

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПАДА ПЕРЕОХЛАЖДЕННОГО АУСТЕНИТА В СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКЕ ПРИ ВОЗДУШНОМ ОХЛАЖДЕНИИ**

**Алимов В. И.**

*(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк)*

*На высокоуглеродистых сталях с содержанием углерода (0,6 – 0,8 %), марганца (0,9 – 1,4 %) и бора (0,003 – 0,005%) установлены закономерности распада аустенита в проволочной заготовке диаметром 3,0 – 6,5 мм при воздушном охлаждении в интервале 450 – 600 °С; установлены особенности кинетики и характера продуктов распада; полученные данные рекомендуются для использования при назначении режимов воздушной сорбитизации проволочной заготовки из углеродистых и низколегированных сталей.*

В связи с наметившейся тенденцией некоторой децентрализации производства важнейших разновидностей стальной высокопрочной проволоки типа канатной, пружинной, струнобетонной все более назревает проблема совершенствования технологического обеспечения этого производства в части термической обработки проволочной заготовки, узловым вопросом в которой является традиционное и достаточно консервативное патентирование в многотонных печах-ваннах с расплавами солей, опасными в обслуживании и дорогостоящими.

Проводимые в течении ряда лет исследования по бессолевой сорбитизации показали возможность избежать использования расплавов солей [1, 2] с одновременным совершенствованием технологии аустенитизации перед собственно сорбитизацией, что подтверждается результатами, полученными при электроконтактном [3], плазменном [4] и электролитно-плазменном [5] нагревах.

В тоже время, исследованиями [6, 7 и др.] показана целесообразность использования марганцовистой стали типа 65Г для проволоки, например, в качестве канатной, что позволяет получать наиболее благоприятную для холодного волочения структуру сорбита охлаждением в воздушной среде и повысить долговечность канатов за счет их более высокой износостойкости и выносливости. Введение бора в марганцовистую сталь дополнительно повышает качество проволоки [8].

Для теории и практики производства низколегированной проволоки типа канатной, пружинной, арматурной и тд. представляет интерес знание закономерностей температурно-временных характеристик при получении сорбитной структуры путем распада переохлажденного аустенита при охлаждении в бессолевых средах, прежде всего воздушной.

В настоящей работе изучили влияние марганца, углерода, бора, диаметра заготовки и режима воздушного охлаждения на кинетику и строение продуктов распада переохлажденного аустенита.

Для исследований взяли катанку диаметром 6,5 мм из сталей, выплавленных в электропечи и прокатанных на катанку по действующим технологиям.

Химический состав металла катанки приведен в таблице 1 с допусками, позволяющими корректно оценивать влияние базовых количеств химических элементов.

Таблица 1 - Химический состав (% масс.) металла катанки для передела в проволоку\*

Группа катанки	Углерод $\pm 0,03$ %	Марганец $\pm 0,5$ %	Бор $\pm 0,001$ %
А	0,60	0,9	-
	0,60	1,1	-
	0,60	1,3	-
Б	0,70	1,0	-
	0,70	1,2	-
	0,70	1,4	-
В	0,70	0,9	0,003
	0,70	1,2	0,003
	0,70	1,4	0,003
Г	0,80	1,0	-
	0,80	1,2	-
	0,80	1,4	-

\*) Содержание других элементов (кремния, серы, фосфора) соответствовало марочному составу стали 65Г.

Катанку групп А, Б, В с исходной горячекатанной структурой, представляющей сорбитообразный перлит разной степени дисперсности, после подготовки поверхности без дополнительной термической обработки протянули по технологии сталепроволочного производства на проволоку-заготовку диаметром 5,4 3,0 мм.

