



There is developed the technology of remelting of the wolfram-containing die steels discards in induction furnaces and continuous cast of ingots for press-forging engine at the mount of vertical type.

Г. П. ГОРЕЦКИЙ, ФТИ НАН Беларуси, И. В. ЗЕМСКОВ, БНТУ

УДК 621.746.047

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ПЕРЕДЕЛА ОТХОДОВ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ

Потребность предприятий республики в высоколегированных вольфрамсодержащих штамповых сталях ввиду отсутствия собственного металлургического производства удовлетворяется поставками из-за границы. Значительно сократить эти поставки возможно путем рециклинга отходов, скапливающихся в больших количествах на предприятиях в виде изношенной оснастки и остатков проката, экспортирующихся за рубеж по ценам металлолома.

Целью данной работы является разработка комплексного технологического процесса рециклинга вольфрамсодержащих сталей путем переплава в индукционных печах отходов и непрерывной разливки на установке вертикального типа заготовок для кузнечно-прессового инструмента (прошивники, выталкиватели и клинья для поперечно-клиновой прокатки).

Так как при плавке высоколегированных сталей с окислением происходит большой угар легирующих элементов, решено производить пере-

плав в индукционных тигельных печах. Анализ ранее проведенных работ показывает, что при плавке в открытых печах при соблюдении определенных требований (чистая от окалины и примесей шихта, применение покровных и рафинирующих флюсов) можно добиться значительного снижения угара легирующих элементов по сравнению с выплавкой в электродуговых печах и ведения процесса практически без дополнительного легирования.

Для исключения возможностей ухудшения качества металла плавку проводят под слоем шлака и после полного раскисления металла производят раскисление шлака до белого цвета смесью извести, молотого кокса и ферросилиция.

Отработку процесса переплава отходов штамповых сталей выполняли на стали 5ХЗВЗМФС. Перед загрузкой шихты на дно тигля помещали шлакообразующую смесь. Угар элементов при многократном переплаве в индукционной печи с основной футеровкой приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав стали, мас. %

| Химические элементы | C | Si | Cr | W | Mo | V |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|
| Исходный состав | 0,47 | 0,72 | 3,0 | 3,55 | 1,05 | 1,70 |
| 1-й переплав | 0,48 | 0,72 | 3,0 | 3,50 | 1,05 | 1,65 |
| 2-й переплав | 0,48 | 0,71 | 2,9 | 3,50 | 1,00 | 1,60 |
| 3-й переплав | 0,47 | 0,70 | 2,98 | 3,45 | 1,00 | 1,57 |

Как показывают результаты, выплавку стали 5ХЗВЗМФС в индукционной печи с основной футеровкой можно производить практически без подшихтовки, в случае, если шихта соответствует исходному составу стали.

Для корректировки химического состава стали необходимо ввести соответствующие ферросплавы в следующем порядке: феррохром, ферровольфрам и ферромolibден вводят в завалку, ферромарганец, ферросилиций и феррованадий за 7–10 мин до выпуска, алюминий — перед выпуском. При таком порядке введения легирующих элементов угар вольфрама составляет около 2%, хрома, марганца и ванадия — 5–10, кремния — 10–15%.

Формирование заготовок производили на вертикальной установке непрерывного литья. Для получения стабильного процесса непрерывной разливки в зависимости от диаметра получаемой заготовки отработаны следующие режимы: температура заливки, скорость протяжки и режим извлечения — непрерывный или циклический.

Заготовки для кузнечно-прессового инструмента использовали как в литом, так и деформированном состоянии. В литом состоянии с термообработкой они используются для прошивников и выталкивателей. За счет кристаллизации в водоохлаждаемой форме при непрерывном литье формируется мелкозернистая структура, близкая к

деформируемой. Кроме того, для устранения осевой пористости непрерывнолитого слитка и измельчения структуры применяли внутренний холодильник в виде стального прутка и модифицирование расплава карбидом титана (TiC) в количестве 0,1% от массы плавки.

