

УДК 621.791

**Бойко И. А.**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОЛЬФРАМА, КОБАЛЬТА И ВАНАДИЯ НА ТВЕРДОСТЬ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ С ОСНОВОЙ ТИПА X12**

Задачей легирующих элементов в качестве замедлителей разупрочнения стали при повышенных температурах является создание дисперсии карбидов, нитридов, а также интерметаллидных соединений, позволяющих стабилизировать твердость стали при падении твердости раствора. Изучению влияния вольфрама и кобальта на свойства теплостойких сталей посвящены работы сотрудников УкрНИИ Спецсталь (г. Запорожье) [1, 2].

При повышении легирования стали вольфрамом и кобальтом наряду с увеличением горячей твердости повышается и начальная твердость. Это объясняется увеличением выделения избыточных фаз из раствора, а также их влиянию на прокаливаемость мартенсита [3]. Повышение начальной твердости наплавленного слоя до 50...52 HRC приводит к заметному ухудшению обрабатываемости резанием. Данное явление объясняется не только сопротивляемостью резанию, но и ударами на режущий инструмент ввиду рельефной поверхности наплавленных валиков. В случае, если твердость после наплавки превышает 55 HRC, то обработка резанием экономически нецелесообразна, а, иногда – невозможна. Это делает шлифовку безальтернативной операцией механической обработки, повышая время обработки и стоимость инструмента.

Следовательно, задача технологически оптимального легирования наплавленного металла должна решаться исходя из условий незатрудненной механической обработки (умеренная начальная твердость) и повышенная стойкость по критерию деформации просадки в зоне наибольшей тепловой и механической нагрузки, что решается повышением твердости при повышенных температурах. Горячая твердость является одной из важнейших характеристик инструментального материала, так как определяет сопротивляемость контактных площадок инструмента макро-и микроразрушению при температурах, соответствующих реальным условиям работы.

Целью настоящей работы является изучение и исследование влияния вольфрама, кобальта и ванадия на твердость наплавленного слоя с основой типа X12 при нормальной и повышенной температурах.

В качестве исследуемой упрочняющей композиции легирующих элементов на основе литературных данных, а также экспериментальных наплавов была выбрана система  $W-Co-V$ . Легирование наплавленного металла приведенными элементами повышает эксплуатационные характеристики инструмента. Исходя из анализа современных порошковых проволок для наплавки инструмента, работающего при высоких температурах, содержание вольфрама в наплавленном металле не превышает 10 %, кобальта – 14 % в безвольфрамовых сталях и 5 % в содержащих вольфрам, ванадия – до 2 %.

Для определения границ содержания легирующих элементов (вольфрама, кобальта и ванадия) по критерию начальной твердости после наплавки было предложено использовать центральный композиционный полнофакторный план второго порядка.

Варьирование химического состава наплавленного металла показано в табл. 1.

На основе плана эксперимента, а также выбранной композиции и содержания легирующих элементов составляется матрица планирования эксперимента, состоящая из 16 опытов: 8 основных опытов и 8 звездных точек.

Для исследования зависимости начальной твердости от состава наплавленного металла было разработано 16 составов самозащитных порошковых проволок диаметром 3,2 мм и коэффициентом заполнения 36...38 %. В качестве оболочки проволоки использовали ленту из стали 08кп размером 0,5x15 мм. Газошлакообразующая часть наполнителей экспериментальных проволок была построена на базе применяющейся ранее системе минералов  $CaF_2 - CaTiO_3 - MgCO_3$ . Матрица стали – 40X12.

Таблица 1

## Варьирование легирующих компонентов

Изучаемые факторы	Содержание элементов, %		
	W	Co	V
Основной уровень = 0	5	2,5	1
Интервал варьирования	5	2,5	1
Верхний уровень = +	10	5	2
Нижний уровень = -	0	0	0
Кодовое обозначение переменных	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>

В качестве источника вольфрама применяли порошок ПВН по ТУ 48-19-72-92. Средний диаметр зерна по Фишеру, 3,5... 6,0 мкм. Содержание порошка в шихте изменяли от 0 до 26 %. Легирование кобальтом осуществляли порошком ПК-1у по ГОСТ 9721-79, варьируя его содержание в шихте от 0 до 15 %. Ванадий вводили применяя феррованадий ФВд-50 по ГОСТ 27130-86.

Наплавку образцов с основой из стали ст.3 осуществляли на автомате А-874 со скоростью 15,6 м/ч в 3 слоя. Питание дуги осуществляли выпрямителем ВС-600. Режимы наплавки: сварочный ток – 260 А, напряжение на дуге – 27...28 В.