Для изучения распада аустенита из холоднотянутой заготовки диаметром 5,4 и 3,0 мм групп А, Б, В и горячекатанной диаметром 6,5 мм группы Г изготовили образцы длиной  $30 \pm 3$  мм. Для аустенитизации образцы нагревали в лабораторной электропечи до температуры  $925 \pm 5$  °С. длительность выдержки назначали из расчета 1 мин на каждый мм диаметра. После выгрузки образцы подстуживали на воздухе комнатной температуры. Длительность подстуживания для образцов групп А, Б, В диаметром 5,4 мм составляла 25 – 30 с, диаметром 3,0 мм – 10 – 15 с, а для образцов группы Г диаметром 6,5 мм – 30 – 40 с. после окончания времени подсту-

живания образцы помещали в термостат с воздушной атмосферой с температурой 450 – 600 °С (через 50 град.) и выдерживали в течении 2 – 180 с. Последовательно, через определенные промежутки времени, образцы подвергали резкому охлаждению водой, и таким образом, фиксировали количество нераспавшегося аустенита.

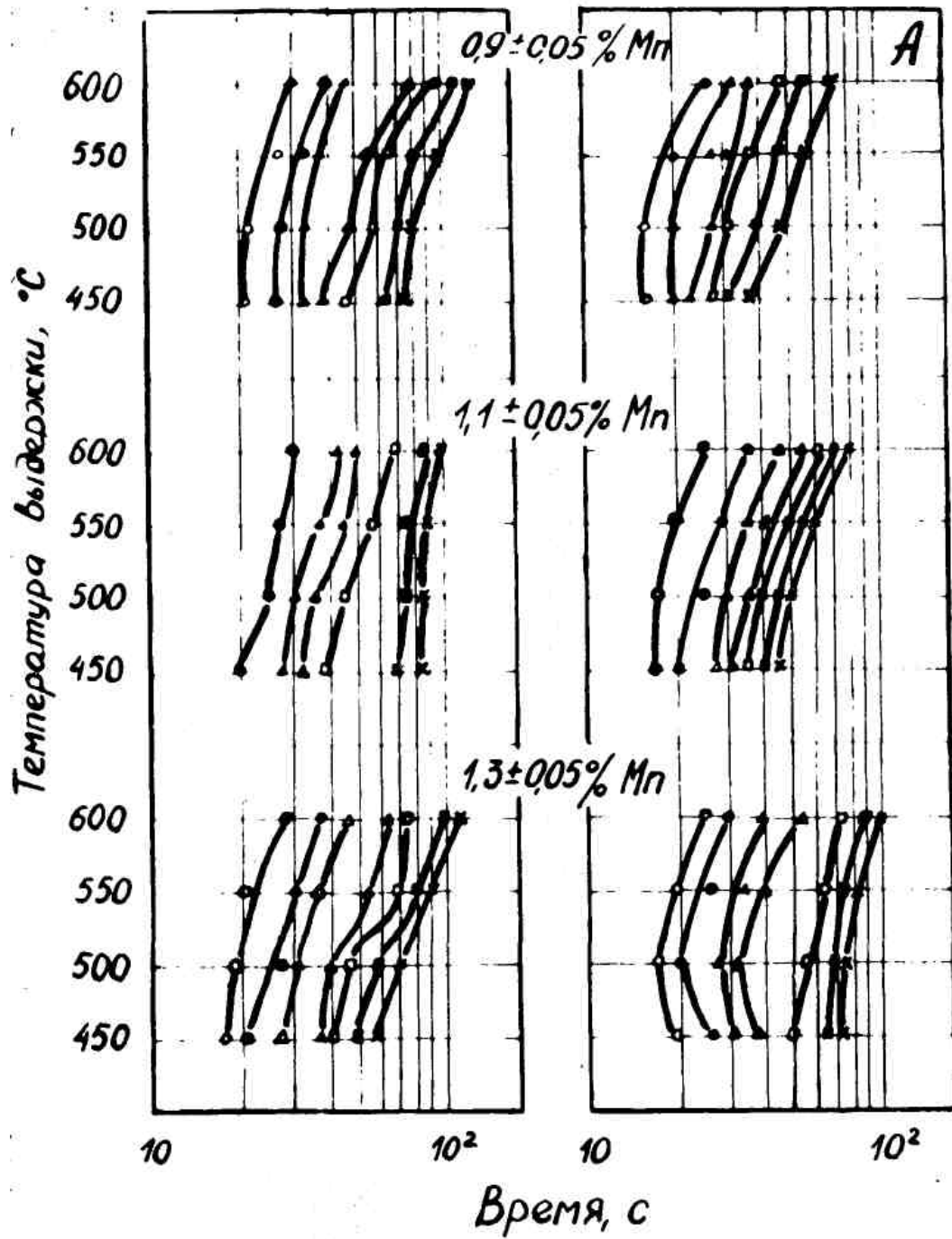
Образцы после распада аустенита монтировали партиями в оправки с заливкой пластмассой, а затем изучали микроструктуру при увеличениях  $\times 500$  и  $\times 1000$ . При этом оценивали характер продуктов распада, кинетику и длительность распада аустенита на последовательных стадиях.