На промышленных предприятиях, помимо отходов вольфрамсодержащих инструментальных сталей, скапливается большое количество невос-

ребованных легированных сталей, не содержащих вольфрам. Поэтому была поставлена задача разработать составы сталей повышенной теплостойкости за счет легирования стали 5ХНМ ванадием, молибденом и добавкой в шихту вольфрамсодержащей стали Р6М5.

Исходя из ранее проведенных исследований, разработанные варианты вольфрамсодержащих сталей содержали 0,5 и 1,0 % вольфрама (табл. 2).

Таблица 2. Варианты разработанных составов сталей, мас. %

| C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | V | W | Ti |
|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-------------|
| 0,4-0,6 | 0,75-0,85 | 0,6-1,0 | 3,5-4,0 | 1,2-1,8 | 1,0-1,2 | 1,1-1,2 | - | 0,005-0,010 |
| 0,4-0,6 | 0,75-0,85 | 0,6-1,0 | 3,5-4,0 | 1,2-1,8 | 1,0-1,2 | 1,1-1,2 | 0,45-0,55 | 0,005-0,010 |
| 0,4-0,6 | 0,75-0,85 | 0,6-1,0 | 3,5-4,0 | 1,2-1,8 | 1,0-1,2 | 1,1-1,2 | 1,0-1,1 | 0,005-0,010 |

Для экспериментальных сталей разработаны режимы предварительной (отжиг для проведения механической обработки) и окончательной термической обработки (закалка и отпуск), исследованы механические свойства (твердость), а также теплостойкость. Результаты испытаний опытных сталей на теплостойкость показали, что стали первой группы являются теплостойкими до 500°C, а второй и третьей — до 600°C, т. е. последние относятся к сталям повышенной теплостойкости.

Инструмент (ножи) для поперечно-клиновой прокатки (ПКП) в процессе деформационного изготовления деталей подвергали определенным воздействиям, которые следует учитывать при назначении материала, из которого он изготавливается. Исходя из условий эксплуатации, стали должны обладать высоким сопротивлением пластической деформации (предел текучести не ниже 1000 МПа при рабочих температурах), износостойкостью, теплостойкостью, разгаростойкостью, окалинностойкостью, прокаливаемостью. В связи с тем что к инструменту ПКП не предъявляются особые требования по ударной вязкости, так как при этом виде обработки отсутствуют динамические нагрузки, для его изготовления возможно применение сталей с повышенной твердостью. Как правило, для изготовления ножей поперечно-клиновой прокатки использовали инструментальные стали 5ХНМ, 4Х4ВМФС и 5Х3В3МФС. Опыт авторов показывает, что для этого вида инструмента оптимальными по стойкости и стоимости являются быстрорежущие стали в литом состоянии.

В таком состоянии обычная быстрорежущая сталь имеет характерную литую структуру с эв-

тектической сеткой по границам зерен и соответственно пониженную вязкость. Этот недостаток возрастает с увеличением степени легированности и снижением скорости кристаллизации, так как увеличиваются толщина и сплошность карбидной сетки. Поэтому для литого инструмента выбирают менее легированные быстрорежущие стали, снижая концентрацию вольфрама, ванадия, молибдена и хрома, но повышая концентрацию углерода и марганца, для увеличения жидкотекучести и прокаливаемости.

Чтобы уменьшить степень карбидной неоднородности и измельчить первичные карбиды, которые выделяются при кристаллизации стали из твердого раствора, используется способ непрерывного литья, при котором происходит формирование заготовки в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе. Для измельчения карбидов в центральной части заготовки применяется модифицирование металла в ковше перед заливкой.

Для исследований и испытаний были проведены плавки на основе отходов быстрорежущей стали Р6М5 (ГОСТ 19265-73) в лабораторной высокочастотной печи Л32-67 с кислой футеровкой. Плавку проводили без подшихтовки.

Для предотвращения большого угара легирующих элементов шихту загружали на шлакообразующую смесь (1,5% извести, 0,6% шамотного боя, 0,7% плавикового шпата от массы металлозавалки). Плавку проводили в форсированном режиме, раскисляли и выливали в ковш при температуре 1640–1660°C.