После наплавки образцы охлаждали на воздухе. В течение 1 часа до температуры 60–70 °С. После остывания из экспериментальных наплавки были вырезаны образцы размерами 25x25x20 мм. Для контроля соответствия расчетного и полученного составов наплавки использовалась спектральная установка для определения химического состава металлов Spectrolab (рис. 1).



Рис. 1. Установка для определения химического состава наплавки спектральным способом

После контроля химического состава образцы шлифовались до 6...7 класса чистоты, после чего измерялась их твердость. Для измерения начальной твердости образцов использовали твердомер ТК-2М.

В прикладной программе Statistica 6.0 произвели обработку экспериментальных данных. Получено ряд зависимостей, отражающий характер влияния легирующих элементов на начальную твердость стали.

Результаты исследований показали, что при легировании матрицы 40X12 вольфрамом до 10%, кобальтом до 5% и ванадием до 2% начальная твердость наплавленного металла может изменяться от 40 до 60 ед. Роквелла. На рис. 2 приведены зависимости начальной твердости от содержания вольфрама и кобальта в наплавленном металле при различных уровнях содержания ванадия в нем.

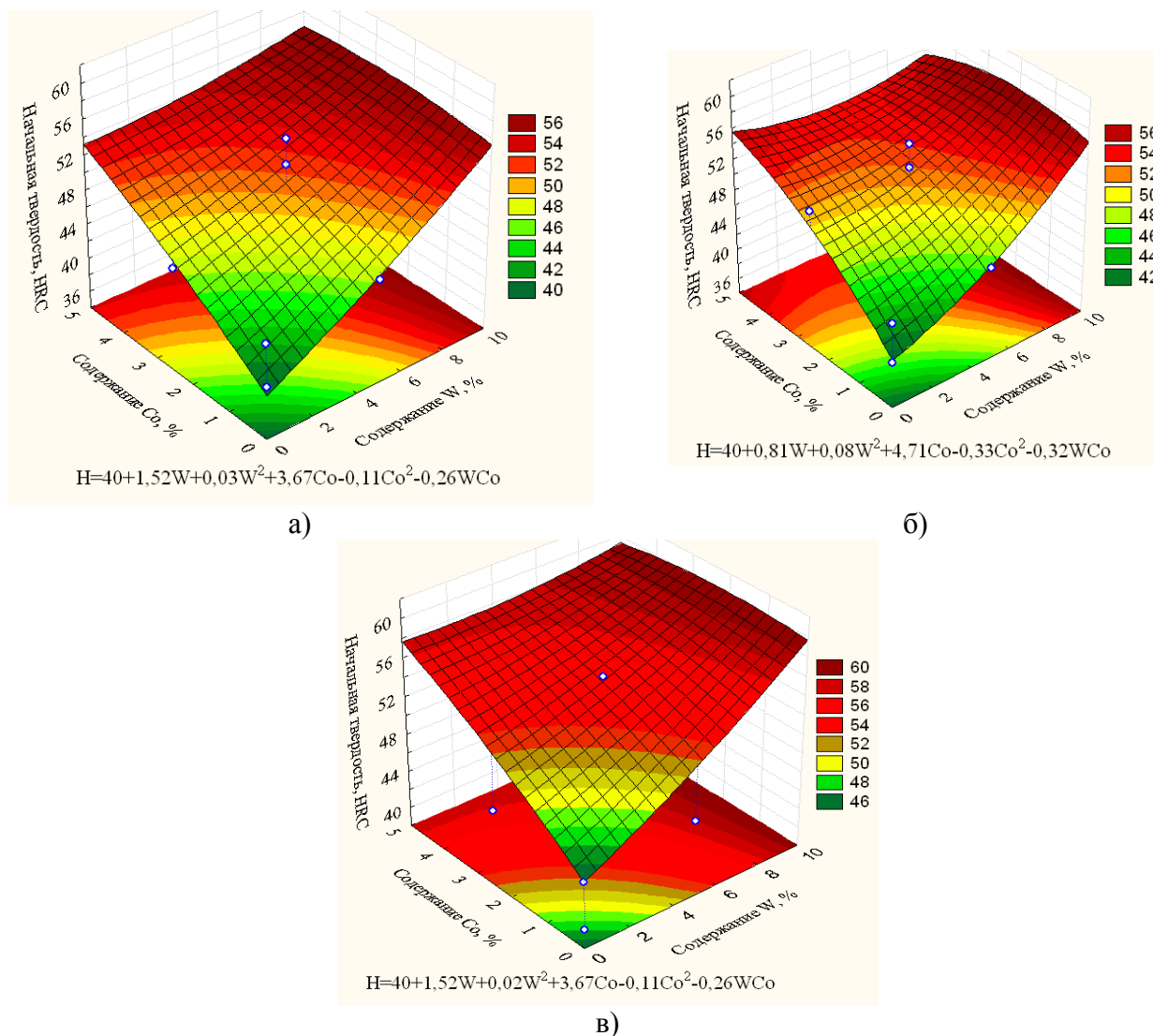


Рис. 2. Поверхности отклика (начальной твердости) при изменении вольфрама и кобальта в наплавленном металле:

