



The perspectives of applications of cast high-speed steels for production of slugs of press-forging instrument are examined. The technological parameters, structures and characteristics of matrix and punches, produced of cast slugs of steel R6M5 are studied.

К. Е. БЕЛЯВИН, Ф. И. РУДНИЦКИЙ, Д. М. ИВАНИЦКИЙ, БНТУ

УДК 669.14.018

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИТЫХ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Идея использования литейных технологий для изготовления заготовок режущего инструмента и технологической оснастки является весьма интересной ввиду экономических и технологических преимуществ (рациональное использование металла, возможность повышения эксплуатационной стойкости и др.). Традиционно используемые штамповые стали подразделяются в зависимости от условий эксплуатации инструмента на стали для холодной и горячей обработки.

Инструмент для холодной деформации используют в таких технологических процессах, в которых рабочая температура инструмента не превышает 200–300 °С. К основным типам холоднодеформирующего инструмента относятся: для холодной резки, вырубки, вытяжки, для деформации металла выдавливанием, для холодной штамповки, гибочный и для холодной прокатки. Вырубкой, пробивкой, глубокой вытяжкой, гибкой изготавливают сложные по конфигурации, соответствующие по форме и размерам детали с высоким качеством поверхности.

Во время вырубki пуансон и кромка матрицы разделяют материал листа вдоль замкнутой линии. Толщина листа колеблется от нескольких десятых миллиметра до 10 мм. Пуансон представляет собой брусок или цилиндр, рабочей частью которого является режущая кромка. Матрица – это не очень толстая плита, имеющая сквозные отверстия, соответствующие форме и размеру вырубаемой детали или пробиваемому отверстию. От состояния режущей кромки в значительной мере зависят возникающие в материале напряжения и деформация. На первой стадии вырубki поверхность пуансона давит на вырубаемый материал, а на второй стадии режущие кромки пуансона врезаются в него. Возникающее при вырубке усилие среза подвергает

пуансон сжатию и продольному изгибу, а матрицу – сжатию и поперечному изгибу.

Напряженное состояние инструмента весьма сложное – трехосное. Большое сжатие вдоль кромки приводит к затуплению, а растягивающие усилия – к выкрашиванию. К этому следует добавить, что нагрузки – циклические и знакопеременные, большей частью динамические, вызывающие усталость материала. Наибольшая динамическая нагрузка приходится на матрицу. Из-за вибрации ползуна прессы возникают новые повторяющиеся нагрузки. Обычно тяжелее всего переносят сложные нагрузки пуансоны малого диаметра. Осевое сжатие, действующее на периферию режущих кромок матрицы, зависит от сопротивления сдвигу вырубаемого материала, оно может достигать 3000–5000 Н/мм². Под воздействием большого поверхностного сжатия имеют место трение обрабатываемого материала об элементы штампа, а также некоторое проникновение пуансона в матрицу, что оказывает значительное изнашивающее воздействие.

В дальнейшем такая циклическая нагрузка может возникнуть также вследствие колебаний (вибрации) ползуна прессы в тот момент, когда пуансон выходит из матрицы.

Вследствие трения и преобразования части работы деформации в теплоту температура режущей кромки в зависимости от вырубаемого материала может достигать 150–300 °С.

Холодновысадочный инструмент обычно очень сложен по конфигурации, профилю и, следовательно, после закалки уже не может быть исправлен, поэтому сохранение размера и формы является одним из важнейших свойств инструментального материала.

