

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КРЕМНИЯ НА СВОЙСТВА ТЕПЛОСТОЙКИХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

В. Б. Бутыгин, Л. Д. Собачкина, Г. А. Околович

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Показаны пути легирования инструментальных сталей элементами, в количестве позволяющем повысить содержание упрочняющей фазы, твёрдость, прокаливаемость, теплостойкость. Рассмотрена возможность удешевления стоимости инструментальных сталей путём комплексного легирования более дешёвыми материалами.

Ключевые слова: термическая обработка, легирование, теплостойкость, твёрдость, фазовый состав, ковка, карбиды, закалка

THE INFLUENCE OF CONTENTS OF SILICON ON THE PROPERTIES OF TOOL HEAT RESISTANCE STEELS

V. B. Butygin, L. D. Sobachkina, G. A. Okolovich

Altai State Technical University, Barnaul, Russia

In this paper we describes the ways of doping tool steels by elements in the amount, allowing to increase the content of the hardening phase, hardness, hardenability, heat resistance. We consider the possibility of cheapening the cost of tool steels, by complex alloying less expensive elements.

Keywords: heat treatment, alloying, heat resistance, hardness, phase composition, forging, carbides, quenching

Вопрос о влиянии кремния на свойства инструментальных сталей многие годы привлекает внимание исследователей. Это связано, прежде всего, с незначительной стоимостью этого элемента, а также с его влиянием на вторичную твёрдость, прочность и теплостойкость сталей, используемых для изготовления инструментальных материалов различной теплостойкости [1 – 9] и назначения. Сведения о влиянии кремния порой различного толка, неоднозначны, иногда противоречивы. Это, видимо, зависит от различного назначения легирования этим элементом. И, скорее всего, от отсутствия конкретного анализа сопутствующих легирующих элементов, и их количества.

В нашей работе исследовалось влияние кремния на свойства сталей, с целью использования последних в качестве сталей для режущего и штампового инструмента. В таблице 1 приведён химический состав исследуемых сталей. Для эксперимента стали выплавлялись в индукционной печи и разливались на слитки массой по 8 кг.

Таблица 1 – Химический состав исследуемых сталей, %

Сталь	C	Si	Cr	Mo	V	Ni	Cu	W	Co	Al
1	0,35	0,67	8,1	1,9	0,9	10,8	2,9	4,9	0,08	1,2
2	0,35	0,97	8,2	2,7	1,4	8,4	0,64	3,8	1,3	0,45
3	0,35	1,4	8,3	2,5	0,67	8,8	0,5	6,05	0,01	0,2

Для равной оценки влияния углерода, содержание его было принято одинаковым. Одинаковым было и количество хрома.

Опытные стали легировались также молибденом, ванадием, никелем, вольфрамом, кобальтом, медью и алюминием.

Слитки были прокованы на прутки сечением 40 x 40 мм. При принятом содержании кремния пластичность при горячей деформации была вполне удовлетворительной, трещины отсутствовали.

Отжиг производился по стандартным режимам. Обрабатываемость резанием по-

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КРЕМНИЯ НА СВОЙСТВА ТЕПЛОСТОЙКИХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

сле отжига хорошая, соответствующая обработке серого чугуна СЧ32.

Критические точки определяли на дифференциальном dilatометре Шевенара. Измерения температур критических точек показывают, что кремний повышает температуру этих точек. Для исследуемых сталей они составили $A_{c1} \sim 850$ °С, что значительно выше, чем нелегированных сталей. Согласно этому температуры закалки изучались в пределах 1025 – 1075 °С (таблица 2).

Таблица 2 – Твердость сталей в зависимости от температуры закалки

№ образца	Т закалки, °С		
	1025	1050	1075
Твёрдость образца, HRC			
1	63 – 64	63,5 – 64,5	63,5 – 64,5
2	–	36 – 37	37 – 38
3	50 – 51	30 – 31	54 – 55

Таблица 3 – Твердость сталей в зависимости от температуры отпуска

№ образца	Т отпуска, °С						
	400	450	500	550	600	650	750
Твёрдость образца, HRC							
1	60-61	59-60	58-59	57-58	51-52	48-49	44-45
2	57-58	57-58	59-60	59-60	56-57	47-48	38-39
3	63-64	63-64	67-68	65-66	58-59	47-48	31-30

Таблица 4 – Механические свойства исследуемых сталей в зависимости от содержания кремния

№ образца	Содержание Si, %	Твёрдость образца, HRC	Ударная вязкость КС, Дж/м ²	Прочность при изгибе $\sigma_{изг}$, МПа	Электропроводность ρ , ом·мм/м
1	0,67	58 – 59	1,6	4100	58
2	0,97	59 – 60	1,6	4200	60
3	1,4	67 – 68	1,6	4500	65

Наибольшую твёрдость после закалки показал образец номер 1, имеющий меньшее содержание кремния. Твёрдость после закалки этого образца обеспечивалась наличием хрома, молибдена, вольфрама, алюминия, ванадия. Увеличение температуры закалки до 1050 – 1075 °С приводит к снижению твёрдости образцов № 2, 3. Это обусловлено наличием остаточного аустенита. Количество остаточного аустенита при этих температурах

достигало 15 – 20 %, причём его больше в тех сталях, где больше кремния. Таким образом, наряду с никелем, кремний повышает количество остаточного аустенита, особенно при высоких температурах закалки.

