подобна предыдущему образцу и состоит также из поверхностной зоны (феррит – 80%, перлит ~ 8%, БМУ ~ 12%) толщиной 0,20–0,40 мм, действительное зерно № 11, 10, микротвердость 145 ед. HV₅₀₀. Основная зона: феррит – 75%, перлит ~ 15, БМУ ~ 10% отдельными зернами и в составе перлитных зерен, микротвердость 181 ед. HV₅₀₀, а также достаточно крупный участок (~ 30–35% площади микрошлифа рис. 2), состоящий из смеси феррита, БМУ в виде шаровидных участков и отдельных зерен в перлите, микротвердость 210 ед. HV₅₀₀.

На рис. 3 показана микроструктура поперечного образца 3 (режим: $t = 650\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 30\text{ мин}$): поверхностный слой ($h = 0,40\text{--}0,45\text{ мм}$) состоит из феррита (80%), перлита (~ 10–12%), БМУ (~ 8%), действительное зерно № 11, 12, 10, микротвердость 145 ед. HV₅₀₀, т. е. наблюдается более дисперсная структура. Основная зона (рис. 3) состоит из смеси игольчатого феррита, перлита и БМУ как в виде отдельных зерен, так и в составе перлитных зерен, микротвердость 164 ед. HV₅₀₀. Такая структура наиболее пластичная.

Образец 4 (режим: $t = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 20\text{ мин}$): поверхностный слой ($h = 0,20\text{--}0,30\text{ мм}$) состоит из смеси феррита и ПППА, микротвердость 169 ед. HV₅₀₀. Основная зона – ПППА и карбиды по границам зерен (рис. 4), микротвердость 184 ед. HV₅₀₀.

На рис. 5 показаны следы ССЦ в виде частиц в объеме зерен и по их границам. В образце 5 (режим: $t = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 30\text{ мин}$) также наблюдается ССЦ.

На рис. 6 приведены зависимости количества феррита и твердости от температуры и времени выдержки для поперечных и продольных образцов. На основании представленных данных можно сделать вывод о том, что для повышения пластических характеристик наиболее оптимален режим 650 °С и 20–30 мин. Так, при указанном температурно-временном интервале изотермической выдержки катанки наблюдаются минимальные значения микротвердости металла и количества БМУ без ПППА.

2. Катанка из стали Св-08ХГ2СМФ. Химический состав и механические свойства приведены в табл. 1.

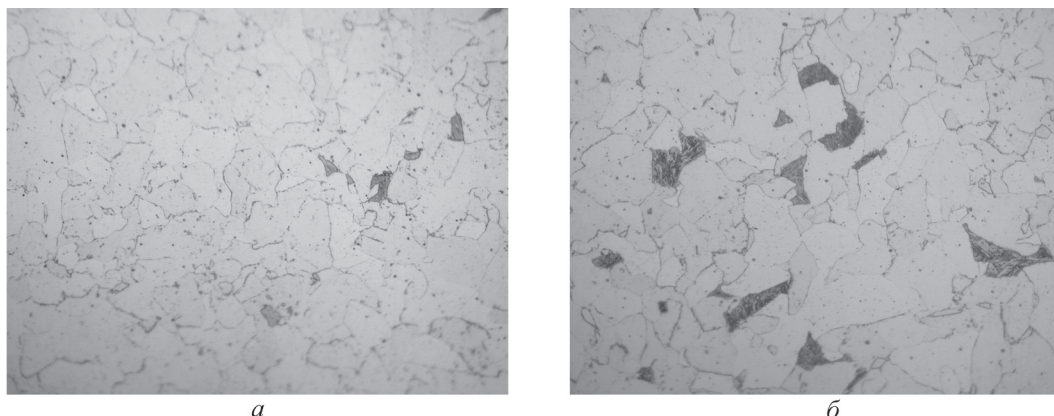


Рис. 7. Микроструктура по сечению образца 6 катанки из стали Св-08ХГ2СМФ ($t = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 20\text{ мин}$): а – микроструктура поверхностной зоны; б – основная структура. $\times 500$