Результаты определения длительности 5-, 10-, 25-, 50-, 75-, 95- и 100 % распада переохлажденного аустенита заготовки диаметром 5,4 и 3,0 мм приведены в таблице 1, а диаметром 6,5 мм – на рис. 2. обращает внимание вид полученных кривых распада аустенита. Это объясняется тем, что они являются частью кривых изотермического распада аустенита, относящихся к более широкому температурному интервалу ( $A_{г1}$  - Mn) и возможностью неизотермического процесса в толстых проволочных заготовках.

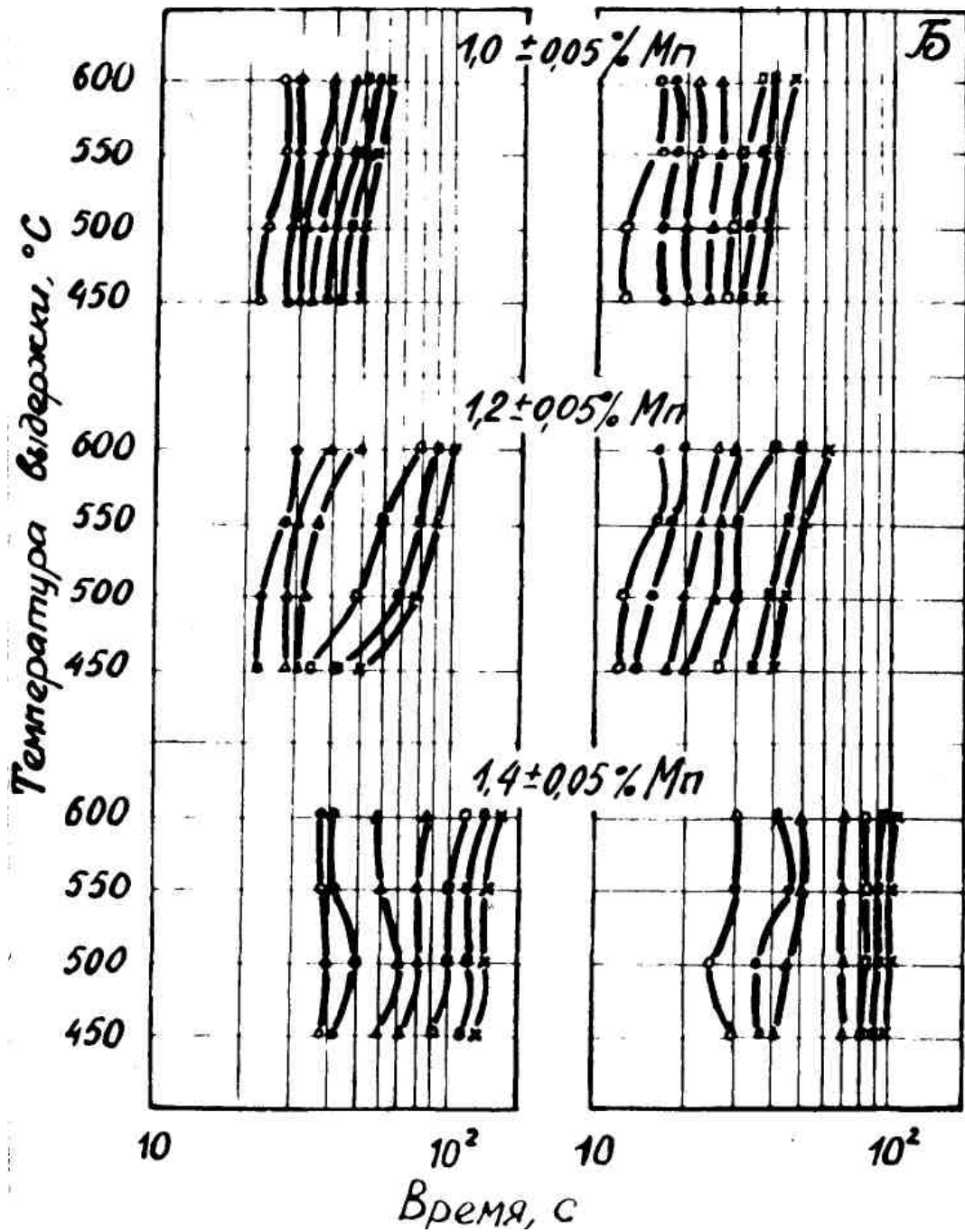
Из рис. 1А видно, что с понижением температуры термостатирования заготовки диаметром 5,4 мм с содержанием 0,60 % С распад аустенита несколько ускоряется. Повышение содержания марганца для этой группы заготовок существенного влияния не оказывает, что, вероятно, обусловлено более существенным влиянием диаметра заготовки при данном содержании углерода, скрадывающим влиянием марганца. Это подтверждается данными, приведенными на рисунке 1 А, б для заготовки диаметром 3,0 мм. С повышением содержания марганца длительность распада аустенита в заготовке диаметром 3,0 мм возрастает. При содержании марганца 1,3 % это возрастание превалирует над уменьшением длительности распада вследствие ускоряющего действия предварительной холодной пластической деформации, наблюдающегося в заготовке с содержанием 0,9 и 1,1 % марганца.

