

УДК 621.785.52

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕПЛОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ТЕПЛОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ВАКУУМНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ

Герман Сергеевич Севальнёв

*Студент 6 курса,**кафедра «Материаловедение»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: А.Е. Смирнов,**кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»***Введение**

В настоящее время в авиационном машиностроении активно используются комплексно-легированные теплостойкие стали для таких ответственных деталей, как шестерни газотурбинных двигателей, подвергающиеся высоким нагрузкам и скоростям скольжения. Для хорошей работоспособности данных деталей необходимо повышать их основополагающие свойства: контактная выносливость, износостойкость, сопротивление усталостному разрушению при изгибе и заедании. Одним из способов повышения этих свойств является химико-термическая обработка [3, 4]. Теплостойкие стали являются комплексно-легированными, поэтому при проведении вакуумной цементации необходимо повысить такие параметры диффузионного слоя, как эффективная толщина и концентрация углерода на поверхности. Для увеличения этих параметров следует провести обработку давлением для создания наиболее дефектной структуры в стали. Одним из таких способом является теплая пластическая деформация, которую проводят ниже температуры рекристаллизации стали [1, 2].

Цель данной работы – установление влияния тепловой пластической деформации и вакуумной цементации на структуру и параметры диффузионных слоев теплостойких сталей.

Методика исследований

Исследования проводили на теплостойкой стали 16Х2Н3ФБАЮ-Ш (ВКС-7) и ВКС-10 (13Х3Н3М2ВФБ-Ш). Химический состав сталей представлен в таблице 1. Для насыщения поверхности использовали одностадийные и двухстадийные режимы вакуумной цементации при температуре 940 °С и постоянном давлении насыщения 6 мм. рт. ст.

Таблица 1 Химический состав исследуемых сталей (масс. %)

ВКС-7	C	Cr	Ni	Mo	Mn	W	Si	V	Nb	Al	S	P
	0,14 - 0,18	1,80 - 2,20	2,70 - 3,00	0,40- 0,60	0,30- 0,60	0,20- 0,30	0,17- 0,37	0,10- 0,20	0,10 - 0,20	0,02- 0,07	Не более 0,015	Не более 0,025
ВКС-10	0,10 - 0,15	3,00 - 3,40	2,70 - 3,00	1,90- 2,30	0,30- 0,60	0,20- 0,50	0,17- 0,37	0,05- 0,15	0,05 - 0,15	Не более 0,04	Не более 0,015	Не более 0,015

Одностадийные режимы:

1) Активная стадия $\tau_a = 2$ мин; пассивная стадия τ_p отсутствует;

- 2) Активная стадия $\tau_a = 4$ мин; пассивная стадия τ_n отсутствует;
- 3) Активная стадия $\tau_a = 6$ мин; пассивная стадия τ_n отсутствует.

Двухстадийные режимы:

- 1) Активная стадия $\tau_a = 4$ мин; пассивная стадия $\tau_n = 20$ минут;
- 2) Активная стадия $\tau_a = 4$ мин; пассивная стадия $\tau_n = 40$ минут.

Исследование микроструктуры теплостойких сталей после вакуумной цементации проводили с помощью оптического микроскопа «OLYMPUS GX-51» при увеличении 500 крат. Для определения микротвердости и эффективной толщины диффузионного слоя использовали микротвердомер «DURASCAN-20» фирмы «STRUERS» с приложенной нагрузкой 50 г.

Результаты исследований и их обсуждение

На рисунках 1 и 2 представлены микроструктуры теплостойких сталей ВКС-7 и ВКС-10 после тепловой пластической деформации.