Для дальнейшего исследования была принята температура закалки 1075 °С. Изменение свойств после закалки рассматривались при температурах от 400 до 750 °С (таблица 3).

Как видно из таблицы 3, сталь № 3 достигает наибольшей твёрдости при отпуске от 500 °С. Именно в этой стали самое высокое содержание кремния. Полученная твёрдость сопоставима с твёрдостью быстрорежущих сталей. Вместе с этим теплостойкость для твёрдости HRC 59 составляет 600 °С, а для твёрдости HRC 47 составляет 650 °С. Стали № 1, 2 по твёрдости и теплостойкости уступают стали № 3, но остаются достаточно высокими и сопоставимы со свойствами стандартных сталей типа 3Х2ВФ. Эти свойства достигались при практически одинаковом количестве вводимых легирующих элементов.

При всех температурах отпуска (450 – 550 °С) твёрдость возрастает с увеличением содержания кремния от 0,67 до 1,4 %. Это вызвано повышением легированности твёрдого раствора, на что указывает и повышение электросопротивления от 58 до 65 ом·мм/м.

Кремний незначительно повышает содержание остаточного аустенита после закалки, что способствует снижению склонности к росту зерна. Однако, максимум вторичной твёрдости смещается к более низким температурам (500 °С).

В таблице 4 показаны механические свойства ($T_{зак}=1075$ °С, $T_{отп}=500$ °С).

Исследования показали, что ударная вязкость при принятых пределах кремния не изменяется. Однако увеличение содержания кремния выше 1,4 % вызывает резкое снижение вязкости. Это подтверждается и другими исследованиями.

В то же время, прочность при изгибе увеличивается с 4100 МПа до 4500 МПа (при 1,4 % Si).

Выводы:

1. Кремний повышает дисперсное твердение.
2. Наличие кремния в пределах 0,64 – 1,4 % не приводит к образованию большого количества остаточного аустенита.
3. Наличие кремния в указанных количествах не приводит к снижению ударной вязкости, однако повышает прочность при изгибе.
4. Повышение содержания кремния до 1,4 % приводит к повышению дисперсности

мартенситной структуры и снижению склонности к росту зерна при перегреве.

5. С повышением содержания кремния теплостойкость сталей возрастает.

6. Легирование сталей кремнием позволяет заменить часть дорогостоящих элементов, тем самым снизить стоимость стали.

Список литературы

1. Влияние содержания кремния на свойства валковой стали типа 6Х6М1Ф / А.Ф. Дегтярёв, А.Ф. Железнов, А.Ф. Пименов, В.В. Кожухов // Производство высококачественного проката — 1979. — № 3. — С. 24 — 29.

2. Кремнев Л.С. Развитие теории легирования и разработка оптимальных составов теплостойких инструментальных сталей: Автореф... дис. д-ра. техн. наук. — Москва : МИИТа, 1974. — 45 с.

3. Геллер, Ю.А. Инструментальные стали / Ю.А. Геллер. - М.: Металлургия, 1975. — 584 с.

4. Бутыгин В.Б., Демидов А.С. Влияние легирующих элементов на твёрдость после отжига быстрорежущих сталей с интерметаллидным упрочнением // Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире: Материалы XI Всерос. конф. — Р., 2009. — С. 186 — 191.

5. Бутыгин В.Б., Демидов А.С. Влияние легирования на свойства штамповых сплавов высокой тепло-стойкости // Литейные процессы: Сб. науч. тр. — Магнитогорск, 2010. — С. 50 — 54.

6. Бутыгин В.Б., Демидов А.С. Легирование штамповых сталей широкого диапазона применения // Ползуновский альманах. — 2012. — № 1. — С. 259 — 263.

7. Бутыгин В.Б., Варфоломеев В.И., Демидов А.С. Разработка и исследование экономно легированных штамповых сталей // Ползуновский вестник. — 2012. — № 1. — С. 56 — 58.

8. Собачкина Л.Д., Бутыгин В.Б. Разработка штамповых сталей различной теплостойкости // Ползуновский вестник. — 2015. — № 3. — С. 28 — 30.

9. Собачкина Л.Д., Бутыгин В.Б., Демидов А.С. Пути повышения механических свойств в инструментальных сталях // Современная техника и технологии: проблемы, состояние, перспективы: Материалы V Всерос. конф. — Р., 2015. — С. 182 — 185.

Бутыгин Виктор Борисович – к.т.н., профессор
Собачкина Лариса Джумаевна – магистрант
Околович Геннадий Андреевич – д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова»
(АлтГТУ), г. Барнаул, Россия