В заготовках из сталей с более высоким содержанием углерода (0,70 %) замедляющее влияние марганца на распад аустенита проявляется как на заготовке диаметром 3,0 мм, так и диаметром 5,4 мм (рис 1 Б, а, б). сравнение кривых распада на рис 1 А и 1 Б показывает, что с увеличением содержания углерода с 0,60 до 0,70 % приводит к некоторому увеличению инкубационного периода.

Введение бора в сталь с содержанием 0,70 % углерода также способствует замедлению распада аустенита (рис 1В, а, б), что наблюдалось и другими авторами [9]. Характер влияния марганца и в этой группе заготовок охраняется. При наиболее высоком содержании марганца несколько изменяется и характер хода кривых распада: на кривых появляется выступ (увеличение длительности распада) при 500°С, что обусловлено начинающимся обособлением областей перлитного и промежуточного превращений.



A



Б

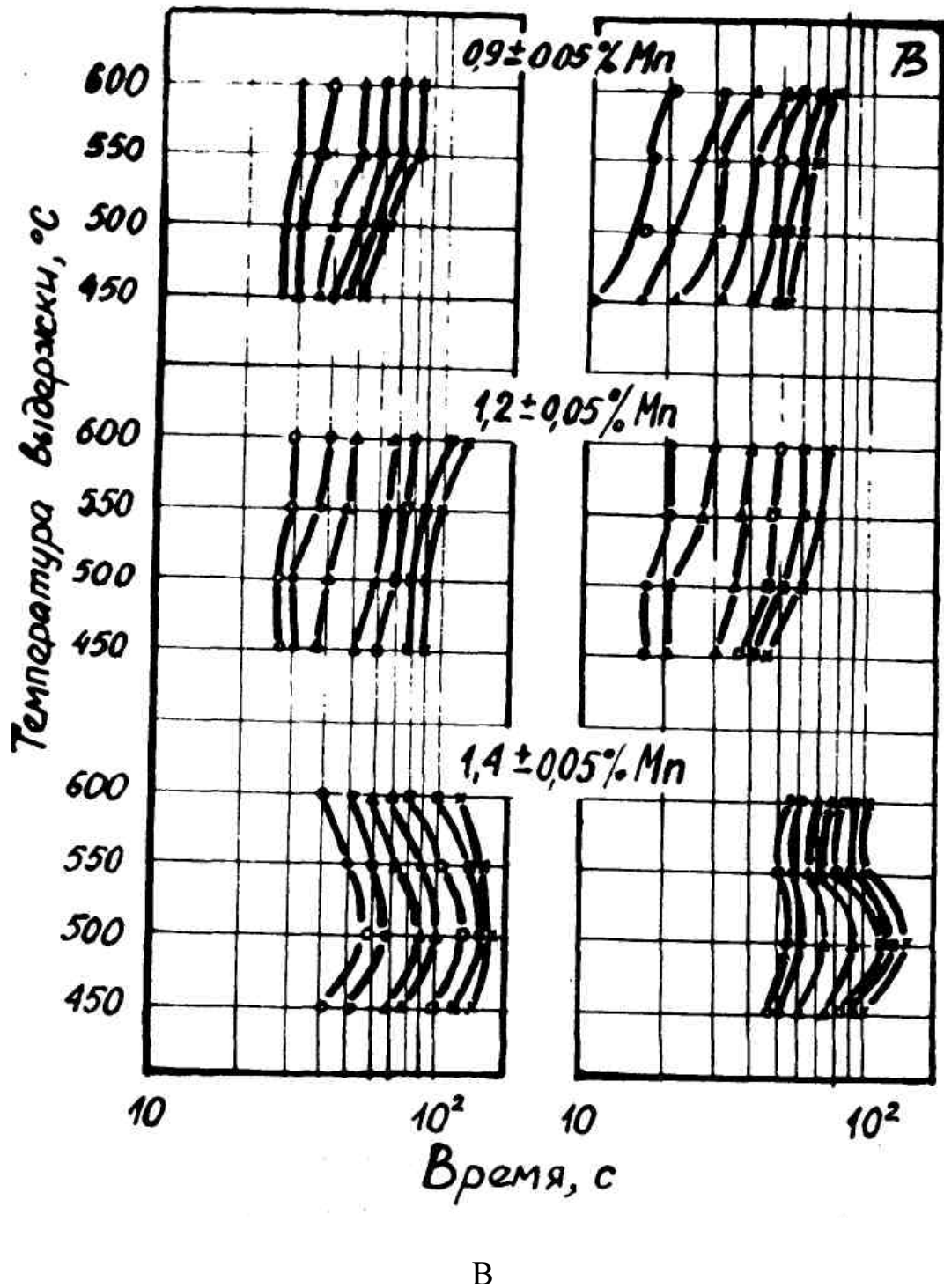


Рисунок 1 – Влияние содержания углерода, марганца, бора и температуры выдержки на распад аустенита в проволочной заготовке диаметром 5,4 (а) и 3,0 (б) мм: А –  $0,60 \pm 0,03$  % С; Б –  $0,70 \pm 0,03$  % С; В –  $0,70 \pm 0,03$  % С и  $0,003 \pm 0,001$  % В.

Количество продуктов распада:

○ - 5; ● - 10; △ - 25; ▲ - 50; □ - 75; ■ - 95; X - 100 %.