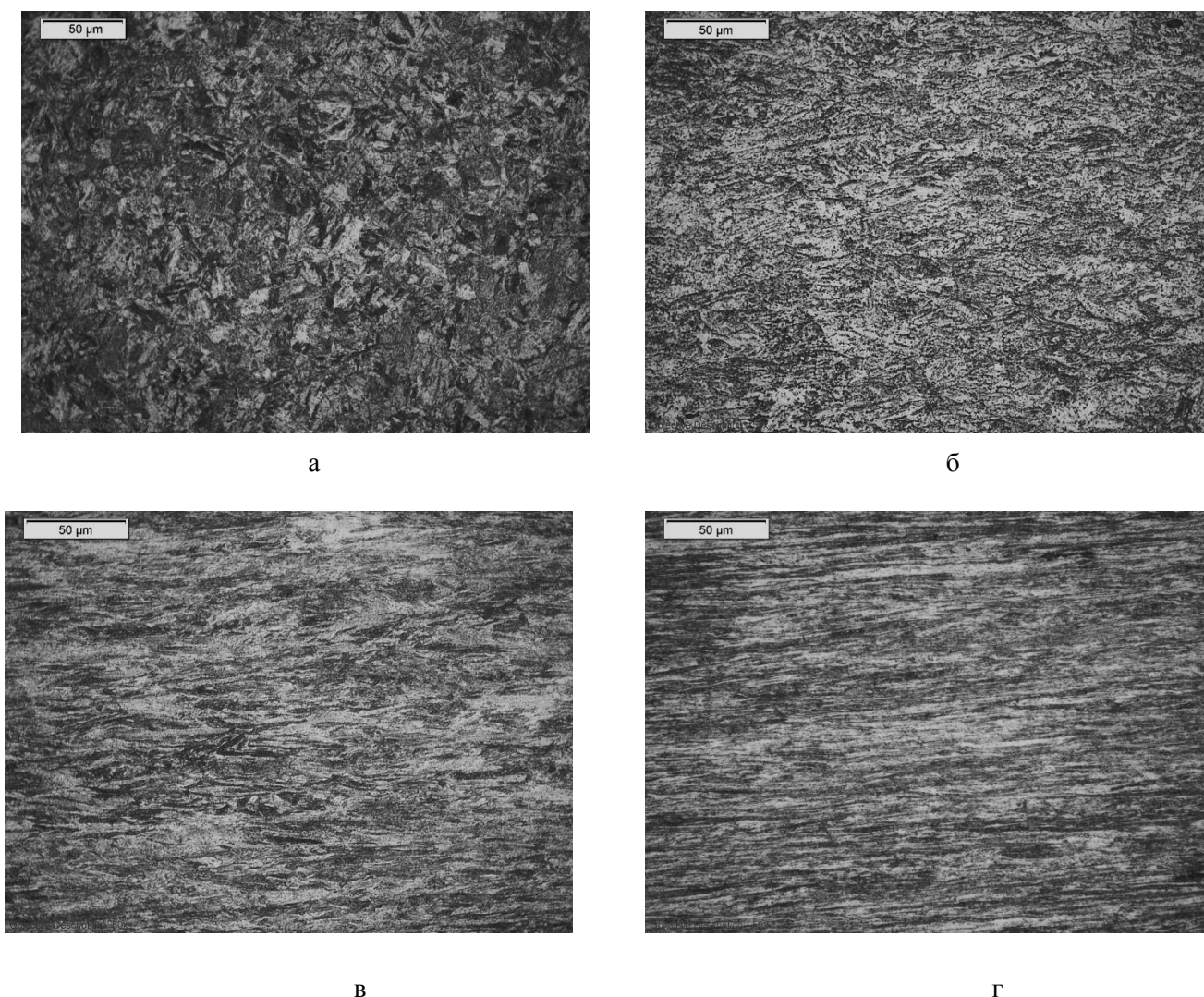
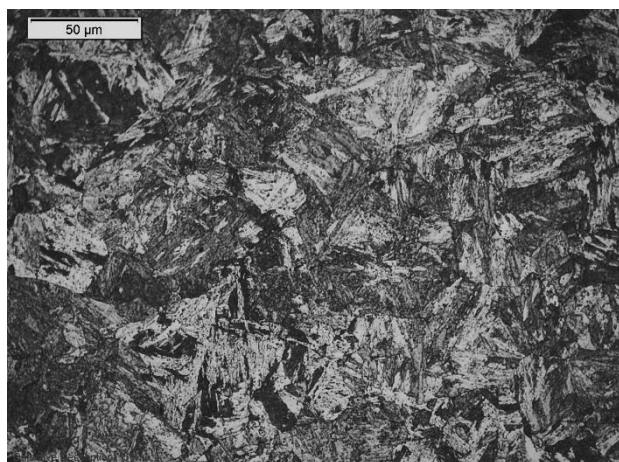
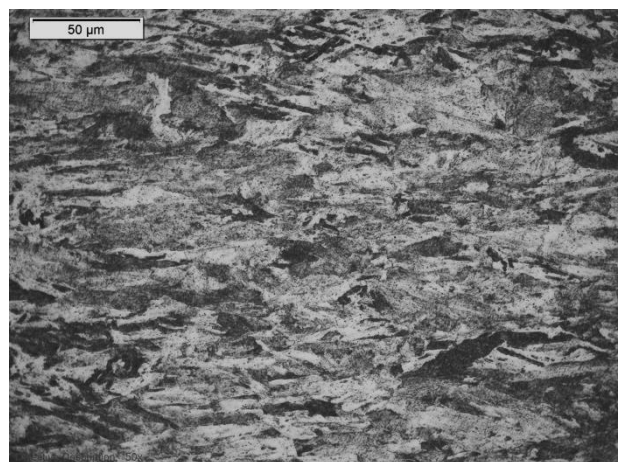