а) – без ванадия; б) – содержание ванадия 1%, в) – содержание ванадия 2%

В результате математического моделирования были получены следующие уравнения регрессии, отображающие влияние W и Co при фиксированном значении V:

а)  $H=40+1,52W+0,03W^2+3,67Co-0,11Co^2-0,26WCo$  – при отсутствии V в наплавке;

б)  $H=40+0,81W+0,08W^2+4,71Co-0,33Co^2-0,32WCo$  – при содержании V =1%;

в)  $H=40+1,52W+0,02W^2+3,67Co-0,11Co^2-0,26WCo$  – при содержании V=2%.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что для технологически приемлемого уровня начальной твердости (не более 50 HRC) без добавления ванадия содержание вольфрама не должно превышать 7 %, а кобальта 3,5 %. При добавлении 1 % ванадия в наплавленный металл верхняя граница легирования вольфрамом повышается до 7,5 %, а кобальта – наоборот снижается до 2,5...3%. Очевидно, это связано с увеличением карбидной составляющей в стали и увеличением растворимости вольфрама в мартенсите. Дальнейшее увеличение ванадия, при таком же содержании кобальта и вольфрама, увеличивает начальную твердость до 54...56 HRC, что существенно затруднит механическую обработку инструмента. Кроме того, при увеличении содержания ванадия, возможно увеличение как отпускной хрупкости, так и снижение разгаростойкости стали. Таким образом, содержание ванадия в Cr-W-Co стали для упрочнения прессового инструмента не должно превышать 1%.

Анализ полученных зависимостей показал, что дальнейшую оптимизацию состава стали с 0,4 % С, 12 % Cr, 1% V с целью повышения твердости при повышенных температурах необходимо производить при содержании W не более 7,5...8%, а Co – не более 2,5...3%.

Для поиска оптимального соотношения вольфрама и кобальта, обеспечивающем высокую твердость при повышенных температурах, было изготовлено 10 составов самозащитных порошковых проволок. Способ изготовления, используемые материалы не отличались от предыдущего опыта.

Была получена следующая поверхность отклика (рис. 3).

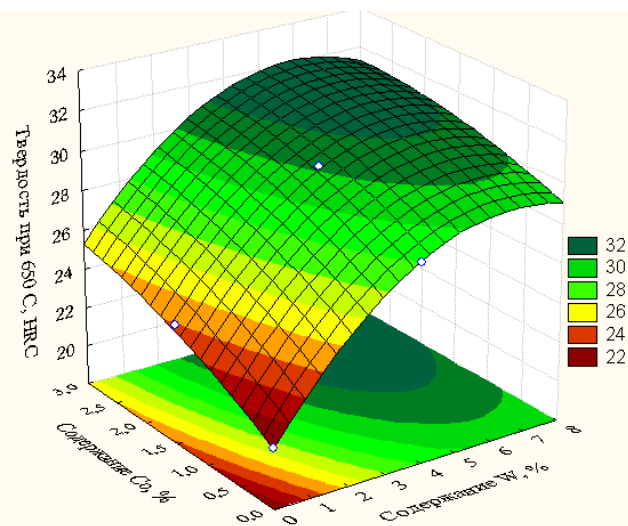


Рис. 3. Поверхность отклика (твердости при  $T = 650^{\circ}\text{C}$ ) в зависимости от содержания W и Co в наплавленном металле

Данную поверхность описывает следующее уравнение регрессии:

$$H^{650} = 21 + 2,53W - 0,19W^2 + 2,2Co - 0,25Co^2 - 0,083WCo.$$

Анализ полученных результатов подтвердил, что горячая твердость в значительной степени зависит от содержания вольфрама и кобальта в наплавке. Изменение содержания вольфрама в стали 40X12 с 0 до 4 % увеличивает горячую твердость при 650 градусов Цельсия с 22 до 28 HRC. Максимум твердости обнаружен при содержании вольфрама 6,5–7 % на уровне 31 HRC, дальнейшее увеличение его содержания практически не оказывает влияния на повышение горячей твердости. Данное явление объясняется недостаточным содержанием углерода в ферритном растворе, способным оказать влияние на повышение количества зерен релита в нем.

Добавление только кобальта в хромованадиевую сталь не оказывает такого заметного влияния, как введение вольфрама. Так, добавление 3 % кобальта увеличило горячую твердость с 22 до 25 HRC. Более сильное влияние на уровень горячей твердости оказывает совместное влияние вольфрама и кобальта. Максимум твердости обнаружен при содержании W и Co в соотношении 2:1, что, при условии соблюдения начальной твердости не более 50 HRC, соответствует 4% W и 2% Co.