Таким образом, наиболее важными свойствами инструментальных сталей для холодновысадочно-

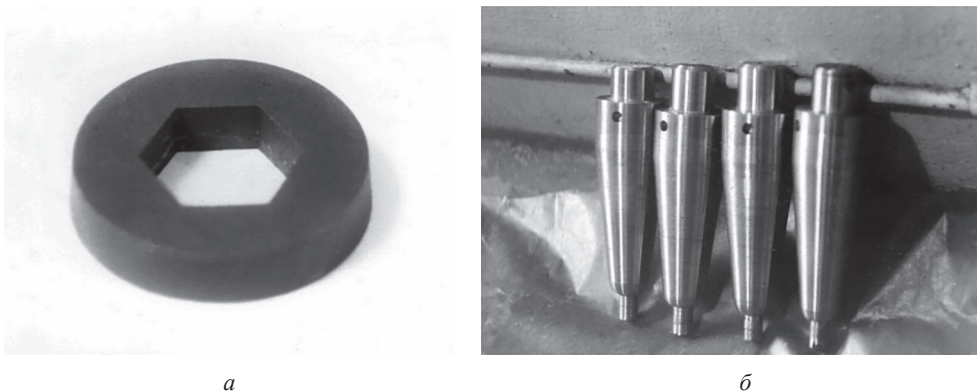


Рис. 1. Литые высадочные матрицы (а) и прошивные пуансоны (б) из стали Р6М5

го инструмента являются износостойкость; твердость; высокий предел упругости; прочность на сжатие (предел текучести при сжатии); формо- и размероустойчивость; качество поверхности; вязкость.

Во многих случаях представляется весьма сложным или даже невозможным обеспечить максимум отдельных основных свойств, так как улучшение одних, например вязкости, неизбежно ведет к снижению других, например твердости и прочности. Решение задачи в этом случае заключается в установлении оптимального сочетания уровня свойств, что обеспечивается надлежащей структурой материала, которая в свою очередь зависит от химического состава, условий кристаллизации и термической обработки.

В связи со сложными условиями эксплуатации для изготовления холодновысадочного инструмента чаще используют высокохромистые стали типа Х12М, Х12Ф и быстрорежущие стали, преимущественно сталь Р6М5.

В проведенной работе исследованы технологические параметры, структура и свойства матриц и пуансонов, изготовленных из литых заготовок стали Р6М5 (рис. 1). При выборе способа получения заготовок рассматривали различные способы получения жидкого металла: индукционную плавку и электрошлаковые технологии.

Для исследования качества металла индукционной плавки использовали печь типа ИСТ-006

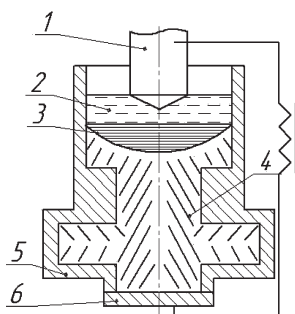


Рис. 2. Схема ЭШЛ при выплавке в кристаллизаторе отливки целиком: 1 – электрод; 2 – шлаковая ванна; 3 – металлическая ванна; 4 – отливка; 5 – кристаллизатор; 6 – поддон

с кислотой футеровкой, питающейся от машинного преобразователя частоты МГП-52 и позволяющей получать до 60 кг стали. Заливку металла для получения заготовок требуемых размеров осуществляли в графитовые кокилы.

Качество металла электрошлаковой плавки исследовали при использовании двух технологических схем электрошлакового литья (ЭШЛ).

Суть первой схемы (рис. 2) в том, что расходные электроды переплавляли непосредственно в кристаллизаторе, в котором формируется отливка требуемых размеров, второй схемы (рис. 3) в том, что при переплаве расходного электрода в специальной плавильной емкости (тигле) накапливали жидкий электрошлаковый металл и затем заливали его в графитовый кокиль. Этот способ носит название фасонного электрошлакового литья (ФЭЛ) и кокильного литья (ЭКЛ). В случае использования нерасходуемого (графитового) электрода в тигле возможен переплав мелкокусковых металлоотходов и стружки.