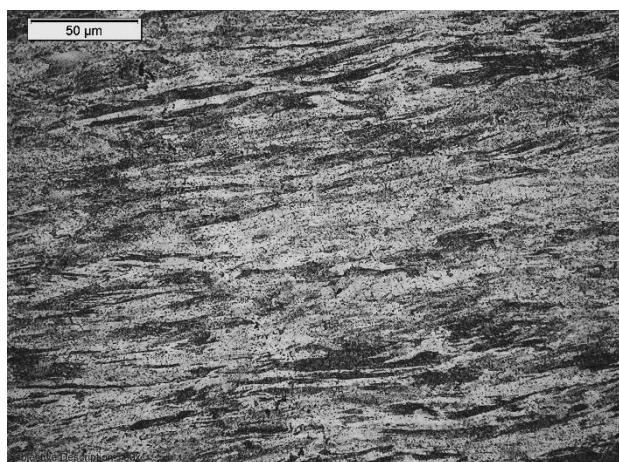
Рис.1. Микроструктуры стали ВКС-7: а - в исходном состоянии; б - после ТПД ($\epsilon = 40\%$); в - после ТПД ($\epsilon = 60\%$); г - после ТПД ($\epsilon = 80\%$), $\times 500$



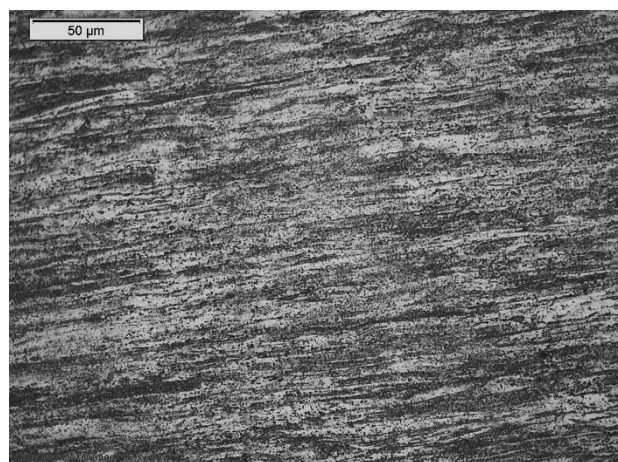
а



б



в



г

Рис.2. Микроструктуры стали ВКС-10: а - в исходном состоянии; б - после ТПД ($\varepsilon = 40\%$); в - после ТПД ($\varepsilon = 60\%$); г - после ТПД ($\varepsilon = 80\%$), $\times 500$