Объяснение роста твердости сталей, легированных вольфрамом, при добавлении в них кобальта, объясняется более равномерным распределением включений карбида вольфрама. С повышением содержания кобальта происходит снижение дисперсности карбидных фаз. Возможно, что с увеличением содержания кобальта происходит увеличение прослоек между зернами релита, что препятствует их коалесценции, следовательно менее крупные включения более полно модифицируют структуру стали, измельчая ее зерна, что положительно сказывается на способности стали сохранять твердость при повышенных температурах.

Был проведен ряд измерений горячей твердости сталей 20X4B10H4ФТ, 3X3B8, 5X12B5 и исследуемой стали 40X12B4K2Ф. Твердость определялась в образцах, вырезанных из 3 слоя наплавки.

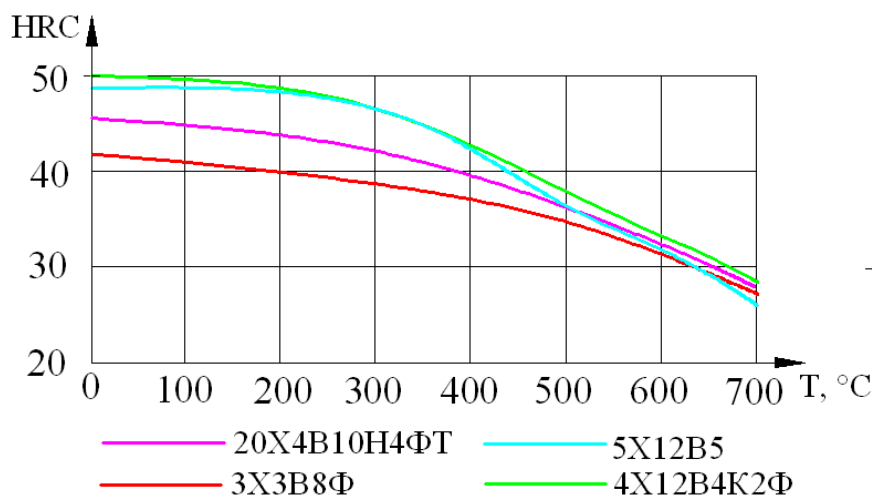


Рис. 4 Изменение твердости при нагреве различных марок инструментальных сталей

Повышенная твердость сталей 5X12B5 и 40X12B4K2Ф при температурах до 350°C (47 и 50 HRC) вызвана мартенситной матрицей данных сталей после наплавки повышенным содержанием углерода в них (0,4...0,5 %). В сталях с меньшим содержанием углерода (0,2...0,3%) начальная твердость несколько ниже (42...46 HRC) в связи с присутствием как мартенситных, так и троостинных структур). С увеличением температуры испытаний твердость сталей заметно падает до 28...32 HRC, это связано со снижением твердости раствора при нагреве стали. Твердость при данной температуре обуславливается в основном количеством карбидов и нитридов. Сталь 4X12B4K2Ф в сравнении со сталью 5X12B5 имеет меньшее количество вольфрама и углерода, а значит и количество зерен релита, являющихся центрами дисперсионного твердения и, как следствие, высокой горячей твердости. Тем не менее, разработанная сталь превосходит известную 5X12B5 по твердости на 2...3 ед. при температуре 650°C. Данное явление обуславливается присутствием ванадия в стали, обеспечивающим выпадение нитридной дисперсии, а также кобальта, препятствующему коагуляции релитовых зерен, что вызывает более равномерное их распределение в растворе.

## ВЫВОДЫ

1. Наиболее заметное влияние на твердость наплавленного металла типа X12 оказывает вольфрам и ванадий.
2. Добавление кобальта существенно повышает твердость стали типа 40X12B4Ф при высоких температурах.
3. Для сохранения умеренной твердости при нормальной температуре и увеличения ее при повышенной рекомендуется состав наплавленного металла типа 4X12B4K2Ф.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка высокотеплостойкой инструментальной стали / В.Н. Терехов, В.И. Канюка, А.Н. Мороз, Н.А. Рябухина // *Металлургия. Научные труды Запорожской инженерной академии*. – 2011. – №25.
2. Справочник по инструментальным сталям : справочное издание / В.И. Канюка, В.Н. Терехов, А.Н. Мороз; под общ. ред. Ю.Ф. Тернового ; ГП «УкрНИИ спец. сталей, сплавов и ферросплавов» «УкрНИИ-Испецсталь». – [2-е изд.]. – Х. : Металлика, 2009. – 242 с.
3. Штампы для горячего деформирования металлов : учеб. пособие для вузов / Под. ред. М. А. Тылкина. – М. «Высш. школа», 1977. – 496 с.