Применение методов электрошлакового переплава имеет ряд преимуществ, связанных с небольшим угаром основных легирующих элементов, высокой чистотой металла и плотностью отливок по сравнению с индукционной плавкой. Из электрошлаковых методов предпочтительным яв-

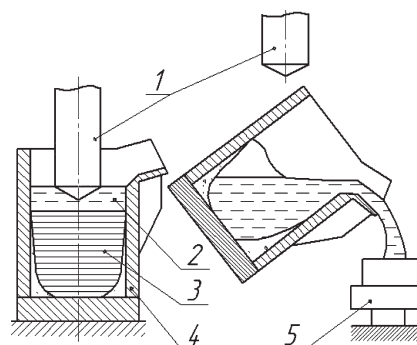


Рис. 3. Схема фасонного ЭШЛ с накоплением жидкого металла и заливкой его в литейную форму: 1 – расходный или нерасходуемый электрод; 2 – шлак; 3 – жидкий металл; 4 – емкость; 5 – литейная форма

ляется ЭКЛ. При его использовании, помимо отсутствия проблем с использованием мелкокусковых шихтовых материалов, значительно упрощается технология введения модифицирующих добавок в расплав, что существенно улучшает структуру и повышает физико-механические свойства литого металла [1–4].

Весьма важной операцией, ответственной за придание конечных свойств, определяющих работоспособность инструмента, является термическая обработка литых заготовок и инструмента из них. Традиционная термическая обработка режущего инструмента из быстрорежущих сталей включает в себя изотермический отжиг, аустенитизацию при температурах 1210–1220 °С, закалку непрерывную или ступенчатую и трехкратный отпуск при 560 °С. Твердость инструмента после такой обработки составляет более 64 HRC.

Особенность термической обработки холодновысадочного инструмента заключается в достижении меньших значений твердости (не более 60 HRC) по сравнению с обработкой режущего инструмента. Это необходимо для сохранения определенной вязкости стали из-за эксплуатации инструмента в специфических условиях. Обеспечение данного требования возможно вследствие создания таких условий охлаждения при закалке, при которых в структуре происходит распад аустенита с образованием промежуточных структурных составляющих, в частности, бейнита, который обладает большей пластичностью, чем мартенсит. Требуемые значения прочности, твердости и износостойкости инструмента обеспечиваются наличием в структуре карбидов как первичных, так и дисперсных, а также высоколегированной матрицей.

Получение бейнитной структуры в стали Р6М5 возможно непосредственно при охлаждении после закалки со ступенчатой выдержкой или за счет повышения до 600–620 °С температуры отпуска закаленной стали с мартенситной структурой.

В результате проведенных исследований для обеспечения надлежащих структуры и свойств холодновысадочного литого инструмента рекомендованы два режима (см. таблицу). По обоим вариантам температура нагрева под закалку составляет 1190–1210 °С. Правильность назначения рациональной температуры аустенитизации определяли баллом зерна, который должен быть в пределах 10–11. Для этого вначале закаливается образец-свидетель – инструмент из партии. Корректировка технологического процесса осуществляется следующим образом: нагрев до 1205 °С и охлаждение через ванну (560 °С) на воздухе, если балл 11–12, производится корректировка температуры прибавлением 5–10 °С или прибавление времени выдержки до 30 с. Если в структуре образца разнотернистость (присутствуют зерна 9, 10, 11 баллов) или присутствуют зерна 9, 10 баллов, то температура снижается на 5–10 °С, производится закалка с увеличением выдержки на 30 с и закалка второго образца. При обеспечении требуемой величины зерна закаливается вся партия инструмента. В некоторых случаях (погрешность в регулировании температуры ванны) температура нагрева под закалку может снижаться до 1170 °С при условии, что достигается необходимый балл зерна.

