

УДК 621.73

Ступка А. Г.  
Стельмашенко О. В.

## УМЕНЬШЕНИЕ БРАКА ПО КАРБИДНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОКОВОК ИЗ ЛЕДЕБУРИТНЫХ СТАЛЕЙ

Состояние вопроса. Для изготовления инструментов, предназначенных для деформирования металла в холодном или теплом состоянии (штампы холодного деформирования, накатные плашки, фильеры и др.), широко используют высокохромистые стали. Стали типа X12, предназначенные для использования при холодной обработке, имеют рациональное соотношение комплекса механических свойств и стоимости. Однако изготовление поковок деформирующего инструмента из этих сталей затруднено, так как уровень их пластических свойств снижается при увеличении содержания углерода и хрома. А это, в свою очередь, приводит к увеличению видов брака типа трещин, рванин. Делаются попытки исключенияковки на прессах или подбора эффективных термомодеформационных режимов [1, 2, 3]. По-прежнему актуальным является нахождение режимов обработки, обеспечивающих повышение выхода годного при сохранении комплекса механических свойств.

Высокохромистые стали для штампов холодного деформирования содержат 1,2...2,3 % углерода, 11...13 % хрома и до 1,0...1,5 % вольфрама, ванадия и молибдена. Их основными свойствами являются твёрдость, износостойкость, вязкость, прокаливаемость. Твёрдость – главный показатель качества инструмента. Возможность получения определенного уровня твёрдости определяется химическим составом стали и применяемой термической обработкой. При 0,8...1,5 процента углерода достигается высокая твёрдость инструмента HRC 58...65. В то же время твёрдость зависит и от получаемой структуры: избыточная карбидная фаза и мартенсит увеличивают её. Именно большое количество избыточной карбидной фазы (при всех режимах термообработки) делает сталь высокоизносоустойчивой [4]. Способность карбидов переходить в раствор и тем больше, чем выше температура закалки, позволяет изменять свойства стали. Однако, карбиды, располагаясь в основном по границам первичных аустенитных зёрен, нарушают межатомную кристаллическую связь, уменьшая пластичность металла, что ведёт к разрушению слитков при деформации. В соответствии с данными стандарта [5] и по данным Ю. А. Геллера [6] допустимой степенью карбидной неоднородности для проведения успешной деформации слитков считается балл 6.

Целью данной работы является аналитическое исследование возможностей создания надёжной технологической схемы производства кованных заготовок инструментальной стали.

Для снижения карбидной неоднородности (от балла 10, присущего литому металлу) предложено [7] введение кальция, что обеспечивает, например, в сталях X12МФ и X12ВМФ очистку границ первичных аустенитных зёрен от выделений карбидной эвтектики при кристаллизации до балла 1...5 и позволяет переделывать такие слитки на кузнечном прессе.

Также существенно уменьшает карбидную неоднородность микролегирование титаном (в пределах 0,07...0,20 % Ti), что связано с образованием преимущественно мелкодисперсных его карбидов, а также карбидов ванадия и молибдена. Это приводит к некоторому дефициту углерода, создаёт условия перераспределения хрома между твёрдым раствором и карбидной фазой, что способствует уменьшению карбидной неоднородности.

Помимо микролегирования воздействовать на структуру и свойства ледебуритных сталей можно высокотемпературной обработкой (ВТО). Авторы работы [8] предложили повысить уровень пластичности литых инструментальных сталей, используя их предварительный нагрев до высоких температур, на 50...100 °С превышающих температуру максимальной пластичности, т. е. близких к температуре солидуса, охлаждение до температуры начала

деформации и определённую выдержку при этой температуре. Повышение пластичности после ВТО обусловлено растворением и коагуляцией избыточных карбидов и, как следствие, разрушением исходной карбидной сетки вокруг первичных зёрен аустенита. Для подтверждения положительного эффекта был проведен эксперимент по обработке слитков стали X12МФ с нагревом их до 1200...1225 °С в течение двух часов, охлаждению, выдержке при 1130...1140 °С в течение двух часов и последующей ковке. Охлаждение слитка до 1100...1160 °С и выдержка при этой температуре выполняются для выравнивания температуры по объёму. Такой режим привел к существенному возрастанию пластичности стали. Если слитки, обработанные по обычной технологии, имели значительное трещинообразование и после обработки на прессе были признаны негодными, то слитки, получившие высоко-температурную обработку, все были приняты, как кондиционные.

Схожие результаты были получены и в работе [9] для легированных конструкционных сталей. После реализации двух планов дробных факторных экспериментов  $2^{4-1}$  и  $2^{7-4}$  было установлено, что функция отклика – средний уровень пластичности  $A_p$  в интервале температур 900...1000 °С – значимо реагирует на время и температуру нагрева, причем с ростом температуры нагрева пластичность во всех случаях повышается. Результаты исследований позволили указать путь повышения пластичности среднеуглеродистых сталей. Прежде всего, это снижение в стали содержания серы и газов, введение достаточного количества марганца и оптимального количества алюминия в качестве раскислителей, использование в качестве раскислителей малых добавок церия или титана, а при ковке – нагрев до оптимальных температур с достаточно продолжительными выдержками.