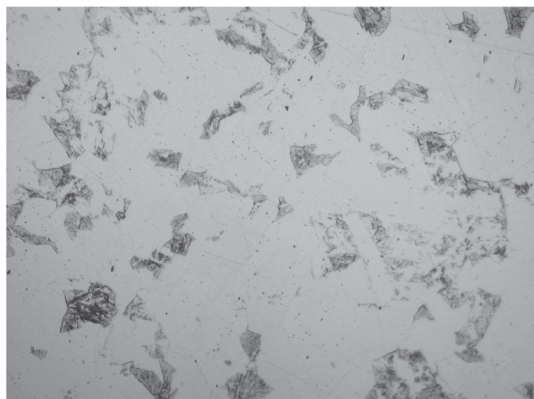


Рис. 8. Основная структура образца 7 катанки из стали Св-08ХГ2СМФ ($t = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 30\text{ мин}$)

На рис. 7, 8 показаны структуры поперечного сечения катанки (образцы 6 и 7), изотермически выдержанной при температуре $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 20 мин и $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 мин, на рис. 9 – зависимости микротвердости, распределения феррита и БМУ по сечению катанки от температурно-временных режимов изотермической выдержки. Анализ этих данных показывает следующее.

При $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 20 мин на поверхности ($h = 0,10\text{--}0,20\text{ мм}$) наблюдается в основном ферритная структура (рис. 7, а) с размером зерна № 11, 12 и микротвердостью 167 ед. HV_{500} ; основная зона (рис. 7, б) состоит из феррита ($\sim 85\%$) и БМУ ($\sim 15\%$), размер зерна феррита более крупный № 10, 11 и средняя микротвердость 168 ед. HV_{500}

(при этом микротвердость феррита – 108 ед. HV_{25} , а БМУ – 560 ед. HV_{25}). При $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 30 мин на поверхности ($h = 0,07\text{--}0,15\text{ мм}$) размер зерна феррита соответствует № 12, 11, а микротвердость составляет 157 ед. HV_{500} , в основной зоне (рис. 8) – феррит ($\sim 75\%$) и БМУ ($\sim 25\%$), действительное зерно № 11, 10, 12 и микротвердость 168 ед. HV_{500} (142 ед. HV_{25} у феррита и 446 ед. HV_{25} у БМУ), т. е. структура при $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ более пластична, чем при $700\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Из рис. 9 видно, что в целом наиболее оптимальным режимом изотермы является диапазон температур $600\text{--}650\text{ }^{\circ}\text{C}$ при времени выдержки 20–30 мин. При этом наблюдается минимальная микротвердость сечения катанки (150–160 ед. HV_{500}); максимальное количество мягкой фазы – феррита (до 94 %) и минимальное количество БМУ (до 6%). Следует отметить, что во всех образцах и режимах полосчатость структуры отсутствует, нет и участков ССЦ. Это в целом указывает на достаточно высокую однородность распределения химических элементов без их грубой ликвации.

3. Катанка из стали Св-08Г1НМА. Химический состав и механические свойства приведены в табл. 1.

На рис. 10, 11 представлены структуры поперечных образцов (8, 9), изотермически выдержанных при $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 20 мин и $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение

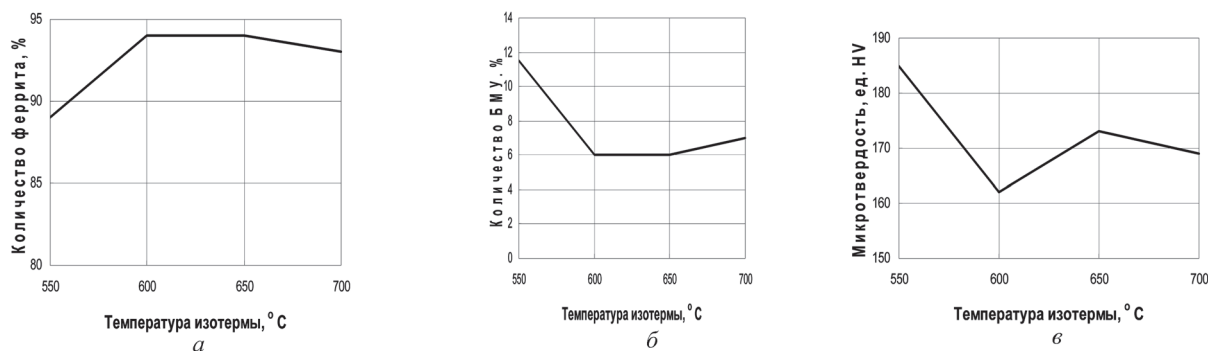


Рис. 9. Зависимость количества поверхностного феррита (а), БМУ (б) и микротвердости HV (в) от температуры изотермы для катанки из стали Св-08ХГ2СМФ

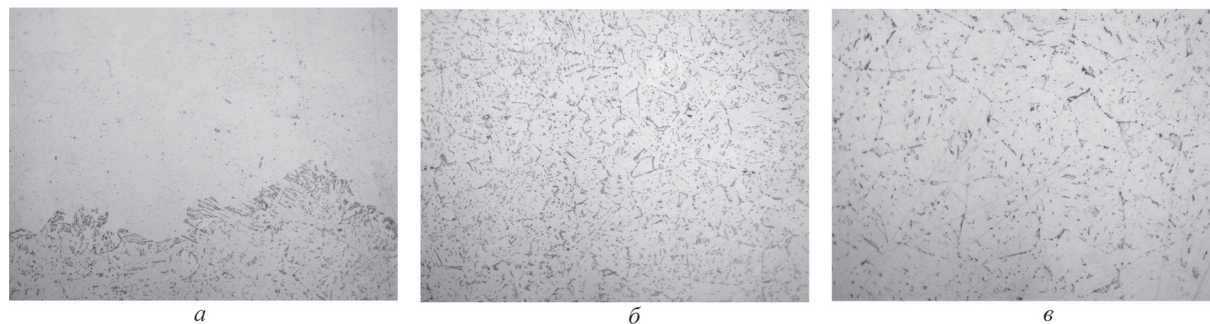


Рис. 10. Микроструктура по сечению образца 8 катанки из стали Св-08Г1НМА ($t = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 20\text{ мин}$): а – поверхностный слой; б – сердцевина; в – цементитная сетка. $\times 500$

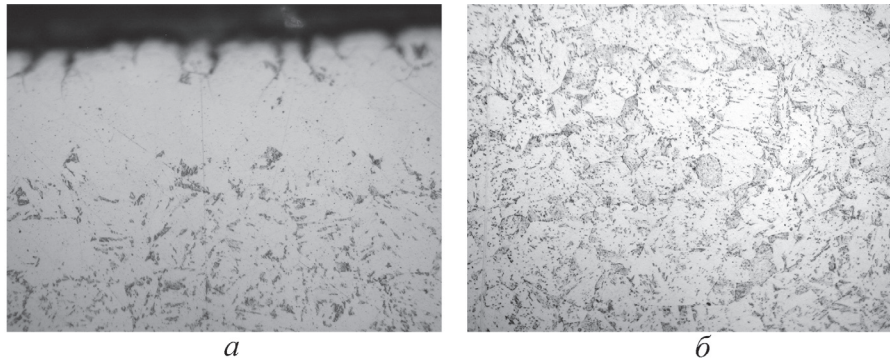


Рис. 11. Микроструктура по сечению образца 9 катанки из стали Св-08Г1НМА ($t = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 20$ мин): *a* – поверхностный слой; *б* – сердцевина. $\times 500$