После тепловой пластической деформации видна вытянутость структуры вдоль направления прокатки. Т.к. микроструктура после степеней деформации $\varepsilon = 60\%$ и $\varepsilon = 80\%$ не имеет значительных отличий, то для последующих режимов вакуумной цементации подобраны образцы со степенями пластической деформации $\varepsilon = 0\%$; 40% ; 80% .

На рисунке 3 представлены графики изменения микротвердости стали ВКС-10 по толщине образца. При увеличении активной стадии карбидная фаза начинает активно стабилизировать аустенит на поверхности, тем самым снижая твердость. Дальнейший вклад в увеличение микротвердости вносят мартенсит и карбидная фаза.

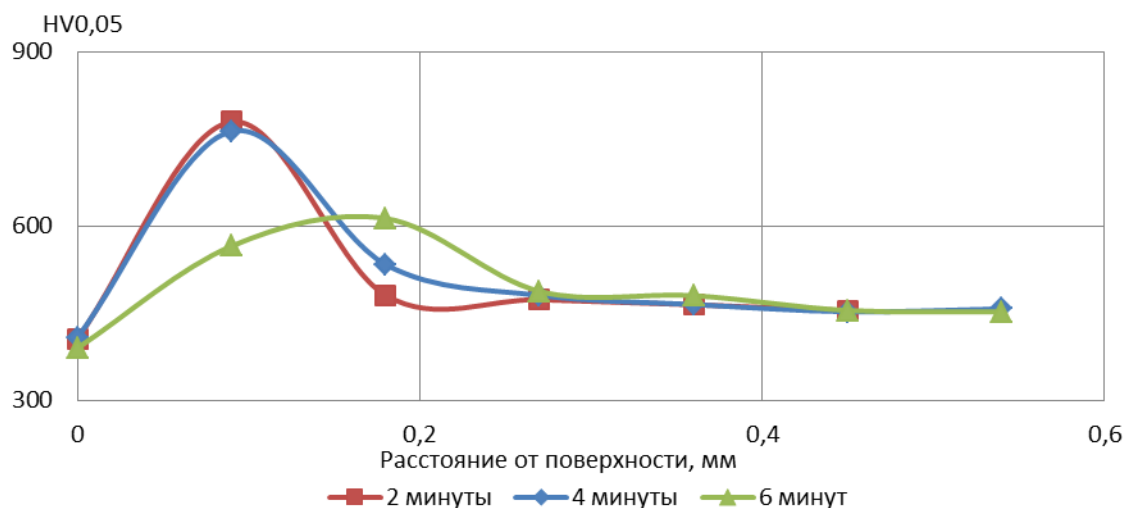


Рис. 3. Изменение микротвердости по толщине диффузионного слоя

На рисунке 4 представлена микроструктура теплостойкой стали ВКС-10 после вакуумной цементации, проведенной по одностадийным режимам. Анализ микроструктуры подтверждает, что увеличение времени активной стадии цикла приводит к росту протяженности диффузионного слоя и концентрации углерода на поверхности образца, а также к стабилизации остаточного аустенита на поверхности.