Таким образом, прослеживается закономерность оптимизации химического состава и температурно-временных условий подготовки литой стали к последующей обработке давлением. Но эти действия сами по себе еще не обеспечивают высокого качества кованных поковок. Как известно [3, 11, 12], перечень управляющих воздействий процессаковки слитков весьма велик. Он включает форму и размеры слитка, характеристики основного деформирующего оборудования, набор деформирующего технологического инструмента и его конфигурацию, вид и последовательность кузнечных операций и переходов, а также сопровождающий их температурный режимковки.

При разработке технологииковки ледебуритных сталей были использованы некоторые основные принципы.

Это смещение макрообъемов металла, которое учитывает строение слитка и возможную асимметрию течения металла при ковке: в случае несимметричного инструмента, при неоднородном поле температур, в случае несимметричности, которая возникает вследствие несовпадения формы инструмента и формы полуфабриката при ковке.

Это организация преимущественно сдвиговых деформаций повышающих положительный эффект проработки литой структуры, а также локализация и распределение деформаций в заданных зонах общего объема.

Это взаимная связь, взаимное влияние различных факторовковки и поиск их оптимальных сочетаний с целью обеспечения требуемого течения металла. Обеспечить такое сочетание факторов возможно, используя сочетание операций осадки или высадки и протяжки. При этом учитывается закономерность режима кантовок, которая позволяет чередовать зоны пластического деформирования, суммировать деформации, а также изменять направленность и интенсивность потоков, в частности изменяя форму и угол выреза бойков.

Такого рода системный подход используют при поиске оптимальных условийковки как в случаях математического, так и физического моделирования. Например, авторы статьи [10] моделировали с использованием программы «Deform-3D» протяжку круглого слитка на плоских бойках по схеме «проходами» и в вырезных бойках по схеме «кольцами»; при этом

варьировали температуру нагрева слитка, величину абсолютной подачи и частное обжатие. Расчет позволил оценить неравномерность деформаций при различных схемах и параметрах протяжки, а полученные закономерности формоизменения и изменения температуры по сечению заготовки были использованы для оптимизации процесса протяжки слитков. Физическое моделирование [7] позволяет зафиксировать как важные закономерности изучаемого процесса, так и отклонения, нестабильность свойств и характеристик. В частности, моделирование протяжки слитков стали X12BMФ позволило установить, что после нагрева до ковочной температуры необходим многократный подогрев металла перед ковкой. Затем выполняют протяжку, причём первые два – три прохода – с обжатиями менее 5 %. Далее продолжают протяжку в комбинированных или вырезных бойках с кантовками на 90 или 180 ° при степенях обжатия 10...15 %. Затем для предотвращения возникновения трещин по мере понижения температуры металла в процессековки уменьшают величину единичных обжатий.

Представляет интерес использование обжатий заготовки рельефным инструментом, внедрение которого в металл имеет несколько стадий [11]. На первой стадии выступы рельефа частично входят в заготовку, не осаживая ее, затем на второй стадии входят в большей степени и распространяют пластическую деформацию на центральную область заготовки. Далее, на третьей стадии, происходит полное заполнение впадин рельефа. При таком процессе происходит дробление карбидов не только в приповерхностных слоях, но и в центральной части заготовки.

Учитывая описанный опыт, была предложена технологияковки, основанная на использовании бойка с волнистостью на части рабочей поверхности (рис. 1).