После аустенитизации по первому варианту осуществляется ступенчатая закалка с выдержкой в соляной ванне при температурах 560–600 °С, время выдержки такое же, как и при окончательном нагреве под закалку, затем охлаждение на воздухе. После охлаждения до комнатных температур производится первый отпуск (не допускается перерыв между закалкой и отпуском более 2 ч) при 560 °С в течение 1 ч. Второй отпуск осуществляется после полного охлаждения при температуре 600 °С и замеряется твердость. Если она соответствует требованиям, например 58–60 HRC, то третий отпуск также проводится при 560 °С. В случае завышенной твердости после второго отпуска тем-

Режимы термической обработки литого инструмента из стали Р6М5

Вариант	Температура 1-го подогрева, °С	Температура 2-го подогрева, °С	Температура окончательного нагрева, °С	Условия охлаждения	Отпуск		
					1	2	3
1	500	850–870	1205 ^{±15} определяется баллом зерна (10–11)	Соляная ванна 550–600 °С	560 °С	600 °С	560–640 °С назначается в зависимости от значений твердости после 2-го отпуска
2	500	850–870	1205 ^{±15} определяется баллом зерна (10–11)	Соляная ванна 200–300 °С, затем на воздухе	Кратность и температура отпуска регламентируются содержанием остаточного аустенита и заданным технологической документацией значением твердости		

Примечание: время выдержки при температурах предварительного и окончательного нагрева определяется сечением заготовок.

пература третьего отпуска повышается до 620 °С или даже 640 °С.

После первого отпуска при 560 °С структура стали представлена мартенситом отпуска, карбидами первичными и дисперсными, а также остаточным аустенитом между мартенситными иглами, благодаря чему под микроскопом просматривается мартенсит ярко выраженной игольчатой формы. После второго отпуска при повышенных температурах в результате диффузионных процессов происходит образование бейнита и игольчатая структура может не просматриваться. При усилении травления может проявиться действительное аустенитное зерно. Отсутствие ярко выраженных мартенситных игл свидетельствует о диффузионном превращении и не является поводом для выбраковки. Наоборот, наблюдаемое снижение твердости приводит к повышению вязкости, в результате чего стойкость высадочного инструмента, например матрицы, используемой для оформления головки болта в условиях ЗЛиН (г. Гомель), повысилась с 5–6 до 20 тыс. шт. и даже до 50 тыс. шт. в отдельных случаях.

По второму режиму бейнитная структура достигается после закалки в результате изотермической выдержки при температурах 300–200 °С. При выдержке в интервале бейнитного превращения в течение короткого промежутка времени (30–40 мин) температура точки M_k понижается и стабилизируется аустенитная фаза. Наибольшее количество остаточного аустенита возникает в процессе изотермической выдержки при 280–300 °С. Вследствие этого уменьшаются твердость и размерные деформации закаленной стали, при этом растет прочность. Более продолжительная выдержка (3–6 ч) способствует образованию игольчатого бейнита. За 1 ч при температуре 260 °С образуется 20–30% игольчатого бейнита, а за 6 ч – около 50%. Остаточный аустенит становится еще более устойчивым и при охлаждении с трудом превращается в мартенсит. Поэтому твердость стали ниже, но увеличивается прочность, что имеет существенное значение для высадочного инструмента, учитывая сложность условий эксплуатации.

Литература

1. Чаус А. С., Рудницкий Ф. И., Мургаш М. Структурная наследственность и особенности разрушения быстрорежущих сталей // МиТОМ. 1997. № 2. С. 9–11.
2. Chaus A. S., Rudnitsky F. I. The influence of elements on structure and properties of the tungsten-molibdenum high-speed steels // CO-MAT-TECH'98: Proc. of the Intern. Conf.-Bratislava. STV. 1998. Vol. 1. P. 23–34.
3. Рудницкий Ф. И. Особенности эксплуатации инструмента из литой быстрорежущей стали // Литье и металлургия. 2006. № 2. Ч. 2. С. 173–177.
4. Кукуй Д. М., Рудницкий Ф. И. Теоретические и технологические основы создания высокоэффективного литого инструмента и оснастки. Проблемы современного материаловедения // Тр. XIV сессии Научного совета по новым материалам Международной ассоциации академий наук (2 июня 2009 г., г. Киев). Гомель: ИММС НАНБ, 2010. С. 19–31.