ние 20 мин соответственно, на рис. 12 – зависимости микротвердости структурных составляющих в катанке из стали Св-08Г1НМА. Для образца 8 ($700\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 20 мин) на поверхности (рис. 10, *з*) толщиной 0,15–0,20 мм наблюдаются феррит и единичные БМУ, размер действительного зерна № 11, 12, 10, микротвердость 157 ед. HV_{500} ; в сердцевине – ПППА и карбиды, равномерно распределенные по сечению (рис. 10, *б*), микротвердость 238 ед. HV_{500} . Для образца 9 ($550\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 20 мин) на поверхности толщиной 0,05–0,08 мм – феррит и отдельные БМУ (рис. 11, *а*), размер действительного зерна № 11, 10, микротвердость 143 ед. HV_{500} ; в сердцевине – ПППА, БМУ и карбиды, равномерно распределенные по сечению (рис. 11, *б*), микротвердость 256 ед. HV_{500} для всего сечения и $HV_{25} = 536$ ед. для БМУ, т. е. со снижением температуры наблюдается упрочнение металла. Наиболее оптимальным следует признать изотермическую выдержку в диапазоне 600–700 $^{\circ}\text{C}$.

В температурном интервале 700–600 $^{\circ}\text{C}$ и времени выдержки 20–30 мин наблюдается ССЦ в виде фрагментов сетки по границам бывших аустенитных зерен. В этих же образцах (продольных) наблюдается полосчатость структуры. При 550 $^{\circ}\text{C}$ и выдержке в течение 20–30 мин – слабая полосчатость до 1-го балла.

4. Катанка из стали Св-08ГНМ. Химический состав и механические свойства приведены в табл. 1.

На рис. 13–15 представлены структуры поперечного сечения катанки, изотермически выдержанной при 700 $^{\circ}\text{C}$ в течение 20 мин (образец 10), 600 $^{\circ}\text{C}$ в течение 20 мин (образец 11) и 550 $^{\circ}\text{C}$ в течение 20 мин (образец 12), на рис. 16 – зависимости микротвердости от температуры и времени изотермы. Анализ показывает следующее. При режимах изотермы 700 $^{\circ}\text{C}$ и 20–30 мин, 650 $^{\circ}\text{C}$ и 20–30 мин микроструктура катанки состоит из двух

слоев (поверхностного и сердцевины); при 600 $^{\circ}\text{C}$ и 20–30 мин, 550 $^{\circ}\text{C}$ и 20–30 мин – из трех слоев (поверхностного, переходного и сердцевины).

При 700 $^{\circ}\text{C}$ и 20 мин в поверхностном слое толщиной 0,17–0,20 мм (рис. 13, *а*) имеется феррит, размер действительного зерна № 10, 11, 9, микротвердость составляет 131 ед. HV_{500} ; в сердцевине (рис. 13, *б*) – ПППА и карбиды, равномерно распределенные по сечению, микротвердость 244 ед. HV_{500} без БМУ.

При 600 $^{\circ}\text{C}$ и 20 мин в поверхностном слое толщиной 0,04–0,05 мм имеется феррит, размер действительного зерна № 10, 11, 9, микротвердость составляет 161 ед. HV_{500} ; в промежуточном слое (рис. 14, *а*) толщиной 0,30 мм – смесь ПППА и карбидов, равномерно распределенных по сечению, микротвердость 209 ед. HV_{500} ; в сердцевине (рис. 14, *б*) – ПППА и карбиды, равномерно распределенные по сечению, микротвердость 248 ед. HV_{500} ; без БМУ.

При 550 $^{\circ}\text{C}$ и 20 мин в поверхностном слое толщиной 0,10–0,15 мм имеется феррит, размер действительного зерна № 10, 11, 9, микротвердость составляет 120 ед. HV_{500} ; в переходном слое

