

ВОЛЬФРАМО-МОЛИБДЕНО-КОБАЛЬТОВЫЕ БЫСТРОРЕЖУЩИЕ СТАЛИ ПОВЫШЕННОЙ ВЯЗКОСТИ С ТВЕРДОСТЬЮ В ИЗДЕЛИЯХ 71 HRC

**Антипов В.И.¹, Виноградов Л.В.¹, Колмаков А.Г.¹, Хейфец М.Л.²,
Мухина Ю.Э.¹, Баранов Е.Е.¹**

1) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

2) Открытое акционерное общество «НПО Центр» НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

В настоящее время в различных отраслях обрабатывающей промышленности наибольшим спросом пользуются быстрорежущие стали, которые по сравнению с металлокерамическими твердыми сплавами, керамикой и сверхтвердыми материалами обладают повышенной вязкостью и прочностью на изгиб, превосходящей в 3–10 раз аналогичный показатель у других групп инструментальных материалов. Это позволяет изготавливать из быстрорежущих сталей инструменты с тонкой режущей кромкой, а также инструменты, работающие в условиях ударных нагрузок. Однако основным недостатком быстрорежущих сталей является их относительно низкая твердость. Поэтому создание новой быстрорежущей стали с твердостью в изделиях до 71 HRC является весьма актуальной задачей современного материаловедения. В настоящем докладе представлены основные технические решения, применённые при создании новой высокотвёрдой вольфрам-молибдено-кобальтовой быстрорежущей стали, с сохранённой удовлетворительной вязкостью металла в инструменте. В работе при выборе оптимального химического состава материала и определении режимов термической обработки, в качестве базового аналога использовали сталь марки ЭП-682-III производства завода «Электросталь». Существенным недостатком этой стали является большой разброс значений твердости от 64 до 68,5 HRC. Поскольку твердость карбида ванадия значительно выше твердости карбидов, образованных вольфрамом и хромом, присутствие ванадия в количестве 3,0 – 3,5% обеспечивает главным образом высокую износостойкость режущего инструмента из вольфрам-молибдено-кобальтовых быстрорежущих сталей. При этом следует отметить, что карбиды ванадия крайне устойчивы против растворения при нагреве инструмента под закалку. Однако при необоснованно высоком содержании ванадия в сплаве происходит обеднение твердого раствора аустенита углеродом, что приводит к снижению твердости мартенсита закаленной стали. Поэтому для достижения значений твердости инструмента из вольфрам-молибдено-кобальтовых быстрорежущих сталей соотношение

углерода и ванадия (C/V) должно быть более 0,45. После высокотемпературной закалки быстрорежущих сталей в их структуре образуется значительное количество остаточного аустенита, существенно снижающего твердость материала. Окончательная высокая твердость быстрорежущих сталей формируется в процессе последующего многократного отпуска при температуре отпуска $560 \pm 10^\circ\text{C}$ продолжительностью каждого из них порядка 1 час. Кратность отпуска равна трем редко двум разам. В представленном исследовании был опробован ряд режимов отпуска при температурах от 500°C до 580°C и кратностью от одного до восьми. Наибольший прирост твердости был получен при температуре отпуска 520°C – 1 час, воздух и кратности 6. Весьма существенный прирост твердости от 1,5 до 2,5 единиц HRC был достигнут благодаря снижению температуры отпуска до 520°C , образованию при низкой температуре отпуска частиц вторичных карбидов, а также более полному превращению остаточного аустенита во вторичный мартенсит (мартенсит отпуска). Однако с достижением в изделиях из новой быстрорежущей стали сверхвысокой твердости 71 HRC возникла проблема обеспечения удовлетворительной вязкости для такого материала. Для повышения вязкости металла было предпринято следующее. В целях создания мелкозернистой структуры закалку проводили с температуры $1230 \pm 5^\circ\text{C}$, которая была ниже температуры начала интенсивного роста зерна аустенита (1245°C). Во-вторых, для уменьшения загрязненности металла неметаллическими включениями было осуществлено легирование сплав алюминием в количестве 0,10–0,20% и кальцием 0,15–0,25%. Положительный эффект дало введение в химсостав сплава никеля в количестве 0,40–0,60% и одновременное снижение верхнего предела по марганцу до 0,30%. Для уменьшения карбидной неоднородности заготовки подвергали обработке радиально-сдвиговой прокаткой.

На основании проведенных исследований по оценке влияния основных легирующих элементов на структурное состояние и комплекс физико-механических свойств материала, был предложен следующий состав новой стали: 1,25–1,35% углерода; 2,0–2,5% ванадия; 11,5–12,5% вольфрама; 2,5–3,5% молибдена; 9,5–10,5% кобальта; 0,4–0,6% никеля; не более 0,3% марганца; не более 0,4% кремния; 0,1–0,2% алюминия; 0,15–0,25% кальция, остальное железо.