

## ВЛИЯНИЕ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ

Левченко Г.В., Бобырь С.В., Демина Е.Г.,

Здоровец С.А., Якименко Я.Ю.\*

*Институт чёрной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины*

*\*Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры*

Штампы горячего деформирования, работающие при повышенных температурах в условиях попеременного, многократного нагрева и охлаждения рабочего слоя, динамических нагрузок, часто выходят из строя из-за образования и развития термических трещин. С целью повышения долговечности инструмента, испытывающего воздействие тепловых циклических нагрузок, стали предназначенные для его изготовления должны обладать высокой теплостойкостью, твёрдостью, достаточной вязкостью и устойчивостью против разгара [1].

Обычно для штампов горячего деформирования применяются легированные стали типа 3Х2В8Ф, 4ХВ2С, 4Х5В2ФС, 5ХНМ, 6ХВГ и т.п. [2]. Однако использование в условиях ОАО "Интерпайп НТЗ" штамповой стали 5ХНМ не позволило обеспечить высокую термоциклическую стойкость инструмента деформации прессы – 10 тыс. т. Гораздо более высокой стойкостью в условиях горячей деформации обладают сталь 30 – 650 шт. колес и 20ХФ – 800 шт. колес.

Повышенный уровень термической стойкости штамповых сталей может быть достигнут за счёт их микролегирувания такими элементами, как титан и ванадий [3].

В связи с этим, **цель работы** заключалась в исследовании влияния микролегирувания ванадием и титаном на структуру и свойства низколегированных штамповых сталей.

**Материалом исследования** являлись базовая сталь 30 и сталь 30ГС, которая обеспечивает высокий уровень механических свойств и эксплуатационных характеристик специальных видов проката [4,5]. Изучаемые стали легировали малыми добавками титана и ванадия. Химический состав исследуемых сталей представлен в таблице 1.

**Методика исследований.** Навески опытных сплавов массой 200 г плавил в алудновых тиглях, нагревая до температуры 1600 °С в слабо восстановительной атмосфере гелия печи электросопротивления. После раскисления кремнием и введения легирующих и микролегирующих добавок расплав с тиглем от 1600 °С до 1200 °С охлаждали в печи ШП-I. Термограммы записывали с помощью Pt-Pt10%Rh на двухкоординатном самописце КСП-4. От температуры 1200 °С сплавы охлаждали на воздухе. Из разрезанных вдоль вертикальной оси цилиндрических отливок диаметром 35 мм и высотой 40 мм готовили образцы для химического и металлографического анализа. Нагрев под нормализацию и термоциклирование осуществляли в лабораторной муфельной электропечи. Контроль температуры производили потенциометром ПП-63 с хромель-алюмелевыми термопарами диаметром 0,3 мм.

Таблица 1

**Химический состава исследуемых сталей**

Марка стали	Содержание элементов, % масс.								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	V	Al	Ti
30	0,29	0,24	0,73	0,060	0,060	0,090	-	0,007	0,006
30ТФ	0,29	0,23	0,75	0,060	0,060	0,090	0,030	0,009	0,040
30ГС	0,27	0,73	1,15	0,054	0,022	0,020	0,001	0,010	0,002
30ГСТ	0,33	0,71	1,14	0,085	0,037	0,028	0,001	0,006	0,020
30ГСФ	0,34	0,71	1,15	0,085	0,035	0,028	0,039	0,006	0,002

Металлографические исследования выполняли на микроскопе "Axiovert 200 M MAT", количественный анализ – в программе "AxioVision 4.6.3".

**Результаты исследований.** Микроструктуры исследуемых сталей в литом состоянии представлены на рис. 1. Видно, как под влиянием микролегирующих добавок ванадия и титана размер зёрен аустенита ( $D_A$ ) измельчается (рис. 2, а). Причём под влиянием ванадия  $D_A$  в стали 30ГСФ уменьшается в 1,2 раза, по сравнению с базовой низколегированной сталью 30ГС. Титан в сталях 30ТФ и 30ГСТ уменьшает  $D_A$  в 1,7-2 раза, по сравнению с базовыми сталями – углеродистой 30 и низколегированной 30ГС. Поэтому присутствие в стали титана приводит к более эффективно измельчению аустенитной структуры, по сравнению с ванадием.

С другой стороны, ванадий является более сильным карбидообразующим элементов, чем титан [3]. Ванадий увеличивает количество цементита, а следовательно, и перлитной составляющей в большей мере, чем титан (рис. 2, б).