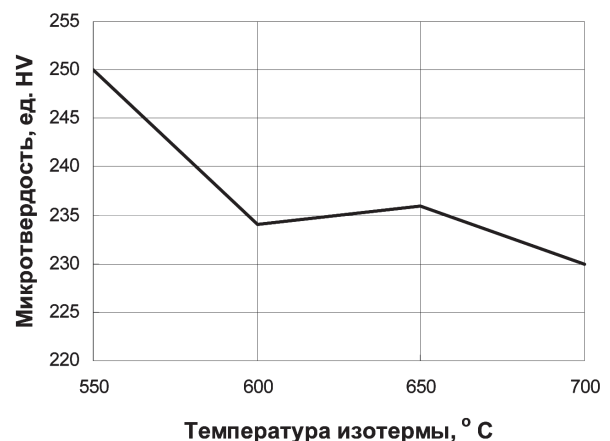


Рис. 12. Зависимость микротвердости катанки из стали Св-08Г1НМА от температуры изотермы

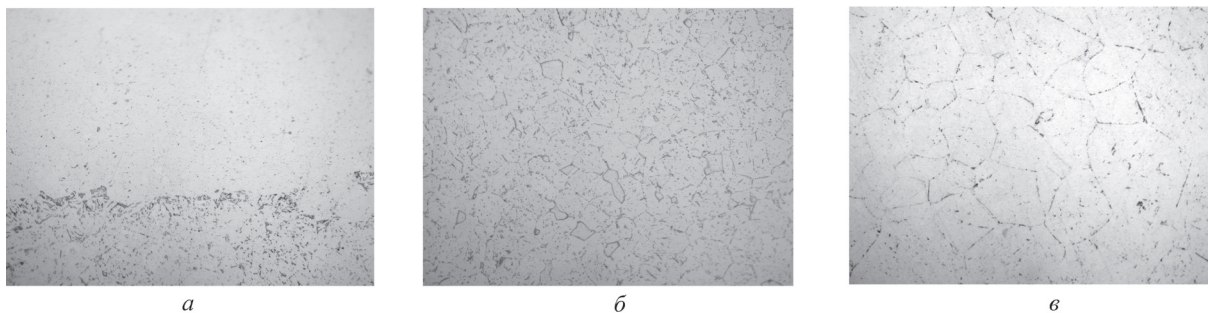


Рис. 13. Микроструктура по сечению образца 10 катанки из стали Св-08ГНМ ($t = 700 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau = 20 \text{ мин}$): *a* – поверхностный слой; *б* – сердцевина; *в* – цементитная сетка. $\times 500$

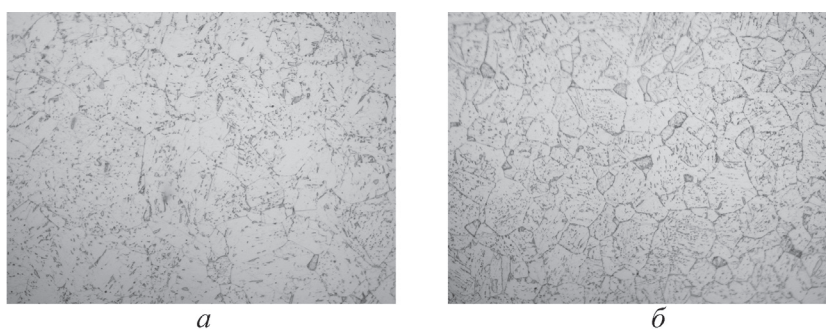


Рис. 14. Микроструктура по сечению образца 11 катанки из стали Св-08ГНМ ($t = 600 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau = 20 \text{ мин}$): *a* – переходный слой; *б* – сердцевина. $\times 500$

толщиной 0,20–0,25 мм – смесь ПППА и карбидов, равномерно распределенных по сечению, микротвердость 231 ед. HV_{500} , в сердцевине (рис. 15) – ПППА и карбиды, равномерно распределенные по сечению, микротвердость 255 ед. HV_{500} (для БМУ $HV_{25} = 560 \text{ ед.}$).

При 700–600 °C и 20–30 мин наблюдаются ССЦ в виде фрагментов сетки по границам бывших аустенитных зерен (рис. 13, *в*), при 550 °C ССЦ отсутствуют. Во всех продольных образцах отсутствует структурная полосчатость.

Распределение микротвердости (рис. 16) доказывает, что оптимальным режимом, в максимальной степени повышающим пластичность стали, является режим 600–700 °C (лучше 650–700 °C) и 20–30 мин.

