

некоторой обработки резанием используют по назначению. После выхода инструмента или деталей из строя цикл повторяется.

Внедрение описанного замкнутого цикла изготовления инструмента и деталей, оснастки из собственных отходов обеспечивает существенное повышение маневренности инструментального производства и ремонтных служб, исключает зависимость их от поставок металла со стороны, снижает транспортные расходы и пр. В этом случае себестоимость инструмента существенно (в 1,5 – 2 раза) ниже, чем кованных, при эквивалентной или даже более высокой в случае электрошлакового кокильного литья стойкости.

УДК 669.14.018.252

### Технология изготовления литого инструмента из высокоуглеродистой быстрорежущей стали

Студент гр. 104325 Ковалев А.А., студент гр. 104324 Сергиеня В.Н.  
 Научный руководитель – Рудницкий Ф.И.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Опыт применения литейных технологий при изготовлении литых заготовок из быстрорежущих сталей позволяет с уверенностью выделить ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами использования проката и поковок:

- возможность использования собственных отходов инструментального производства (стружка, вышедший из строя инструмент, немерные заготовки проката, металлоабразивный шлам);
- экономия металла за счет максимального уменьшения припусков под механическую обработку при использовании точных методов литья (до 90 %);
- повышение стойкости инструмента путем оптимизации химического состава, технологических факторов изготовления на всех этапах от плавки металла до заливки и термической обработки заготовок с максимальным учетом конкретных условий эксплуатации.

По существу применяемые в настоящее время в мировой практике быстрорежущие стали стандартного состава являются универсальными по комплексу свойств и назначению, поскольку применяются для изготовления инструмента различного назначения (сверла, метчики, зенкеры, фрезы, развертки и др.), испытывающего при эксплуатации, различающиеся по абсолютной величине силовые, тепловые, изнашивающие и др. воздействия. При изготовлении инструмента литьем имеется уникальная возможность, используя в качестве шихтовых материалов отходы стандартных марок сталей, скорректировать в процессе плавки металла его состав, оптимизировать условия кристаллизации. Оптимизация состава и технологических факторов получения литых заготовок позволяет увеличить свойства, имеющие первостепенное значение с точки зрения эксплуатационной стойкости конкретного инструмента и условий его работы (тип инструмента, обрабатываемый материал, режимы резания и др.).

В ряде случаев необходимость в обработке давлением при изготовлении стандартных быстрорежущих сталей ограничивает в их составе наличие таких элементов, как бор, углерод и др., существенно повышающих их твердость, теплостойкость, износостойкость и в результате эксплуатационную стойкость.

В данной работе проведено исследование влияния повышенного содержания углерода на структуру и свойства литой быстрорежущей стали Р6М5.

Свойства исследуемых сплавов, приведенные в таблице, свидетельствуют о том, что увеличение содержания углерода способствует значительному возрастанию твердости, теплостойкости и износостойкости, но снижению ударной вязкости (таблица).

Влияние содержания углерода на основные свойства литой быстрорежущей стали

Сталь	Твердость, HRC	Теплостойкость, 620 °С, 4 ч., HRC	Ударная вязкость, КС, кДж/м <sup>2</sup>	Износ, ΔМ 10 <sup>-7</sup> , кг/ч
Р6М5	63,0	58,5	90	780
Р6М5 + 1,2 % С	69,0	64,0	20-30	450
Р6М5 + 1,2 % С + модификатор	HRC 70	66,0	100-120	420

Изменение свойств вызвано увеличением количества карбидной составляющей в структуре. Причем зафиксировано увеличение, как первичных изолированных карбидов, так и сетки ледебуритной эвтектики, вызывающей охрупчивание стали.

Для устранения эффекта охрупчивания в результате повышенного содержания углерода предпринята попытка повышения ударной вязкости за счет модифицирования.