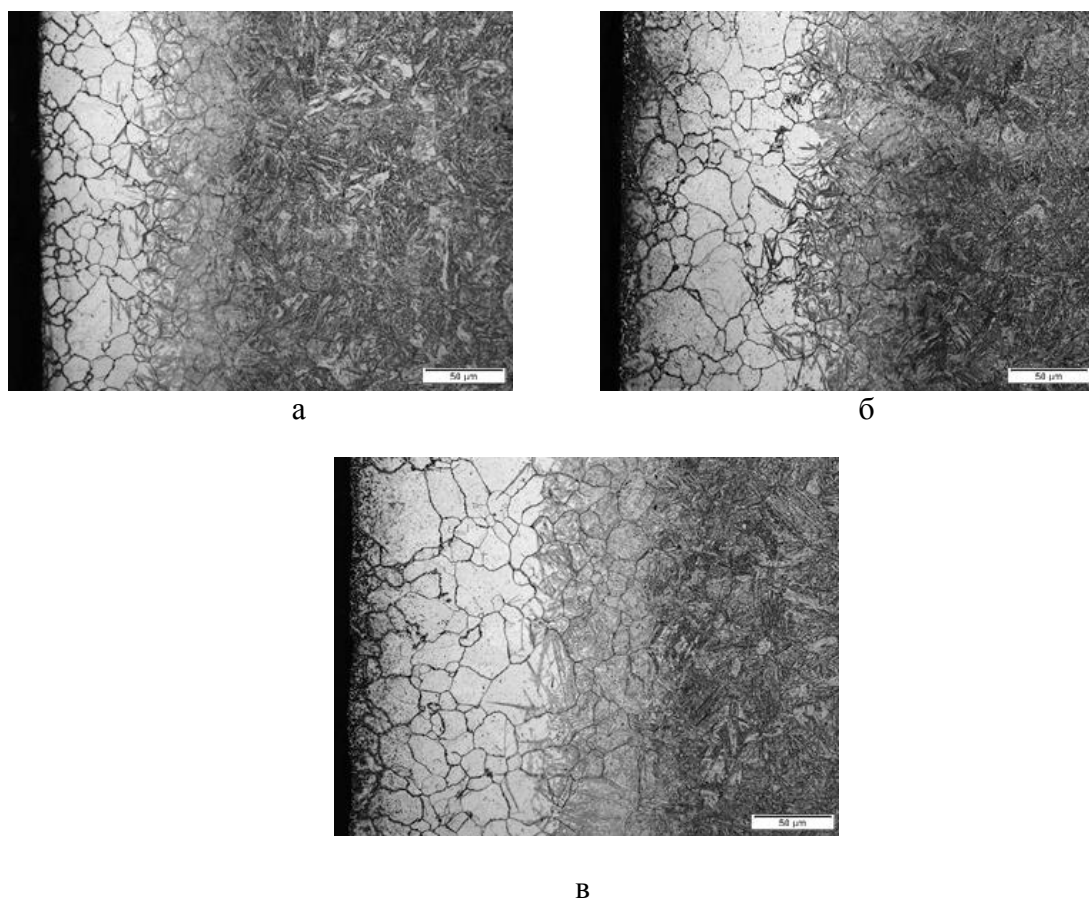


Рис. 4. Микроструктуры стали ВКС-10 после одностадийных режимов вакуумной цементации: а - активная стадия $\tau_a = 2$ мин; б - активная стадия $\tau_a = 4$ мин; в - активная стадия $\tau_a = 6$ мин, $\times 500$

По результатам измерения микротвердости при таких режимах насыщения были получены следующие значения эффективной толщины диффузионного слоя $h_{\text{эф}}$:

- 1) Активная стадия 2 минуты – эффективная толщина 0,18 мм;
- 2) Активная стадия 4 минуты – эффективная толщина 0,22 мм;
- 3) Активная стадия 6 минут – эффективная толщина 0,26 мм.

При проведении двухстадийного режима насыщения карбидная фаза начинает распределяться по толщине диффузионного слоя (рис.5). Вклад в снижение твердости также вносит остаточный аустенит на поверхности.

