



The theoretical aspects of development of the complex-alloyed steel compounds for cutting parts of high-speed instrument, particularly influence of alloying elements on its structure and characteristics are considered. It is shown that combined alloying of steel by carbon, chrome, silicon, manganese, vanadium and molybdenum in a certain proportion allows to reach the intended aim, achieving at the same time increase of solidity, impact elasticity and heat stability.

В. Н. ФЕДУЛОВ, БНТУ

УДК 621.74

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ КОМПЛЕКСНО-ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ ПОВЫШЕННОЙ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ, ВЯЗКОСТИ И ТЕПЛОСТОЙКОСТИ ДЛЯ РЕЖУЩИХ ЧАСТЕЙ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ИНСТРУМЕНТА, РАБОТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ РАЗОГРЕВА И ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Исследуемые стали используются в основном для производства инструментов холодной обработки металлов (штамповки, вырубки), применяемых в условиях изнашивания с динамическими нагрузками при высоких скоростях работы (на высокоскоростных автоматических прессах).

Основные требования к свойствам сталей: рационально подобранное сочетание двух во многом противоположных свойств — достаточно высокой твердости, чтобы избежать смятия рабочих поверхностей инструмента, и повышенной вязкости, чтобы не иметь сколов этих же поверхностей и поломок всего инструмента, а также сохранение высокой твердости при кратковременном разогреве рабочих частей инструмента до 300–350 °С в целях повышения производительности и автоматизации труда.

За последние годы наблюдалась отчетливо выраженная тенденция к повышению твердости упомянутых инструментов: от 45–48 до 50–53 HRC для работы со значительными ударными нагрузками и от 55–57 до 59–60 HRC при меньших динамических нагрузках. Стойкость инструментов значительно возрастает, если увеличение твердости не вызывает снижения вязкости стали. При этом также повышается отпускостойчивость их при кратковременном, но достаточно значительном разогреве во время эксплуатации. Повышение вязкости и теплоустойчивости стали в данной работе рассматривалось как основная задача исследования, так как в настоящее время резко возрос спрос на использование легированных сталей за счет сокращения доли углеродистых.

Требования к структуре таких сталей достаточно жесткие [1]: сокращение доли и размеров

избыточных карбидов, чтобы они не снижали резко вязкость, но обеспечивали достаточную твердость и теплоустойкость. Аналогично влияют и карбиды, выделившиеся при отпуске в повышенном количестве, т.е. при относительно высоком содержании углерода в стали. Кроме того, карбидной фазой, выделившейся при отпуске, должен быть легированный цементит. Образование карбидов M_7C_3 и M_6C , возможное при повышении легирования стали, сопровождается дополнительным снижением вязкости. В качестве избыточной фазы, и то в небольшом количестве, допустимы лишь карбиды MC благодаря их задерживающему влиянию на рост зерна при нагреве под закалку.

Этим условиям [1] в большей степени соответствуют стали, содержащие углерод в количестве 0,6–0,7% (близкие к эвтектоидным), которые сочетают высокую прокаливаемость и закаливаемость с небольшой чувствительностью к отрицательному влиянию увеличения размеров инструмента (масштабный эффект) и с минимальными объемными изменениями при закалке.

Содержание хрома в составе стали должно быть в пределах 1,5–3,2%. Хром ($\approx 1,5\%$) улучшает закаливаемость, прокаливаемость, а также вязкость стали, способствуя сохранению более мелкого зерна (на 1 балл) по сравнению с углеродистой сталью, а при увеличении его содержания (2,5–3,2%) можно повышать нагрев при отпуске выше температур интенсивного развития хрупкости первого рода. Это позволяет получать повышенную вязкость при отпуске на твердость 45–50 HRC. Более высокое содержание хрома нежелательно: образуется карбид M_7C_3 , что ухудшает вязкость.

Ванадий при содержании 0,1–0,3% еще эффективнее, чем хром, способствует сохранению мелкого зерна. При его большем содержании ухудшается вязкость стали из-за роста количества карбида МС. Одновременно содержание его в количестве 0,1–0,3% способствует повышению теплостойкости стали.

Кремний улучшает прокаливаемость стали (можно применять в том числе и изотермическую закалку). Влияние кремния возрастает при увеличении его содержания до 1,2–1,5%. Однако концентрацию кремния следует ограничивать до 0,5–0,9% из-за его охрупчивающего влияния на α -фазу: мартенсит и бейнит. К тому же такое содержание кремния способствует повышению отпускостойкости стали из-за его положительного влияния, опять же, на α -твердый раствор.

Содержание в составе стали молибдена в количестве 0,2–0,5% благодаря его положительному влиянию на состояние пограничных слоев зерна значительно повышает вязкость из-за подавления образования карбидов хрома на стыке зерен и одновременно улучшает теплоустойчивость структуры.

Иначе оценивается влияние никеля в сталях с содержанием углерода в пределах 0,6–0,7%. При содержании в стали хрома в пределах 2–3 % и кремния до 1,0–1,5% никель не улучшает, а даже снижает вязкость, дополнительно смещая эвтектидную концентрацию к меньшему содержанию углерода. В менее легированных сталях (0,5–0,8% Cr) никель при содержаниях до 1,2–1,8% повышает вязкость [2].

