

# **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ИЗНОСА**

**В. А. Сокол**

*Учреждение образования «Белорусский государственный  
аграрный технический университет», г. Минск*

Научный руководитель Ю. Т. Антонишин

Цель работы – повышение прочности и износостойкости изделий за счет получения структуры, выгодно сочетающей скрытокристаллический мартенсит с мелкими равномерно распределенными карбидами, при относительно малом окислении и обезуглероживании

Для изготовления деталей, работающих в условиях абразивного износа (нож кормоуборочного комбайна, лемех плуга, лапа культиватора), широко применяют углеродистые и легированные стали, обладающие высокой твердостью (HRC 60–65), прочностью и износостойкостью. Обычно это заэвтектоидные или ледебуритные стали (такие как 9ХС, У8, У10), структура которых после закалки и низкого отпуска

мартенсит – избыточные карбиды. Это обусловлено более равномерным распределением карбидов, что связано с небольшим содержанием углерода (0,9 %); карбидной неоднородностью, не превышающей 1–2 балла; присутствием кремния, который, затрудняя самодиффузию, способствует сохранению мелкого зерна; меньшим количеством остаточного аустенита ( $\leq 6\text{--}8\%$ ).

Износостойкость этих сталей повышается с увеличением содержания углерода и твердости при верхних ограничениях, обусловленных опасностью хрупкого разрушения лезвия. При легировании стали хромом (свыше 3–4 %), ванадием и вольфрамом верхний предел твердости повышается, что позволяет перевести процесс абразивного изнашивания в менее интенсивные формы [1].

Известен способ М. Л. Бернштейна [2], по которому заготовку в исходном отожженном состоянии, структурно представляющую ферритокарбидную смесь, подвергают холодной пластической деформации и последующему длительному предрекристаллизационному отжигу для полигонизации при температуре несколько меньшей температуры рекристаллизации, с последующим охлаждением до комнатной температуры. После этого сталь подвергают скоростному электронагреву ( $65\text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$ ) с целью осуществления передачи блочной субструктуры, образующейся в результате процесса полигонизации, при выдержке ниже рекристаллизационных температур, аустениту при нагреве под закалку.

Неустойчивость субструктуры, образующейся при предрекристаллизационном отжиге, для передачи ее аустениту требует применения большой скорости нагрева под закалку. Это представляет значительную технологическую сложность. Недостатками способа также являются частичная рекристаллизация при выдержке, длительность отжига и невысокое повышение механических свойств обрабатываемой стали.

Перспективен способ термомеханической обработки стальных изделий, включающий нагрев со скоростью выше  $50\text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$  до температуры от  $A_{C1}$  до  $A_{C3} + 200\text{ }^\circ\text{C}$ , горячую деформацию прокаткой со степенью деформации 45–80 % с регламентируемой температурой конца прокатки, ускоренное охлаждение с получением мартенситной структуры или продуктов распада аустенита и отпуск путем одно- или многократного скоростного нагрева с окончательным охлаждением на воздухе [3].

Недостаток способа – нагрев заготовки до температуры выше  $1100\text{ }^\circ\text{C}$ , приводящий к росту аустенитного зерна, как следствие, формированию неоднородной структуры и падению пластичности стали. Последующая деформационная обработка, проводимая при повышенных температурах, создает напряженный режим работы оборудования и снижает экономическую эффективность способа.

Предлагаемая термомеханическая обработка включает нагрев заготовки токами высокой частоты до температуры аустенизации, пластическую деформацию, закалку и отпуск. Нагрев от температуры точки Кюри до температуры  $980\text{--}1050\text{ }^\circ\text{C}$  проводят со скоростью  $30\text{--}40\text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$ , а деформацию производят горячим гидропрессованием со степенью деформации 60–95 %, при скорости деформации  $0,5\text{--}2\text{ м}/\text{с}$ , с последующей закалкой по режимам ВТМО и нормальным отпуском. Особенность процесса – выдержка после деформации перед закалкой в течение  $0,2\text{--}1,0\text{ с}$ .

Для получения значительного эффекта упрочнения необходимо, как правило, деформировать металл не менее, чем на 80–90 %. Однако при обычном выдавливании при 90%-й деформации развиваются высокие давления, что является серьезным препятствием на пути промышленного освоения термомеханического упрочнения изделий. Квазизатяжное выдавливание в условиях всестороннего сжатия значительно снижает усилия деформирования сплавов, благодаря чему становится возможной большая разовая деформация, а следовательно, и большой эффект упрочнения.

Традиционно для достижения максимальной твердости применяют закалку деталей, нагретых до широкой области температур. Однако для получения высокой прочности и предупреждения сильного ухудшения вязкости верхний предел температур закалки должен быть ограничен. Заэвтектоидные стали имеют мало избыточных карбидов, которые могли бы эффективно задерживать рост зерна при повышенной температуре нагрева. Поэтому интервал оптимальных температур нагрева для большинства сталей узок: 15–20 °С (для стали 9ХС рекомендуемая температура закалки 865–880 °С) [4].