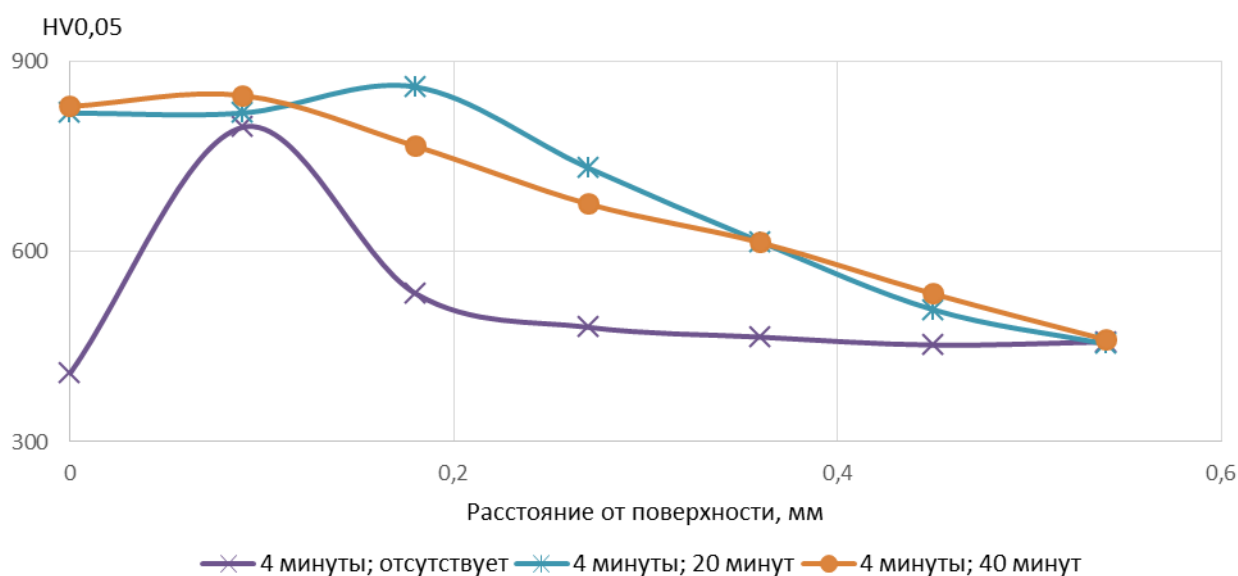


Рис. 5. Изменение микротвердости по толщине диффузионного слоя

На рисунке 6 представлена микроструктура теплостойкой стали ВКС-10, насыщенная по двухстадийным режимам.