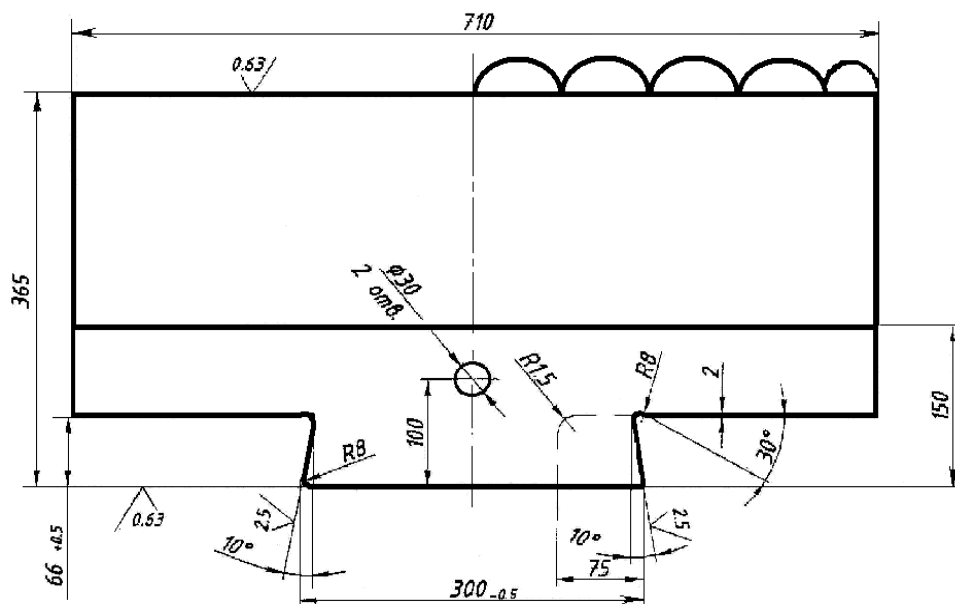


Рис. 1. Боек с волнистой рабочей поверхностью

При деформировании заготовок стали X12M с характерным размером порядка 100...150 мм были использованы на ковочном молоте плоский нижний боек и верхний с волнистой рабочей поверхностью. Высота волны принята 4 мм, а радиус сопряжения «волн» – 10 мм. Нагретые заготовки ковали плоскими поверхностями до размеров сечения, которые превышают окончательные на 1/3. Затем – ковка волнистой поверхностью с кантовкой плоской заготовки на 180 °, а цилиндрической – по кольцу. Использование рельефной поверхности снижает уширение, уменьшает количество трещин и разрывов. Кроме того, для заготовок крупных сечений и с исходной карбидной неоднородностью выше пятого балла исследована

расширенная схема ковки: осадка заготовки до 1/3 начальной высоты, затем протяжка до начальной высоты; этот цикл повторяется 2...4 раза. При этом карбидная неоднородность снижается на 2...3 балла и не превышает третьего – четвертого баллов в глубоких слоях поковки.

Откованные поковки были успешно использованы для изготовления деталей штампов (пуансонов и матриц), а также металлорежущего инструмента.

До использования волнистых бойков и многократной циклической обработки требованиям по карбидной неоднородности не отвечали 22,5 % поковок, а при использовании новшеств – 2 %.

### ВЫВОДЫ

Для улучшения структуры и свойств поковок инструментальных сталей ледебуритного класса эффективной является коррекция химического состава за счет микролегирования и применение высокотемпературной обработки, состоящей в перегреве стали на 50...70 °С относительно верхней границы диапазона ковочных температур.

Для деформирования заготовок необходимо дозировать частные обжатия, использовать бойки, ограничивающие уширение и способствующие разрушению сетки карбидов, использовать несколько циклов деформирования по схеме «осадка – протяжка».

Оптимизация производства поковок ледебуритных сталей из некрупных заготовок за счет микролегирования, ВТО, выбора рационального режима обжатий и инструмента ковки позволяет уменьшить брак по карбидной неоднородности на порядок.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Сальников А. С. ЦЗЛ ОАО «Днепроспецсталь» – 70 лет / А. С. Сальников // *Сталь*. – 2007. – № 6. – С. 32.
2. Шелаев И. П. Совершенствование термометаллургических режимов ковки / И. П. Шелаев // *Кузнечно-штамповочное производство – обработка металлов давлением*. – 2007. – № 9. – С. 31–33.
3. Тюрин В. А. Приоритетные направления в развитии процессов ковки слитков и их применение в промышленности / В. А. Тюрин // *Кузнечно-штамповочное производство : перспективы и развитие : сборник научных трудов*. – Екатеринбург : ГОУ ВПО «УГТУ–УПИ», 2005. – С. 521–529.
4. Гуляев А. П. *Металловедение : учебник для вузов*. / А. П. Гуляев. – [6-е изд., перераб. и доп.]. – М. : *Металлургия*, 1986. – 544 с.
5. ГОСТ 5950 – 73. Прутки и полосы из инструментальной легированной стали : технические условия. – М. : *Издательство стандартов*.
6. Геллер Ю. А. *Инструментальные стали* / Ю. А. Геллер. – [4-е изд.]. – М. : *Металлургия*, 1975. – 311 с.
7. Тюрин Н. Ф. Уменьшение карбидной неоднородности сталей типа X12MФ для сварочных валков / Н. Ф. Тюрин, П. Н. Кирильченко, Е. И. Фомицкий, А. П. Бочек, А. С. Рубец // *Сталь*. – 2007. – № 1. – С. 69–74.
8. Потапов А. П. Деформируемость литых высокоуглеродистых хромистых сталей / А. П. Потапов // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 2004. – № 7. – С. 11–16.
9. Потапов А. И. Деформируемость слитков конструкционных сталей / А. И. Потапов // *Кузнечно-штамповочное производство : перспективы и развитие : сборник научных трудов*. – Екатеринбург : ГОУ ВПО «УГТУ–УПИ», 2005. – С. 98–105.
10. Бэкофен В. *Процессы деформации* / В. Бэкофен. – М. : *Металлургия*, 1977. – 288 с.
11. Охрименко Я. М. *Неравномерность деформации при ковке* / Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин. – М. : *Машиностроение*, 1969. – 184 с.
12. Влияние схемы и режимов прессовой протяжки слитков на неравномерность распределения температуры и накопленной деформации в поковке / А. С. Шибанов, В. А. Кропотов, В. Б. Тимохов, А. А. Богатов // *Кузнечно-штамповочное производство : перспективы и развитие : сборник научных трудов*. – Екатеринбург : ГОУ ВПО «УГТУ–УПИ», 2005. – С. 126–131.

Ступка А. Г. – канд. техн. наук, доц. НМетАУ;  
Стельмашенко О. В. – студент НМетАУ.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: olgakuzmina@bk.ru