

СВОЙСТВА ШТАМПОВЫХ СПЛАВОВ ВЫСОКОЙ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЛЕГИРОВАНИЯ

В. Б. Бутыгин, А. С. Демидов

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

Известные быстрорежущие и штамповые стали, получающие высокую твердость в результате карбидного упрочнения, не обеспечивают достаточной производительности при деформировании таких материалов повышенной прочности как высоколегированные конструкционные стали и многие нержавеющие и жаропрочные сплавы. Поскольку деформирование таких материалов надо выполнять при более высокой температуре, нужны сплавы с более высокими температурами разупрочнения. Между тем теплостойкость более легированных быстрорежущих кобальтовых сталей не превышает 650 °С (для 60 HRC), а штамповых сталей 750 °С (для 45 HRC).

Выше теплостойкость у сталей на Fe–Co–W основе о интерметаллидным упрочнением. Они сохраняют твердость 45 HRC после нагрева до 750–800 °С. Однако достигнутый уровень теплостойкости и прочности является еще недостаточным для производительного деформирования указанных здесь сплавов.

Возможности значительного улучшения теплостойкости сталей с $\alpha \leftrightarrow \gamma$ превращением ограничены их сравнительно невысокими температурами фазовых превращений, поэтому существенно использовать сплавы, не претерпевшие фазовых превращений и пре-

жде всего сплавы с аустенитной структурой. Однако такие сплавы должны существенно отличаться от известных жаропрочных сплавов. Прежде всего, они должны иметь более высокие твердость, не ниже 45 HRC, лишь в этом случае обеспечивается необходимое сопротивление пластической деформации во всем интервале эксплуатации.

Для исследования были использованы сплавы, состава, указанного в таблице 1. Они были выбраны для более подробного изучения.

Сплавы X19K13M4TЮ, X19K11M10T3 рекомендуют для штампов экструзии и горячей штамповки. Остальные сплавы опытные. Выплавка сплавов производилась в лабораторной индукционной печи. Слитки ковали при 1200...1000 °С. Ковкость всех сплавов была пониженной. Несколько лучшая ковкость была только у сплавов X19K13M4TЮ, X19K5M10T3 и X15M5Ю6 (Ni) Поэтому остальные сплавы изучались в литом состоянии.

Закалка образцов производилась с температур 1100-1275 °С (через каждые 25 °С) с охлаждением в воде, масле и на воздухе. Высокая твердость при последующем старении была получена при закалке с температур 1250...1275 °С. Оптимальной была выдержка 2 мин на 1 мм толщины. Лучший результат обеспечило охлаждение в масле и в воде.

Таблица 1

Сплавы	Содержание элементов, %								
	C	Cr	Mo	W	Ti	Al	Co	Ni	Fe
X19K13M4TЮ	0,12	18,25	3,9	—	0,94	1,04	13,9	ост	—
X19K11M10T3	0,12	18,3	10,4	—	2,1	—	10,5	ост	—
X19K5M10T3	0,12	18,6	10,45	—	2,5	—	5,4	ост	—
X15M5Ю6	0,12	14,6	4,5	—	—	6,3	—	ост	—
B15M15(Co)	0,08	—	15,95	15,5	0,11	—	ост	—	—
B15M15(Ni)	0,1	—	16	16,4	0,11	—	—	ост	—
B15M15K45	0,04	—	15,8	15,8	0,13	—	44,9	—	ост

Наибольшую твердость после HRC 36...39 имеют сплавы на железокобальтовой основе В15М15К45 и на кобальтовой основе В15М15(Сo), у сплавов на никелевой основе В15М15(Нi) и Х19К5М10Т3 твердость ниже HRC 22...26.

Старение сплавов при 700...800 °С позволило получить твердость до значения твердости, требуемой для штампов. В результате старения при 700 °С более высокую твердость приобретают сплавы: В15М15К45 на железокобальтовой основе и В15М15 на кобальтовой основе. Твердость сплава В15М15(Сo) составляет 60 HRC после старения 50 час. Достаточно высокую твердость (45 HRC) получает сплав Х19К13М4ТЮ на никелевой основе после старения 20 час.

Иначе изменяется твердость при 800 °С. Наибольшую твердость, как и после старения при 700 °С, получает сплав В15М15(Сo) (49 HRC, 50 час) и сплав В15М15К45 (47 HRC, 20 час). Близкие значения твердости имеет никелевый сплав Х15М5Ю6.

В результате старения при 800 °С рост твердости происходит интенсивнее. Максимальную твердость сплавы приобретают после старения 10 час.