Металлографический анализ образцов исследуемых сталей показывает, что в результате модифицирующего эффекта происходит сильное измельчение первичного зерна. Существенные изменения наблюдаются и в эвтектике. Она приобретает более тонкое, мелкодисперсное строение, местами разорвана и расположена в виде изолированных колоний. Действие модификатора объясняется его расположением на растущих кристаллах и твердого раствора и карбидной составляющей структуры. В результате таких изменений в структуре под воздействием модификатора ударная вязкость исследуемой стали существенно повышается. Примечательным является тот факт, что модификатор повышает также теплостойкость и износостойкость литой стали с повышенным содержанием углерода. Это связано, по-видимому, с повышением растворимости углерода и легирующих элементов в твердом растворе и, как следствие, усилением эффекта дисперсионного твердения.

Высокие показатели твердости, теплостойкости и износостойкости в сочетании с весьма удовлетворительной ударной вязкостью литой быстрорежущей стали с повышенным содержанием углерода позволяют использовать разработанную технологию для изготовления литых заготовок инструмента с минимальными допусками под механическую обработку. Такая сталь может найти эффективное применение в качестве инструментального материала, по стойкости не уступающего твердым сплавам.

УДК 669.14.018.252.

### Исследование влияния модифицирования на структуру и свойства стали 5ХНМ

Студент гр. 104325 Казаков А.В., студент гр. 104319 Кобяков К.В.  
 Научный руководитель – Рудницкий Ф.И.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Для повышения ударной вязкости стали 5ХНМ в литом состоянии в технологическом цикле изготовления заготовок весьма перспективным представляется использование модифицирования.

Этот прием заключается в введении в сталь ряда элементов в небольших количествах, позволяющих существенно изменить ее первичную структуру и свойства. В качестве модификаторов при проведении исследований использовали церий, стронций, барий и кальций. Выбор модификаторов осуществлен в соответствии с современными представлениями о механизмах модифицирования и рафинирования и на основании, имеющегося на кафедре МИТЛП БНТУ опыта, по разработке составов литых быстрорежущих сталей.

Опытные образцы стали выплавляли в печи Таммана с графитовым нагревателем. В качестве шихты использовали отходы проката и кузнечного производства стали 5ХНМ. Химический состав сталей регулировали введением в расплав ферросплавов и углерода с учетом их угара. Температура расплава, которую контролировали платина-платинародиевой термопарой, при выпуске из печи составляла 1620-1650 °С, при модифицировании 1520-1550 °С. Время выдержки с начала ввода микродобавок до разлива – 1,6-2 мин. Разливку производили в графитовые кокиля, подогретые до 300-350 °С. Такие условия кристаллизации обеспечивают стабильность свойств экспериментальных сталей. После зачистки слитки подвергали изотермическому отжигу в электрической камерной печи по следующему режиму: нагрев до 860-880 °С, выдержке 3 час., охлаждение вместе с печью до 720 °С, выдержка 4 час. До 500 °С отливки охлаждали вместе с печью, затем на воздухе.

Из отливок вырезали образцы для определения ударной вязкости, теплостойкости, предела прочности и др. свойств. Нагрев образцов под закалку производили в ванне, температуру которой изменяли от 960 °С до 1120 °С с интервалом 40 мин. Время выдержки составляло 20-25 с/мм, охлаждение в масле. Отпуск производили при температуре 500-620 °С.

Химический состав и свойства исследуемых сталей приведены в таблицах 1-3.

Таблица 1 – Химический состав исследуемых сталей

№	Содержание элементов, масс. доля, %										Модификатор, %			
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Al	B	Ce	Sr	Ba	Ca
1	0,38	0,39	0,36	2,17	1,04	0,24	0,41	0,04	0,01	0,022	-	-	-	-
2	0,39	0,38	0,35	2,16	1,06	0,22	0,43	0,04	0,01	0,021	0,03	-	-	-
3	0,41	0,36	0,37	2,12	1,08	0,21	0,41	0,04	0,01	0,023	-	0,03	-	-
4	0,37	0,39	0,36	2,14	1,03	0,24	0,42	0,04	0,01	0,021	-	-	0,03	-
5	0,39	0,36	0,35	2,15	1,07	0,23	0,41	0,04	0,01	0,022	-	-	-	0,03