Химический состав сталей, мас. %, приведен ниже.

| Номер сплава | C | Si | Mn | Cr | Mo | Ni | W | V | S | P |
|--------------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|-------|
| 1 | 0,98 | 0,58 | 0,679 | 3,36 | 5,05 | 0,345 | 4,79 | 1,83 | 0,012 | 0,025 |
| 2 | 1,02 | 0,59 | 0,827 | 3,28 | 3,60 | 0,268 | 4,42 | 1,75 | 0,006 | 0,010 |

Формирование заготовок производили на установке вертикального полунепрерывного литья конструкции БНТУ. Температура заливки составляла около 1600°C.

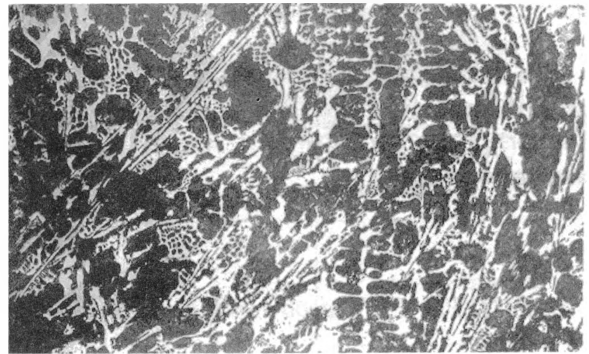
При массе плавки 30–35 кг полученные отливки полуфабрикатов из быстрорежущей стали имели соответственно следующие размеры: диаметр – 60 мм, длина – 950 мм; диаметр – 80 мм, длина – 800 мм. Из них вырезали клинья (ножи) для поперечно-клиновой прокатки и образцы для исследований.

Отливки подвергали отжигу при температуре 950–980 °С, т. е. более высокой, чем для ковanej стали, и механической обработке. В этом случае устраняется δ-эвтектоид и снижается неоднородность за счет большего растворения карбидов.

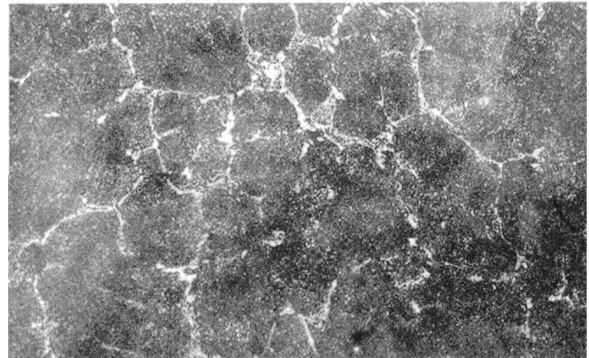
Структура образцов в литом состоянии после отжига приведена на рисунке. В отожженном состоянии она состоит из сорбитообразного перлита и карбидной сетки. На периферии отливки сетка карбидов тонкая и не сплошная. В центре отливки больше выделений карбидов и крупнее зерно. Его можно измельчить за счет модифицирования титаном или цирконием (0,1–0,2%).

После отжига заготовок из них изготавливали ножи и производили окончательную термообработку (закалка с трехкратным отпуском на твердость 58–60 HRC).

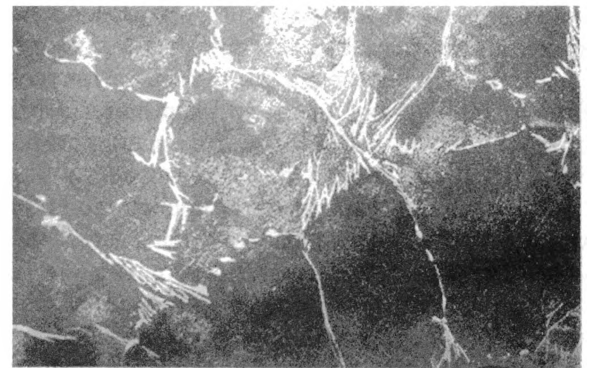
Производственные испытания показали высокую стойкость ножей, изготовленных из литых сталей. Они не уступают кованым по сопротивлению пластической деформации, теплостойкости и имеют более высокую износостойкость.



a



б



в

Микроструктура стали P6M5 в литом и отожженном состояниях: *a* – литое состояние. х400; *б* – отжиг, периферия отливки. х600; *в* – отжиг, центр отливки. х600