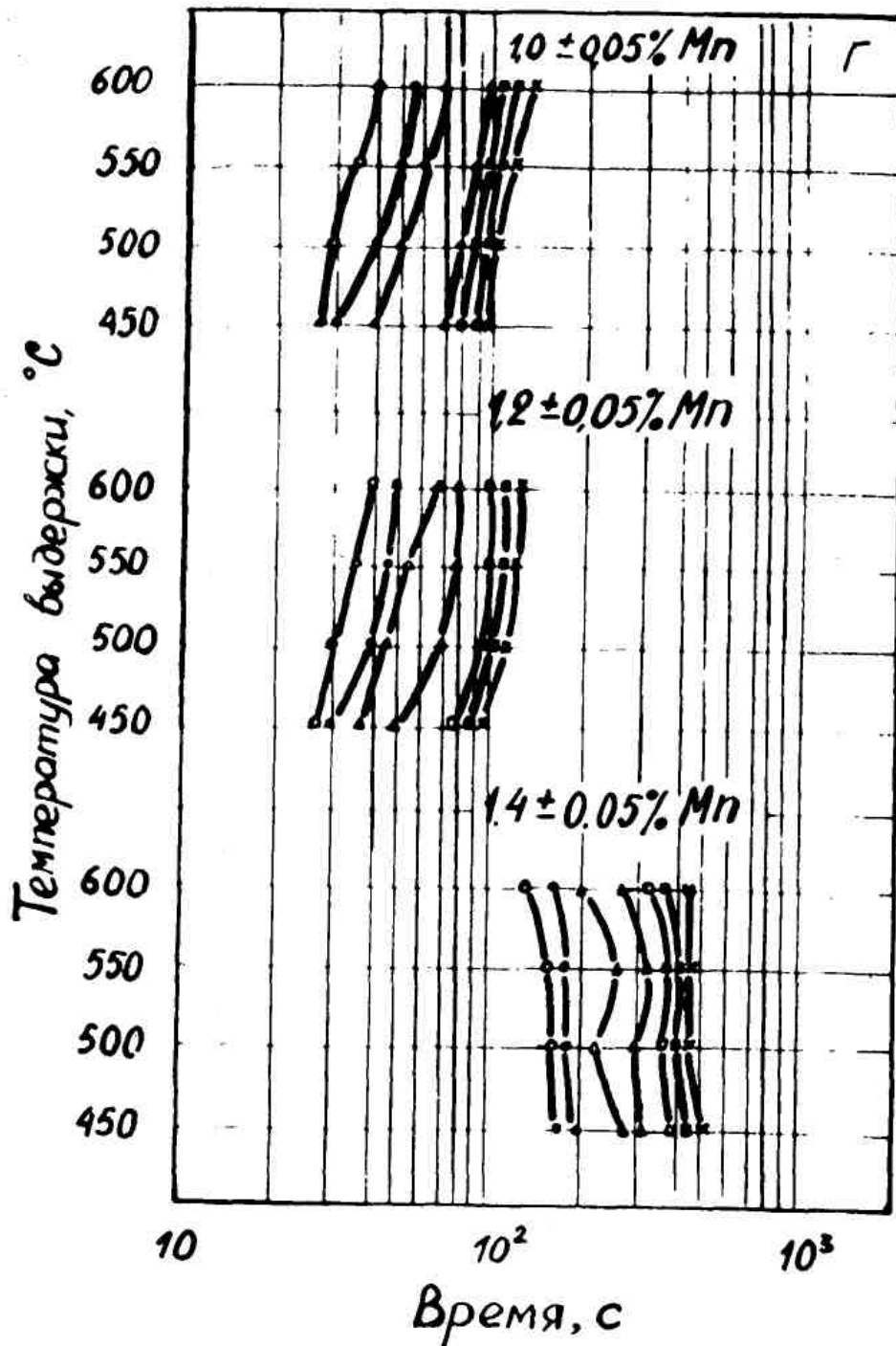


Рисунок 2 – Влияние содержания марганца и температуры выдержки на распад аустенита в катанке диаметром 6,5 мм с содержанием  $0,80 \pm 0,03$  % С.

Дальнейшее повышение содержания углерода до 0,80 % приводит к сдвигу кривых вправо, т.е. увеличению и длительности инкубационного

периода и длительности полного распада (рис 2). Особенно резко возрастает длительность распада при содержании 1,4 % марганца.