Марганец при его содержании в составе эвтектидной стали до 1% повышает количество остаточного аустенита в структуре в результате закалки, т.е. уменьшаются объемные изменения при упрочнении, а также обеспечивает более равномерное распределение избыточных карбидов в крупных сечениях. Однако при содержании марганца выше 1,5% в составе для стали характерны существенные недостатки: снижение отпуск-

коустойчивости; понижение предела упругости и повышение чувствительности к шлифовочным трещинам [3].

Из сталей повышенной прокаливаемости с повышенной вязкостью и твердостью наиболее известны 5ХВ2С, 6ХС, 6ХВ2С, 7Х3, а менее применяемы 6ХЗФС и 7ХФН, хотя они, по мнению автора [1], в наибольшей степени отвечают требованиям, изложенным выше: имеют более мелкое зерно и высокую прокаливаемость, а также ударную вязкость в первом случае из-за присутствия в структуре остаточного аустенита (положительное влияние совместного легирования хромом и кремнием), устойчивого при низких температурах (до -50 °С), а во втором случае – из-за более низкого содержания хрома и кремния и присутствия никеля в составе стали.

Тем не менее, проблема создания более износостойких сталей, например, для резки амортизационного лома и подготовки его к переплаву [4] остается весьма актуальной. Авторы отмечают, что для этих целей используют как средне- (5–6ХВ2С), так и высоколегированные стали (Х12М, Х6ВФ, Х12Ф1, 6Х4М2ФС). Сами же они в качестве базовой стали для своих исследований выбрали 25–30ХСНВФ: повышенная твердость и весьма высокая вязкость, и уже в нее вводили в целях улучшения ударной вязкости и износостойкости в сочетании с необходимой твердостью и расширения интервала рабочей температуры специально подобранные (но не указали какие именно) легирующие элементы и микролегирующие добавки с дополнительной обработкой металла в ковше кальцийсодержащими материалами: на первом этапе – известь (85%) и плавиковый шпат (15%) с добавкой силикокальция (0,3 кг/т) и алюминия (0,2 кг/т), на втором – силикокальций или титан и алюминий.

В настоящем исследовании были проведены работы по созданию новых сталей 6Х2ГСМФ, 6ХЗГСМФ и 6Х4ГСМФ (табл. 1). Принципы создания сталей таких составов приведены в работе [5].

Таблица 1. Химический состав сталей

Марка стали	Содержание элементов, мас. %							
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	S	P
6Х2ГСМФ	0,6–0,66	0,8–1,1	0,6–0,9	1,5–2,3	0,45–0,7	0,15–0,25	не более 0,025	не более 0,025
6ХЗГСМФ	0,6–0,68	0,8–1,1	0,6–0,9	2,5–3,1	0,35–0,5	0,15–0,2	– >> –	– >> –
6Х4ГСМФ	0,55–0,65	0,8–1,1	0,6–0,9	3,5–4,2	0,2–0,3	0,1–0,2	– >> –	– >> –

В данном случае произвели корректировку составов стали [5] по содержанию углерода, кремния, хрома, молибдена и ванадия.

Результаты исследования механических свойств и теплостойкости созданных сталей в термоупрочненном состоянии приведены в табл. 2.

Таблица 2. Свойства сталей в термоупрочненном состоянии

Марка стали	Режим закалки	Механические свойства после отпуска					
		180 °С, 2 ч		250 °С, 2 ч		550 °С, 2 ч	
		твёрдость HRC _c	KCU, МДж/м ²	твёрдость HRC _c	KCU, МДж/м ²	твёрдость HRC _c	KCU, МДж/м ²
60X2ГСМФ 60X3ГСМФ 60X4ГСМФ	950 °С, масло	59–59,5 59 58–58,5	0,18–0,2 0,2–0,25 0,2–0,28	57–58 57–57,5 56–56,5	0,25–0,33 0,25–0,35 0,3–0,35	47–47,5 47–47,5 45,5–46	0,35 0,36 0,35
5XB2C 6X3FC	860–900 °С, масло	56 58	– –	55–56 53–55	0,35 0,35–0,5	39 42	0,7 –

Выводы. Разработаны составы комплексно-легированных сталей для холодной обработки металлов в условиях ударной нагрузки и разогрева до 350°С в месте контакта режущей части и контртела, ранее не использовавшиеся в промышленности, производство которых осуществимо в условиях РУП «БМЗ».

Литература

1. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1983. С. 277–290.
2. Виноградов В.Н., Шрейбер Г.К., Сорокин Г.М. // Химическое и нефтяное машиностроение. 1970. № 12. С. 22–24.
3. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1983.
4. Исаев Г.А., Кудрин В.А., Степанов А.Ю. Ножи для резки лома // Рынок вторичных металлов. 2004. № 4. С. 38–39.
5. Кукуй Д.М., Федулов В.Н. Разработка легирующей матрицы для создания белорусских инструментальных сталей на базе стали 70К (У7А) производства РУП «БМЗ» (обзор и исследование) // Литье и металлургия. 2004. № 2 (30). С. 109–116.