

Для более широкого анализа влияния углерода испытан ряд традиционных штамповых сталей. Режимы термообработки и показатели разгаростойкости представлены в табл. 2.

По степени легирования данные стали находятся примерно на одном уровне. В результате влияния легирующих элементов (хром, молибден, никель, кремний) повышается разгаростойкость, а увеличение содержания углерода в стали снижает ее. Это видно из сравнения сопротивления термоусталостному разрушению сталей 5ХНМ и 4ХСМФ, глубина трещин в первом случае значительно возрастает.

В то же время характер разрушения сталей 7ХЗ более благоприятен в сравнение с 5ХНМ, хотя трещины у первой появляются несколько раньше. В подтверждение этому использован дополнительный показатель — средняя плотность трещин на единицу поверхности. Установлено, что для стали 7ХЗ он равен  $8,8 \text{ 1/мм}^2$ , а 5ХНМ —  $4,3 \text{ 1/мм}^2$ . Учитывая опыт производственных наблюдений (благоприятным является разрушение с более плотной сеткой разгарных трещин), преимущество в сопротивлении термической усталости стали с высоким содержанием углерода 7ХЗ в сравнении с 5ХНМ можно считать бесспорным.

На основании полученных результатов предполагаем, что разгаростойкость легированных сталей в зависимости от содержания углерода изменяется аналогично разгаростойкости углеродистых. Присутствие легирующих элементов изменяет степень непосредственного влияния углерода и сдвигает минимум разгаростойкости в сторону уменьшения его содержания.

УДК 621.74:669.141.25

*А.П.Дубко, В.В.Кузьмин, А.С.Чаус*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ СЛИТКА БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА

Экономия дорогостоящей и дефицитной быстрорежущей стали является весьма актуальным вопросом. Однако существующая в настоящее время практика производства режущего инструмента является далеко несовершенной в экономическом отношении. Основная масса режущего инструмента производится из проката. При этом потери составляют около 70% выплавляемой стали и только 30% используется в виде инструмента. Применение литого инструмента позволяет уменьшить эти потери до 15–30% [1]. Однако литой инструмент пока еще производится в ограниченном количестве. Литая сталь имеет характерную структуру с эвтектической сеткой карбидов по границам зерен. Поэтому прочность и вязкость литой стали — пониженные.

Внедрение передовых технологических процессов, и в частности электрошлакового переплава, позволяет улучшить свойства ряда сталей [2]. В связи с этим в настоящей работе изучено влияние электрошлакового переплава на основные свойства быстрорежущей стали.

Исследования проводили на образцах, вырезанных из слитка стали Р6М5К5, электрошлакового переплава. Термообработка стали осуществлялась по режимам, обычно принятым для инструментальных сталей. Слиток стали после электрошлакового переплава не имеет осевой рыхлости и усадочной пористости. Излом слитка – мелкозернистый, матовый, без видимых дефектов.

Микроструктура стали выявлялась травлением в 4%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте. Для сталей в литом состоянии характерна ярко выраженная структурная неоднородность – темная сердцевина (тросто-мартенсит); промежуточная светлая составляющая (аустенито-мартенсит); наружный слой – эвтектика, имеющая тонкое скелетообразное строение и вокруг нее остаточный аустенит. Микроструктура стали после закалки и отпуска состоит из бесструктурного мартенсита, остаточного аустенита и карбидной фазы. Эвтектическая сетка во всем поле зрения шлифа – сплошная со скоплениями первичных карбидов.

Макроструктура слитка выявлялась методом глубокого травления в 50%-ном водном растворе соляной кислоты при температуре 60°C и поверхностного травления в 5%-ном растворе азотной кислоты в спирте, на продольном темплете, вырезанном из центральной части слитка. Особенностью макроструктуры слитка является радиально-осевая направленность кристаллов, получающаяся в результате последовательной кристаллизации металла. Угол наклона кристаллов к вертикальной оси составляет около 45°C.

Структура подобного типа анизотропна по своим пластическим свойствам и обладает более высоким уровнем этих характеристик вдоль осей первого порядка. Для определения влияния направленности главных осей дендритов на механические свойства стали вырезали пластины толщиной 10 мм, из которых изготовляли макрошлифы. Затем выполнялась разметка всей пластины-микрошлифа с целью последующей вырезки образцов для испытания на ударную вязкость и прочность при изгибе. Образцы вырезались по четырем направлениям: продольные и поперечные по отношению к вертикальной оси слитка; продольные и поперечные по отношению к главной оси дендритов. Определение прочности при сосредоточенном изгибе проводилось на образцах 6 x 6 x 70 мм, ударной вязкости на образцах 10 x 10 x 55 мм. Определение прочности и ударной вязкости выполнялось на 4–5 образцах для каждого из направлений вырезки. Результаты испытаний на ударную вязкость и прочность на изгиб показали, что сталь электрошлакового переплава превосходит по своим свойствам сталь индукционной вы-

плавки, но уступает катаной стали. Причиной этого является наличие сетки ледебуритной эвтектики в образцах, вызывающей преждевременное хрупкое разрушение литой стали. Наиболее высоким комплексом механических свойств обладают продольно ориентированные образцы. Наиболее низким комплексом свойств обладают образцы, расположенные перпендикулярно к главным осям дендритов. Наиболее благоприятной является ориентация главных осей дендритов под углом  $45^{\circ}$  по отношению к режущей кромке инструмента.

Таким образом, литая электрошлаковая быстрорежущая сталь превосходит по своим основным свойствам сталь индукционной выплавки, но уступает прокату. Такую сталь можно использовать для изготовления инструмента, работающего в спокойных, безударных условиях.

Дальнейшего улучшения свойств литой быстрорежущей стали можно добиться за счет модифицирования и микролегирования, вызывающих изменение свойств стали.

#### Л и т е р а т у р а

1. Р е в и с И.А., Л е б е д е в Т.Н. Структура и свойства литого режущего инструмента. — Л., 1972. 2. Х о л ь ц г р у б е р В. Возможности и ограничения воздействия на структуру и свойства слитков ЭШП. — В сб.: Электрошлаковый переплав. Киев, 1977.

УДК 621.74:669.141.25

*А.П. Дубко, В.Ф. Соболев, А.С. Чаус*

#### ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА ЛИТОЙ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

Существенным недостатком литой быстрорежущей стали является ее повышенная хрупкость, вызываемая грубой сеткой эвтектических карбидов, образующихся при затвердевании сплава. Изменением содержания углерода и основных легирующих элементов (W, V, Cr, Mo) повышать вязкость весьма затруднительно. Для придания стали хорошей красностойкости требуется высокая степень легированности; а в литой стали с увеличением легированности развивается значительная карбидная неоднородность и сталь приобретает повышенную хрупкость.

В связи с этим в настоящей работе сделана попытка улучшить свойства литой стали Р6М5К5 путем модифицирования элементами, оказывающими существенное влияние на измельчение зерна аустенита, карбидной фазы и благоприятно воздействующими на границы зерен Сe, Ti, В, Zr, Al, Ni, Cu.