Изучение микроструктуры продуктов распада аустенита на последовательных стадиях распада позволило установить следующие закономерности.

Наиболее однородная и мелкодисперсная микроструктура при изученных режимах воздушного охлаждения получается в заготовках из сталей с содержанием 0,70 % углерода, 0,9 – 1,2 % марганца и с дополнительным содержанием бора в количестве 0,003 % при температурах термостатирования 450 – 550 °С, а в ряде случаев при 600 °С. В заготовках с более низким содержанием углерода (0,60 %) наряду с такой структурой встречается более грубая перлитная структура и феррит в виде разорванной сетки и прожилок, количество которых возрастает с уменьшением марганца и увеличением диаметра. При повышении содержания углерода до 0,80 % сорбитная структура получается и в заготовках большого диаметра (6,5 мм); однако в заготовках с содержанием марганца более 1,3 % наряду с сорбитной структурой образуется промежуточная структура, количество которой меняется в зависимости от диаметра, химсостава и температуры термостатирования.

Таким образом, установлены закономерности распада переохлажденного аустенита в стальной проволочной заготовке диаметром 3,0 – 6,5 мм с содержанием 0,6 – 0,8 % углерода и, дополнительно, 0,9 – 1,4 % марганца и 0,003 – 0,005 % бора при охлаждении в воздушной среде. Полученные экспериментальные результаты могут быть применены при назначении режимов бессолевого сорбитизации проволочной заготовки из низколегированных сталей в комплексе с использованием наших патентов на технологические процессы и оборудование (а. с. №№ 1076472, 1291613, патенты Украины на изобретения №№ 35517А, 59744А, 60757А, 63770А, на полезные модели №№ 11816, 13008, 12547, 18509, 28126)

#### Литература

1. Алимов В. И. Бессолевая сорбитизация проволоки // Сб. научных трудов ДонГТУ. Металлургия. Випуск 1. – Донецк: ДонГТУ. 1999. – С. 129 – 138.
2. Алимов В. И. Свойства проволоки после воздушной сорбитизации заготовки с переохлаждением // Труды 3-й Международной технической конференции «Прогресивні технології у металургії сталі і ХХІ сторіччя» (30 октября – 02 ноября 2006 г.) – Донецк: ДонГТУ. 2007. – С. 370 – 372.
3. Совершенствование режима электроконтактного нагрева заготовки для волочения / А. А. Баранов, В. И. Алимов, А. В. Березин и др. // Сталь. – 1989. - № 8. – С. 71 – 74.
4. Влияние плазменного воздействия на свойства калиброванной высокоуглеродистой стали / В. И. Алимов, В. Н. Крымов, А. Н. Максаков и др.



*// Зб. наукових праць ДонНТУ. Металургія. Випуск 18. – Донецьк: ДонНТУ, 2000. – С. 89 – 94.*

*5. Алимов В. И. Электролитно-плазменная сорбитузация стальной проволоки // Зб. наукові праці ДонНТУ, 2005. – С. 145 – 154.*

*6. Проволока из стали 65Г для износостойких канатов / Шаповалов С. И., Алимов В. И., Протапова Н. В. и др. // Металлургическая и горно-рудная промышленность. 1977. - № 3. – С. 22 – 23.*

*7. Шаповалов С. И., Алимов В. И., Иванов А. М. Сравнительные свойства углеродистых и марганцовистых канатов для шахтного подъема // «Уголь Украины». 1978. - № 7. – С. 41 – 42.*

*8. Шаповалов С. И., Алимов В. И., Иванов А. М. Качество низколегированной стали для производства катаной проволоки // Бюллетень «Черная металлургия». 1977. - № 2. – С. 41 – 43.*

*9. Попова Л. Е., Попов А. А. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана: Справочник териста. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1991. – 503 с.*

*\* Исследования выполнены при поддержке Государственного фонда фундаментальных исследований по договору № Ф 25/633.*

**© Алимов В. И. 2008**