Для устранения особенностей литой структуры и её приближения к деформированной структуре образцы опытных сталей подвергали термообработке по режиму нагрев до 900 °С, охлаждение с печью до 450 °С, а затем охлаждение на воздухе. Для сравнения был также использован образец штампа из стали 20ХФ.

Термоциклическую стойкость образцов опытных сталей определяли путем многократного повторения термической обработки (150 циклов) нагрев до 700 °С, закалка в воду. Такие испытания позволяют отобразить режимы работы штамповых сталей в условиях НТЗ, зарождение трещин на поверхности которых имеет усталостный характер. Деформация поверхностного слоя штампа при повышенных температурах приводит к упрочнению металла в месте его контакта с заготовкой, накоплению дефектов кристаллической решетки феррита и зарождению трещин.

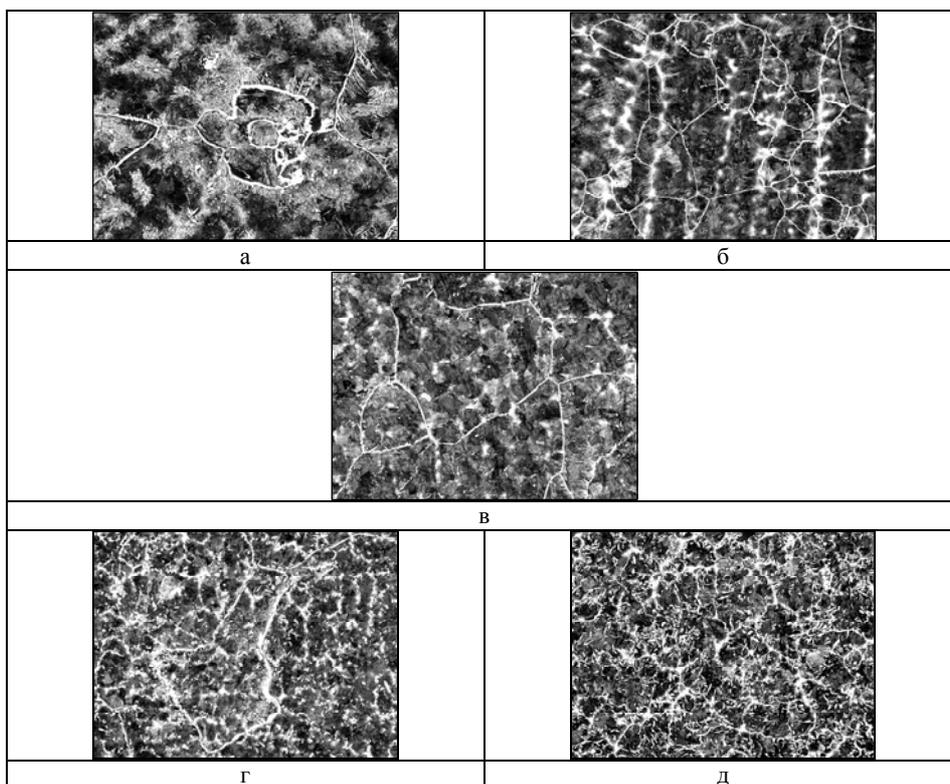
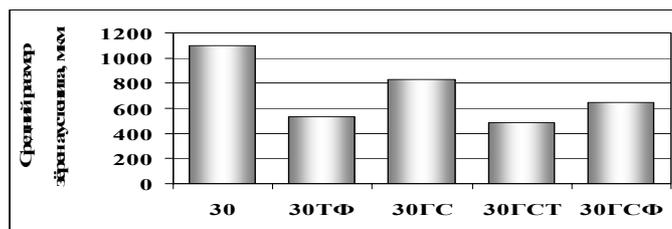


Рис. 1. Микроструктура исследуемых сталей (литое состояние),  $\times 15$ :  
а – сталь 30, б – 30ТФ, в – 30ГС, г – 30ГСФ, д – 30ГСТ

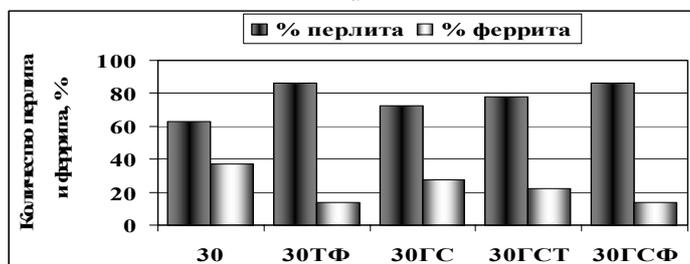
Микроструктура поверхности образцов исследуемых сталей после 150 циклов обработки приведена на рис. 3.