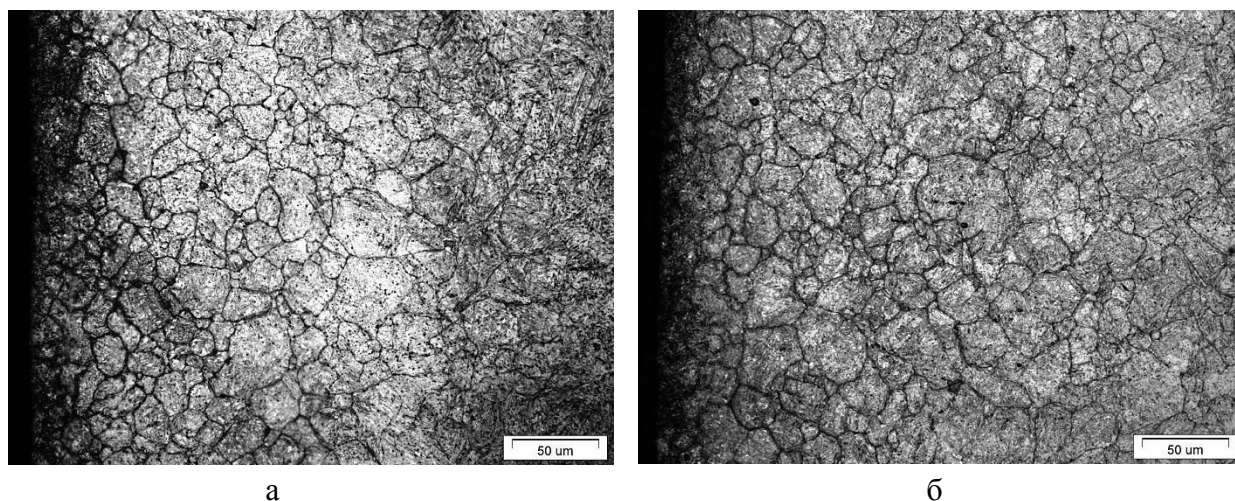


Рис. 6. Микроструктуры стали ВКС-10 после двухстадийных режимов вакуумной цементации: а - активная стадия $\tau_a = 4$ мин, пассивная стадия $\tau_n = 20$ мин; б - активная стадия $\tau_a = 4$ мин, пассивная стадия $\tau_n = 40$ мин, $\times 500$

Добавление пассивной стадии увеличило количество мартенсита на поверхности, а также произошло распределение карбидной фазы по толщине диффузионного слоя. В то же

время, концентрация углерода на поверхности снизилась. При добавлении пассивной стадии также возросла эффективная толщина диффузионного слоя:

- 1) Активная стадия 4 минуты, пассивная 20 минут – эффективная толщина 0,45 мм;
- 2) Активная стадия 4 минуты, пассивная 40 минут – эффективная толщина 0,50 мм.

При построении графика зависимости эффективной толщины диффузионного слоя от общего времени насыщения мы получаем классический вид параболы (рис. 7).

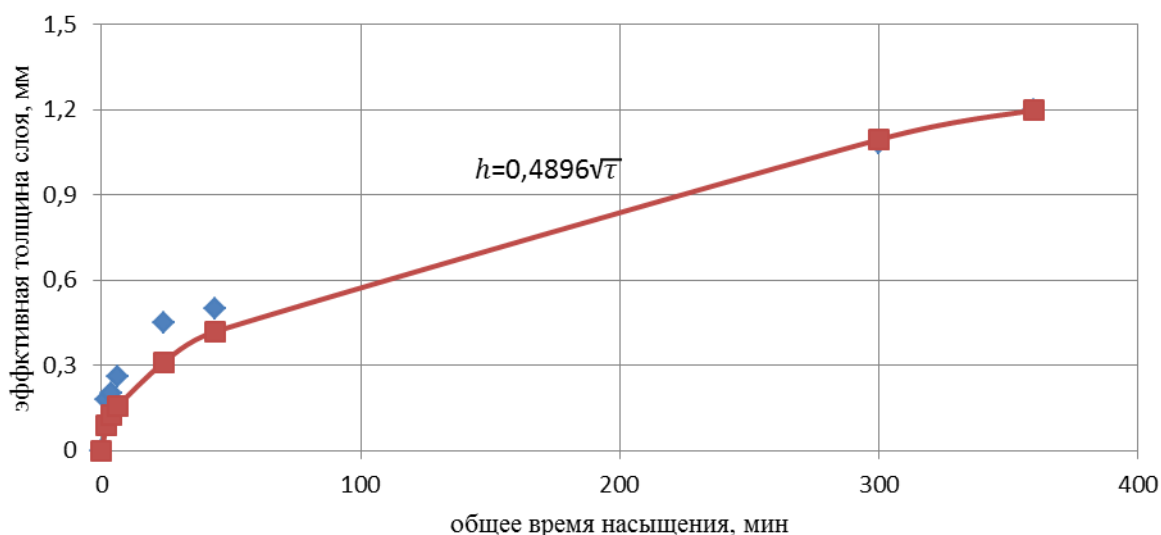
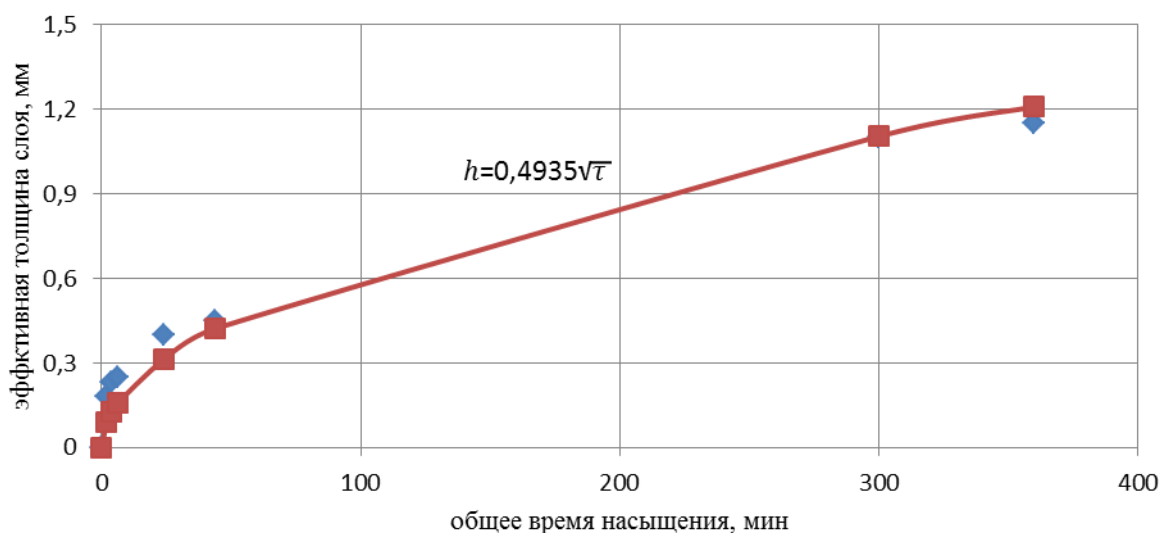