Известно [5], что скоростной индукционный нагрев ведет к повышению точки фазовых превращений, а следовательно, и температуры закалки стали в среднем на 100 °С. При этом значительно расширяется интервал закалочных температур. Очевидно, поэтому в результате ВТМО при температурах до 950 °С и нормальном отпуске получали изделия с твердостью 51–58 HRC, т. е. с неполной закалкой. В результате исследования влияния температуры нагрева перед пластической деформацией заготовок из стали 9ХС на твердость изделий после закалки и отпуска установлено, что наилучшие результаты получены при ВТМО с нагревом до 980–1050 °С. Микроструктура изделий состояла из мартенсита с мелкими карбидами, равномерно распределенными по сечению образцов. Температура нагрева заготовок оказывала большое влияние на величину и характер распределения мартенситных игл. Наиболее качественную структуру получали при выдавливании с последующим охлаждением изделий (ВТМО) с температур 950–1000 °С. В этом случае структура изделий состоит из характерного мелкоигльчатого мартенсита и остаточного аустенита.

При деформации и закалке с нагревом выше 1050 °С размеры мартенситных игл начинают увеличиваться, а при 1140 °С появляется «рыхлая» мартенситная структура с колоннами крупных игл, причем твердость в этом случае резко падает после отпуска. При деформации заготовок, нагретых до 1200 °С, получали структуру перегрева. Поэтому оптимальными температурами электронагрева заготовок из стали 9ХС при горячем выдавливании в режимах ВТМО является интервал 980–1030 °С, так как при этих температурах помимо относительно малого окисления и обезуглероживания получают сочетание структуры скрытокристаллического мартенсита с мелкими равномерно распределенными карбидами, способствующее повышению прочности и износостойкости деталей.

Так как наиболее интенсивные фазовые превращения происходят в области выше точки магнитных превращений, скорость нагрева определяли отдельно для нагрева до точки Кюри и от точки Кюри до температуры деформации. Результаты определения влияния скорости нагрева на твердость закаленных изделий показывают, что повышение скорости нагрева при температурах ниже точки Кюри не оказывает заметного влияния на твердость закаленных изделий. При увеличении скорости нагрева от 20 до 50 °С/с в интервале от точки Кюри до заданной температуры твердость закаленных изделий повышается. При высокочастотном нагреве плотность тока от поверхности к сердцевине заготовки убывает, поэтому периферийные слои заготовок из сталей, обладающих пониженной теплопроводностью, нагреваются быстрее. Неравномерный нагрев приводит к разным значениям твердости по сечению выдавленных и закаленных изделий. Опыт показал, что оптимальной скоростью нагрева заготовок из стали 9ХС следует считать 30–40 °С/с.

При изготовлении деталей, работающих в условиях интенсивного износа, выдавливание производили с большими обжатиями в области высоких температур. В этих условиях, особенно после деформации, у сталей стремительно развивается собирательная рекристаллизация, что приводит к устранению упрочняющего дейст-

вия ВТМО – потере прочности деформированного металла за счет образования новых зерен, быстро развивающихся за счет окружающих их зерен, искаженных деформацией. Поэтому возникла необходимость установить оптимальную выдержку выдавленных заготовок после деформации перед закалкой, которая исключила бы собирательную рекристаллизацию.

Для этого исследовали структуру изделий, полученных по режимам ВТМО с выдержкой перед закалкой в течение 6–0,2 с. Установлено, что при выдавливании заготовок, нагретых до 950–1000 °С, и последующей выдержкой перед закалкой в течение 3–6 с структура изделий из стали 9ХС состоит из мартенсита, а твердость в поперечном сечении едва достигает 58–59 HRC.

После ВТМО стали 9ХС с промежуточной выдержкой 0,2–1 с у изделий была твердость 63–64 HRC, а структура состояла из скрытокристаллического мартенсита с равномерно распределенными мелкодисперсными карбидами.

У деталей из стали 9ХС, обработанных по известному способу, свойства составляли: прочность 305 МПа, ударная вязкость 12 Дж/см<sup>2</sup>, твердость 63 HRC, а у обработанных по предлагаемым режимам они были равны: прочность – 510 МПа, ударная вязкость 35 Дж/см<sup>2</sup>, твердость 63 HRC.

Исследованиями установлено, что ВТМО приводит к устранению отпускной хрупкости, улучшению сочетания прочности и пластичности, общему повышению ударной вязкости. Кроме того, уменьшается чувствительность сплава к острым трещинам и повышается сопротивление разрушению.

Применение предлагаемого технического решения позволяет значительно повысить эксплуатационные свойства изделий.

#### Литература

1. Сидоров, С. А. Технический уровень и ресурс рабочих органов сельхозмашин / С. А. Сидоров // Тракторы и с.-х. машины. – 1998. – № 3.
2. Бернштейн, М. Л. Металловедение и термическая обработка стали / М. Л. Бернштейн, А. Г. Рахштадт. – М., Металловедение, 1983.
3. Сорокин, Г. М. Прочность как основа механизма износостойкости стали при абразивном воздействии / Г. М. Сорокин // Вестн. машиностроения. – 1986. – № 5.
4. Ткачев, В. Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин / В. Н. Ткачев. – М. : Машиностроение, 2001. – 342 с.
5. Гуляев, А. П. Инструментальные стали / А. П. Гуляев, К. А. Малинина, С. М. Саверина. – М. : Машиностроение, 1975. – 272 с.
6. Кидин, И. Н. Термическая обработка стали при индукционном нагреве / И. Н. Кидин. – М. : Машиностроение, 1950. – 324 с.