Исследование структуры поверхности показало, что стали 30, 30ГС, 30ГСФ, 20ХФ имели трещины на рабочей поверхности, испытывающей объёмные изменения, вызывающие и усиливающие, напряжения в поверхностном слое и в зоне перехода к нижележащим слоям. Под действием накапливающихся напряжений образуются сначала, не наблюдаемые визуально, микроскопические трещины.

Разгаростойкость зависит от дальнейшей скорости развития трещины. Скорость распространения трещин составила для стали 30 – 0,53, для 30ГС – 0,43, для 30ГСФ – 0,47 и для 20ХФ – 0,38 мкм/цикл. В результате многократного нагрева до температуры 700°C в поверхностном слое исследуемых образцов происходила сфероидизация перлита. Стали 30ТФ и 30ГСТ имели низкую скорость распространения трещин, которая составила 0,4 и 0,3 мкм/цикл соответственно, и, следовательно, более высокую термоциклическую стойкость.



а



б

Рис. 2. Влияние микродобавок титана и ванадия на размер зёрен аустенита (а) и на количество перлита и феррита (б) в исследуемых сталях.

Сталь для изготовления штампов горячего деформирования должна иметь такой уровень твёрдости, чтобы сохранить оптимальное сочетание вязкости и разгаростойкости наряду с высоким сопротивлением пластической деформации. Твёрдость изучаемых сталей после термической обработки приведена в таблице 2.

Твёрдость по Бринеллю изучаемых сталей

30	30ТФ	30ГС	30ГСТ	30ГСФ	20ХФ
179	223	207	217	241	152

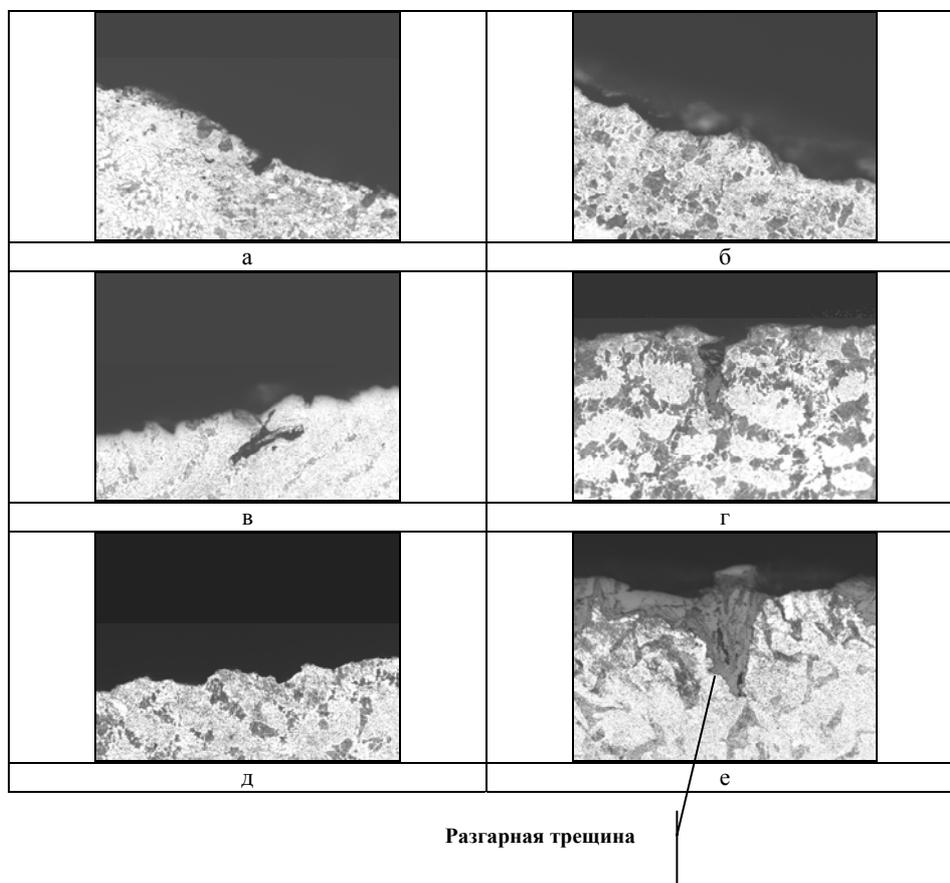


Рис. 3. Микроструктура поверхности образцов после 150 циклов,  $\times 60$ :  
а – сталь 30, б – 30ТФ, в – 30ГС, г – 30ГСФ, д – 30ГСТ, е – 20ХФ.