Результаты исследования четырех разнолегированных марок стали (Св-10ГАА, Св-08ХГ2СМФ,

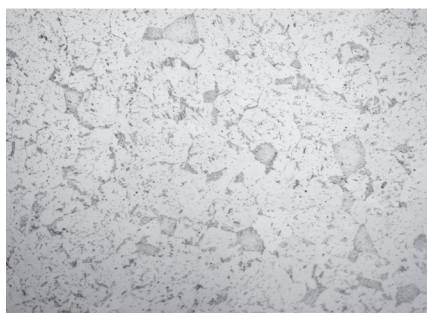


Рис. 15. Микроструктура сердцевины образца 12 катанки из стали Св-08ГНМ ($t = 550 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau = 20 \text{ мин}$). $\times 500$

Св-08Г1НМА, Св-08ГНМ) показывают следующие закономерности. Наилучшие пластические характеристики катанки наблюдаются при 650 °C и 20–30 мин, причем выдержка в течение 30 мин влияет в большей степени. Эти условия в максимальной степени соответствуют изотермическим условиям превращения аустенита в феррит. Наличие в ряде случаев БМУ определяется структурным наследием металла.

ТКД для металла из стали Св-08ГНМ (рис. 17, ТКД построена М. Ф. Евсюковым (ИЧМ НАН Украины)) в динамике процессов охлаждения косвенно подтверждает и изотермическую картину структурных превращений. Так, из ТКД видно, что однофазная область формирования ферритно-пер-

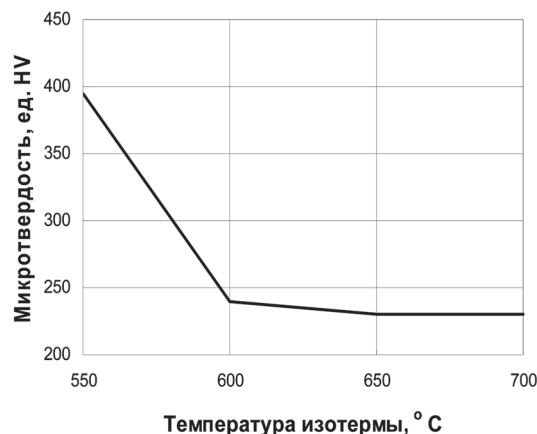


Рис. 16. Зависимость микротвердости катанки из стали Св-08ГНМ от температуры изотермы

Таблица 2. Схема лабораторного эксперимента с образцами катанки диаметром 11 мм из стали Св-08ГНМ

Температура нагрева и осадки, °С	Образцы после осадки при соответствующей температуре									
	1		2		3		4		5	
	h, мм	ε, %	h, мм	ε, %	h, мм	ε, %	h, мм	ε, %	h, мм	ε, %
800	9,3	28,5	7,4	54,7	5,6	74,1	4,7	81,7	3,1	92,1
900	8	47,1	5,8	72,2	5	79,3	3,4	90,4	—	—
1000	7,6	52,3	5,2	77,7	5	79,3	3	92,6	—	—
1050	8	47,1	5,4	75,9	4,7	81,7	2,5	94,8	—	—
1100	6,3	67,2	5,3	76,8	4,5	83,3	2,5	94,8	—	—
1200	8	47,1	7	59,5	4,8	81	3,5	89,9	—	—

Примечание: h – высота образца после осадки; ε – относительная степень деформации образца в процессе осадки.

литной структуры находится в диапазоне температур 620–727 °С, центр этого диапазона ~ 650 °С, а временной интервал составляет 100–10⁴ с, в периоде – до бесконечности. Ниже (по температуре от 600 до 400 °С) располагается бейнитная зона протяженностью во времени 10–10⁴ с и более, в периоде – до бесконечности. Снижение скорости охлаждения до 0,033 °С/с и менее (фактически – условия изотермы) обеспечивает формирование в микроструктуре до 75% феррита, 12% перлита и остальное – остаточный аустенит и БМУ. Степень распада остаточного аустенита на зернистый бейнит составляет 15–20%.