Таким образом, сплавы В15М15(Сo) на кобальтовой основе и Х15М5Ю6 на никелевой основе после старения при 700, 800, и 850 °С получают твердость, сопоставимую с твердостью штамповых сталей. Однако они значительно превосходят их по теплостойкости. Достаточно сказать, что известная стандартная штамповая сталь 3Х2В8Ф сохраняет твердость 45 HRC при нагреве до 630 °С. Наиболее теплостойкая штамповая сталь 2Х8В8М2К8 до 745 °С, исследуемые аустенитные сплавы В15М15К45 и Х15М5Ю6 до 870 °С.

Более подробному исследованию подвергли сплав Х15М5Ю6 на никелевой основе.

Введение в состав этого сплава углерода в количестве 0,1–0,12 мас. % является оптимальным, т. к. способствует образованию карбидов хрома, которые принимают участие в процессе дисперсионного твердения. При содержании углерода более 0,12 мас. % происходит уменьшение количества упрочняющей фазы Ni₃Al, что снижает твердость штампового сплава при старении.

Введение в состав хрома в количестве 13,0–15,0 мас. % увеличивает сопротивление сплава окислению при высоких температурах и повышает его способность к дисперсионному твердению без участия титана. При содер-

жании хрома ниже 13,9 мас. % снижается количество карбидов хрома, которые принимают участие в процессе дисперсионного твердения. При содержании хрома более 15,9 мас. % происходит резкое снижение теплостойкости и жаростойкости штампового сплава.

Введением в состав алюминия в количестве 3,0–6,0 мас. % достигается максимальное количество упрочняющей фазы, что приводит к получению максимальной твердости после старения. При содержании алюминия ниже 3,0 мас. % не обеспечивается требуемая твердость штампового сплава за счет малого количества упрочняющей фазы. При содержании алюминия более 6,0 мас. % происходит снижение пластичных свойств штампового сплава и, как следствие, затруднение при ковке.

Введение в состав сплава молибдена в количестве 4,5–6,5 мас. % повышает температуру рекристаллизации – твердых растворов и замедляет их разупрочнение, и, кроме того, способствует увеличению пластичности и прочности штампового сплава. При содержании молибдена ниже 4,5 мас. % происходит понижение температур старения, что, в свою очередь, снижает теплостойкость штампового сплава. Содержание молибдена более 6,5 мас. % – нецелесообразно, т. к. не оказывает влияния на повышение твердости и прочности штампового сплава.

Исследуемый штамповый сплав выплавили в открытой индукционной печи. Масса слитков составляла от 4 до 50 кг. Слитки ковались на прутки сечением 12 x 12 мм. Степень деформации 76 %. Температураковки составляла 1050–1150 °С. Охлаждение послековки выполнялось на воздухе. Структура штампового сплава представлена аустенитом с мелкими равномерно распределенными интерметаллидными частицами.

Штамповый сплав исследовался на механические свойства в холодном и горячем состоянии после закалки и отпуска.

Закалка осуществлялась при температуре 1180–1200 °С с выдержкой до 14–16 с на 1 мм сечения прутка для полного прогрева изделия с последующим охлаждением в масле. Твердость после закалки составила HRC 30–31.

Отпуск осуществлялся нагревом до температуры 700–850 °С. При температуре 800 °С после 10 ч выдержки твердость составила HRC 45–46. Для сравнительной оценки использовался штамповый сплав ХН53К11МЮТ.

СВОЙСТВА ШТАМПОВЫХ СПЛАВОВ ВЫСОКОЙ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЛЕГИРОВАНИЯ

Теплостойкость штампового сплава оценивалась по температуре длительного нагрева, после которого сохранялась твердость HRC 45. Данная температура равнялась 870 °С, что выше, чем у штампового сплава ХН53К11МЮТ.

Определение механических свойств проводилось после обработки по приведенным ранее режимам, обеспечивающим получение твердости HRC 45–46.

Проведенные испытания показали, что предлагаемый состав штампового сплава обладает оптимальными свойствами. Он обеспечивает лучшую теплостойкость и механические свойства по сравнению с составом штампового сплава ХН53К11МЮТ, (твердость HRC45–46, относительное удлинение 12 %, относительное сужение 19 %)

Исследования показали, что предлагаемый сплав обеспечивает увеличение в 2–3 раза стойкость инструмента, в частности, концевых фрез, выполненных из этого сплава, по сравнению со стойкостью инструмента, выполненного из штампового сплава ХН53К11МЮТ. Это позволяет применять предлагаемый сплав для изготовления пресовых инструментов, например, мелких вставок окончательного штампового ручья, матриц и пуансонов выдавливания, а также штампов горячего деформирования, рабочая поверхность которых нагревается до 800–900 °С.

Таким образом, использование предлагаемого штампового сплава (Х15Ю6М6 на никелевой основе) повышает эксплуатационную стойкость инструмента вследствие увеличения твердости и теплостойкости.