Рис. 7. Графики зависимости эффективной толщины диффузионного слоя от общего времени насыщения: а – сталь ВКС-7; б – сталь ВКС-10

Зависимость эффективной толщины диффузионного слоя от общего времени насыщения описывается формулой $h = k\sqrt{\tau}$, где k – кинетический коэффициент, τ – общее время насыщения. Для стали ВКС-7 кинетический коэффициент $k = 0,4935$, а для стали ВКС-10 $k = 0,4896$.

Выводы

1) Проведены исследования влияния ТПД на микроструктуру теплостойких сталей: для последующей вакуумной цементации подобраны образцы со степенями пластической деформации $\varepsilon = 0 \%$; 40% ; 80% ;

2) Полученные результаты исследования структуры после тепловой пластической деформации и последующей вакуумной цементации показали, что:

- с увеличением времени активной стадии цикла вакуумной цементации происходит рост толщины диффузионного слоя, а также увеличилась концентрация углерода на поверхности исследуемого образца;

- с увеличением времени активной стадии происходит стабилизация аустенита за счет карбидообразования;

- с увеличением времени пассивной стадии цикла происходит рост толщины диффузионного слоя, но уменьшается концентрация углерода на поверхности;

3) Подтверждена параболическая зависимость эффективной толщины слоя от общего времени насыщения.

Литература

1. Рыжов Н. М., Семенов М. Ю. Износостойкость цементованного слоя легированной стали с избыточной карбидной фазой // Трение и износ. 1998 Т. 19, № 2. С. 235 – 240.
2. Рыжов Н. М., Семенов М. Ю., Фахуртдинов Р.С. и др. Модель диффузионного роста частиц карбидной фазы в цементованном слое теплостойких сталей // Металловедение и Термическая Обработка Металлов. 1998. № 9. С. 26 - 30.
3. Семенов М. Ю. Управление строением цементованных слоев теплостойких сталей. Часть I // Металловедение и Термическая Обработка Металлов. 2013. № 5. С. 31 - 38.
4. Семенов М. Ю. Управление строением цементованных слоев теплостойких сталей. Часть II // Металловедение и Термическая Обработка Металлов. 2013. № 5. С. 32 - 37.