Таким образом, анализируя изотерму, подтвержден вывод о том, что наличие в структуре металла БМУ неизбежно, однако важно в каком количестве и в каком структурном виде они существуют. Установлено, что при оптимальных режимах изотермической обработки указанных выше сталей БМУ имеются в Св-10ГАА и Св-08ХГ2СМФ, но отсутствуют в Св-08Г1НМА и Св-08ГНМ.

На втором этапе лабораторных исследований было проведено моделирование процесса динамической рекристаллизации/полигонизации металла при горячей осадке при разных температурах

и степенях деформации образцов катанки из стали Св-08ГНМ. Всего было исследовано 25 образцов катанки диаметром 5,5 мм, которые нагревали до шести разных температур – 800, 900, 1000, 1050, 1100 и 1200 °С. На каждую температуру нагревали по четыре образца длиной 11мм, которые в горячем состоянии при заданной температуре деформировали со степенями 25, 50, 75, 95 %. Конкретные условия эксперимента приведены в табл. 2, его результаты – на рис. 18.

Кривая изменения микротвердости металла в зависимости от температуры и степени деформации характеризуется наличием двух экстремальных значений: локального максимума при 900 °С и локального минимума при 1050 °С. Причем при всех температурах с увеличением степени деформации микротвердость возрастает (рис. 19). Микроструктура представляет в основном смесь БМУ и ПППА (феррит, перлит, БМУ, карбиды).

Физическое объяснение таким деформационно-температурным аспектам проведенного моделирования можно найти в механизме горячей пластической деформации [1, 2], представленной на кривой напряжение-деформация (рис. 20). По мере увеличения степени деформации в аустените происходят

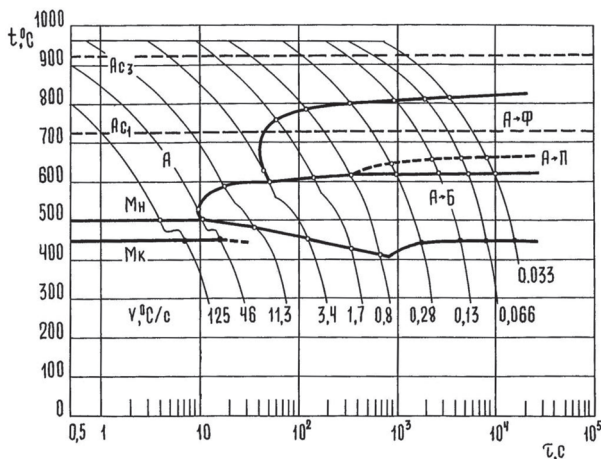


Рис.17. Термокинетическая диаграмма превращения аустенита стали Св-08ГНМ

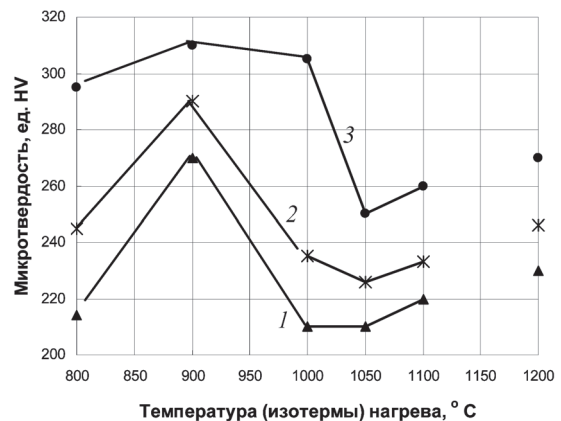


Рис. 18. Зависимость микротвердости катанки из стали Св-08ГНМ от температуры аустенитизации и степени деформации: 1 – ε = 30%; 2 – 60; 3 – 90%