Последующий анализ показал, что уровень твердости сталей 30, 30ГС, 20ХФ (табл. 2) является недостаточным для обеспечения высокой износостойкости.

Сталь 30ГСФ, напротив, имела повышенную твердость, что способствовало быстрому образованию и распространению трещины.

Высокую термоциклическую стойкость показали стали 30ТФ и 30ГСТ с уровнем твердости 217 и 229 НВ соответственно. Поскольку при данном уровне твердости сохраняет достаточная вязкость, обеспечивающая устойчивость против разгара.

Следует отметить, что стали, в состав которых входит ванадий, показали низкий уровень термоциклической стойкости, по-видимому, из-за образования легкоплавких эвтектик с оксидами ванадия  $V_2O_5$ . Температура плавления оксида ванадия, образующегося в стали, ниже температуры эксплуатации штампа; ниже по сравнению с другими оксидами (табл. 3) [6].

Таблица 3

Температуры плавления оксидов элементов

Оксид	$SiO_2$	$V_2O_5$	$NiO$	$Ti_2O_3$	$TiO_2$	$MnO$	$Mn_3O_4$	$Fe_2O_3$	$Fe_3O_4$	$BaO$	$Cr_2O_3$
$T_{пл., ^\circ C}$	1710	690	1990	2130	1855	1785	1705	1565	1597	1918	2425

Установлено, что микролегирование титаном оказывало большее воздействие на повышение термоциклической стойкости, чем микролегирование ванадием.

Расчётное, по длине образующихся трещин, количество рабочих циклов штампов из исследуемых сталей приведено на рис. 4, из которого видно, что наибольшее количество рабочих циклов штампов горячего деформирования обеспечивает сталь 30ГСТ.

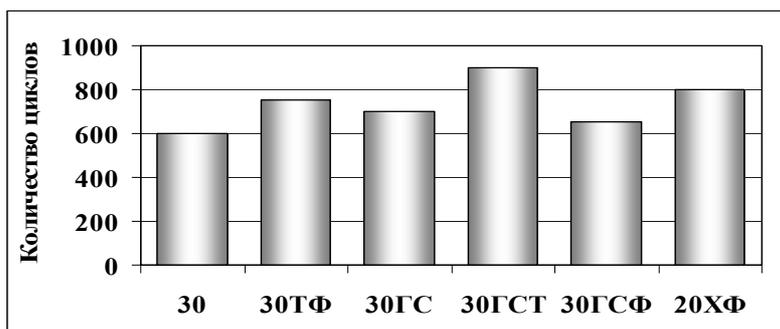


Рис. 4. Расчетное количество рабочих циклов штампа до разрушения.

#### **Выводы:**

1. Комплексное микролегирование титаном и ванадием приводит к повышению термоциклической стойкости стали 30.
2. При раздельном микролегировании стали 30ГС титаном и ванадием термоциклическая стойкость стали 30ГСТ была выше, а 30ГСФ – ниже, чем сталей 30ГС и 30ТФ.
3. Для изготовления штампов горячего деформирования, работающих в условиях ОАО "Интерпайп НТЗ", можно рекомендовать сталь, легированную небольшим количеством кремния (0,7 %) и микролегированную титаном.

#### **Литература**

1. Тылкин М.А., Васильев Д.И., Роголёв А.М. и др. Штампы для горячего деформирования металлов. – М.: Высшая школа, 1977. – 496 с.
2. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1975. – 584 с.
3. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г.. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали. – М.: Металлургия, 1986. – 272 с.
4. Левченко Г.В., Воробей С.А., Дёмина Е.Г. и др. Качество арматурного проката для анкерного крепления горных выработок // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – № 5. – С. 29-33.
5. Левченко Г.В., Воробей С.А., Дёмина Е.Г. и др. Арматурный прокат для железобетонных конструкций подземных сооружений // Металлознавство та обробка металів. – 2007. – № 2. – С. 39-43.
6. Гороновский И.Г. Краткий справочник по химии. – К.: Наукова Думка, 1987. – 835 с.