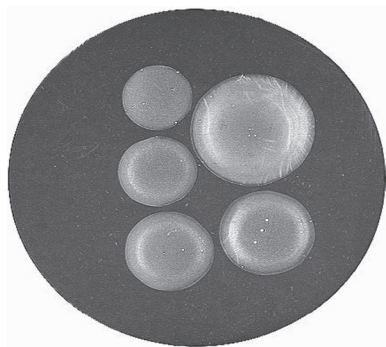


Рис. 19. Макроструктура катанки из стали Sv-08ГНМ

структурные изменения. Стадия I соответствует легкому скольжению дислокаций, для которого характерно состояние горячего наклепа; II стадия – множественному скольжению, при котором наряду с упрочнением происходит и некоторое разупрочнение. Стадия III соответствует одновременному протеканию деформационного упрочнения и разупрочнения по механизму динамического возврата. На этой стадии еще до пика напряжений образуется ячеистая или полигонизированная субструктура с вытянутыми субзернами и высокой плотностью свободных дислокаций. При переходе от стадии III к стадии IV субструктура трансформируется в динамически полигонизированную субструктуру с равноосными субзернами и сравнительно низкой плотностью свободных дислокаций. На стадии IV может протекать не только динамическая полигонизация, но и динамическая рекристаллизация, что определяется химическим составом стали и условиями деформации (температурой, степенью и скоростью деформации).

Локальные максимум и минимум прочности ($HV = \sigma_B$ на рис. 18) при 900 и 1050 °C можно связать и с изменением размера зерна подобно зависимости Холла-Петча.

Выводы

1. Проведены две серии (два этапа) лабораторных экспериментов (лабораторное моделирование) по исследованию структурообразования в катанке

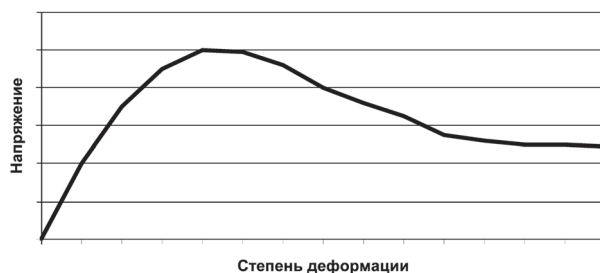


Рис. 20. Схема кривой деформационного упрочнения – разупрочнения в ходе горячей деформации стали

из легированной стали сварочного назначения. Первая серия (этап) – исследование влияния температуры в диапазоне 700–500 °C и времени выдержки металла в течение 20 и 30 мин при указанных температурах на структуру и свойства катанки. Вторая стадия (этап) – изучение температурно-деформационных (динамическая осадка) процессов в интервале температур 800–1200 °C и степенях деформации 30–90%.

2. На первом этапе была исследована катанка из четырех легированных сталей: Sv-10ГАА, Sv-08ХГ2СМФ, Sv-08Г1НМА, Sv-08ГНМ. Установлено, что максимальная пластичность (минимальные значения микротвердости) для указанных сталей наблюдается при 650 °C и 30 мин. Увеличение времени изотермической выдержки соответственно повышает пластические свойства и снижает прочностные характеристики. При оптимальном лабораторном режиме (650 °C и 20–30 мин) в структуре сталей Sv-10ГАА и Sv-08ХГ2СМФ наблюдается минимальное количество БМУ, а в сталях Sv-08Г1НМА, Sv-08ГНМ БМУ отсутствуют, что обуславливает максимальную деформируемость катанки при безотжиговом волочении.

3. Деформационно-температурное моделирование для стали Sv-08ГНМ подтверждает динамику превращений структуры при горячем деформировании катанки и зависимость Холла-Петча по влиянию размера зерна на механические свойства стали.

Литература

1. Бернштейн М. Л., Займовский В. А., Капуткина Л. М. Термомеханическая обработка стали. М.: Металлургия, 1983.
2. Разупрочняющая термомеханическая обработка проката из углеродистой стали / В. В. Парусов, А. Б. Сычков, В. А. Луценко, Э. В. Парусов // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2003. № 6. С. 54–56.